



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

SEBASTIÃO VIRGÍNIO DE SOUZA

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E INCLINAÇÃO NA POTÊNCIA
GERADA POR PAINEL FOTOVOLTAICO NO MUNICÍPIO DE
ANGICOS-RN**

ANGICOS - RN
2018

SEBASTIÃO VIRGÍNIO DE SOUZA

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E INCLINAÇÃO NA POTÊNCIA
GERADA POR PAINEL FOTOVOLTAICO NO MUNICÍPIO DE
ANGICOS-RN**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Angicos, como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador (a): Prof. Dr. Marcos Vinicius
Candido Henriques

ANGICOS - RN

2018

© Todos os direitos estão reservados a 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 tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S719i Souza, Sebastião Virgínio de.
Influência das condições climáticas e inclinação
na potência gerada por painel fotovoltaico no
município de Angicos/RN / Sebastião Virgínio de
Souza. - 2018.
41 f. : il.

Orientador: Marcos Vinicius Cândido Henriques.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. Energia solar fotovoltaica. 2. Potência
gerada. 3. Clima. 4. Inclinação. I. Henriques,
Marcos Vinicius Cândido, orient. II. Título.

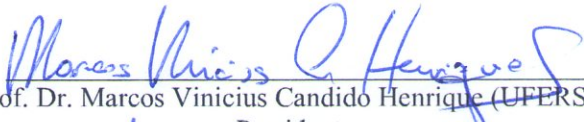
SEBASTIÃO VIRGÍNIO DE SOUZA

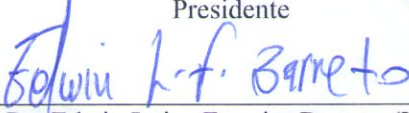
**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E INCLINAÇÃO NA POTÊNCIA
GERADA POR PAINEL FOTOVOLTAICO NO MUNICÍPIO DE
ANGICOS-RN**

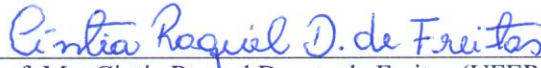
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em Ciência
e Tecnologia.

Defendida em: 11 / 09 / 2018.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Marcos Vinicius Candido Henrique (UFERSA)
Presidente


Prof. Dr. Edwin Luiz Ferreira Barreto (UFERSA)
Membro Examinador


Prof. Me. Cintia Raquel Duarte de Freitas (UFERSA)
Membro Examinador

A Caio Vinícius Saldanha Silva (*in memoriam*),
eterno amigo, pelas palavras incentivadoras,
pelos sorrisos compartilhados e por todos os
momentos que estive comigo.

Dedico este trabalho aos meus pais, aos meus
amigos e a todos meus professores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus, pela dádiva da vida, pelo socorro nos momentos aflitos, por tudo que tenho conquistado.

Aos meus pais, Maria Edileuza e Francisco Assis, pelo amor e conselhos que me guiaram até aqui.

Ao meu Orientador, Dr. Marcos Vinicius, por aceitar meu pedido para desenvolver este projeto em parceria comigo, e pelo todo suporte intelectual e material dado do início ao fim deste trabalho.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido- Campus Angicos por toda infraestrutura e serviços disponibilizados.

Aos meus amigos e familiares, pela força que sempre me deram, ao longo da graduação.

Por fim, a todos que direta e indiretamente fizeram parte da minha formação, os meus sinceros agradecimentos.

Um homem sem fé é, portanto, um solitário
preso no seu próprio caminho.

Sebastião Souza

RESUMO

Na atualidade, há uma crescente demanda por eletricidade proveniente de energias renováveis. Nesse sentido, a energia solar fotovoltaica uma das saídas para atender a demanda da população. Sobre a potência gerada por painéis fotovoltaicos observa-se alguns fatores que afetam o rendimento dos mesmos. Um dos principais fatores é o clima e a inclinação dos painéis. O presente trabalho foi desenvolvido em campo aberto na cidade de Angicos, no estado do Rio Grande do Norte, coletando dados a partir de um aparato experimental, com objetivo de avaliar as influências do clima e da inclinação no desempenho do painel fotovoltaico. Em virtude dos resultados obtidos com a coleta dos dados, certificou-se que em dias ensolarados o rendimento do painel foi significativo, e que em dias parcialmente nublados o rendimento reduz consideravelmente. Também se verificou que a melhor inclinação para o painel está entre zero e trinta graus.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Potência gerada. Clima. Inclinação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	–	Atlas Solarimétrico do Brasil do ano de 2000	20
Figura 02	–	Funcionamento da célula fotovoltaica	22
Figura 03	–	Ilustração da Junção P-N.....	22
Figura 04	–	Silício monocristalino: a) Lingote; b) célula fotovoltaica.....	23
Figura 05	–	Silício multicristalino: a) Lingote; b) célula fotovoltaica.....	24
Figura 06	–	Célula fotovoltaica de silício amorfo	24
Figura 07	–	Painel Fotovoltaico.....	25
Figura 08	–	Iluminação pública por sistema fotovoltaico.....	27
Figura 09	–	Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico de bombeamento.....	28
Figura 10	–	Usinar Solar Fotovoltaico da UFERSA.....	29
Figura 11	–	Usina Assú V.....	29
Figura 12	–	Localização geográfica do município de Angicos-RN.....	30
Figura 13	–	Local da coleta de dados.	30
Figura 14	–	Esquema de um circuito simples.....	31
Figura 15	–	Aparato experimental.	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	–	Matriz Energética do Mundo do ano 2015	16
Gráfico 02	–	Matriz Elétrica do mundo do ano 2015	17
Gráfico 03	–	Matriz Energética do Brasil do ano 2015	18
Gráfico 04	–	Comparação das Matrizes Energéticas	18
Gráfico 05	–	Matriz elétrica do Brasil do ano de 2018.....	19
Gráfico 06	–	Potência gerada em dia ensolarado	33
Gráfico 07	–	Potência média durante o dia ensolarado.....	16
Gráfico 08	–	Desempenho do painel durante o dia: a) inclinação 0°; b) inclinação 30°; c) inclinação 45°; d) inclinação 60°; e) inclinação 90°	34
Gráfico 09	–	Potência média durante o intervalo de 8h às 11h	36
Gráfico 10	–	Potência gerada em dias nublados	36
Gráfico 11	–	Potência média durante os períodos parcialmente nublados.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	–	Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos.....	25
Tabela 02	–	Potência média durante o dia ensolarado.....	33
Tabela 03	–	Potência média durante o intervalo de 8h às 11h.....	35
Tabela 04	–	Potência média durante os períodos parcialmente nublados.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informação de Geração
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
RN	Rio grande do Norte
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

LISTA DE SÍMBOLOS

η	Eta
Ω	Omega
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA	16
2.1	Fontes de Energia	16
2.1.1	Matriz Energética e Elétrica Mundial.....	16
2.1.2	Matriz Energética e Elétrica: Cenário Brasileiro.....	17
2.2	Energia Solar	19
2.2.1	Radiação Solar	19
2.2.2	Tipos de Radiação Solar.....	20
2.2.3	Irradiância	21
2.2.4	Insolação.....	21
2.3	Energia Solar Fotovoltaica.....	21
2.3.1	Efeito Fotovoltaico.....	21
2.3.2	Célula Fotovoltaica.....	21
2.3.3	Tipos de célula fotovoltaica	23
2.3.3.1	Silício Monocristalino.....	23
2.3.3.2	Silício policristalino.....	23
2.3.3.3	Silício amorfo.....	24
2.4	Painel Fotovoltaico.....	24
2.4.1	Rendimento.....	25
2.4.2	Potência Gerada.....	26
2.5	Aplicações dos Painéis Fotovoltaicos.....	26
2.5.1	Sistemas Autônomos.....	27
2.5.2	Conectados à Rede.....	28
2.5.2.1	Microgeração e Minigeração.....	28
2.5.2.2	Usinas de Eletricidade Fotovoltaica.....	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Área de Estudo.....	30
3.2	Obtenção dos Dados.....	30
3.2.1	Localização da Coleta dos Dados	30
3.2.2	Materiais Utilizados.....	31
3.2.3	Métodos.....	31

3.3	Obtenção de Parâmetro.....	32
4	RESULTADOS.....	33
4.1	Avaliação da Potência Gerada em Dias Ensolarados	33
4.2	Avaliação da Potência Gerada Durante o Turno Matutino	34
4.3	Avaliação da Potência Gerada em Dias Parcialmente Nublados	32
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
	REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

A energia está atrelada à vida humana desde os primórdios. É impossível conceber desenvolvimento de uma sociedade sem que ela tenha uma fonte de energia garantida e sustentável. A humanidade ainda é totalmente dependente das fontes de energias não renováveis, sendo o petróleo a principal matriz energética mais usada no mundo, porém as fontes não renováveis são causadoras de diversos danos ambientais (VILLALVA, 2015).

Entretanto, há uma demanda crescente para utilização de energias renováveis, por ser tanto, fontes consideradas inesgotáveis, quanto por não agredir o meio ambiente e por favorecer as políticas ambientais.

A Energia Solar fotovoltaica é uma fonte de energia renovável captada dos raios solares pelos painéis fotovoltaicos convertendo diretamente a luz solar em energia elétrica, considerada uma fonte limpa de energia por não apresentar impactos ambientais.

No mundo atualmente a energia solar fotovoltaica é uma das mais promissoras tecnologias emergentes. De acordo com um recente relatório da REN21, uma rede mundial de políticas de energia renovável (REN21, 2017), no ano de 2016, a China domina tanto o uso quanto a fabricação da energia solar fotovoltaica, a Alemanha como país pioneiro no desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica continua ainda liderando a capacidade de energia solar fotovoltaica por habitante, acompanhado por Japão, Itália, Bélgica e Austrália.

O Brasil é um país privilegiado para exploração dessa energia por possuir elevadas taxas de irradiação solar em todas as regiões, principalmente no Nordeste (VILLALVA, 2015). Entretanto, de acordo com o Banco de Informações de Geração (BIG) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em julho de 2018, a Matriz de Energia Elétrica do Brasil apenas 0,82% é de origem solar, são 2244 usinas em operação gerando cerca de 1.306.533 KW de potência instalada, o que consideramos a exploração muito abaixo do que o Brasil é capaz de gerar.

Atualmente, no Rio Grande do Norte são cadastradas apenas 6 usinas solares gerando 117 MW o que corresponde a 0,11% de toda potência instalada pelos geradores solar fotovoltaico no estado. A usina solar instalada mais próxima da cidade de Angicos-RN, fica no município de Assu-RN, na margem da rodovia BR-304. O complexo Fotovoltaico Assú é responsável pela geração de 30 MW sendo capaz de abastecer uma cidade de 130 mil habitantes.

Além de usinas cadastradas no Banco de Informações de Geração, existem várias usinas de microgeração e minigeração distribuída espalhadas por todo Rio Grande do Norte, essas

usinas são instaladas para o autoconsumo, de acordo com a norma ANEEL-687 qualquer pessoa física ou jurídica pode gerar sua própria energia de fonte renovável e autoconsumir.

Nessa conjuntura pode-se notar que ainda há poucos investimentos na tecnologia fotovoltaica no estado do Rio Grande de Norte, no qual podemos relacionar com a carência de pesquisas e projetos desenvolvidos no âmbito acadêmico da região.

Partindo desse contexto, o desenvolvimento deste trabalho trata-se da obtenção de dados em campo aberto para avaliar a geração de energia elétrica, através de um circuito simples feito por um painel fotovoltaico, analisando a influência de aspectos externos como; condições climática, radiação, insolação, condições locais e inclinação, que melhoram ou afetam o desempenho do painel.

Os estudos técnicos da tecnologia fotovoltaica podem contribuir para possíveis pequenas aplicações na região como: iluminação interna, sistema autônomo de bombeamento de água, etc. Além de colaborar para possíveis projetos de minigeração e microgeração de energia.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Fontes de Energia

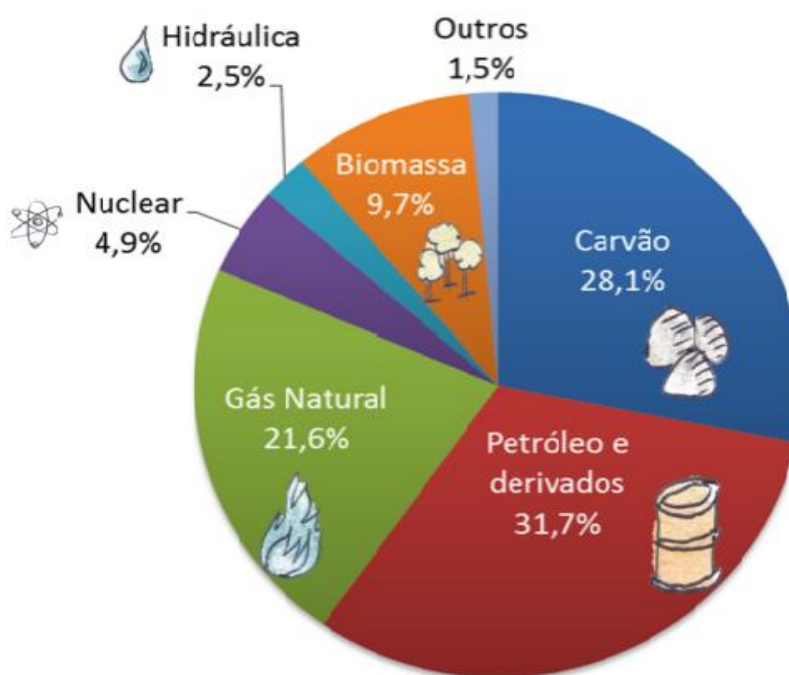
As fontes de energia são divididas em duas categorias, fontes renováveis e fontes não renováveis. De acordo com Villalva (2015), as fontes renováveis são aquelas consideradas inesgotáveis para os padrões humanos de utilização, sempre em constante renovação e que estão correlacionadas ao conceito de energia limpa, pois não originam resíduos ou emitem poluentes na atmosfera. Exemplos de fontes renováveis são: energia solar, hidrelétrica, eólica, geotérmica, oceânica e biomassa.

As fontes de energia não renováveis são aquelas que os recursos naturais são esgotáveis, bem como estão correlacionadas ao conceito de energia suja, cuja sua utilização geram emissões de poluentes na atmosfera. Exemplos de fontes não renováveis são: petróleo, carvão, gás natural e nuclear.

2.1.1. Matriz Energética e Elétrica Mundial

A matriz energética mundial na sua maioria ainda é composta por fontes de energias não renováveis, sendo o petróleo a fonte principal usada, seguido do carvão e o gás natural. Essas fontes não renováveis são as principais causadoras do efeito estufa, já que emitem grandes quantidades de CO₂ na atmosfera. O gráfico 01, mostra a composição da matriz energética mundial no ano de 2015.

Gráfico 01- Matriz Energética do Mundo do ano 2015.

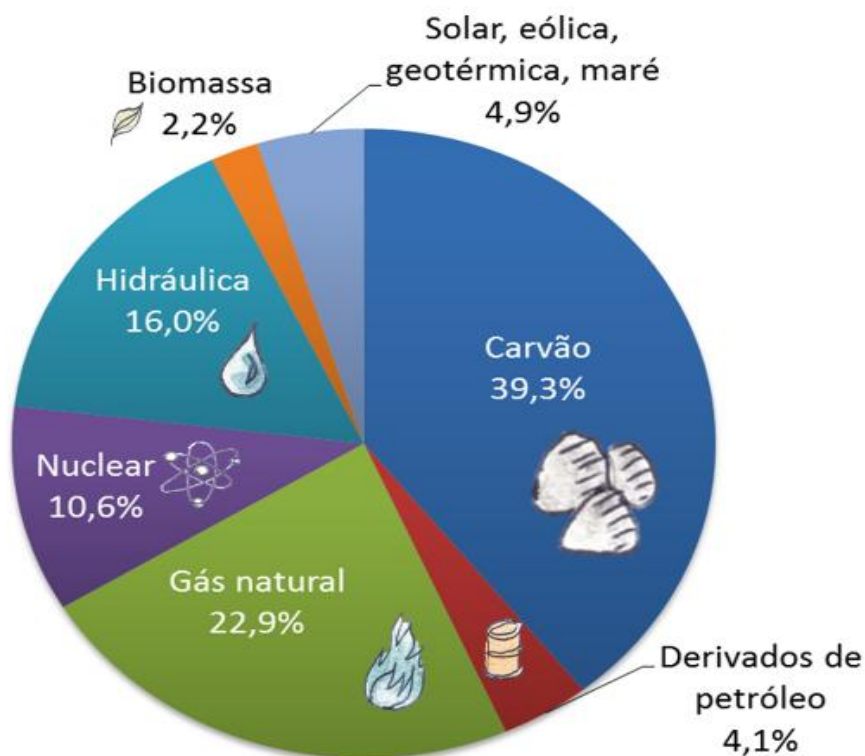


Fonte: EPE-Empresa de Pesquisa Energética (2015).

Podemos notar que as fontes não renováveis ainda são predominantes no cenário mundial. Entretanto, a matriz elétrica difere um pouco da matriz energética, havendo um crescimento na utilização de fontes renováveis.

O gráfico 02, mostra que para geração de energia elétrica o petróleo já não é tão usado, se comparado com as outras fontes de energia, porém ainda há uma grande dependência das fontes não renováveis.

Gráfico 02- Matriz Elétrica do mundo do ano 2015.



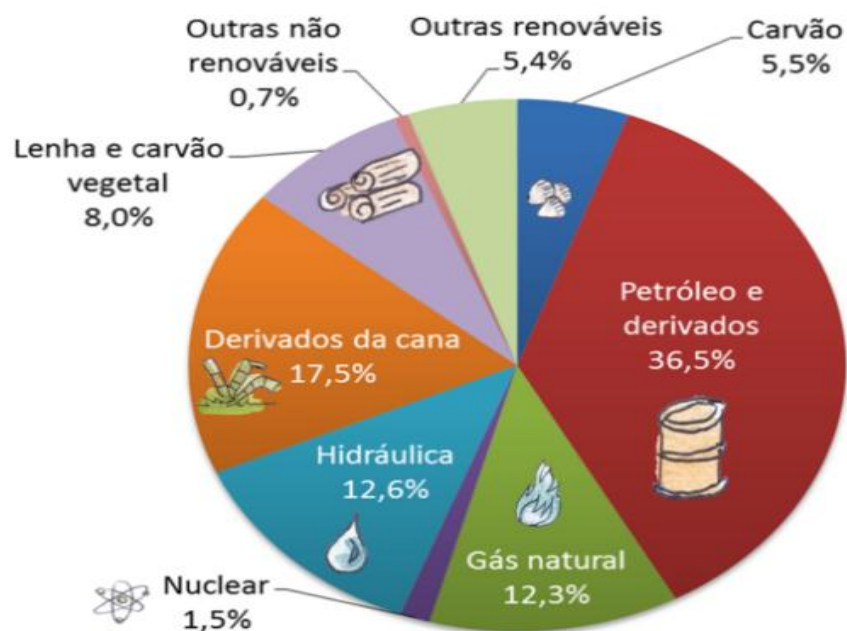
Fonte: EPE-Empresa de Pesquisa Energética (2015).

O grande desafio para os próximos anos é que para geração de energia elétrica seja predominante o uso das fontes renováveis, substituindo os combustíveis fósseis, minimizando impactos ambientais.

2.1.2. Matriz Energética e Elétrica: Cenário Brasileiro

A matriz energética do Brasil também é predominante as fontes não renováveis, porém as fontes renováveis têm participação considerável, como mostra o gráfico 03.

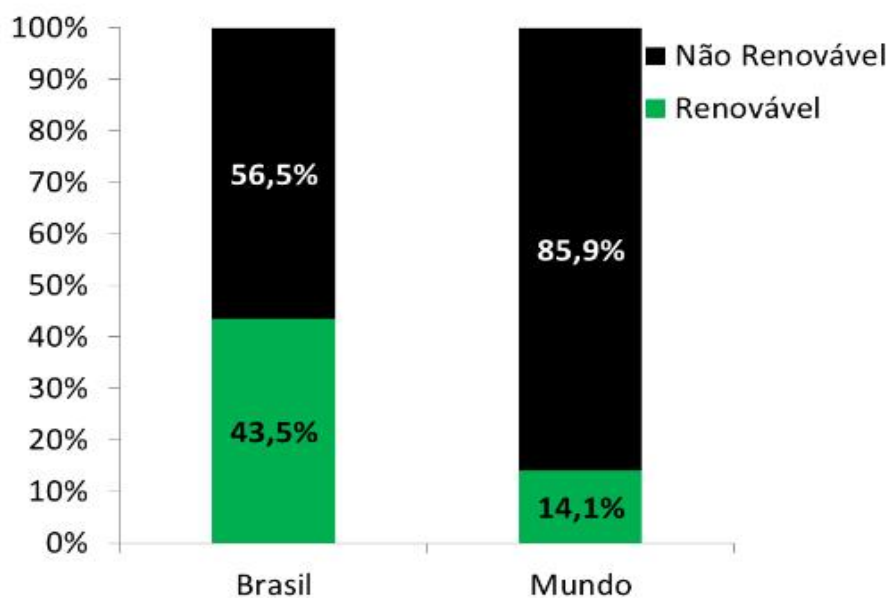
Gráfico 03- Matriz Energética do Brasil do ano 2015.



Fonte: EPE-Empresa de Pesquisa Energética (2015).

Fazendo um comparativo com a matriz energética mundial e a do Brasil, nota-se que o Brasil tem uma composição mais equilibrada com o resto do mundo entre as fontes renováveis e não renováveis. Representado no gráfico 04 abaixo:

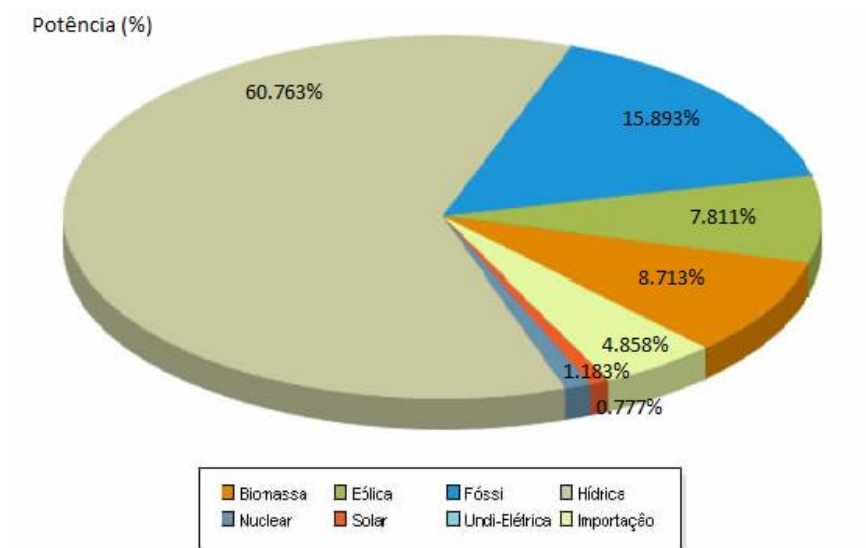
Gráfico 04- Comparação das Matrizes Energéticas.



Fonte: EPE-Empresa de Pesquisa Energética (2015).

O Brasil é um país com grande potencial para geração de eletricidade com fontes renováveis, sendo a principal fonte as usinas hidrelétricas, constata-se que apenas 0,777% da sua matriz elétrica é proveniente da energia solar fotovoltaica, percentual muito abaixo da capacidade que o país pode gerar, sendo que é privilegiado por apresentar altos picos de radiação solar durante todo ano.

Gráfico 05- Matriz elétrica do Brasil do ano de 2018.



Fonte: BIG (2018).

2.2. Energia Solar

Energia solar é a fonte de energia mais importante para os seres vivos. Segundo Lopez (2012), a energia solar é a fonte de energia menos poluente e quase todas as outras fontes são provenientes de forma indireta dela.

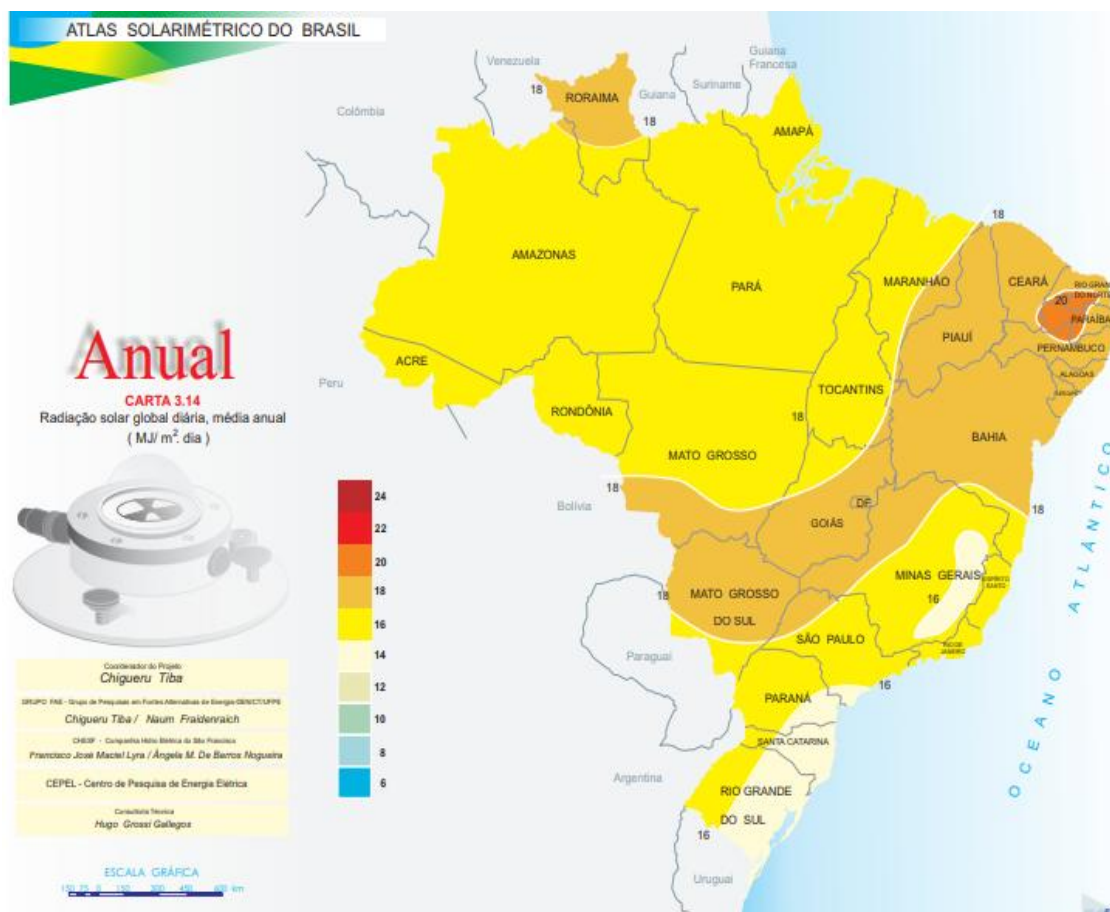
A sociedade aproveita diretamente a energia solar de duas maneiras, utilizando os raios solares como calor para aquecimento e para a produção de eletricidade, conhecida como energia solar térmica; e a conversão direta da luz solar em eletricidade, denominada como energia solar fotovoltaica.

2.2.1. Radiação Solar

A radiação solar sobre determinadas materiais, principalmente os semicondutores, é responsável pela conversão direta da energia solar em energia elétrica. Os raios solares sofrem modificações quando atravessam a atmosfera até chegar ao solo, os fatores são; a espessura da massa de ar, nuvens e poluição. Portanto, o rendimento de painéis fotovoltaicos está diretamente relacionado a incidência desses raios solares sobre os painéis.

De acordo com o mapa solarimétrico do Brasil, os índices de radiação solar do país durante todo ano coloca-o como um dos maiores países com a capacidade de geração de energia elétrica fotovoltaica, porém os investimentos na área fotovoltaica são pequenos. A região nordeste é apresenta os maiores picos de radiação solar, como mostra a figura 01.

Figura 01- Atlas Solarimétrico do Brasil do ano de 2000.



Fonte: Atlas solarimétrico do Brasil (2000).

2.2.2. Tipos de Radiação Solar

De acordo com Villalva (2015), a radiação solar divide-se em três tipos; radiação direta, radiação difusa e radiação global. A radiação direta corresponde aos raios solares que incidem diretamente em linha reta no plano horizontal com uma inclinação que depende do ângulo zenital do sol.

A radiação difusa são os raios solares que chegam indiretamente ao plano, isso ocorre porque os raios solares sofrem difração na atmosfera e sofrem reflexão quando há presença de nuvens e de outros objetos, como por exemplo; árvores e edificações. A radiação global é a soma da radiação direta e difusa.

2.2.3. Irradiância

Irradiância é o termo usado para quantificar a radiação solar, refere-se à unidade de potência por área, expressa em W/m^2 (watt por metro quadrado), especificamente é a taxa da variação de energia com o tempo sobre uma determinada área.

Através da irradiância podemos avaliar a eficiência das células fotovoltaicas, isso porque os fabricantes das células usam como padrão a irradiância da superfície terrestre que é de 1000 W/m^2 , então medindo a irradiância em um painel fotovoltaico ao longo do dia, podemos calcular a quantidade de energia que o painel receberá durante o dia.

2.2.4. Insolação

Insolação é a quantidade de energia que incide sobre um corpo em um determinado intervalo de tempo, expressa na unidade Wh/m^2 (watt-hora por metro quadrado). “A quantidade de energia produzida por um sistema fotovoltaico depende da insolação do local onde é instalado” (Villalva. p.31. 2015).

A medida de insolação é importante para o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos numa determinada região.

Atualmente a Alemanha é o país que lidera a capacidade de energia solar fotovoltaica por habitante, a sua melhor insolação é cerca de 3500 h/m^2 por dia, se compararmos com o Brasil que tem valores de insolação diária entre 4500 Wh/m^2 e 6000 Wh/m^2 , mostra que nosso país tem um imenso potencial para geração de energia fotovoltaica, mas infelizmente o aproveitamento é mínimo.

2.3. Energia Solar Fotovoltaica

A Energia Solar fotovoltaica é uma fonte de energia renovável que converte diretamente a luz solar em energia elétrica. Atualmente é uma das fontes energia elétrica cujo uso que mais cresce no mundo.

2.3.1. Efeito Fotovoltaico

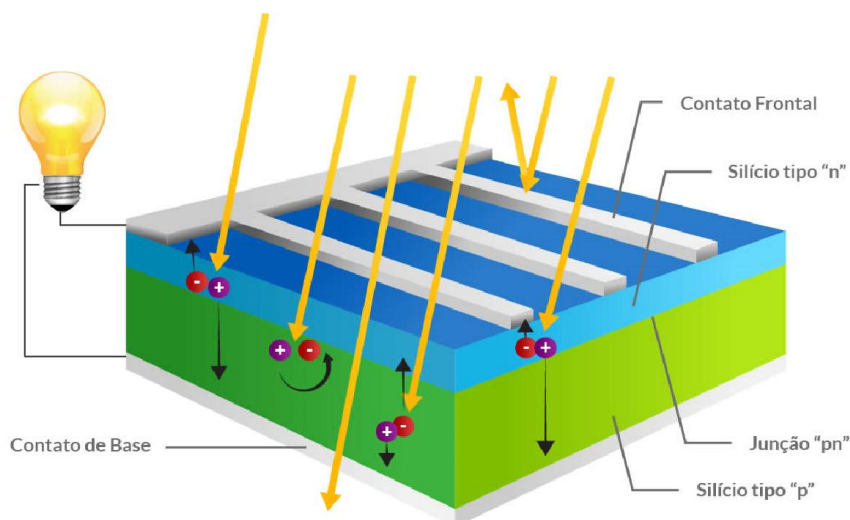
Segundo Jonh Balfour (2016), a partir de 1839, que iniciaram uma série de descobertas, as quais acabaram em passos lentos dando início a criação da tecnologia fotovoltaica. O primeiro experimento que se tem registrado foi do cientista francês Alexandre-Edmond Becquerel, o qual colocando duas placas de latão em um líquido condutor notou-se a presença de uma luz nas placas e evidenciou que foi gerada uma corrente elétrica, ficando conhecido como efeito fotovoltaico.

Em outras palavras, o efeito fotovoltaico é um fenômeno físico que converte diretamente a luz solar em eletricidade.

2.3.2. A Célula Fotovoltaica

De acordo com Villalva (2015), as células fotovoltaicas são constituídas, pelo menos, por duas camadas de semicondutores uma com configuração P (presença de lacunas) e a outra configuração N (elétrons em excesso) formando-se uma junção P-N, uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior.

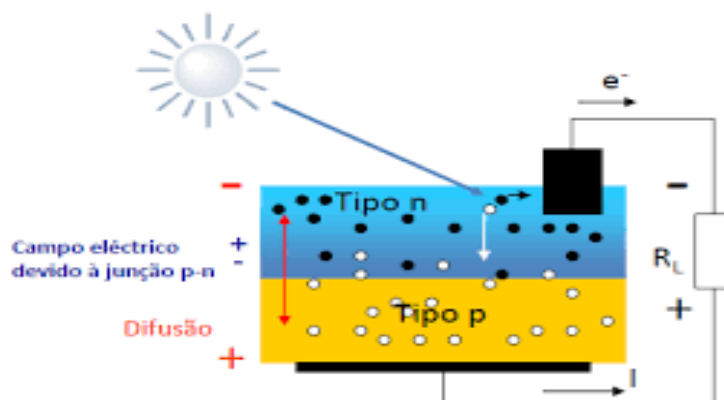
Figura 02- Funcionamento da célula fotovoltaica.



Fonte: wgsol.com.br (2018).

A exposição a luz faz os elétrons em excesso saltarem para o semicondutor que apresenta lacunas, originando um campo elétrico. Segundo Villalva (2015), “os elétrons em movimento são coletados pelos eletrodos metálicos” e se houver um circuito fechado os elétrons irão percorrer o circuito até o eletrodo do semicondutor da configuração N, originando uma corrente elétrica. A figura 03 esquematiza a formação de corrente elétrica gerada pela célula fotovoltaica quando recebe a luz solar.

Figura 03 – Ilustração da Junção P-N.



Fonte: Timane (2010).

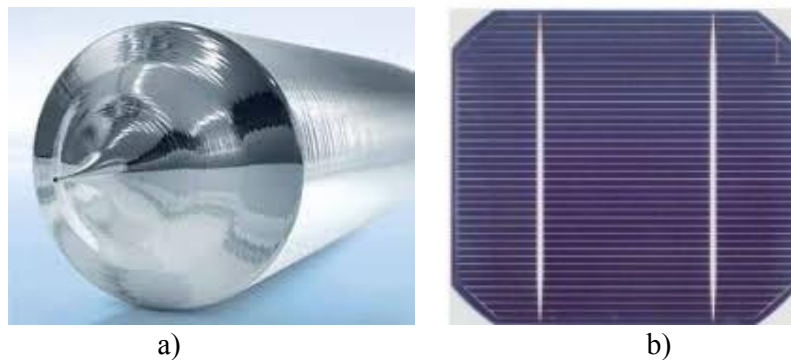
2.3.3. Tipos de célula fotovoltaica

Os tipos de semicondutores mais utilizados nas células fotovoltaicas são basicamente três; silício monocristalino, silício multicristalino e silício amorfo, as diferenças entre eles estão na estrutura atômica.

2.3.3.1. Silício monocristalino

O silício monocristalino é um produto obtido a partir do silício ultrapuro aquecido em altas temperaturas, o processo resulta em um lingote de silício monocristalino de estrutura atômica homogênea mostrado na figura 04.a. Segundo Balfour (2016), o lingote é fatiado em espessura que varia de 0,2 mm a 0,3 mm, cada fatia (*wafer*) é uma célula solar monocristalina, em seguida é cortado as bordas para proporcionar mais espaços nos módulos fotovoltaico. Os *wafers* são submetidos a dopagens para formar camadas de silício P e N. O produto resultante é a célula fotovoltaica mostrada na figura 04.b.

Figura 04 – Silício monocristalino: a) Lingote; b) célula fotovoltaica



Fonte: Villalva (2015).

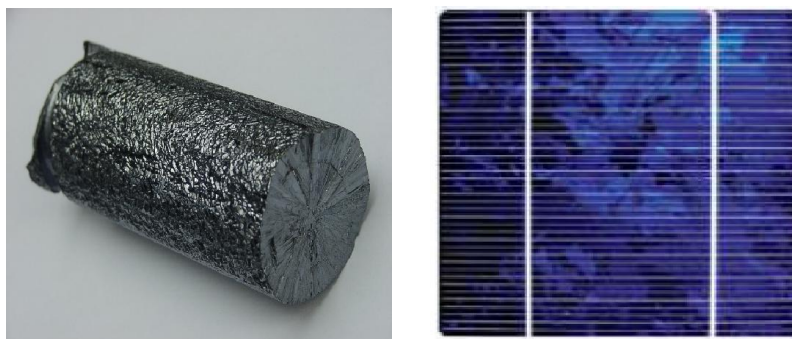
A vantagem desse tipo de célula é sua taxa eficiência que compreende de 15% a 21%, entretanto, seu custo de produção é alto. Embora, o Brasil seja um dos principais produtores de silício, o processo de fabricação das células fotovoltaicas é feito fora do país, no qual encarece ainda mais os projetos de implantação no nosso país.

2.3.3.2. Silício multicristalino

O silício multicristalino ou policristalino é menos ordenado que o monocristalino, e seu processo de fabricação é mais barato. O lingote produzido desse material é formado por um aglomerado de pequenos cristais, tendo aparência como a figura 05.a. Assim como o

monocristalino o lingote é fatiado em *wafers* em seguida é transformado em células fotovoltaicas, conforme a figura 05.b.

Figura 05 – Silício multicristalino: a) Lingote; b) célula fotovoltaica



a)

b)

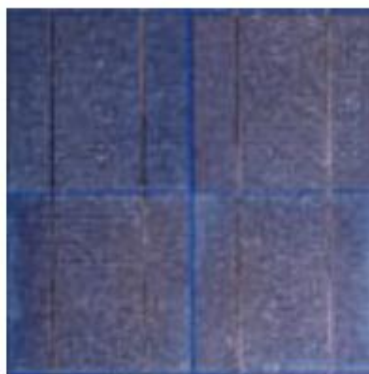
Fonte: Villalva (2015).

As células policristalinas tem uma taxa de eficiência de 13 a 16%, comparadas as monocristalinas sua eficiência é menor, mas em contrapartida o processo de fabricação é mais barato.

2.3.3.3. Silício amorfo

O silício amorfo é uma forma não cristalina de estrutura homogênea bem fraca, mostrado na figura 06.

Figura 06 – Célula fotovoltaica de silício amorfo.



Fonte: Wanderley (2013).

Sendo o semicondutor mais barato de fabricar, sua eficiência é muito baixa entre 5% e 8%. A Célula de silício amorfo é utilizada na tecnologia de filmes finos, os quais têm melhor aproveitamento para níveis baixos de radiação solar.

2.4. Painel Fotovoltaico

Um painel fotovoltaico ou módulo fotovoltaico é constituído por um conjunto de células fotovoltaicas. Essas células são conectadas em série ou paralelo para produzir tensões e

correntes elétrica desejadas, mas normalmente são conectadas em série para que as tensões sejam somadas e a corrente permanecer constante. A figura 07 abaixo mostra um modulo constituído por 72 células fotovoltaicas.

Figura 07 – Painei Fotovoltaico



Fonte: Autoria própria (2018)

2.4.1. Rendimento

Calcular o rendimento dos painéis FV não é uma tarefa fácil, porque não é só coletar dados para obter o rendimento, contudo existem N fatores que melhoram e/ou afetam o rendimento das placas, ou seja, tem que haver todo um estudo prévio do local para obtenção de informações específicas da região, assim será possível projetar um sistema fotovoltaico altamente eficaz. Os principais fatores são:

- Radiação Solar – Quanto maior os índices de radiação do local maior será o rendimento dos painéis FV instalados.
- Temperatura – As elevadas temperaturas comprometem o rendimento dos módulos.
- Presença de nuvens (efeito sombreamento) – Quando há presenças de nuvens no local, os raios solares sofrem difrações, logo grande parte da radiação direta não são captada pelas células fotovoltaicas, causando baixo rendimento dos painéis.
- Inclinação e Orientação do módulo FV – Para obter o maior rendimento das células fotovoltaicas é necessário estudar a melhor inclinação do módulo e sua orientação no local que será instalado, pois esses dois fatores são responsáveis pelas incidências dos raios solares sobre os painéis. Esses estudos são com base a trajetória da terra em torno sol, cuja a intensidade dos raios solares variam com o tempo.

Portanto, de acordo com Lopez (2012), para calcular o rendimento das células fotovoltaicas é determinada pela seguinte equação:

$$\eta = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A \times I} \times 100\% \quad (1)$$

Onde: η é o rendimento; $P_{m\acute{a}x}$ é a potência máxima de saída; A é área do módulo e I é a irradiância padrão adotada pelas indústrias fotovoltaicas.

2.4.2. Potência Gerada

Segundo Lopez (2012), a potência gerada depende basicamente de dois fatores: a radiação solar incidente no painel fotovoltaico e a potência instalada no circuito. Então, a potência gerada pode ser expressa na seguinte equação:

$$P_g = \eta \times A \times R_s(t) \quad (2)$$

Onde: P_g é a potência gerada; η é o rendimento do sistema; A é a área do painel solar e $R_s(t)$ é a radiação solar incidente em função do tempo.

2.5. Aplicações dos Painéis Fotovoltaicos

As aplicações dos painéis FV no geral são classificadas em duas categorias; sistemas autônomos e sistemas fotovoltaicos conectados à rede. A Tabela 01, mostra exemplos de classificação.

Tabela 01 – Classificação dos Sistemas fotovoltaicos.

Tipo de sistema		Alimentação dos consumidores	Acumulação de energia elétrica	Componentes básicos	Aplicações típicas
Sistemas isolados	Puros	Tensão contínua	Não	Seguidor de potência máxima (desejável)	Bombeamento, produção de hidrogênio etc.
			Sim	Controlador de carga e acumulador	Iluminação, telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica, proteção catódica etc.
		Tensão alternada	Não	Inversor	Bombeamento, uso industrial etc.
			Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor	Eletificação rural, bombeamento, telecomunicações, uso industrial, iluminação etc.
	Híbridos	Tensão contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar	Telecomunicações, iluminação, sinalização rodoviária e ferroviária etc.
		Tensão alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador opcional e gerador complementar	Iluminação, uso industrial etc.
Sistemas conectados à rede elétrica	Puros	Tensão alternada	Não	Inversor	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
	Híbridos	Tensão alternada	Não	Inversor e gerador complementar	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
			Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador	Eletificação rural, uso industrial, suprimento ininterrupto de energia etc.
NOTA Todos os tipos de sistemas possuem gerador fotovoltaico entre os componentes básicos.					

Fonte: ANEEL- ABNT NBR 11704:2008.

2.5.1. Sistemas Autônomos

Segundo Souza (2016), os sistemas autônomos ou sistemas isolados são empregados em regiões distantes da rede de distribuição de energia elétrica, no qual o acesso direto é inviável financeiramente. Existem dois tipos de sistemas autônomos: com armazenamento ou sem armazenamento. A primeira pode ser aplicada para fornecer eletricidade a residências rurais que não tem acesso a rede elétrica, a energia elétrica produzida pelos painéis FV durante o dia é armazenada em baterias para sua utilização a noite. Outras aplicações com armazenamentos são sinalizadores de estradas, pequenos aparelhos portáteis, inclusive em iluminação pública. A figura 08 abaixo mostra a utilização do módulo FV para geração de energia durante o dia, em seguida armazenada em baterias acopladas no poste e aplicada na iluminação pública no período da noite.

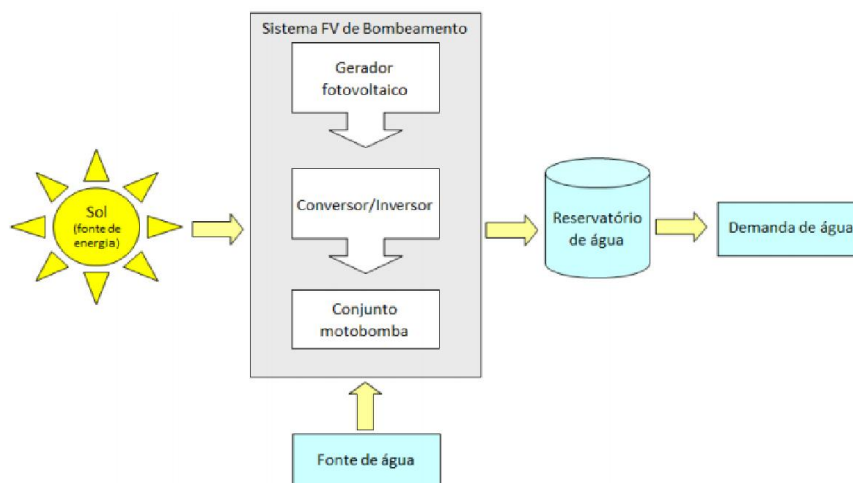
Figura 08 – Iluminação pública por sistema fotovoltaico.



Fonte: www.ambienteenergia.com.br (2018)

As aplicações autônomas sem armazenamento são consideradas aquelas que enquanto a geração de energia está ocorrendo ao mesmo tempo está sendo utilizada. Um exemplo desse tipo de aplicação é o sistema fotovoltaico de bombeamento ilustrado na figura 09.

Figura 09 – Diagrama esquemático de um sistema fotovoltaico de bombeamento.



Fonte: PINHO; GALDINO (2014)

2.5.2. Conectados à Rede

O sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica opera em paralelismo com a rede de eletricidade. De acordo com Villalva (2015):

O objetivo do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica é gerar eletricidade para o consumo local, podendo reduzir ou eliminar o consumo da rede pública ou mesmo excedentes de energia. Residências e empresas que possuem sistemas fotovoltaicos conectados à rede e produzem excedente deixam de ser consumidores e tornam-se produtores de eletricidade. (VILLALVA, 2015, p. 145)

Para os sistemas conectados à rede, segundo ANEEL podem ser classificados em três categorias, de acordo com o tamanho da potência instalada, são elas: microgeração, minigeração e usinas de eletricidade.

2.5.2.1. Microgeração e Minigeração

Para ser considerado microgeração o sistema FV instalado, de acordo ANEEL na resolução normativa nº 687/2015 a potência instalada tem que ser inferior ou igual 75kW, e minigeração a potência instalada tem que ser superior a 75kW ou menor ou igual 3MW.

Os sistemas fotovoltaicos de microgeração são projetos pequenos usados para atender unidades consumidoras relativamente menores, como residências, empresas, condomínios, comércios, etc. São fáceis de serem instalados, necessitando além dos painéis FV, inversores de corrente, baterias e controladores de carga. Contudo, os consumidores passam ser autossuficientes no consumo de energia elétrica.

A minigeração são projetos um pouco maiores que os utilizados na microgeração, nesse caso são consumidores elevados em energia elétrica, portanto os projetos têm o objetivo de suprir parcialmente o consumo.

No Rio Grande do Norte, algumas instituições federais já implementaram usinas solares de minigeração distribuída, como é o caso da UFERSA- Campus Central que tem uma usina em operação, figura 10, contendo 580 painéis, potência total instalada de 150,8 kW, o que corresponde a 5% do consumo.

Figura 10 – Usinar Solar Fotovoltaico da UFERSA.



Fonte: www.usinasolar.ufersa.edu.br (2017)

2.5.2.2. Usinas de Eletricidade Fotovoltaica

As Usinas de eletricidade fotovoltaicas são empreendimentos com capacidades de geração superiores a 3MW. De acordo com Villalva (2015), são usinas conectadas ao sistema elétrico que utilizam transformadores e linhas de transmissão, até chegar nos seus consumidores.

No estado do RN existem poucas usinas de eletricidade fotovoltaica, uma delas é o Usina Assú V, figura 11, que está localizada no município de Assú. Segundo o BIG, a usina é capaz de gerar 30MW de potência representando apenas 0,0188% da capacidade do país.

Figura 11 – Usina Assú V



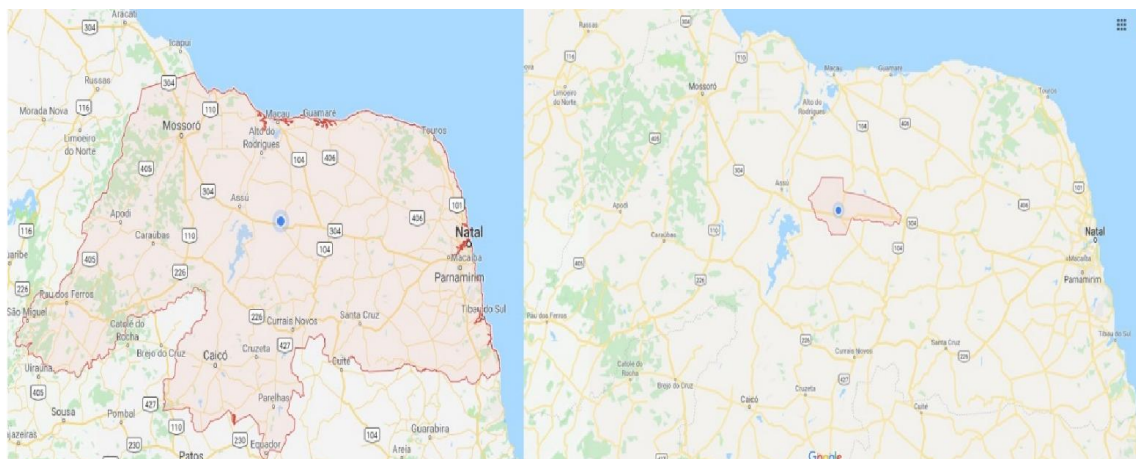
Fonte: www.omossoroense.com.br (2017)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

A cidade de Angicos, área foco deste trabalho, está localizada na região central do estado do Rio Grande do Norte. Por tratar-se de um município do interior do estado, o desenvolvimento do trabalho torna-se relevante para a comunidade local. A localização geográfica é apresentada a seguir na figura 12.

Figura 12 – Localização geográfica do município de Angicos-RN.



Fonte: Autoria própria (2018) – Adaptado do Google Maps

3.2. Obtenção dos Dados

3.2.1. Localização da Coleta dos Dados

A coleta dos dados é realizada em campo aberto na Universidade Federal Rural do Semi-Árido no Centro Multidisciplinar de Angicos, rua Gamaliel Martins Bezerra, nº 587. Alto da Alegria, Angicos-RN, mas precisamente no local demarcado na figura 13.

Figura 13 – Local da coleta de dados.



Fonte: www.angicos.ufersa.edu.br (2018)

3.2.2. Materiais Utilizados

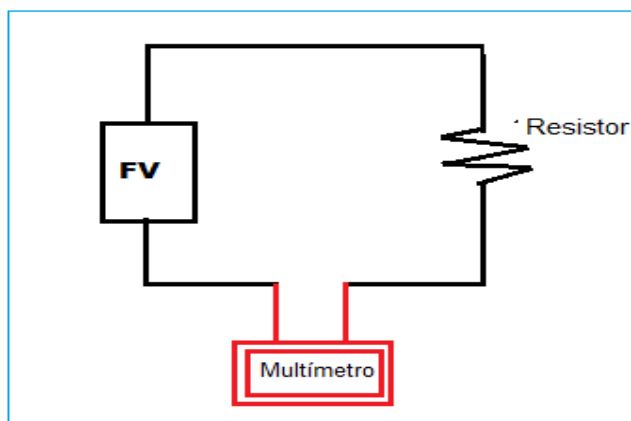
Os materiais utilizados para obtenção dos dados da pesquisa foram:

- Um painel fotovoltaico de dimensões 36 x 24 cm, contendo 72 células fotovoltaicas, com capacidade de potência máxima de 10Wp.
- Um resistor de potência de 15 ohms (Ω)
- Um multímetro
- Três tubos de PVC
- Um fio de cobre

3.2.3. Métodos

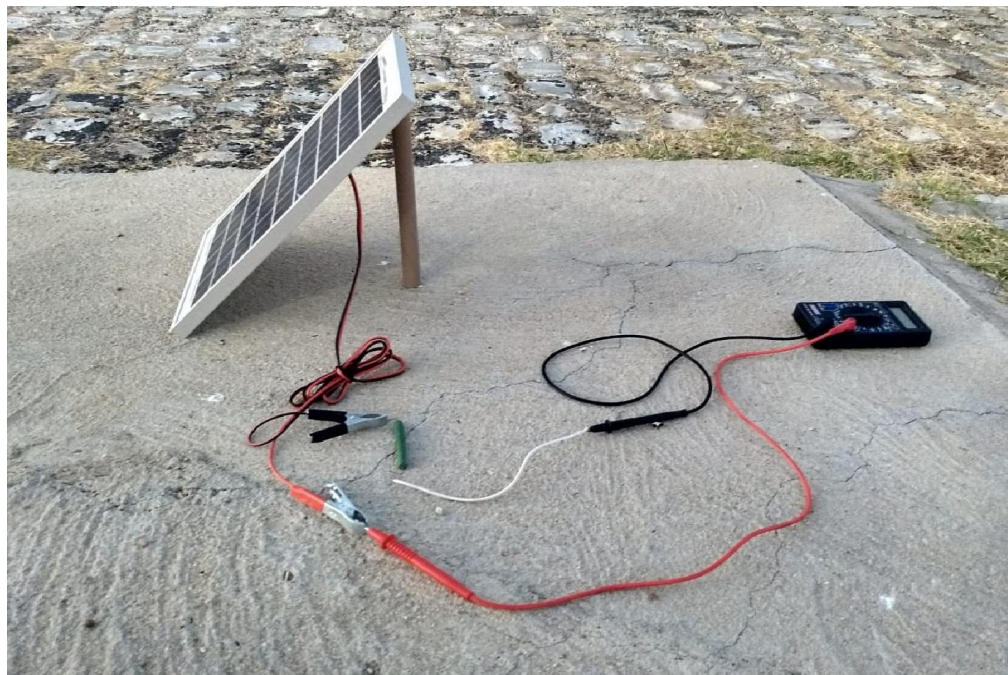
Para avaliação da potência gerada por um painel fotovoltaico em diversos horários, inclinações de 0°; 30°; 45°; 60° e 90° em relação ao solo e orientação sempre ao ocidente, portanto, foram necessários a montagem de um circuito simples puramente resistivo e um multímetro conectado em série para medição da corrente como esquematizado na figura 14. O aparato experimental, ilustrado na figura 15, é montado de forma simples e rápida, obtendo os dados de imediato.

Figura 14 – Esquema de um circuito simples



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 15 – Aparato experimental.



Fonte: Autoria própria (2018).

3.3. Obtenção de Parâmetro

Alguns princípios de eletricidade são necessários para atingir os objetivos propostos. Após o registro da corrente, obteve a tensão e a potência gerada pelo painel fotovoltaico, através das relações a seguir:

- Lei de Ohm.

$$V = RI \quad (3)$$

Onde: V é tensão; R é a resistência e I é a corrente.

- Potência em Circuitos elétricos.

$$P = VI \quad (4)$$

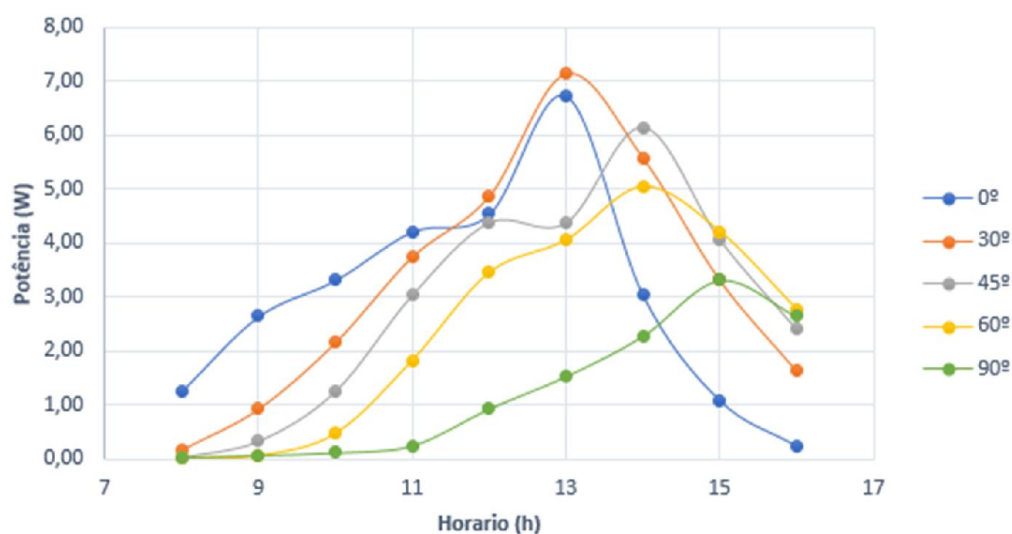
Onde: P é a potência; V é a tensão e I é a corrente.

4. RESULTADOS

4.1. Avaliação da Potência Gerada em Dias Ensolarados

De acordo com o gráfico 06, a inclinação de 30° graus foi a que obteve o melhor desempenho às 13h, seguida da inclinação de 0° graus.

Gráfico 06 – Potência gerada em dia ensolarado.



Fonte: Autoria própria (2018).

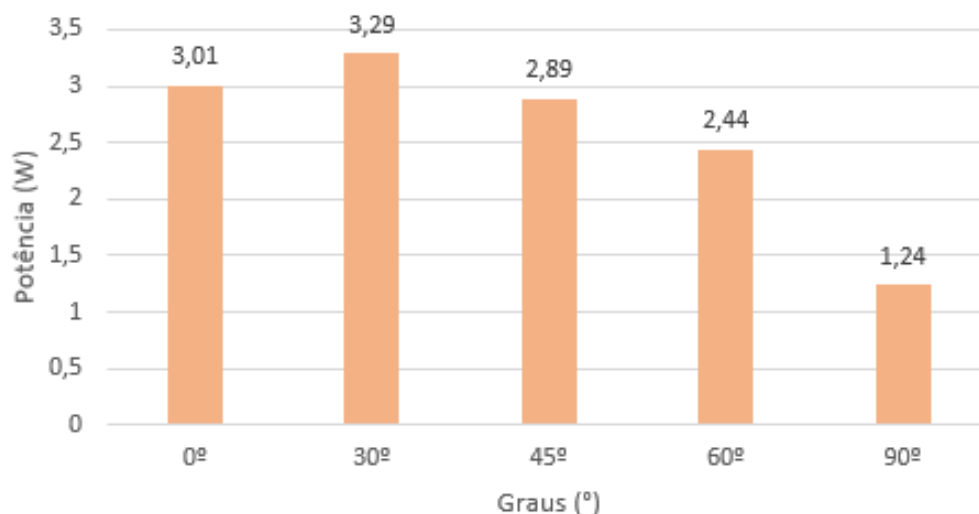
Entretanto, a inclinação de 30° graus nas primeiras 4 horas teve um desempenho inferior em relação a inclinação 0° graus, mas a potência média, ilustrada gráfico 07, obtida foi melhor, cujos dados estão representados na tabela 02. Com isso, concluímos que para obter o melhor rendimento do painel fotovoltaico durante o percurso do dia nas condições de temperatura ideias e sem presenças de nuvens é a inclinação uma intermediária entre 0° 30° graus.

Tabela 02 - Potência média durante o dia ensolarado.

Inclinação	0°	30°	45°	60°	90°
Potência Média	3,01	3,29	2,89	2,44	1,24

Fonte: Autoria própria (2018).

Gráfico 07 – Potência Média durante o dia ensolarado.



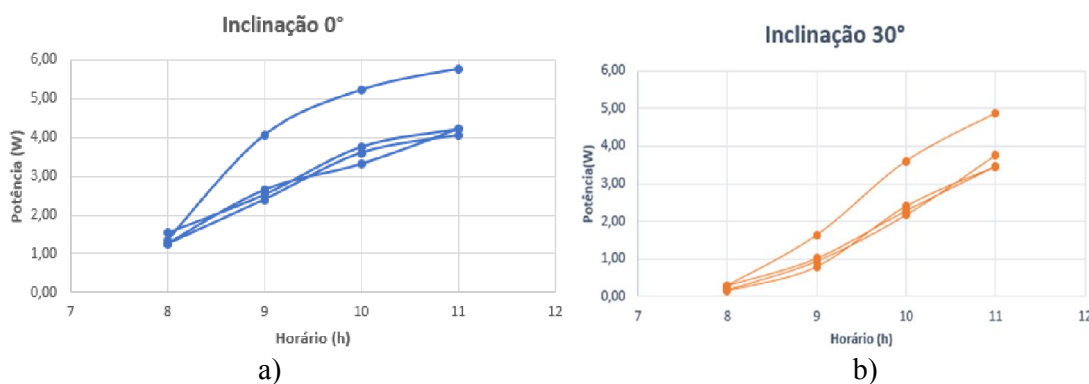
Fonte: A autoria própria (2018).

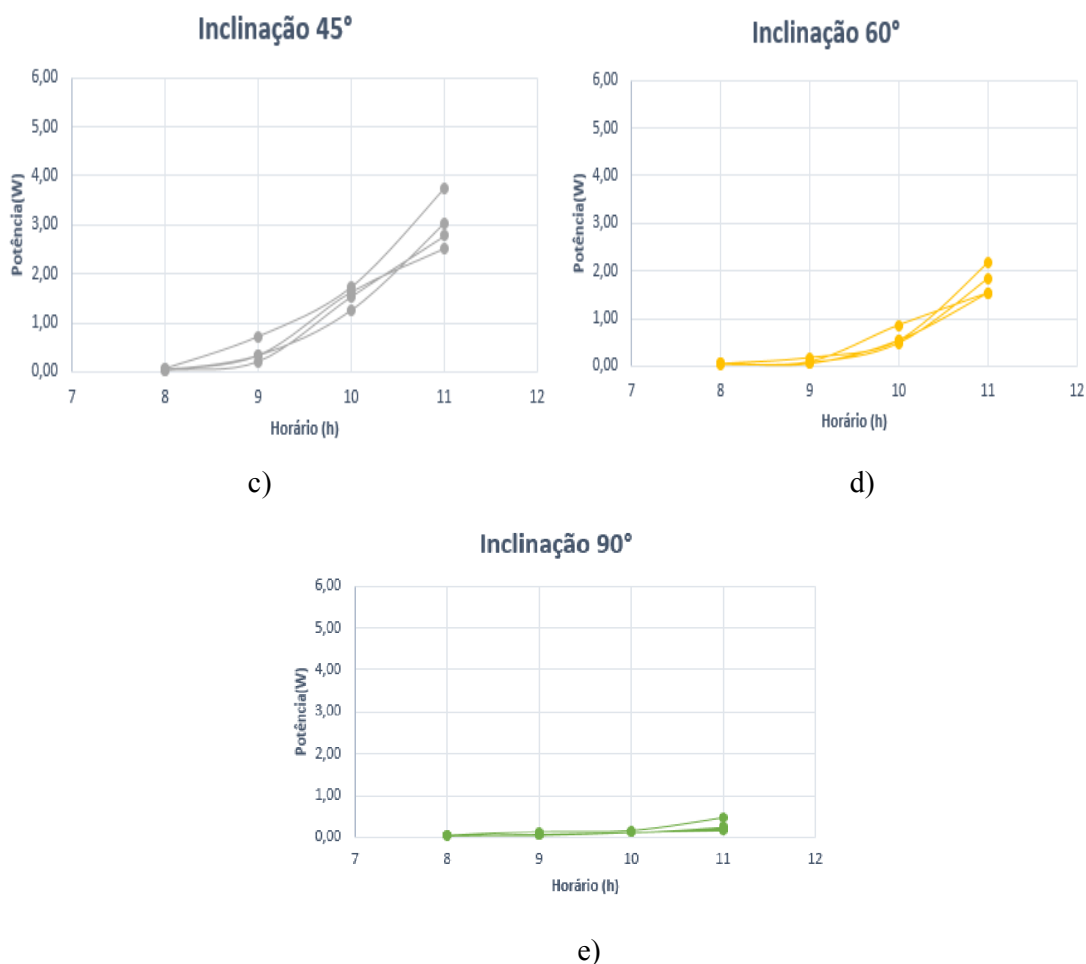
É importante salientar que como clima semiárido da região de Angicos-RN nos meses de julho e agosto, apresentam temperaturas elevadas, de acordo com Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), durante o intervalo que compreende de 8h até 16h, chegam a variar entre 28 a 36 graus Celsius. Essas temperaturas elevadas afetam o rendimento do painel fotovoltaico.

4.2. Avaliação da Potência Gerada em Dia Ensolarado Durante Turno Matutino.

Foi verificado que nas primeiras horas da manhã o rendimento da potência gerada pelo painel fotovoltaico é muito baixo para as inclinações maiores que o plano horizontal. O gráfico 08, mostra comportamento do rendimento do painel fotovoltaico durante 5 dias no intervalo compreendido entre 8h às 11h.

Gráfico 08 – Desempenho do painel durante o dia: a) inclinação 0°; b) inclinação 30°; c) inclinação 45°; d) inclinação 60°; e) inclinação 90°.





Fonte: Autoria própria (2018)

Devido a trajetória do sol, a radiação direta não é captada pelo módulo com tanta eficiência nas inclinações diferentes do plano horizontal. Portanto, a escolha incorreta da inclinação do painel diminui a captação da radiação direta, afetando a potência gerada, reduzindo a produção de energia elétrica.

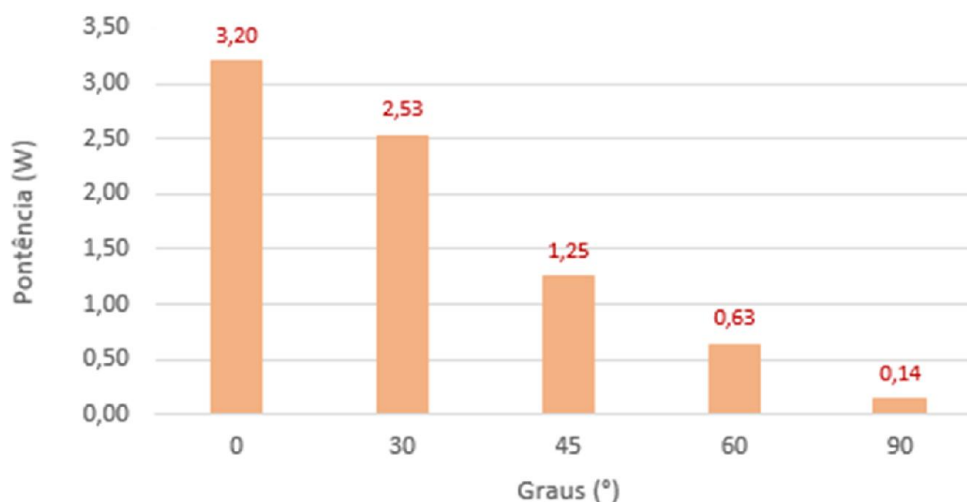
A potência média produzida pelas inclinações durante o intervalo de 8h às 11h, cujos dados estão apresentados na tabela 03 e representados gráfico 09, mostram que a inclinação no plano horizontal tem valor mais expressivo referente as demais.

Tabela 03 - Potência média durante o intervalo de 8h às 11h.

Inclinação	0°	30°	45°	60°	90°
Potência Média	3,20	2,53	1,25	0,63	0,14

Fonte: Autoria própria (2018).

Gráfico 09 – Potência média durante o intervalo de 8h às 11h.

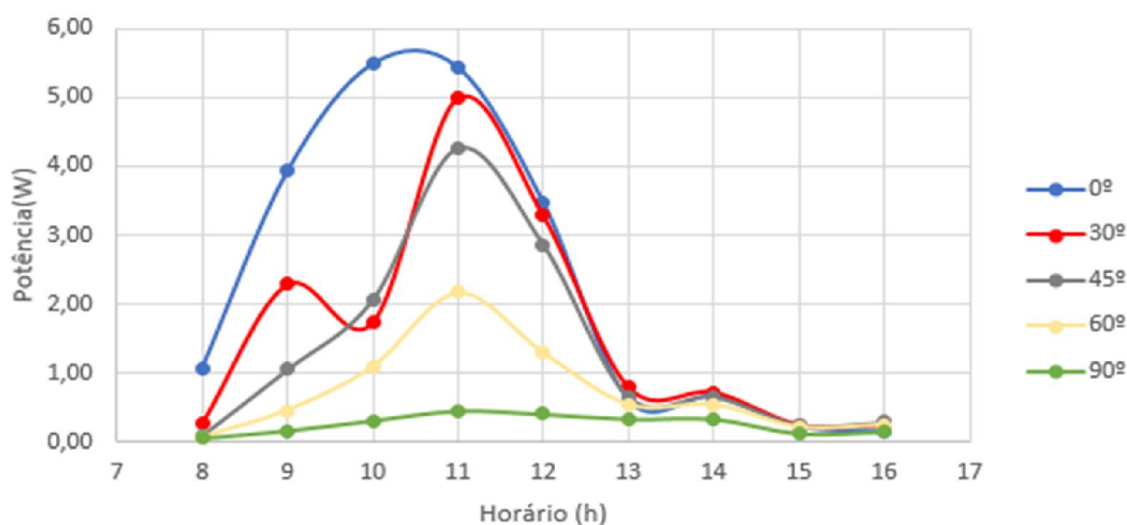


Fonte: Autoria própria (2018).

4.3. Avaliação da Potência Gerada em Dias Parcialmente Nublados.

Avaliar a potência gerada em dias parcialmente nublados não é uma tarefa fácil. O efeito sombreamento causado pela presença de nuvens provoca uma instabilidade no rendimento das células fotovoltaicas, como podemos observar no gráfico 10 abaixo:

Gráfico 10 – Potência gerada em dias nublados.



Fonte: Autoria própria (2018)

Portanto, a variação desordenada da potência é provocada pela exposição da radiação difusa e radiação direta. Na presença de nuvens o rendimento do painel fotovoltaico reduz consideravelmente comparado com dias ensolarados, por causa da exposição da radiação difusa, cujos dados estão apresentados na tabela 04.

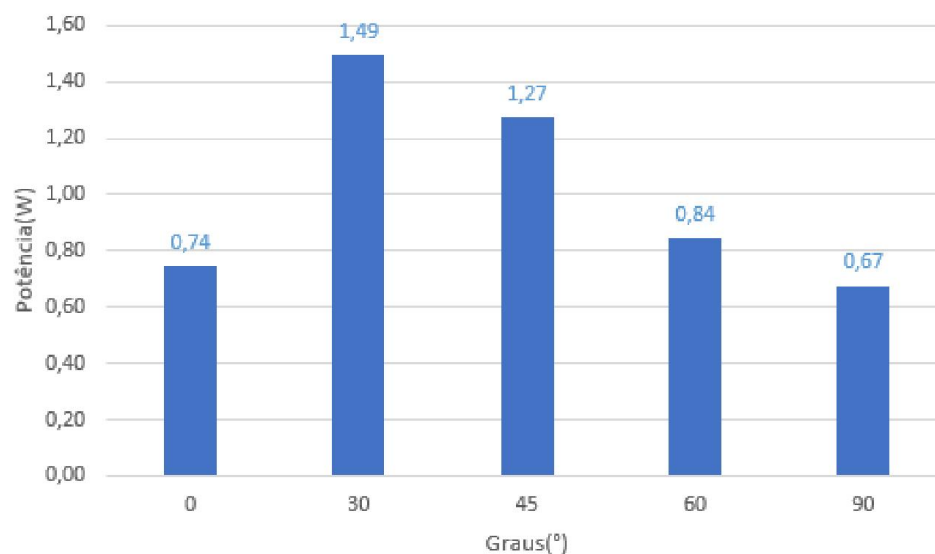
Tabela 04 - Potência média durante os períodos parcialmente nublado.

Inclinação	0°	30°	45°	60°	90°
Potência Média	0,74	1,49	1,27	0,84	0,67

Fonte: Autoria própria (2018).

Quanto maior for a quantidade de nuvens presentes no céu, menor será a potência gerada e menos relevância terá a inclinação do painel fotovoltaico, porque o painel deixa de receber radiação direta, passando a captar a radiação difusa, os raios solares agora alcançam a superfície terrestre todas as direções tornando a inclinação do painel irrelevante. O gráfico 11, mostra a potência média obtida durante os períodos parcialmente nublados.

Gráfico 11 - Potência média durante os períodos parcialmente nublados.



Fonte: Autoria própria (2018).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude da crescente demanda por eletricidade proveniente de energias renováveis, encontra-se na energia solar fotovoltaica uma das saídas para atender a demanda da população. O uso da energia solar fotovoltaica ainda não tem grande significado na matriz energética mundial e nacional, embora nos últimos anos venha em constante crescimento. No Brasil, ainda existem lugares que não são atendidos por distribuidoras de rede elétrica, principalmente nos interiores do país como Angicos-RN, portanto este trabalho é uma ferramenta muito relevante para futuras aplicações de sistemas fotovoltaicos isolados.

Os estudos realizados por esse trabalho, avaliou a relação da potência gerada por um painel fotovoltaico mediante as condições climáticas e relacionando também com determinadas inclinações. Os resultados obtidos foram os seguintes; em dias ensolarados o rendimento do painel foi significativo, pois captava a radiação direta, e que em dias parcialmente nublados o rendimento reduzia-se consideravelmente, por causa da presença de nuvens e que quanto mais nublado o céu está menor será o rendimento do painel, devido a captação da radiação difusa. Também se verificou que para obter o melhor rendimento, a inclinação para o painel deve ser entre 0° e 30° graus.

Portanto, a região do semiárido possui um grande potencial em aproveitamento da energia solar devido ao seu clima. Trabalhos dessa natureza são importantes para a disseminação da cultura fotovoltaica na região.

Mediante o que foi exposto, objetivo do trabalho foi atendido, deixando como sugestão para trabalhos futuros, desenvolver um método que possa estimar a cobertura de nuvens para analisar com mais precisão do efeito sombreamento e a realização de um trabalho para contemplar a viabilidade econômica na implantação da tecnologia fotovoltaica da região.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11704:2008** Sistemas fotovoltaicos – Classificação. Rio de Janeiro, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de Informação de Geração**. Brasília, 2018. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

_____. **Resolução Normativa N° 687/2015**. 24 de Novembro de 2015.

AMBIENTE E ENERGIA. **Energia Solar é usada na iluminação pública em cidade de Santa Catarina**. 2015. Disponível em <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/01/energia-solar-e-usada-na-iluminacao-publica-em-cidade-de-santa-catarina/25007#.W4NPSs5KjIU>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

BALFOUR, John; SHAW, Michael; NASH, Nicole Bremer. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. Tradução Luiz Claudio de Queiroz Faria; Revisão técnica Marco Aurélio dos Santos. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO-CRESESB. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=2>>. Acesso em: 26 jul. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica**. Brasília, 2018. Disponível em <<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 21 jul. 2018.

ENERGIA HELIOTÉRMICA. **Radiação Difusa**. Brasília, 2018. Disponível em <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/glossario/radiacao-difusa>>. Acesso em: 07 ago. 2018.

GOOGLE MAPS. **Angicos-RN**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Angicos+-+RN/@-5.6424749,-36.6571048,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x7b1002b783dd003:0xec506e85107798fe!8m2!3d-5.5967043!4d-36.6525696?hl=pt-BR>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

HALLIDAY, David. **Fundamentos da física, volume 3: eletromagnetismo**. Tradução e revisão técnica Ronaldo Sérgio de Biasi. 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Estações Automáticas: Ipanguaçu-RN**. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTM3Mg==>. Acesso em: Jul. 2018.

JORNAL O MOSSOROENSE. **Usina Solar Assú V recebe certificação da ONU pela redução de emissões de carbono**. 2017. Disponível em: <<http://www.omossoense.com.br/usina-solar-assu-v-recebe-certificacao-da-onu-pela-reducao-de-emissoes-de-carbono/>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia Solar para Produção de Eletricidade**. 1.ed. São Paulo: Artliber Editora, 2012.

PALZ, Wolfgang. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. Tradução Noberto de Paula Lima; Revisão Nilza Agua. 1.ed. Curitiba: Hemus, 2002

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (Org.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Ed. Cresesb Cepel. 2014. p. 265.

REN21. **Renewables 2017 Global Status Report**. Paris, 2017.

SOUZA, J. R. P. S. **Energia solar fotovoltaica: Conceitos e Aplicações para o Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em: <<http://mnpef.proesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/Dissertação%20-%20Ricardo.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2018.

TIMANE, H. A. **Princípio de Funcionamento do Sistema Fotovoltaico Ligado à Rede Pública**. Monografia – Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2010. Disponível em: <https://energypedia.info/images/5/55/PT_SISTEMA_FOTOVOLTAICO_LIGADO_Timane.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2018.

UFERSA. **Usina Solar da UFERSA**. 2017. Disponível em: <<https://usinasolar.ufersa.edu.br>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

UFERSA. **Campus Angicos: Apresentação**. 2017. Disponível em: <<https://angicos.ufersa.edu.br>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

VILLALVA, Marcelo Grandella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. 2.ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2015.

WANDERLEY, A. C. F. **Perspectivas de Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Geração de Energia Elétrica do Rio Grande do Norte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/15488>>. Acesso em: 07 ago. 2018.

WGSOL. **O efeito fotovoltaico – o sol fabricando eletricidade**. 2018. Disponível em: <<https://wgsol.com.br/o-efeito-fotovoltaico-o-sol-fabricando-eletricidade/efeito-fotovoltaico/>>. Acesso em: 03 ago. 2018.