



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
Curso de Engenharia Mecânica

LUCAS COSTA DE CARVALHO

Uso de Dissipador Térmico em Placas Solares

São Luís

2019

LUCAS COSTA DE CARVALHO

Uso de Dissipador Térmico em Placas Solares

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELO(A) ALUNO LUCAS COSTA DE CARVALHO, E ORIENTADA PELO PROF. DR. LOURIVAL MATOS DE SOUSA FILHO.

.....
ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

São Luís

2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DA UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA

Carvalho, Lucas Costa de.

Uso de dissipador térmico em placas solares / Lucas Costa de Carvalho.
– São Luís, 2019.

54 f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade
Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho.

1.Energia solar. 2.Eficiência exergética. 3.Dissipadores de calor. I.Título

CDU: 621.03

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Uso de Dissipador Térmico em Placas Solares

Autor: Lucas Costa de Carvalho

Orientador: Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta monografia.

Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Prof. Me. Yuri Alisson Barreto Cutrim
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Prof. Me. Lourival Coelho Paixão
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 04 de Dezembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me guiar sempre pelos melhores caminhos e por sempre estar ao meu lado para a superação dos obstáculos. Sou grato por tudo que tem feito e ainda vai fazer em minha vida.

A toda a minha família por acreditarem em mim, me apoiarem e sempre acreditar no meu potencial. Por serem exemplos de superação e persistência, a todo momento me orientando com base nos princípios de humildade, respeito e perseverança.

Ao meu professor orientador Dr. Lourival Matos de Sousa Filho, por ter contribuído de forma extensiva com empenho e conhecimento para enriquecer a minha formação. Por sua paciência e atenção, sempre elucidando minhas dúvidas e comprometendo-se com seus alunos, para que os mesmos se sobressaiam e atinjam patamares maiores.

Ao João Victor Silva Carvalho e ao Carlos Vital Pinto Costa Júnior por se empenharem e ajudarem na coleta e tratamento dos dados que foram fundamentais para a elaboração deste trabalho.

A todos meus amigos do curso de Engenharia Mecânica pela vivência em sala de aula, pelo apoio, força e companheirismo.

Obrigado a todos que mesmo não mencionados aqui, contribuíram para minha formação e realização desse trabalho.

EPIGRAFE

“A função da educação é ensinar a pessoa a pensar intensamente e a pensar criticamente. Inteligência mais caráter - esse é o objetivo da verdadeira educação.”

Martin Luther King Jr.

RESUMO

A utilização de fontes renováveis é uma grande alternativa para diminuir o uso de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, a emissão de gases CO₂ na atmosfera, dessa forma fenômenos como a destruição da camada de ozônio tendem a diminuir. O presente trabalho visa analisar, experimentalmente, o uso de dissipadores térmicos do tipo aletas em placas solares a fim de reduzir a temperatura da mesma e aumentar a sua eficiência exergética. Este projeto foi realizado na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), mais precisamente no Centro de Ciências Tecnológicas (CCT) na cidade de São Luís – MA. A energia solar torna-se atrativa em regiões onde a radiação solar é mais presente durante boa parte do ano, uma vez que esta fonte alternativa depende do sol. A placa fotovoltaica é um dos instrumentos mais importante desse sistema dado que é responsável pela transformação da energia solar em energia elétrica. No entanto, um fator bastante pertinente nesse tipo de energia são as altas temperaturas da placa fotovoltaica, gerando uma perda de eficiência. Com base nessa premissa, o sistema foi analisado em diferentes inclinações e condições climáticas (Ensolarado, parcialmente nublado e nublado), além de adicionado superfícies estendidas (aletas), para determinar uma melhor eficiência na captação e transformação da energia solar em energia elétrica. Dessa forma, de acordo com os dados coletados foi perceptível em alguns dias a diminuição da temperatura ao longo dos horários analisados e o aumento da eficiência exergética em comparação aos dados coletados com a placa fotovoltaica sem os dissipadores térmicos. Além disso, a inclinação que mais se aproximou da literatura foi o de 2° pois trata-se da latitude do local.

Palavras - chave: *Energia Solar, Eficiência Exergética, Dissipadores de calor.*

ABSTRACT

The present work aims to analyze, experimentally, or to use plate fin type heat sinks to reduce its temperature and increase its exergetic efficiency. The use of renewable sources is a great alternative to reduce the use of fossil fuels and, consequently, an emission of gases into the atmosphere of CO₂, thus dangerous as the destruction of the ozone layer affected by the decrease. Solar energy becomes attractive in regions where solar radiation is most present during much of the year, as this alternative source depends on the sun. A photovoltaic plate is one of the most important instruments of this system as it is responsible for transforming solar energy into electrical energy. However, a very relevant obstacle in this type of energy is the high temperatures of the photovoltaic plate, generating a loss of efficiency. Based on this premise, the system was analyzed under different inclinations and climatic conditions (Sunny, cloudy and cloudy apart), as well as extended applied layers (fins), to determine a better efficiency in the capture and transformation of solar energy into electrical energy. Thus, the agreement with the collected data was noticeable in some days until the temperature decrease over the analyzed hours and the increase of the exergetic efficiency in comparison to the data collected with a photovoltaic plate without thermal dissipators. In addition, a slope that comes closest to the literature was 2 ° because it is the local latitude. This project was carried out at the State University of Maranhão (UEMA), more precisely at the Center of Technological Sciences (CCT) in the city of São Luís - MA.

Keywords: Solar Energy, Exergetic Efficiency, Heatsinks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Matriz elétrica brasileira (Adaptado ANEEL, 2019).....	18
Figura 2.2 - Estrutura cristalina dopada tipo N e P (Adaptado de Infoescola).....	19
Figura 2.3 - Fluxo de elétrons na junção PN (Adaptado de FILHO, s.d.)	20
Figura 2.4 - Formas de radiação solar (Adaptado de CRUZ et al, 2017)	21
Figura 2.5 - Ângulo azimutal (Adaptado de CARPES, 2017)	22
Figura 2.6 - Sistema ligado à rede elétrica (Adaptado de NORTAOENERGIASOLAR, s.d.)	221
Figura 2.7 - Sistema híbrido (Adaptado de GRIDSOLARIS, s.d.)	232
Figura 2.8 - Sistema isolado (Adaptado de NEOSOLAR, s.d.)	243
Figura 2.9 - Conjunto de dissipador aletado e ventilador (Adaptado de TECHTUDO, 2012)	287
Figura 2.10 - Radiador automotivo (Adaptado de DELMARAP, s.d.)	298
Figura 2.11 – Elemento de volume de aleta na posição x (Adaptado de ÇENGEL, 2012) .	2928
Figura 2.12 – Superfície aletada (Adaptado de WIKIVERSITY, 2015).....	30
Figura 2.13 - Distribuição da temperatura ideal e real ao longo de uma aleta (Adaptado de ÇENGEL, 2012)	321
Figura 2.14 - Eficiência das aletas (Adaptado de INCROPERA, 2008).....	332
Figura 2.15 - Conjunto de aletas retangulares (Adaptado de INCROPERA, 2008).....	34
Figura 2.16 - Curva de temperatura ao longo da aleta (Adaptado de ÇENGEL, 2012)	354
Figura 3.1 - Suporte para a placa solar (Adaptado de ERYKSON, 2016).....	376
Figura 3.2 - Placa fotovoltaica (AUTOR, 2019)	37
Figura 3.3 - Controlador de carga (AUTOR, 2019)	39
Figura 3.4 -Bateria (AUTOR, 2019).....	39
Figura 3.5 - Inversor (AUTOR, 2019).....	40
Figura 3.6 - Sistema de aquisição de dados (AUTOR, 2019)	41
Figura 3.7 - Aparato experimental (AUTOR, 2019)	421
Figura 3.8 – Aletas fixadas na placa (AUTOR, 2019).....	43
Figura 3.9 – Calibração dos termopares (AUTOR, 2019).....	44
Figura 4.1 – Variação de temperatura do painel sem aletas e do painel com aletas em função do tempo (AUTOR, 2019).....	47

Figura 4.2 – Variação de temperatura do painel com aletas em vários ângulos de inclinação em função do tempo (AUTOR, 2019).....	48
Figura 4.3 – Variação de potência do painel com aletas em vários ângulos de inclinação em função do tempo (AUTOR, 2019).....	49
Figura 4.4 – Variação da eficiência exergética função do tempo do painel fotovoltaico com aletas com o ângulo de inclinação em 2° (AUTOR, 2019).....	50
Figura 4.5 – Variação da eficiência exergética função do tempo do painel fotovoltaico com aletas em vários ângulos de inclinação (AUTOR, 2019).....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Variação da transferência de calor a partir da aleta em relação àquela da aleta comprida (Adaptado de ÇENGEL, 2012).....	365
Tabela 5.1 - Propriedades do painel fotovoltaico (Adaptado de NEOSOLAR, s.d.).....	38
Tabela 5.2 - Dimensões das aletas (Adaptado de SILVA, 2019).....	42
Tabela 5.3 - Valores de condutividade térmica do alumínio (Adaptado de ÇENGEL, 2012).....	42
Tabela 5.4 - Valores de coeficiente de transferência de calor por convecção (Adaptado de SILVA, 2019).....	43
Tabela 5.5 – Coeficientes da equação da reta de cada termopar do Fieldlogger 1 (AUTOR, 2019).....	45
Tabela 4.1 – Dados disponibilizados do dia 05/11/19 (Adaptado de INMET, 2019).....	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

A_s – Área da superfície [m²]

A_c – Área transversal [m²]

A_b – Área da base [m²]

AM – Massa de ar

B – Boro

CA – Corrente Alternada [A]

CC – Corrente Contínua [A]

CCT – Centro de Ciências Tecnológicas

CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica de S. Brito

h – Coeficiente de transferência de calor por convecção [W/m²K]

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

k – Condutividade Térmica [W/mK]

L – Comprimento [m]

L_c – Comprimento corrigido [m]

P – Fósforo

p – perímetro [m]

Q_{conv} - Fluxo de Calor por Convecção [W/m²]

Q_{cond} – Fluxo de Calor por Condução [W/m]

Si – Silício

T_b – Temperatura na base [°C]

T_s – Temperatura na superfície [°C]

T_∞ – Temperatura no meio [°C]

T_{real} – Temperatura do termômetro [°C]

T_{term} – Temperatura do termopar [°C]

t – Espessura [m]

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

W – Potência [kWh]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	ENERGIA FOTOVOLTAICA	17
2.1.1	Materiais semicondutores	18
2.1.2	Efeito fotovoltaico	19
2.2	RADIAÇÃO SOLAR	20
2.3	Sistemas Fotovoltaicos	22
2.3.1	Sistemas Ligados à rede (On Grid)	22
2.3.2	Sistema Híbrido	23
2.3.3	Sistemas Isolados (Off Grid)	23
2.4	Análise Exergética	24
2.5	SUPERFÍCIES ESTENDIDAS (ALETAS)	26
2.5.1	Equação da aleta	29
2.5.2	Eficiência e eficácia da aleta	31
2.5.3	Eficiência global da superfície	34
2.5.4	Comprimento adequado da aleta	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1	Equipamentos	38
3.1.1	Placa Fotovoltaica	38
3.1.2	Controlador de Carga	39
3.1.3	Bateria	40
3.1.4	Inversor de corrente	41
3.1.5	Sistema de Aquisição de Dados	41
3.1.6	Dissipadores térmicos (aletas)	43
3.1.7	Termopares	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1	COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA EM VÁRIAS INCLINAÇÕES DA PLACA	48
4.2	COMPARAÇÃO DA POTÊNCIA PARA VÁRIAS INCLINAÇÕES DA PLACA	49
4.3	EFICIÊNCIA EXERGÉTICA PARA VÁRIAS INCLINAÇÕES DA PLACA	50

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1 INTRODUÇÃO

O Brasil por ser um país de dimensões continentais possui diversos climas, ecossistemas e tipos de relevo, o que permite instalação de diferentes tipos de energia, de acordo com o que for mais propício para a região em questão. O aumento da emissão de gases poluentes, a destruição de ecossistemas e a redução das reservas de combustíveis fósseis fizeram com que o termo sustentabilidade se tornasse cada vez mais presente na vida do ser humano. “ Com isso, cada vez mais surgem maneiras de tentar reduzir o impacto causado ao meio, e a utilização de fontes de energias renováveis têm sido solução para substituir as energias não renováveis”. (RIBEIRO, 2016).

Embora a energia renovável seja uma solução viável para a substituição total ou parcial da fonte de energia convencional não renovável, muito pouco é investido nesse ramo em comparação à imensidão da energia no Brasil. Segundo o Banco de Informações de Geração da ANEEL –BIG (ANEEL, 2019) o Brasil possui no total 8583 empreendimentos de geração de energia em operação, totalizando 167.639.407kW de potência instalada, porém destes, apenas 219 empreendimentos são centrais geradoras solar fotovoltaica, totalizando apenas 0,02% da potência instalada do país.

A principal fonte energética do Brasil provém de recursos hídricos ou combustíveis fósseis, uma vez que estes recursos são esgotáveis, a preocupação com o aumento da população é constante. Sendo assim, fontes de energias renováveis como, por exemplo, energia solar, eólica e maremotriz são muito importantes para o futuro da energia no mundo, além de trazer benefícios para a sociedade como desenvolvimento econômico e geração de empregos.

Apesar do sistema fotovoltaico estar ganhando espaço ao longo dos anos ao redor do mundo, ainda há muito o que se aperfeiçoar quanto aos custos envolvidos no processo e na eficiência. O fator determinante que impede ainda a população de adquirir esse sistema de energia é o custo de instalação, uma vez que é fora da realidade de muitos brasileiros. Além disso, as altas temperaturas durante o dia levam os painéis fotovoltaicos a terem uma eficiência menor, pois esses sobreaquecem e tendem a sofrer mais perdas em forma de calor e, conseqüentemente, diminuir sua potência.

Existem estudos que desenvolvem sistemas de arrefecimento para módulos fotovoltaicos a fim de potencializar sua eficiência por meio da redução da temperatura da placa utilizando fluidos. Outro meio de melhorar o rendimento, porém ainda pouco explorado, é a utilização de

superfícies estendidas, ou aletas, uma vez que permitem uma maior transferência de calor com o meio, resfriando a placa com mais rapidez.

Com base nisso, vários países do mundo inteiro aumentam o seu interesse pelos sistemas fotovoltaicos, motivado principalmente pela redução dos custos das células solares e pelos crescentes problemas ambientais causados pelas formas tradicionais da geração de energia. Dessa forma, é fundamental novas pesquisas que visem analisar a eficiência da energia solar a fim de torna-la mais rentável e acessível.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho é analisar, experimentalmente, o efeito da utilização de dissipadores térmicos na eficiência exergética de placas solares, em comparação à sistemas sem esse recurso. Por conseguinte, os objetivos específicos são:

- Analisar a influência da radiação solar em condições climáticas (dias ensolarados, nublados, parcialmente nublados) diferentes na eficiência placa fotovoltaica com aletas e sem aletas.
- Realizar a calibração dos termopares para se obter uma temperatura precisa.
- Realizar a análise da exergia para o sistema com superfície estendida e sem a mesma.
- Avaliar a influência de diferentes ângulos de inclinação da placa com a eficiência do sistema fotovoltaico.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA

O uso de fontes de energia renováveis é uma alternativa concreta para a redução dos problemas e impactos das fontes convencionais, as quais podem ser utilizadas de forma complementar a geração de energia por meio de hidroelétricas. Tais fontes demonstram-se interessantes pelo fato de causarem menores (ou nenhuma) emissões de gases poluentes na atmosfera, os quais são associados ao aumento do efeito estufa. Estas fontes são capazes de utilizar a energia contida na movimentação das marés, nos ventos ou na luz solar, de forma a aproveitar a energia proveniente de fontes limpas, renováveis e de baixo impacto ambiental ou social, quando comparadas à queima de combustíveis fósseis ou ao alagamento necessário para a instalação de usinas hidrelétricas. (FILHO, 2014).

Com base nessas informações, PINTO (2015) destaca que a energia fotovoltaica possui características como uma fonte de energia limpa, segura, renovável e autônoma. A segurança é destacada por não utilizar meios que ponham em risco a vida das pessoas. A definição limpa é por não gerar resíduos no seu processo. O aspecto renovável é elucidado por sua fonte de matéria prima, o sol, ser uma fonte de energia praticamente inesgotável. Por último, a autonomia pois permite uma utilização independente uma vez que pode ser usada individualmente ou em comunidade.

A partir de estudos realizados pela ANEEL (2019) da matriz elétrica brasileira, é possível inferir que, embora nos últimos anos os investimentos em energia solar tenha aumentado consideravelmente, o percentual de participação desse tipo de energia no quadro geral ainda é bem pequeno, em comparação à matrizes hidrelétricas ou até mesmo outras fontes de energia renovável, como por exemplo, a eólica. Dessa forma, uma possível causa que possa justificar essa inferioridade com relação às outras matrizes são algumas desvantagens desse tipo de energia, quando comparada com outras fontes de energia, como por exemplo, a eficiência. Portanto, a Figura 2.1 mostra o percentual de cada fonte de energia que existem no Brasil.

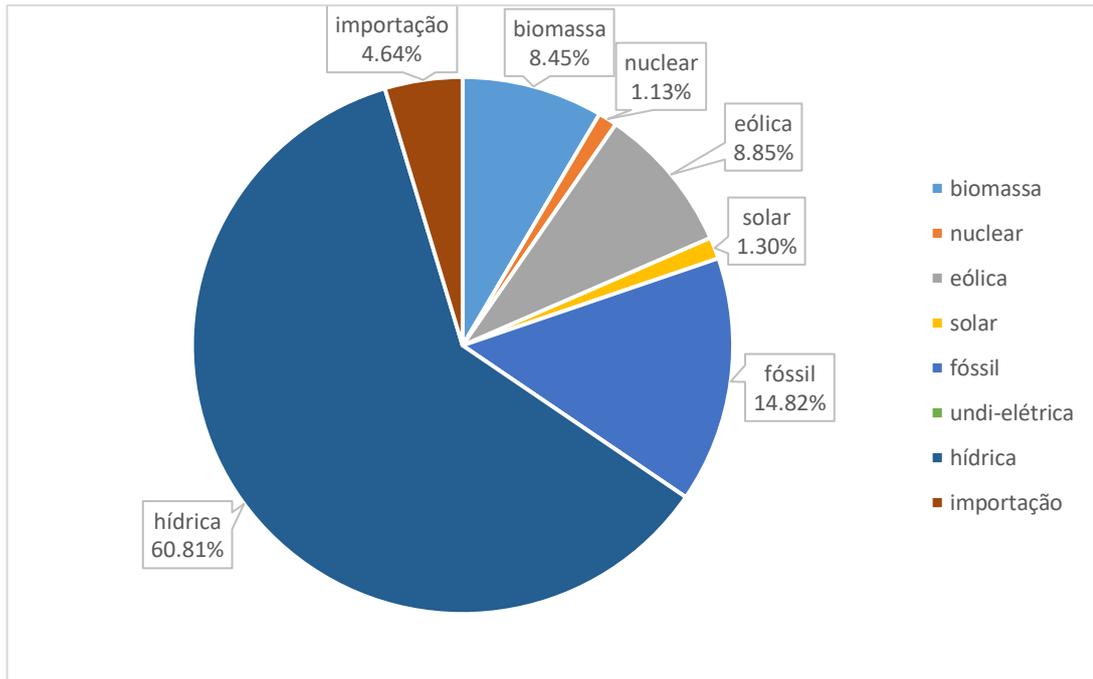


Figura 2.1 - Matriz elétrica brasileira (Adaptado ANEEL, 2019)

2.1.1 Materiais semicondutores

As placas fotovoltaicas são de suma importância para a conversão da energia solar em energia elétrica. Para que esse processo seja eficaz, é necessário a utilização de materiais semicondutores uma vez que o efeito fotovoltaico é mais evidente nesses materiais. CARVALHO (2018) destaca que dentre os semicondutores, o que mais se sobressai com relação aos demais é o Silício (Si), pois possui quatro ligações covalentes e pode fazer diversas ligações com outros elementos para formar uma estrutura cristalina. Dentre as formas mais conhecidas estão: Monocristalino, amorfo e policristalino.

Esses materiais para serem utilizados em células fotovoltaicas necessitam passar por um processo de dopagem. A dopagem consiste em adição de certos elementos de impurezas nos materiais semicondutores a depender do resultado almejado. (CARVALHO, 2018).

As impurezas são utilizadas são as do tipo P e N. As impurezas do tipo N são denominadas àquelas que possuem adição de fósforo ou arsênio ao silício. Esses dois elementos possuem quatro elétrons na camada de valência e esses por sua vez, formam ligações covalente ficando apenas um livre, chamado elétron livre, dessa forma, esse se energiza e gera eletricidade. O nome N vem da carga negativa gerada por ele (SILVA, 2019).

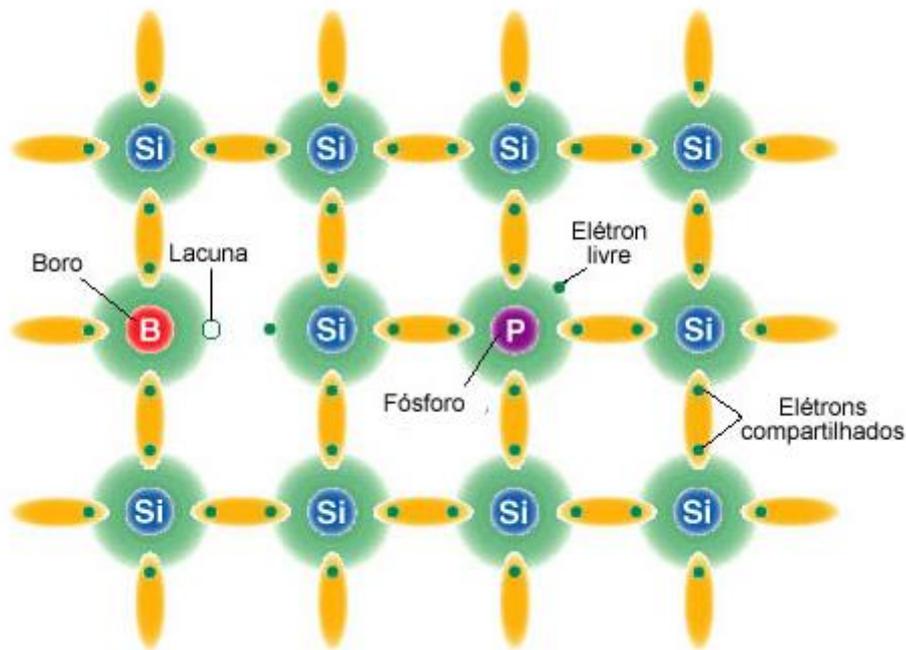


Figura 2.2 - Estrutura cristalina dopada tipo N e P (Adaptado de Infoescola)

De acordo com a Figura 2.2, a adição de Boro ou Gálio ao silício gera uma dopagem do tipo P, uma vez que esses elementos possuem apenas três elétrons em sua camada de valência. Sendo assim, o silício forma apenas três ligações covalentes e a ligação excedente cria lacunas que por sua vez conduzem corrente e essa ausência de um elétron gera uma carga positiva, chamada P (SILVA, 2019).

2.1.2 Efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico está relacionado com a emissão de elétrons por meio da absorção de fótons de luz, dessa forma é possível realizar a conversão da radiação solar em eletricidade. Numa célula fotovoltaica, há duas camadas de materiais semicondutores que foram dopadas com elementos diferentes, de forma a apresentar uma diferença de potencial quando a luz incide na área de contato entre elas. Em consequência dessa diferença de potencial, os portadores que possuem cargas opostas passam a se movimentar na direção um do outro atravessando a área de contato e transferindo suas cargas. Com isso, cria-se um campo elétrico permitindo o estabelecimento do fluxo eletrônico. O efeito fotovoltaico consiste justamente nessa diferença

de potencial gerada nas extremidades do material (LOPEZ, 2012). Entretanto, esse efeito é mais evidente em materiais semicondutores.

Com a dopagem, a região n fica com uma alta concentração de elétrons que tendem a migrar para a região p. Concomitantemente, na região p, a qual está com alta concentração de lacunas, haverá um fluxo destas para a região n. Porém, quando o elétron caminha do lado n para o lado p, deixa para trás um íon doador positivo no lado n, exatamente na junção. De forma similar, quando uma lacuna deixa o lado p para o lado n, deixa para trás um íon aceitador negativo no lado p. Se um grande número de elétrons e lacunas trafega através da junção, um grande número de cargas é deixado no limite da junção. Esses íons fixados produzem um campo elétrico que se origina nos íons positivos no lado n da junção deve ser igual ao número de íons negativos do lado p da junção (ZILLES, 2012). Como mostra a Figura 2.3.

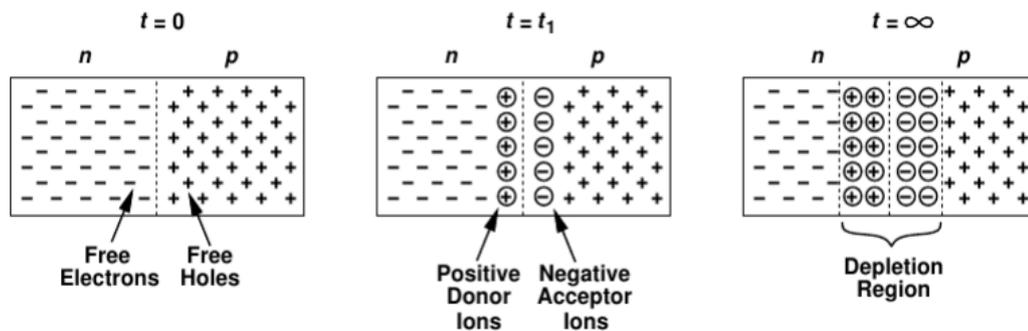


Figura 2.3 - Fluxo de elétrons na junção PN (Adaptado de FILHO, s.d.)

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

A luz visível produzida pelo Sol é proveniente de elétrons que reagem com átomos de hidrogênio. De acordo com dados da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA, 2016), para cada metro quadrado de superfície da Terra diretamente exposta ao Sol, são depositados aproximadamente 1368 Joules de energia a cada segundo. No entanto, tal energia é em parte dissipada antes de chegar na superfície terrestre pela atmosfera, e um dos desafios da atualidade é descobrir como utilizar tal potencial energético a nosso favor, seja armazenando, produzindo calor ou energia elétrica.



Figura 2.4 - Formas de radiação solar (Adaptado de CRUZ et al, 2017)

Segundo o estudo de RIBEIRO (2016), a energia total disponível em um módulo fotovoltaico é a radiação solar por unidade de área. No entanto, parte desta é refletida pela superfície, parte é perdida por convecção e radiação para o meio, e apenas parte dela é conduzida pelo módulo e convertida em energia elétrica.

Quando se trata de um coletor solar, a energia disponível também é a radiação solar por unidade de área. Neste caso, o ganho de energia se dá pelo aumento de temperatura do fluido de trabalho em função do fluxo mássico e da sua capacidade de condução de calor. Perdas por condução, radiação e convecção também ocorrem. Ao entender os fundamentos da transferência de calor entre dois corpos, é possível concluir que o calor pode ser transferido de mais de uma forma. Sendo assim é possível que energia seja transferida simultaneamente por condução, convecção e radiação. (RIBEIRO, 2016)

O posicionamento do Sol é necessário para determinar a quantidade de radiação recebida pelos equipamentos solares, sendo assim o posicionamento do Sol influi na quantidade de energia elétrica produzida por uma placa fotovoltaica.

A irradiância solar depende do ângulo da altura do Sol, que é o ângulo formado entre o raio solar e sua projeção no plano horizontal, essa altura da posição muda durante o dia, havendo variações também durante o ano; essas variações ocorrem devido ao movimento relativo da Terra e do Sol. Além desse ângulo outro que tem influência sobre a irradiância solar é o ângulo do azimute solar ou ângulo azimutal e refere-se à posição em relação ao eixo Norte-Sul da Terra, a variação desse ângulo ocorre devido ao movimento de rotação da Terra, ou seja, rotação Terra em seu próprio eixo, esse movimento pode ser notado pelo que chamamos de movimento aparente do Sol (MARQUES, 2017).

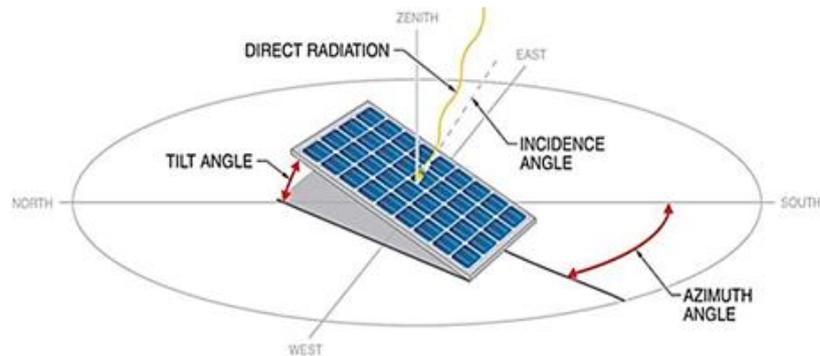


Figura 2.5 - Ângulo azimutal (Adaptado de CARPES, 2017)

2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.3.1 Sistemas Ligados à rede (*On Grid*)

O sistema *On-grid* funciona em função de sua conexão à rede de transmissão. Esse sistema permite que a energia produzida em excesso e que não for consumida pela residência seja repassada para a rede de transmissão e sendo nesta convertida em créditos de energia para a mesma residência. Tais créditos são reservados por três anos e caso o proprietário da residência não os utilize no período determinado, os mesmos ficam para a concessionária de energia elétrica. Esta troca de energia entre as concessionárias e as residências que adquirem esse sistema, faz com que a redução dos custos com kWh seja demonstrado na conta de energia da residência. (BOSO, 2015). Como pode ser observado na Figura 2.6.



Figura 2.6 - Sistema ligado à rede elétrica (Adaptado de NORTAOENERGIASOLAR, s.d.)

2.3.2 Sistema Híbrido

É um sistema de Geração Fotovoltaico conectado à rede elétrica (similar ao Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede – *on-Grid*) integrado com um sistema de armazenamento de energia inteligente (similar ao Sistema Fotovoltaico Autônomo – SFA ou *off-Grid*), que gera além da economia uma maior confiabilidade para cargas prioritárias e autonomia conforme banco de bateria ou fonte de energia secundária, diferente de sistema fotovoltaico tradicional (*On-grid*) que não operando com uma queda de energia da rede local. (ROSA, 2017)

Os Sistemas Fotovoltaicos Híbridos oferecem uma gama de aplicações específicas, assim como sua composição de ativos e equipamento podem variar conforme aplicação.

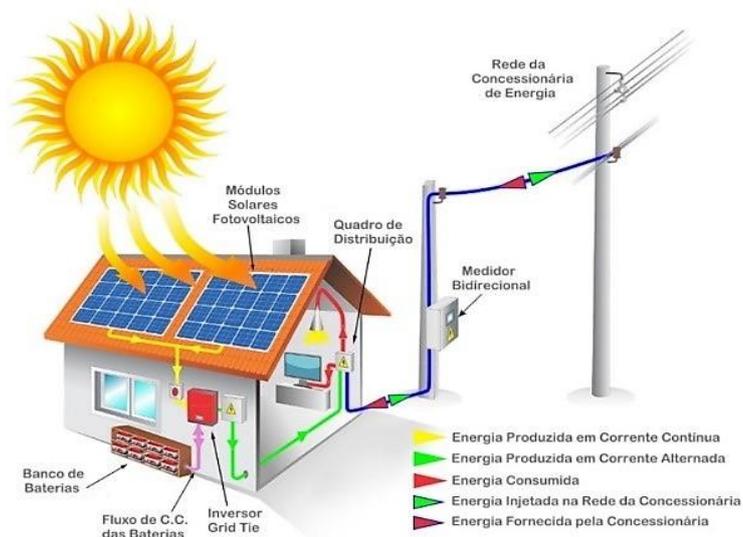


Figura 2.7 - Sistema híbrido (Adaptado de GRIDSOLARIS, s.d.)

2.3.3 Sistemas Isolados (*Off Grid*)

Em contrapartida, o sistema *Off-grid* demonstrado na Figura 2.8, é um sistema autônomo que necessita de baterias para armazenar a energia produzidas pelas placas fotovoltaicas. Porém, esse sistema necessita de mais investimentos para produzir a mesma quantidade de kWh consumida por uma residência tal qual se esta fosse produzida pelas concessionárias de energia. (BOSO, 2015). Essa modalidade de sistema é visada atingir áreas mais afastadas, onde a energia elétrica não é cedida por cabeamento pela concessionária.



Figura 2.8 - Sistema isolado (Adaptado de NEOSOLAR, s.d.)

2.4 ANÁLISE EXERGÉTICA

A análise exergética está associada à Segunda Lei da Termodinâmica, e tem como finalidade quantificar o potencial de uso de máquinas, exercendo um máximo valor teórico de trabalho e minimizando as irreversibilidades a ele associada. A exergia transferida de um sistema para sua vizinhança e que não é utilizada geralmente representa uma perda. Dessa forma, para aprimorar a utilização dos recursos energéticos reduz-se a destruição de exergia no interior do sistema e/ou reduz-se as perdas. Um objetivo na análise exergética é identificar locais em que ocorram destruição e perdas de exergia e classifica-los por ordem de importância. Mediante isso, a atenção é voltada aos aspectos da operação de um sistema que ofereçam oportunidades que possuam um bom custo-benefício. (SHAPIRO, p. 282, 2013).

A exergia é formada com base em três componentes: transferência de exergia associado ao calor, transferência de exergia associado ao trabalho, e destruição de exergia. De acordo com a Equação 2.1:

$$\begin{aligned} \Delta E_x = & [Transferência de exergia associada ao calor] \\ & + [Transferência de exergia associado ao trabalho] \\ & - [Destruição de exergia] \end{aligned} \quad (2.1)$$

Segundo Joshi e Reddy (2009), a entrada de energia solar pode ser medida através da Equação 2.2:

$$E_{solar} = I_{solar}A \quad (2.2).$$

Onde:

I_{solar} é intensidade da radiação solar. [W/m^2]

A é a área da placa fotovoltaica. [m^2]

A saída de energia de um sistema solar se dá na forma de calor, energia térmica, e eletricidade, energia elétrica. Considera-se que a exergia elétrica é completamente utilizada para gerar o máximo de energia elétrica, levando-se em consideração a tensão VP e corrente Ip produzidas, logo:

$$Ex_{elet} = V_p I_p \quad (2.3)$$

A outra forma de saída de energia acontece por troca de calor da placa com o meio, que de acordo com ÇENGEL (p. 163, 2012), pode ser definida como mostrado na Equação 2.4:

$$Q_{sai} = hA(T_{pl} - T_o) \quad (2.4)$$

Onde:

$(T_{pl} - T_o)$ é a diferença de temperatura da placa e a temperatura do ambiente [$^{\circ}K$].

h é o coeficiente de transferência de calor por convecção que depende da velocidade do vento como mostrado [J/Km^2] pela Equação 2.5:

$$h = 5,7 + 3,8v \quad (2.5)$$

A exergia não é conservativa, devido a presença de irreversibilidades do sistema. No estudo exergético de uma placa fotovoltaica é possível perceber que há transferência de exergia solar para o sistema. A exergia solar tem sido estudada por vários pesquisadores, que inclui Petela (1964), que definiu a equação para exergia solar, que segue abaixo:

$$Ex_{solar} = \left[1 - \frac{4}{3} \frac{T_o}{T_{sol}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_o}{T_{sol}} \right)^4 \right] AI_{solar} \quad (2.6)$$

Onde:

T_{sol} é a temperatura solar que é igual a 5777°K.

T_o é a temperatura do ambiente de referência [°K].

A exergia associada ao calor, que ocorre devido à diferença de temperatura entre a placa fotovoltaica e o ambiente, em consequência dessa diferença ocorre um fluxo de calor da placa para o ambiente. Logo, de acordo com WYLEN (p. 298, 2003) temos a Equação 2.7 dada por:

$$Ex_{term} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{pl}} \right) hA(T_{pl} - T_o) \quad (2.7)$$

A eficiência energética em uma placa fotovoltaica trata-se do quanto de energia solar a placa capta e o quanto ela produz de energia elétrica, que é o efeito desejável. Semelhantemente, a eficiência exergética pode ser entendida como a razão entre a exergia elétrica e térmica produzida pela placa e a exergia de entrada, logo se modela matematicamente da seguinte maneira:

$$\psi_{exer} = \frac{\left[V_{pro} I_{pro} - \left(1 - \frac{T_o}{T_{pl}} \right) hA(T_{pl} - T_o) \right]}{\left[1 - \frac{4}{3} \frac{T_o}{T_{sol}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_o}{T_{sol}} \right)^4 \right] AI_{solar}} \quad (2.8)$$

2.5 SUPERFÍCIES ESTENDIDAS (ALETAS)

A eficiência dos painéis fotovoltaicos estão intrinsecamente relacionados com a temperatura do mesmo, uma vez que a exposição à radiação solar pode elevar as temperaturas, e com isso as perdas por fluxo de calor tendem a aumentar. Dessa forma, muitos sistemas são utilizados para contornar essa deficiência e obter um melhor rendimento da célula fotovoltaica. Um deles é a adição de superfícies estendidas, ou aletas, a fim de aumentar a área da superfície e a concentração de calor ser direcionada à elas.

Segundo SILVA (2019) as aletas são feitas de materiais altamente condutores e aumentam a transferência de calor a partir das superfícies, com uma maior radiação e convecção através das superfícies expostas. A seleção do material da aleta é um parâmetro fundamental para se obter uma eficiência satisfatória no sistema. Existem muitos materiais com uma excelente condutividade térmica, como por exemplo, cobre, aço, prata, latão e etc. Porém, o alumínio se sobressai por apresentar características mais econômicas. Ratificando essa visão, INCROPERA (p. 90, 2008) destaca que, embora o cobre seja superior no que diz respeito à condutividade térmica, as ligas de alumínio são a opção mais comum, devido aos benefícios adicionais com relação aos custo e peso menores.

O termo superfície estendida é comumente utilizado para descrever um caso especial envolvendo a transferência de calor por condução no interior de um sólido e a transferência de calor por convecção e/ou radiação nas fronteiras de um sólido (INCROPERA, p.84, 2008).

De acordo com ÇENGEL (p. 163, 2012), a taxa de transferência de calor a partir de uma superfície a uma temperatura T_s para o meio envolvente a T_∞ é dada pela Lei de Resfriamento de Newton como

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2.9)$$

Onde A_s é a área de transferência de calor e h é o coeficiente de transferência de calor por convecção. Quando o projeto considera as temperaturas acima fixas, há duas formas de aumentar a taxa de transferência de calor, uma delas é aumentando o coeficiente de transferência de calor por convecção h e a outra forma é aumentando a área da superfície A_s . O aumento de h pode exigir a instalação de outros dispositivos, como por exemplo, bombas ou ventiladores ou a substituição do equipamento existente por um de maior dimensão, porém essa alternativa pode não ser viável ou sustentável para o sistema.

Segundo ÇENGEL (p. 163, 2012), a segunda alternativa, de aumentar a área da superfície, anexando superfícies estendidas chamadas aletas, feitas de materiais altamente condutores, como o alumínio. As aletas aumentam a transferência de calor a partir da superfície, expondo uma superfície maior à convecção e à radiação.

Uma aplicação bastante comum das superfícies estendidas, de acordo com INCROPERA (p. 19, 2008), é que são muito utilizados em computadores pessoais, pois as aletas de resfriamento são fabricadas em materiais com alta condutividade térmica, geralmente alumínio,

e presas nos microprocessadores para reduzir suas temperaturas de trabalho. Além disso, pequenos ventiladores são instalados para induzir a convecção forçada sobre as aletas, como mostra a Figura 2.9. A soma da energia consumida mundialmente, somente para acionar os pequenos ventiladores que promovem o escoamento de ar sobre as aletas e fabricar os dissipadores de calor para computadores pessoais, estima-se que seja acima de 10^9 Kw.h por ano.



Figura 2.9 - Conjunto de dissipador aletado e ventilador (Adaptado de TECHTUDO, 2012)

Outro exemplo bastante comum da utilização de superfícies aletadas é o radiador do carro, como mostra a Figura 2.10. Esse dispositivo é composto por várias folhas finas de metal que são colocadas nos tubos de água quente, aumentando a superfície de convecção várias vezes e, por conseguinte, aumentando a taxa de transferência de calor por convecção dos tubos de ar.

Na análise das aletas, contempla-se que o valor de h é normalmente é mais inferior na base do que na ponta, porque o fluido é cercado por superfícies sólidas perto da base dificultando o seu movimento, enquanto que na ponta quase não há resistência ao seu movimento, uma vez que não possui superfícies sólidas próximas. Dessa forma, o acréscimo de muitas aletas em uma superfície pode realmente diminuir a transferência de calor global quando a diminuição de h sobrepõe qualquer ganho resultante do aumento da área da superfície (ÇENGEL, p. 164, 2012).



Figura 2.10 - Radiador automotivo (Adaptado de DELMARAP, s.d.)

2.5.1 Equação da aleta

A partir da Figura 2.11 e sob condições permanentes, pode ser expresso o balanço de energia nesse elemento como

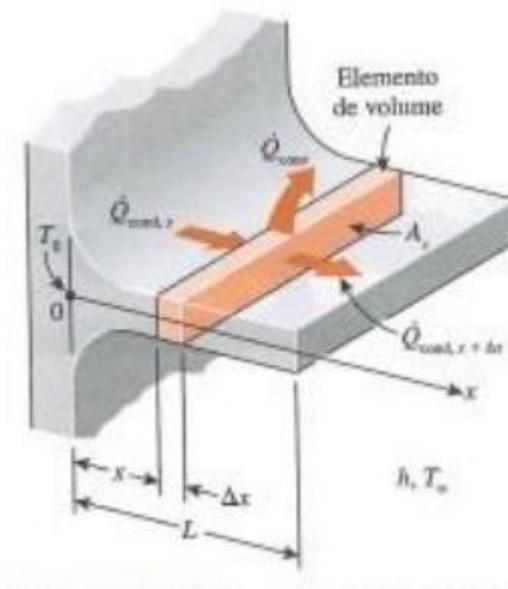


Figura 2.11 – Elemento de volume de aleta na posição x (Adaptado de ÇENGEL, 2012)

$$\dot{Q}_{cond,x} = \dot{Q}_{cond,x+\Delta x} + \dot{Q}_{conv} \quad (2.10)$$

Onde

$$\dot{Q}_{conv} = h(p\Delta x)(T - T_{\infty}) \quad (2.11)$$

Substituindo e dividindo por Δx , obtemos:

$$\frac{\dot{Q}_{cond,x+\Delta x} - \dot{Q}_{conv}}{\Delta x} + hp(T - T_{\infty}) = 0 \quad (2.12)$$

Tomando o limite quando $\Delta x \rightarrow 0$, tem-se

$$\frac{d\dot{Q}_{cond,x}}{dx} + hp(T - T_{\infty}) = 0 \quad (2.13)$$

A partir da Lei de Fourier da condução de calor, tem-se

$$\dot{Q}_{cond,x} = -kA_c \frac{dT}{dx} \quad (2.14)$$

Onde A_c é a área transversal da aleta na posição x . A substituição da presente relação na Equação (2.14) resulta na equação diferencial de transferência de calor em aletas,

$$\frac{d}{dx} \left(kA_c \frac{dT}{dx} \right) - hp(T - T_{\infty}) = 0 \quad (2.15)$$

Em geral, a área transversal A_c , e o perímetro p de uma aleta variam com x , o que torna essa equação diferencial difícil de resolver. No caso específico de seção transversal constante e condutividade térmica constante a equação reduz-se a

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{hp}{kA_c}(T - T_{\infty}) = 0 \quad (2.16)$$

Ou

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - m^2\theta = 0 \quad (2.15)$$

Onde

$$m^2 = \frac{hp}{kA_c} \quad (2.15)$$

E $\theta = T - T_\infty$ é o excesso de temperatura. Na base da aleta, temos $\theta_b = T_b - T_\infty$.

2.5.2 Eficiência e eficácia da aleta

Considerando uma parede plana com a aleta instalada transversalmente, sendo acoplada em perfeito estado, a transferência de calor se dá por condução da parede plana para a aleta e por convecção a partir da aleta para o meio envolvente com o mesmo coeficiente de transferência de calor h . A temperatura da aleta na sua base tem uma diminuição progressiva até a sua ponta. A convecção, a partir da superfície da aleta causa uma diminuição da temperatura desde a linha de centro até a superfície externa.

No entanto, como as áreas transversais das aletas são muito pequenas, a temperatura pode ser considerada uniforme. Além disso, a ponta da aleta, por conveniência e simplicidade, pode ser considerada como adiabática (ÇENGEL, p. 169, 2012).

A Figura 2.12 retrata uma superfície com aleta e parte dos fluxos de calor que envolvem a mesma, sendo representado apenas a condução e a convecção com o meio.

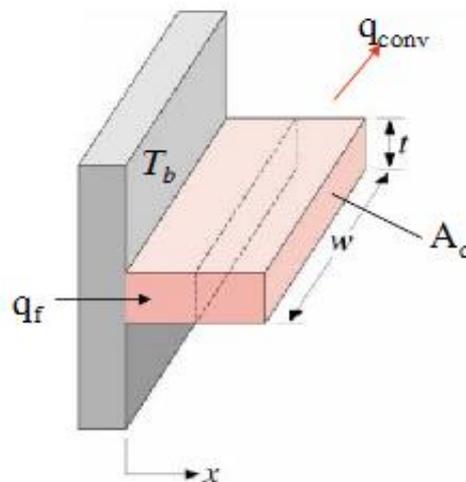


Figura 2.12 – Superfície aletada (Adaptado de WIKIVERSITY, 2015)

Embora em um modelo hipotético a temperatura em uma seção transversal seja considerada como uniforme, na realidade, há uma diminuição da temperatura na ponta da aleta, tornando a transferência de calor menor, por causa da diminuição da diferença de temperatura $T(x) - T_\infty$ em direção à ponta da aleta, como mostra a Figura 2.13.

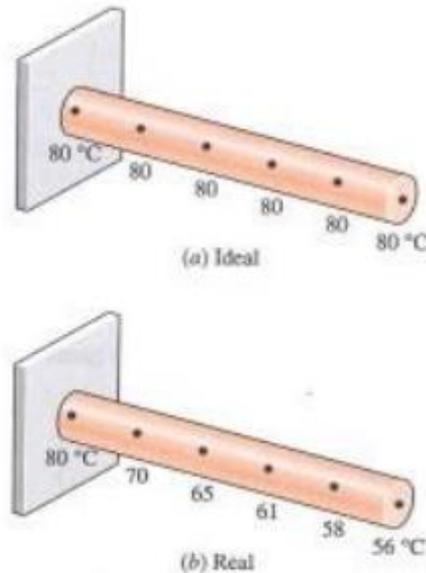


Figura 2.123 - Distribuição da temperatura ideal e real ao longo de uma aleta (Adaptado de ÇENGEL, 2012)

Dessa forma, devido a diminuição da temperatura na transferência de calor, a eficiência da aleta pode ser definida como

$$\eta_{aleta} = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{\dot{Q}_{aleta, max}} = \frac{\text{Taxa de transferência real a partir da aleta}}{\text{Taxa de transferência ideal a partir da aleta se a aleta inteira estiver na temperatura da base}} \quad (2.10)$$

Para aletas com perfis retangulares a sua eficiência se resume às seguintes equações:

$$\eta_{aleta} = \frac{\tanh m L_c}{m L_c} \quad (2.11)$$

$$m = \sqrt{\frac{2h}{kt}} \quad (2.12)$$

$$L_c = L + t/2 \quad (2.13)$$

Em projetos que levam em consideração a utilização de superfícies aletadas, normalmente, tem-se como objetivo aumentar a taxa de transferência de calor. Dessa forma, notar o comprimento da aleta a ser utilizada é de suma importância, uma vez que quanto maior for o comprimento da aleta, maior será a área de transferência de calor e também, maior será a taxa de transferência de calor a partir da aleta. No entanto, por consequência disso, maiores serão o seu peso, preço e atrito com o fluido. Sendo assim, o comprimento ótimo a ser estabelecido deve ter justificativa para a sua aplicação e benefício.

Além disso, ÇENÇEL (p. 171, 2012) ainda afirma que, com o aumento do comprimento da aleta, a eficiência da mesma tende a diminuir, uma vez que ocorre a diminuição da temperatura dado seu comprimento. Aletas cuja a eficiência gira em torno de 60% normalmente não podem ser economicamente justificadas e devem ser evitadas. A eficiência das aletas utilizadas na prática está acima de 90%.

O desempenho das aletas é avaliado com base no rendimento da transferência de calor em relação ao caso sem aleta. O desempenho da aleta é expresso por meio da efetividade que é definida como

$$\varepsilon_{aleta} = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{\dot{Q}_{sem\ aleta}} = \frac{\dot{Q}_{aleta}}{h A_b (T_b - T_\infty)} \quad (2.14)$$

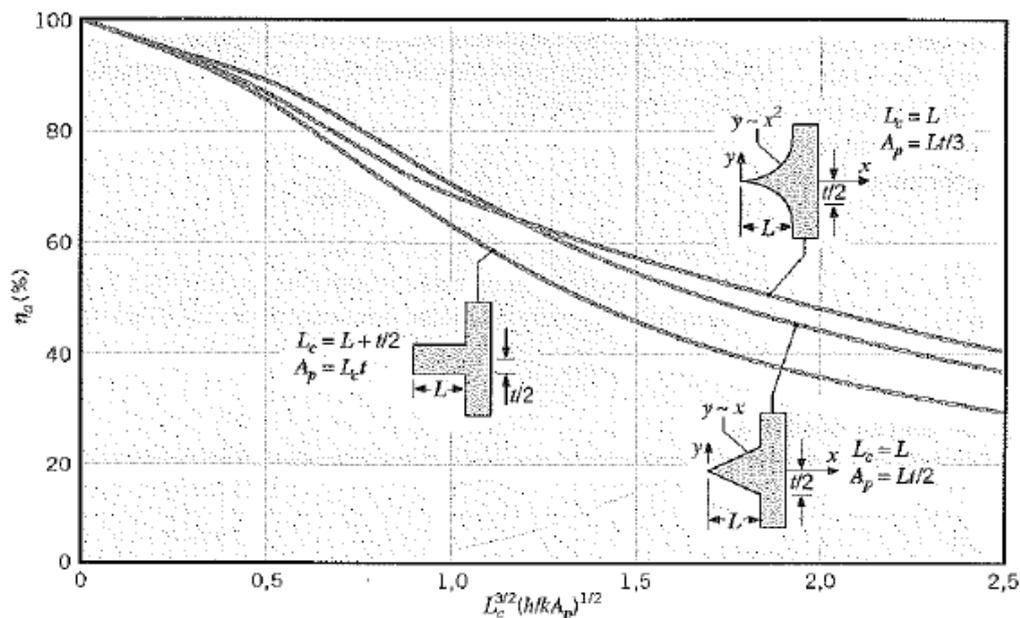


Figura 2.134 - Eficiência das aletas (Adaptado de INCROPERA, 2008)

2.5.3 Eficiência global da superfície

A eficiência global da superfície η_o caracteriza um conjunto de aletas e a base em que estão fixadas. Dessa forma, o que difere da eficiência da aleta η_a é que esta trata-se apenas de uma aleta. Sendo assim, INCROPERA (p. 94, 2008) define a eficiência global como

$$\eta_o = \frac{q_t}{q_{max}} = \frac{q_t}{hA_t\theta_b} \quad (2.15)$$

Onde $\theta_b = (T_b - T_\infty)$ e q_t é a taxa de transferência de calor na área superficial A_t , associada à área das aletas e a fração exposta da base.

A Figura 2.15 ilustra um conjunto de aletas retangulares, onde S representa o espaçamento entre as aletas, W retrata o comprimento, L a largura da aleta, t representa a espessura e T_b caracteriza uma temperatura qualquer que a aleta está sendo submetida de forma que, a taxa máxima possível de transferência de calor ocorreria se toda a superfície da aleta, assim como a área exposta da base, fossem mantidas à essa temperatura.

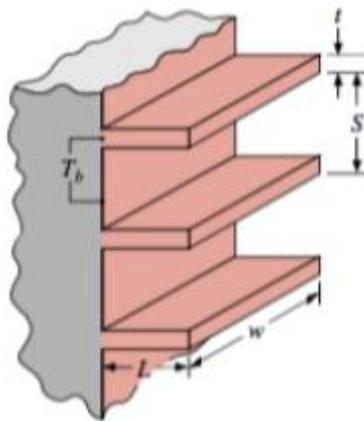


Figura 2.145 - Conjunto de aletas retangulares (Adaptado de INCROPERA, 2008)

2.5.4 Comprimento adequado da aleta

O comprimento da aleta é uma variável que precisa ser levada em consideração para não haver perdas de material de forma desnecessária. Para projetos, existe um comprimento ideal se forma que não comprometa a eficiência da aleta e promova um bom custo-benefício. Como

já foi dito, a temperatura da aleta, considerando uma situação real, tende a diminuir ao longo da aleta, como mostra a Figura 2.16.

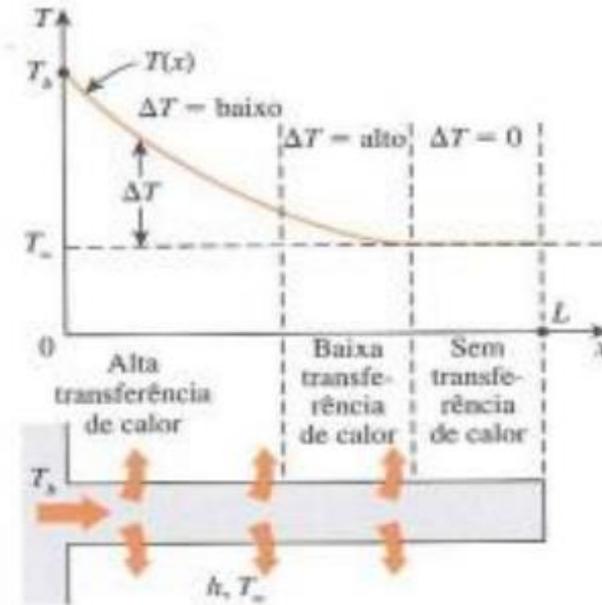


Figura 2.156 - Curva de temperatura ao longo da aleta (Adaptado de ÇENGEL, 2012)

De acordo com a Figura 2.16, observa-se que a temperatura ao longo da aleta diminui exponencialmente e atinge a temperatura ambiente em um ponto. Dessa forma, a partir desse ponto, não há mais transferência de calor, uma vez que a temperatura da aleta e do ambiente são as mesmas. Sendo assim, uma aleta muito comprida é inviável, em virtude do desperdício de material, excesso de peso e aumento dos custos sem benefício algum.

Deste modo, de acordo com ÇENGEL (p. 174, 2012), para obter um comprimento adequado da aleta, compara-se a transferência de calor a partir de uma aleta com comprimento finito em relação à transferência de calor de uma aleta muito comprida. Dessa forma, têm-se que:

$$\frac{\dot{Q}_{aleta}}{\dot{Q}_{comprimento\ da\ aleta}} = \frac{\sqrt{hpkA_c}(T_b - T_\infty) \tanh mL}{\sqrt{hpkA_c}(T_b - T_\infty)} = \tanh mL \quad (2.16)$$

Tabela 2.1 - Variação da transferência de calor a partir da aleta em relação àquela da aleta comprida (Adaptado de ÇENGEL, 2012)

mL	$\frac{\dot{Q}_{aleta}}{\dot{Q}_{aleta\ longa}} = \tanh mL$
0,10	0,100
0,20	0,197
0,50	0,462
1,00	0,762
1,50	0,900
3,00	0,995
4,00	0,999
5,00	1,000

Sendo assim, observa-se pela Tabela 2.1 que a transferência de calor a partir da aleta aumenta com o mL quase linearmente, quando a aleta atinge um comprimento muito grande, o mL atinge 5,0. Na prática, quando o comprimento da aleta corresponde a um mL = 1,5, representa que a aleta transferirá 90% de calor que poderia ser transferido pela infinitamente comprida, oferecendo uma boa relação entre desempenho da transferência de calor e tamanho da aleta (SILVA, 2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto foi desenvolvido na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), no Centro de Ciências Tecnológicas (CCT), na cidade de São Luís, que se localiza próxima a linha do Equador, à uma latitude de $-02^{\circ} 31' 47''$ e longitude de $-44^{\circ} 18' 10''$ e, por conta disso, dispõe de elevados níveis de irradiação solar na maior parte do dia.

O aparato experimental foi composto por duas placas fotovoltaica, um controlador, dois sistemas de aquisição de dados (um computador, dois Fieldlogger e 16 termopares do tipo K), um inversor, uma fonte e uma bateria de DF1000. Sendo que este é dividido em duas partes estruturais: suporte para a placa fotovoltaica e bancada com os equipamentos de interface de aquisição, controle e armazenamento.

Como o objetivo é obter dados para as diversas posições da placa, montou-se um suporte, cujo objetivo é promover o movimento de rotação da placa variando seu ângulo de inclinação e seu ângulo azimutal, para assim obter dados sobre as diferentes angulações.



Figura 3.1 - Suporte para a placa solar (Adaptado de COSTA, 2016)

De acordo com Santos *et al* (2013), o bom funcionamento dos sistemas solares está diretamente ligado à escolha do ângulo de inclinação e do ângulo de orientação, conhecido como ângulo azimutal de superfície.

Nessa pesquisa os ângulos de inclinação foram mudados a cada dia de coleta completa variando de 0° até 16° . O ângulo azimutal trabalhado durante o período foi 10° Leste.

3.1 EQUIPAMENTOS

3.1.1 Placa Fotovoltaica

A placa fotovoltaica utilizada no projeto foi o modelo Yingli YL140P-17B, mostrada na Figura 3.2, cujas especificações são mostradas na Tabela 3.1. Ela é o componente ativo do sistema, por isso é considerada o coração do sistema, que é responsável por converter a energia do Sol em energia elétrica aproveitável, ou seja, tem a propriedade de transformar a radiação solar em corrente elétrica contínua.

Os dados dos experimentos foram coletados pelas duas placas solares, sendo uma com os dissipadores térmicos ou aletas instaladas e a outra placa sem nenhum tipo de arrefecimento.



Figura 3.2 - Placa fotovoltaica (AUTOR, 2019)

A Tabela 3.1 explana algumas características da placa utilizada no experimento. Esses dados são verificados na construção da mesma e testados em laboratório sob condições controladas, como por exemplo, AM 1.5, Temperatura ambiente constante de 25 °C, irradiação solar média de 1000W/m². Com base nesses dados, os resultados são obtidos e especificados pelo fabricante, no entanto, testes como esses não representam a realidade da condição de trabalho da célula fotovoltaica, uma vez que tanto a irradiação quanto a temperatura variam ao

longo dos dias, além de haver perdas por impurezas que podem gerar ineficiências de até 5% (RUVIARO et al, 2018).

Tabela 3.1 - Propriedades do painel fotovoltaico (Adaptado de NEOSOLAR, s.d.)

Modelo	Yingli YL140P-17B
Tipo de célula	Policristalino
Potência Máxima ($P_{m\acute{a}x}$)	140 W
Eficiência do painel	14%
Corrente de Máxima Potência ($I_{m\acute{a}x}$)	7,77 Amperes.
Voltagem de Circuito Aberto (V_{ab})	22,5 Volts
Corrente de Curto Circuito (I_{ab})	8,4 Amperes

3.1.2 Controlador de Carga

É responsável pelo condicionamento de potência, que permite melhor aproveitamento da potência gerada pelo painel fotovoltaico e é visto como a válvula do coração, que garante o correto abastecimento das baterias, aumentando sua vida útil.

O controlador é considerado um componente crítico em sistema fotovoltaico, pois, caso venham a falhar, a bateria poderá sofrer danos irreversíveis, faz a desconexão de cargas em baixo estado de carga da bateria e possibilita um maior nível de proteção contra um aumento excessivo de consumo ou uma possível intervenção do usuário.

O controlador/regulador de carga é um dos principais componentes de um sistema solar fotovoltaico, sendo o responsável pela duração da vida útil dos bancos de baterias, que como todos sabemos são dos componentes mais dispendiosos nestes sistemas solares. A função do regulador de carga, é a de proteger as baterias de serem sobrecarregadas, ou descarregadas profundamente, e assim garantir, que toda a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos, é armazenada com maior eficácia nas baterias. (PORTAL ENERGIA, 2015)



Figura 3.4 - Controlador de carga (AUTOR, 2019)

3.1.3 Bateria

A bateria, Figura 3.4, é considerada o pulmão do sistema, pois ela irá garantir o armazenamento da energia captada pela placa fotovoltaica e promove o abastecimento energético do sistema de forma constante, uma vez que as incidências de raios solares são oscilantes durante o dia. A bateria utilizada foi uma bateria estacionária Freedom DF1000, possui capacidade de 70Ah para descarga em 100h (C100) e 60Ah em 20h a (C20).



Figura 3.5 -Bateria (AUTOR, 2019)

3.1.4 Inversor de corrente

O inversor tem a função de converter corrente contínua (CC) proveniente da bateria, em corrente alternada (CA) para poder ser utilizada em dispositivos eletrônicos comuns, como por exemplo, computadores, TV's, eletrodomésticos e etc. Além disso, o inversor está fixado na parte inferior do bloco, uma vez que há um limite de temperatura para o funcionamento do mesmo, sendo assim, embaixo do bloco tende a ter uma temperatura menor do que dentro do mesmo.



Figura 3.6 - Inversor (AUTOR, 2019)

3.1.5 Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados é constituído por: um Fieldlogger 512k - Interface RS485, Ethernet e USB, que é programado para leitura e registro de variáveis analógicas, digitais e outras, com grande resolução e velocidade; um computador portátil para acompanhamento e visualização da aquisição e comportamento dos dados de temperatura; 16 termopares, que são os sensores de temperatura que possibilitam a leitura desta variável; e uma fonte elétrica 110/220V, que proporciona a alimentação do Fieldlogger.

Como a potência de saída dos painéis fotovoltaicos é muito influenciada por alterações na intensidade solar e na temperatura, deve-se analisar o comportamento do painel mediante a influência da temperatura das células fotovoltaicas.



Figura 3.7 - Sistema de aquisição de dados (AUTOR, 2019)

Uma das modificações feitas no projeto experimental foi a utilização de uma espécie de “cofre” para abrigar todo o aparato do sistema com o objetivo de melhorar as coletas de dados.



Figura 3.8 - Aparato experimental (AUTOR, 2019)

3.1.6 Dissipadores térmicos (aletas)

Os dissipadores térmicos foram instalados em apenas uma placa fotovoltaica, a fim de obter um comparativo entre a placa com aleta e a placa sem aleta. Dessa forma, foram utilizados dissipadores térmicos de forma retangular e com inclinação de 90° com a horizontal. O objetivo da adição dessas superfícies estendidas sob a placa foi aumentar a taxa de transferência de calor, diminuindo assim a temperatura na placa.

As chapas instaladas no sistema foi chapas lisas de liga de alumínio 6063-T5 devido o acesso à esse tipo de material e a leveza do mesmo. As dimensões das aletas foram pensadas de acordo com a largura da placa, como mostra a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Dimensões das aletas (Adaptado de SILVA, 2019)

Descrição	Dimensão (mm)
Espessura (t)	11 mm
Comprimento (w)	620 mm
Altura (L)	40 mm

De acordo com ÇENGEL (p.27, 2012), o coeficiente de transferência de calor h , trata-se de um parâmetro determinado experimentalmente, cujo valor depende de todas as variáveis que influenciam a convecção, como a geometria da superfície, natureza do movimento do fluido, propriedades do fluido e velocidade da massa de fluido.

Dessa forma, a Tabela 3.3 e a Tabela 3.4, representam algumas características do alumínio para um melhor entendimento dos dados.

Tabela 3.3 - Valores de condutividade térmica do alumínio (Adaptado de ÇENGEL, 2012)

T, K	k, W/mK
	Alumínio
100	302
200	237
300	237
400	240
600	231
800	218

Tabela 3.4 - Valores de coeficiente de transferência de calor por convecção (Adaptado de SILVA, 2019)

Tipo de convecção	h , W/m/m ² K
Convecção livre de gases	2-25
Convecção livre de líquidos	10-1000
Convecção forçada de gases	25-250
Convecção forçada de líquidos	50-20000
Ebulição e condensação	2500-100000

A fixação das aletas na célula fotovoltaica foi estudada e aplicada por outro estudante de engenharia mecânica da universidade, dessa forma, a Figura 3.8 mostra as aletas já coladas na placa.



Figura 3.8 – Aletas fixadas na placa (AUTOR, 2019)

3.1.7 Termopares

Para obter a temperatura da placa de forma precisa, os termopares passaram por um processo de calibração, como mostrado na Figura 3.9, de maneira que o erro entre a temperatura real e a temperatura lida pelo termopar seja o menor possível. Para fazer esse procedimento, foi preciso um bico de Bunsen, para efetuar o aquecimento a água à ponto de ebulição (100 °C), um recipiente de alumínio para armazenamento do líquido e dos sólidos, no caso o gelo. Além desses componentes, são necessários os termopares para averiguar sua precisão, um termômetro com medição por mercúrio para se ter uma precisão na leitura da temperatura real, um equipamento que mantenha preso todos os termopares à uma mesma altura para que não tenha grandes variações de temperatura entre os mesmos. Além disso, foi necessário um equipamento de leitura e visualização dos dados coletados, no caso foi utilizado um Fieldlogger conectado à um notebook.



Figura 3.9 – Calibração dos termopares (AUTOR, 2019)

Os procedimentos para a realização do experimento foram baseados na norma, uma vez que o início das medições, se dá somente quando o meio térmico estiver estabilizado. Satisfeito essa condição, deve-se medir e anotar a temperatura do termômetro e dos termopares e comparar as duas leituras dos instrumentos, a fim de concluir se as temperaturas estão estabilizadas dentro da incerteza desejada. Após feito isso, esses procedimentos devem ser

repetidos no mínimo três vezes para cada ponto de calibração, no caso tanto para a temperatura de fusão da água (0° C), quanto para a de ebulição (100°C).

A análise dos resultados é feita mediante uma consistência dos resultados obtidos, onde é possível fazer uma avaliação dos erros encontrados ou uma linearidade dos valores, denota-se que o objetivo da calibração é calcular o erro ou desvio dos dados, podendo ser resultante de uma diferença entre temperatura indicada pelo termopar e a temperatura padrão indicada pelo termômetro utilizado no experimento. Dessa forma, um erro tolerável na prática é de 1%. Portanto, com base nas temperaturas adquiridas dos termopares, nas duas situações (0°C e 100°C), é possível encontrar os coeficientes da equação da reta, como mostra a Tabela 3.5, de cada termopar a ser trabalhado e dessa forma, obter a temperatura real.

Tabela 3.5 – Coeficientes da equação da reta de cada termopar do Fieldlogger 1 (AUTOR, 2019)

Equação da reta dos Termopares	
F1_T1	$T_{real} = 1,0482T_{term} - 1,5882$
F1_T2	$T_{real} = 1,0504T_{term} - 1,7682$
F1_T3	$T_{real} = 1,0478T_{term} - 1,4111$
F1_T4	$T_{real} = 1,0295T_{term} - 1,1733$
F1_T5	$T_{real} = 1,0295T_{term} - 1,6238$
F1_T6	$T_{real} = 1,0359T_{term} - 1,6277$
F1_T7	$T_{real} = 1,0295T_{term} - 1,4852$
F1_T8	$T_{real} = 1,0334T_{term} - 1,4522$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho experimental foi realizado para investigar o desempenho dos painéis fotovoltaicos durante o uso dos dissipadores térmicos, ou aletas de alumínio, na parte inferior da célula. Os resultados dos dois painéis foram registrados em horários específicos, variando de 10 em 10 minutos, 15 em 15 minutos e 30 em 30 minutos, de 08:00 às 17:30.

Para realizar a coleta desses dados, foi necessário o auxílio de equipamentos, como o Fieldlogger, já mencionado no trabalho, para a leitura e registro dos dados de temperatura em intervalos pré-definidos (5 em 5 minutos). Além disso, foi necessário a utilização do software Ocam para registrar a tela do computador com o objetivo de coletar os dados de potência gerada na placa. A coleta dos dados de irradiação solar foi feita através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), como mostra a Tabela 4.1.

Além disso, antes de todas as coletas, foi feita a limpeza da placa, para diminuir perdas por impurezas. Em algumas conexões foram adicionado estanho para diminuir as perdas de carga. As fitas dos termopares também foram trocadas a fim de evitar impurezas e umidade, evitando a convecção e assim, tornando a leitura mais precisa.

Tabela 4.1 – Dados disponibilizados do dia 05/11/19 (Adaptado de INMET, 2019)

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação	Chuva
		UTC	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir. (°)	Raj.	(kJ/m ²)
05/11/2019	00	26.1	26.5	26.1	78	78	77	22.1	22.2	22.0	1005.0	1005.1	1004.5	1.7	248	5.0	1808.	0.0
05/11/2019	01	26.2	26.2	26.1	79	79	78	22.3	22.3	22.0	1005.7	1005.7	1005.0	2.0	241	6.0	1645.	0.0
05/11/2019	02	26.3	26.3	26.2	81	81	79	22.8	22.8	22.3	1005.6	1006.0	1005.6	2.2	242	5.9	1423.	0.0
05/11/2019	03	26.3	26.3	26.2	82	82	81	22.9	23.0	22.8	1004.6	1005.6	1004.6	2.3	240	6.5	1232.	0.0
05/11/2019	04	26.0	26.3	26.0	81	83	81	22.5	23.1	22.4	1003.8	1004.6	1003.8	2.3	243	6.7	1071.	0.0
05/11/2019	05	25.8	26.0	25.8	80	81	80	22.0	22.5	22.0	1003.3	1003.8	1003.3	2.3	244	7.5	1012.	0.0
05/11/2019	06	25.8	25.8	25.7	79	81	79	21.8	22.2	21.8	1003.5	1003.5	1003.3	2.8	242	7.0	1051.	0.0
05/11/2019	07	25.8	25.9	25.7	80	81	79	22.2	22.2	21.8	1003.5	1003.6	1003.5	1.8	254	6.8	1074.	0.0
05/11/2019	08	25.9	26.1	25.8	80	81	79	22.2	22.4	22.0	1004.1	1004.2	1003.5	2.5	251	6.7	900.1	0.0
05/11/2019	09	25.9	25.9	25.8	81	82	80	22.4	22.4	22.2	1004.7	1004.7	1004.1	2.2	254	6.7	1244.	0.0
05/11/2019	10	26.7	26.7	25.9	79	81	79	22.8	22.8	22.4	1005.3	1005.3	1004.7	2.4	254	7.1	2258.	0.0
05/11/2019	11	27.8	27.9	26.6	73	80	72	22.5	23.0	22.5	1006.2	1006.2	1005.3	3.7	253	9.6	2886.	0.0
05/11/2019	12	28.7	29.4	27.6	68	74	66	22.2	23.2	22.2	1006.4	1006.5	1006.2	4.3	254	10.6	595.2	0.0
05/11/2019	13	30.3	30.4	28.6	62	68	61	22.2	22.9	21.8	1006.5	1006.6	1006.4	4.4	262	10.7	1739.	0.0
05/11/2019	14	30.9	31.0	30.0	58	65	58	21.7	23.1	21.7	1006.5	1006.6	1006.5	3.8	266	10.6	2768.	0.0
05/11/2019	15	32.0	32.0	30.9	56	58	54	22.3	22.4	21.4	1005.7	1006.6	1005.7	3.7	273	9.7	3113.	0.0
05/11/2019	16	32.2	32.6	31.7	55	58	54	21.9	22.6	21.9	1004.7	1005.7	1004.7	3.7	239	9.7	3365.	0.0
05/11/2019	17	32.4	32.7	31.6	58	61	53	23.1	23.4	21.3	1004.1	1004.8	1004.1	3.3	235	9.3	3078.	0.0
05/11/2019	18	31.2	32.4	30.9	62	64	58	23.1	23.5	22.8	1003.5	1004.1	1003.5	3.7	228	9.2	2557.	0.0
05/11/2019	19	30.1	31.2	30.1	67	67	62	23.2	23.5	23.0	1003.3	1003.5	1003.3	3.3	230	9.2	2950.	0.0
05/11/2019	20	28.9	30.2	28.9	70	71	65	23.0	23.3	22.9	1003.5	1003.5	1003.3	3.4	238	9.5	2796.	0.0
05/11/2019	21	27.6	28.9	27.6	76	76	70	22.9	23.2	22.8	1003.7	1003.8	1003.5	3.4	229	9.0	2999.	0.0
05/11/2019	22	26.9	27.6	26.9	80	80	76	23.2	23.4	22.8	1004.1	1004.1	1003.7	2.2	230	7.3	1258.	0.0
05/11/2019	23	26.6	26.9	26.6	81	81	80	23.2	23.2	22.9	1004.6	1004.6	1004.0	2.8	230	6.3	777.0	0.0

4.1 COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA EM VÁRIAS INCLINAÇÕES DA PLACA

Os resultados das temperaturas da placa fotovoltaica com inclinação de 2° foram coletados nos dias 15 de Outubro de 2019 e 16 de Outubro de 2019. De acordo com a Figura 4.1, é possível inferir que, as temperaturas coletadas na placa fotovoltaica com as aletas foram menores do que o painel sem aletas. Além disso, a maior temperatura registrada quando utilizado o painel com aletas foi de $53,13^\circ\text{C}$, enquanto que a maior temperatura registrada no painel sem as aletas foi de $58,06^\circ\text{C}$. Dessa forma, houve um decréscimo de $4,93^\circ\text{C}$.

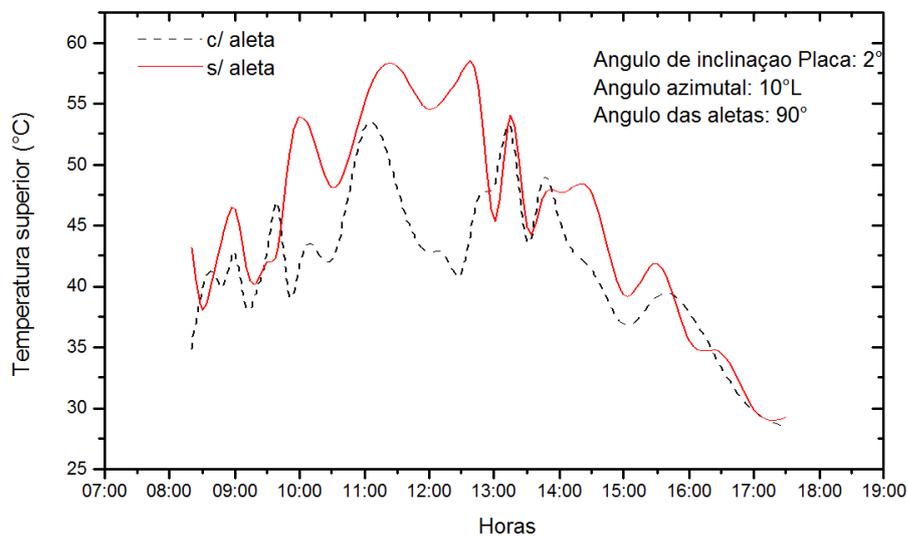


Figura 4.1 – Variação de temperatura do painel sem aletas e do painel com aletas em função do tempo (AUTOR, 2019)

Dentre os ângulos de inclinação estudados com o painel com as aletas, o que apresentou um resultado mais satisfatório foi o de 2° , de acordo com a Figura 4.2. Uma vez que a média de temperatura foi de $41,35^\circ\text{C}$, em comparação aos outros dias em que para os ângulos de 0° , 11° e 16° , as médias de temperatura foram, respectivamente, $44,74^\circ\text{C}$, $43,28^\circ\text{C}$, $43,51^\circ\text{C}$. Além disso, é possível inferir que, a temperatura da placa sofre grandes oscilações durante o dia, devido a quantidade de nuvens que bloqueiam as radiações solares na hora da coleta de temperatura. Quando isto acontece, a radiação torna-se difusa e consequentemente a temperatura diminui. Quando a radiação é direta, ou seja, sem nuvens entre o sol e a placa, a temperatura da placa tende a aumentar.

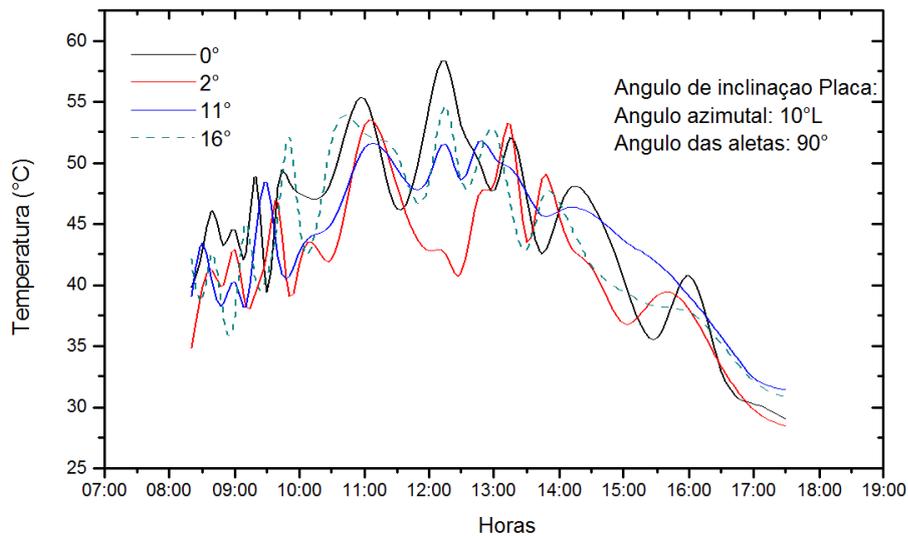


Figura 4.2 – Variação de temperatura do painel com aletas em vários ângulos de inclinação em função do tempo (AUTOR, 2019)

4.2 COMPARAÇÃO DA POTÊNCIA PARA VÁRIAS INCLINAÇÕES DA PLACA

Com base na Figura 4.3, é possível inferir que há uma grande ineficiência da placa com relação à sua potência, no período de 12h e 13h, e no fim da tarde, depois das 16h em média. No primeiro intervalo de tempo, a potência diminui devido à intensidade da radiação solar nesses horários, dessa forma a temperatura atinge máximas e a potência tende a ser baixa. Já no fim da tarde, ocorre o contrário, a radiação é muito pequena e o painel não consegue converter em energia elétrica com a mesma intensidade do começo do dia.

Além disso, por meio dos dados obtidos em Excel, é possível adquirir a média das potências coletadas durante o dia. Sendo assim, a maior média de potência coletada foi correspondente ao ângulo de inclinação de 2°, 39,92 W. Conforme afirma o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio S. Brito – CRESESB (2014), os ângulos de inclinação da placa são apenas sugestões para a instalação. A escolha depende muito da atividade fim da instalação e dos requisitos do projeto. No entanto, em geral, o valor da latitude do local é utilizado como ângulo de inclinação da célula fotovoltaica.

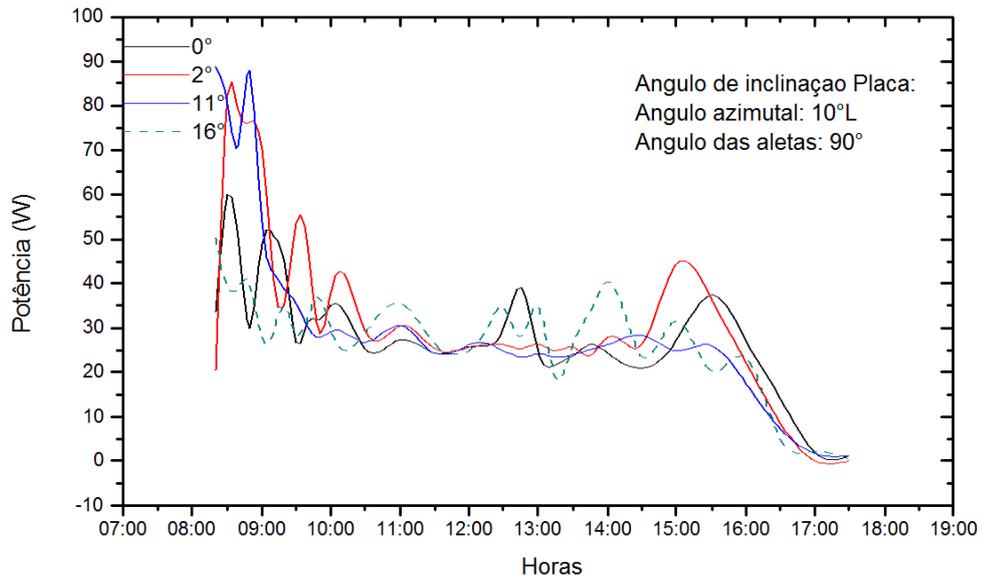


Figura 4.3 – Variação de potência do painel com aletas em vários ângulos de inclinação em função do tempo (AUTOR, 2019)

4.3 EFICIÊNCIA EXERGÉTICA PARA VÁRIAS INCLINAÇÕES DA PLACA

A Figura 4.4 mostra a curva de eficiência exergética em função do tempo para uma inclinação de 2° e ângulo azimutal de 10°L . Com a base de dados referente à essa inclinação, é possível obter a média de eficiência exergética tanto para a célula com os dissipadores térmicos quanto para a célula sem os mesmos. Dessa forma, a média de eficiência exergética da placa fotovoltaica sem a utilização das aletas, foi de 6,4% enquanto que a média para a placa com as aletas aumentou para aproximadamente 7,1%, ou seja, um ganho exergético de algo em torno de 0,6%. Esse acréscimo foi perceptível em todas as inclinações da placa, sendo de 1,1% para a inclinação de 0° , 0,12% para a inclinação de 16° e 2% para a inclinação de 11° .

Ainda que, a célula possuísse apenas duas aletas de alumínio, tornou-se possível obter uma ligeira melhora na eficiência exergética da placa. Dessa forma, com a utilização de mais aletas, é possível ter uma eficiência ainda maior e conseqüentemente, caso aplicado em usinas solares, essa diferença de eficiência pode ser ainda mais notória.

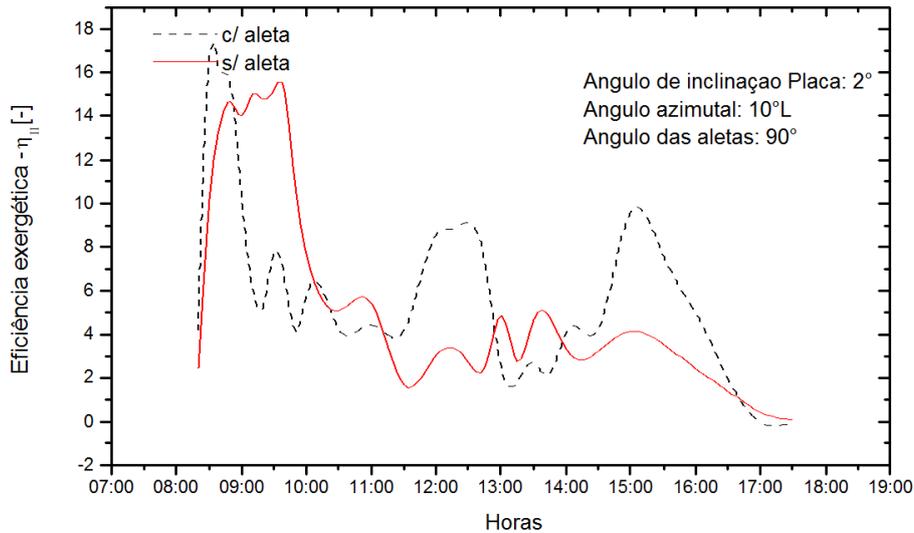


Figura 4.4 – Variação da eficiência exergética função do tempo do painel fotovoltaico com aletas com o ângulo de inclinação em 2° (AUTOR, 2019)

Dentre os ângulos de inclinação estudados com o painel com as aletas, com relação à eficiência exergética, o que apresentou uma maior média diária foi o de 11°, devido uma eficiência alta durante as primeiras 2 horas do dia, porém essa curva é atípica, não correspondendo aos padrões de curvas de eficiência exergética. Dessa forma, a curva que mais se aproxima da literatura é o de inclinação 2°, uma vez que de acordo com a Figura 4.5, as zonas de maior e menor eficiência são bem definidas e de fácil visualização.

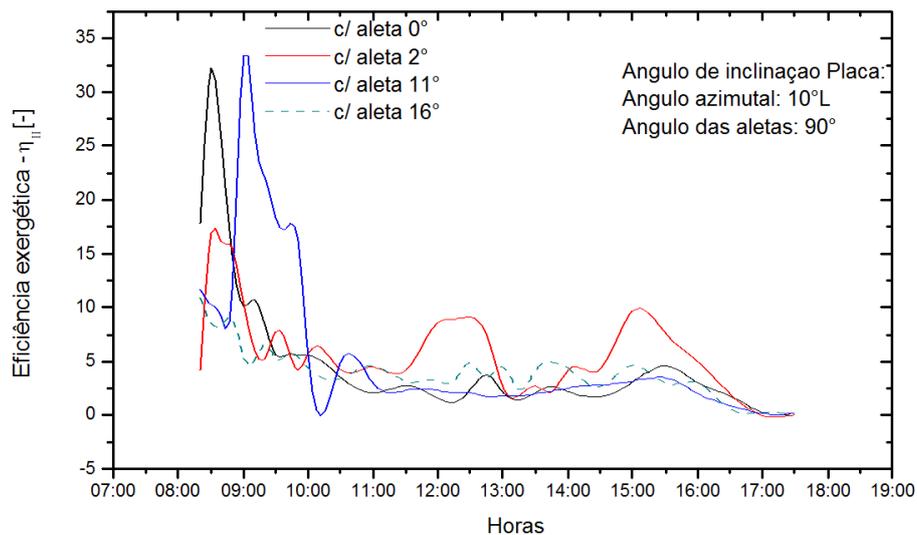


Figura 4.5 – Variação da eficiência exergética função do tempo do painel fotovoltaico com aletas em vários ângulos de inclinação (AUTOR, 2019)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O painel fotovoltaico é uma fonte especial de energia, uma vez que utiliza a energia solar como fonte de alimentação para transferi-la para energia elétrica, dessa forma, teoricamente quanto mais radiação mais conversão haveria de solar em elétrica. Entretanto, a eficiência dos painéis fotovoltaicos cai quando a temperatura aumenta. Sendo assim, mediante a análise dos resultados, o uso de dissipadores térmicos foi satisfatória, uma vez que apresentou uma diminuição da temperatura da placa fotovoltaica. Além disso, ao longo dos dias coletados, foi possível perceber uma ligeira melhora na média da eficiência exergética, cerca de 1%, utilizando as aletas de alumínio. A inclinação da placa que apresentou um resultado mais congruente com a literatura foi o de 2°, dado que a latitude do local é próxima a esse número. As condições climáticas que mais apresentaram influência na eficiência exergética, foram os dias nublados e parcialmente nublados, dado que as nuvens interferem negativamente na potência gerada na placa e conseqüentemente na sua eficiência.

Algumas melhorias podem ser feitas em trabalhos futuros, como o estudo mais aprofundado do dimensionamento das aletas e a influência que o seu ângulo traz para a eficiência da placa. Além disso, o estudo com uma quantidade maior de aletas pode melhorar de maneira significativa a eficiência exergética da mesma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Banco de Informações de Geração - BIG**. Brasília, Brasil, 2019. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm/>>. Acesso em: 10 de Novembro de 2019

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Banco de Informações de Geração - BIG**. Brasília, Brasil, 2019. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm/>>. Acesso em: 10 de Novembro de 2019

ATS, Gustavo. **Entenda o que são coolers e fans**. Techtudo. 2012. Disponível em: <<https://www.techtudo.com.br/artigos/noticia/2012/01/entenda-o-que-sao-coolers-e-fans.html>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

BOSO, A. *et al.* **Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no Brasil**. Revista científica ANAP Brasil, v.08,n.12,2015.

CARPES, F. **Qual a influencia da posição do sol para geração fotovoltaica?**. Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Disponível em: <<https://www.algaenergiasolar.com.br/blog/detalhes/5/equin-cio--22-09---qual-a-influencia-da-posi--o-do-sol-para-gera--o-fotovoltaica>>. Acesso em: 05 de Novembro de 2019.

CARVALHO, A., LIMA, J. **Análises dos princípios físicos responsáveis pela redução do desempenho de células fotovoltaicas**. 2018. Dissertação (Graduação) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA). Rio Grande do Norte, Mossoró.

ÇENGEL, Y. A., GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4ª Ed. AMGH Editora Ltda. 2012.

COSTA, S. M. E. **Análise experimental da eficiência exergética em uma placa fotovoltaica**. Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). São Luís. 2017

CRUZ, C. *et al.* **Estudo de viabilidade técnica e financeira para geração de energia elétrica utilizando painel fotovoltaico no shopping Oriundi – Aracruz**. 2017. P.84. Dissertação (Graduação) – Faculdade Integrada de Aracruz (FAACZ). Espírito Santo, Aracruz.

DELMAR AUTO PEÇAS. **Radiador de água RV2534**. Disponível em: <<https://delmarap.com.br/product/radiador-de-agua-rv2534/>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

FILHO, O. **Dispositivos eletrônicos**. Universidade Federal do Paraná (UFPR). Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ogouveia/te046/files/Aula3.pdf>>. Acesso em: 03 de Novembro de 2019

FILHO, Júlio. **Estudo sobre a utilização de Energia Solar no Brasil para Uso Residencial**. Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2014.

GRIDSOLARIS. **Sistemas híbridos.** Disponível em: <<http://gridsolaris.com.br/portal/servicos-2/sistema-hibrido/>>. Acesso em: 06 de Novembro de 2019.

INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e massa.** 6ª Edição. LTC. Rio de Janeiro, 2008

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Estações automáticas.** 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTIwMw==>. Acesso em: 17 de Novembro de 2019

JOSHI, A.S.;DINCER, I.; REDDY, B. V.. **Thermodynamic assessment of photovoltaic systems, Solar Energy.** pp. 1139-1149. 83 (2009).

LOPEZ, R. A., **Energia solar para produção de eletricidade.** São Paulo: Artliber Editora, p.27-190, 2012.

MARQUES, Afonso. 2017. **Seguidores Solares.** Disponível em: <<http://www.profafo nso.com/>>. Acessado em: 10 de Novembro de 2019.

MORAN, Michael; SHAPIRO, Howard N. et al. **Análise de Exergia (Disponibilidade). Princípios de Termodinâmica para Engenharia.** 7ª ed. Rio de Janeiro: Ltc editora, 2013.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Sun Fact Sheet.** USA,2016.

NEOSOLAR. **Painel solar fotovoltaico Yingli YL140P-17b (140Wp).** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-yingli-yl140p-17b-140wp.html>>. Acesso em: 11 nov. 2019.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes.** Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

NORTAO. **Saiba como funciona a energia solar.** Disponível em: <<http://nortaoenergiasolar.com.br/como-funciona/119/sistema-on-grid>>. Acesso em: 05 de Novembro de 2019.

PETELA, R. **Exergy of heat radiation,** Trans. ASME, J Heat Transfer2. P. 187-192. 1964.

PEREIRA, L. **Dopagem eletrônica.** 2018. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica/>>. Acesso em: 02 de Novembro de 2019.

PINTO, Carlos. Et al. **Energia solar.** Projeto FEUP. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto (FEUP). 2015.

RIBEIRO, NADJA. **Análise de Sistema Híbrido Solar.** 2016. Dissertação (Graduação) - Universidade de Brasília. DF.

ROSA, RODRIGO. **Sistema fotovoltaico híbrido (on-grid e off-grid)**. CSR Energia Solar. Espírito Santo, 2017.

RUVIARO, R. et al. **Análise da variação da eficiência do módulo fotovoltaico em função da temperatura**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 2018. Gramado. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria.

SANTOS, Marco Aurélio et al, **Fontes de Energia Nova e Renovável**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SILVA, V. **O uso de dissipadores térmicos para a redução da temperatura da placa fotovoltaica**. 2019. P. 53. Dissertação (Graduação) - Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). São Luís.

WIKIVERSIDADE. **Programación de Ingeniería Mecánica UPB**. 2017. Disponível em: <https://es.m.wikiversity.org/wiki/Programación_de_Ingeniería_Mecánica_UPB:Grupo_1410_08>. Acesso em: 07 nov. 2019.

WYLEN, V. et al. **Fundamentos da termodinâmica**. 6ª Edição. Editora Edgard Blucher Ltda. 2003

ZILLES, R. *et al.* **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Oficina de textos. São Paulo, 2012.