

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DA GEOTERMIA NO AUMENTO DO RENDIMENTO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS

FEASIBILITY ANALYSIS OF THE USE OF GEOTHERMY IN THE INCREASE OF PHOTOVOLTAIC PLATE PERFORMANCE

Lucas Coutinho do Nascimento¹; Agleison Ramos Omido²

¹Discente, curso de Engenharia Civil, UFGD; ²Docente, curso de Engenharia Civil, UFGD
E-mail¹: lucas._coutinho@hotmail.com; E-mail²: AgleisonOmido@ufgd.edu.br

RESUMO: A energia, além de sinal de desenvolvimento, é hoje motivo de grande preocupação já que a maioria das fontes utilizadas para sua geração não são renováveis e o ciclo dos combustíveis fósseis como fonte de energia para a humanidade está se aproximando do fim. Os recursos finitos, aliados aos gases com efeito de estufa, gerados na produção de energia através de fontes não renováveis, levaram a um esforço maior na busca por fontes alternativas de energia renovável. A energia fotovoltaica se mostra uma alternativa para esse fato, já que possui inúmeras vantagens, como a sua disponibilidade durante todo o ano, facilidade de instalação, além da redução nos custos de implantação. Em contrapartida, apresenta uma queda do rendimento na conversão da energia devido ao aumento da temperatura do painel fotovoltaico em operação. Diante disso, este trabalho avaliou a eficiência de um sistema híbrido de energia fotovoltaica com a energia geotérmica. A possibilidade de utilização da energia geotérmica no resfriamento das placas solares e consequente aumento de rendimento foi verificada. Resultados iniciais apontaram um acréscimo próximo de 2,5 a 4,0% nesse rendimento e redução na temperatura de operação da placa de 10 °C, aproximadamente.

Palavras-chave: Eficiência. Energia Geotérmica. Energia Fotovoltaica.

ABSTRACT: The energy, as well as a sign of development, today is a matter of great concern since the majority of the sources used for their generation is not renewable and the cycle of fossil fuels as a source of energy for humanity is approaching the end. The finite resources, allied to the greenhouse gases generated in the production of energy from non-renewable sources, has led to a greater effort in the search for alternative sources of renewable energy. Photovoltaic energy is an alternative to this fact, has many advantages, such as its availability throughout the year, ease of installation, reducing the cost of deployment. On the other hand, Features a fall of income in energy conversion due to the increase in the temperature of the PV panel in operation. Therefore, this work evaluated the efficiency of a hybrid photovoltaic energy system with geothermal energy. The possibility of using geothermal energy in the cooling of solar panels and consequent increase of productivity was verified. Initial results indicated an increase close to 2.5 to 4.0% in income and reduction in operating temperature of 10 °C, approximately.

Keywords: Efficiency. Geothermal energy. Photovoltaic energy.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a busca pelo desenvolvimento sustentável tornou-se uma preocupação no mundo todo. Uma das maneiras de buscar esse desenvolvimento sustentável é investir em energias renováveis, frente a isso a energia solar é uma opção já utilizada para auxiliar tal forma de crescimento. Entre as vantagens da energia solar pode-se citar o fato de que ela está disponível o ano todo, a facilidade na sua instalação e a independência do funcionamento de seu sistema, que pode ser conectado ou não à rede de distribuição de energia elétrica, garantindo o fornecimento de energia para comunidades rurais e propriedades afastadas dos pontos de fornecimento.

Durante sua operação, a placa fotovoltaica apresenta queda no seu rendimento, sendo que esta é consequência do aumento da temperatura devido à irradiação e à temperatura ambiente. Desta forma, estudos vem sendo desenvolvidos para contornar tal problema até hoje sem solução.

2 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento econômico de um país é refletido na demanda energética necessária pra mover a economia e garantir conforto para sua população. Com o desenvolvimento tecnológico, a busca por

equipamentos que facilitem as tarefas do dia a dia vem crescendo, com a população buscando o conforto que estes aparelhos eletrônicos proporcionam. Assim como nos grandes centros, a demanda energética no meio rural, seja para conforto ou para gerar um aumento na produção, apresenta grande crescimento e pelo fato de as comunidades rurais, assentamentos e propriedades afastadas da rede de distribuição possuírem dificuldades de acesso à energia elétrica, uma das soluções possíveis é a instalação de painéis fotovoltaicos.

Devido a seu potencial hídrico, a maior parcela responsável pela produção de energia no Brasil vem das usinas hidrelétricas. Mas devido aos impactos ambientais causados pela sua implantação e a vulnerabilidade do sistema frente a possíveis períodos de estiagem, o país tem procurado desenvolver novas fontes a fim de diversificar a matriz energética e garantir o abastecimento durante o ano todo.

A Energia Solar é uma das principais fontes de energia renovável disponíveis no Brasil, porém, ela esbarra em um problema recorrente e, até o momento, sem solução: a queda do rendimento na produção de energia elétrica devido ao aquecimento das placas fotovoltaicas durante a operação.

Nesse sentido, o presente trabalho surgiu do interesse em investigar a eficiência

da combinação entre duas energias renováveis, a energia fotovoltaica e a energia geotérmica. A finalidade do estudo foi verificar o rendimento da placa fotovoltaica associada à refrigeração realizada por um sistema geotérmico.

3 PROBLEMATIZAÇÃO

A energia solar é uma fonte de energia renovável com grande potencial de exploração no Brasil. Sua captação e conversão para energia elétrica é feita através da placa fotovoltaica, que, quando em funcionamento, apresenta elevação de temperatura, o que provoca queda em seu rendimento. Para contornar esse problema, estuda-se a possibilidade do emprego da geotermia superficial para o resfriamento das placas através de um sistema geotérmico.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

Avaliar o rendimento do módulo fotovoltaico com o resfriamento através da energia geotérmica.

4.2 Objetivo específico

Mapear o comportamento da temperatura do sistema com o emprego do resfriamento.

Verificar o aumento de rendimento da placa através da vazão proporcionada por uma bomba da água ligada ao sistema.

Verificar a viabilidade do emprego da geotermia para resfriamento do módulo fotovoltaico.

Desenvolver um sistema de bombeamento do fluido refrigerante da placa que permita a utilização da técnica com pouco consumo de energia elétrica.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento de equipamentos empregados no setor industrial, residencial e novas tecnologias voltadas ao meio rural para o aumento da produção, demandam a cada dia mais energia. Assim, a produção de energia elétrica para suprir esse alto consumo de aparelhos eletrônicos é um dos desafios para os atuais governos. Outro desafio é a necessidade de desenvolver a produção de energia de forma sustentável, objetivando minimizar os impactos ambientais.

No Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2017), a matriz elétrica é bem variada. Com o seu grande potencial hídrico, a maior parcela responsável pela produção de energia no país vem das usinas hidrelétricas. Em seguida aparece a energia que vem de combustíveis fósseis, que são fontes de energia poluidoras e não renováveis. Já as parcelas eólica, nuclear, biomassa e solar são renováveis, mas também as de menor expressão. Isso evidencia a necessidade de aumentar a produção de energia proveniente dos recursos renováveis,

uma vez que há uma preocupação principalmente com a poluição gerada por combustíveis fósseis e, no caso do Brasil, o impacto ambiental causado pelas usinas hidrelétricas e a preocupação com a vulnerabilidade do sistema frente a possíveis períodos de estiagem.

Segundo dados publicados pelo Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2017), o consumo geral de energia elétrica no ano de 2016 teve uma queda de 0,9% em comparação com o do ano 2015. Essa queda pode ser vista como consequência da crise econômica, que causa recuo na produção industrial responsável pela maior parcela do consumo de energia de um país. Já o setor rural apresentou aumento de 5,3% se comparado com o ano anterior e, durante os últimos 5 anos, demonstrou consumo crescente de energia elétrica, como pode ser verificado na tabela 1 que apresenta o consumo por classe.

Tabela 1: Consumo por classe (GWh)

	2012	2013	2014	2015	2016	Δ% (2016/2015)	Part. % (2016)
Brasil	448.176	463.134	474.823	464.976	460.829	-0,9	100
Residencial	117.646	124.908	132.302	131.190	132.872	1,3	28,8
Industrial	183.475	184.685	179.106	168.856	164.557	-2,5	35,7
Comercial	79.226	83.704	89.840	90.768	87.873	-3,2	19,1
Rural	22.952	23.455	25.671	25.899	27.266	5,3	5,9
Poder público	14.077	14.653	15.354	15.189	15.092	-0,6	3,3
Iluminação pública	12.916	13.512	14.043	15.333	15.035	-1,9	3,3
Serviço público	14.525	14.847	15.242	14.730	14.969	1,6	3,2
Próprio	3.359	3.371	3.265	3.011	3.164	5,1	0,7

Fonte: Anuário estatístico de energia elétrica, 2017.

De acordo com dados publicado pelo EPE (2016), o setor do agronegócio demanda cada vez mais energia elétrica para realizar

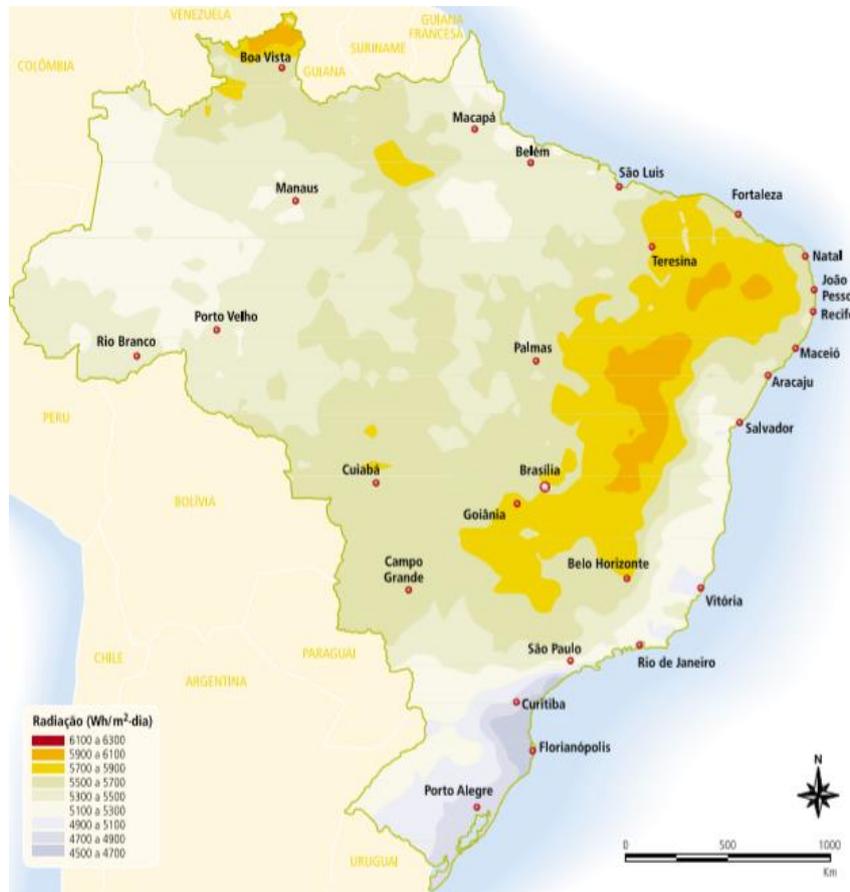
suas atividades, apresentando projeções crescentes até 2050. Tal aumento é justificado pela automatização e industrialização que o setor vem sofrendo nos últimos anos, seja para máquinas de secagem de grãos, pivôs de irrigação ou motores em geral. Outra questão vem do fato de as propriedades e assentamentos, que demandam grande quantidade de energia, a consegue através de um gerador, devido à distância entre a rede de distribuição elétrica e esses locais.

Para atender toda a demanda por energia elétrica que aumenta progressivamente, a energia solar fotovoltaica é vista como uma boa opção. Apresenta vantagens como o fato de estar disponível o ano todo, ser uma fonte de energia renovável e inesgotável, podendo ainda ser instalada próxima ao ambiente em que será usufruída. Os sistemas fotovoltaicos são baseados em painéis ou módulos compostos por células fotovoltaicas, que captam a energia da luz solar e produzem corrente elétrica.

A quantidade de energia produzida por um sistema fotovoltaico depende da insolação do local em que é instalado. De acordo com Villalva *et al.* (2014), o Brasil apresenta taxas de insolação médias anuais muito boas, na ordem de 4.500 a 6.000 Wh/m².dia. As regiões Nordeste e Centro-Oeste são as que possuem o maior potencial

de aproveitamento da energia solar. A figura 1 apresenta a radiação solar no Brasil.

Figura 1: Radiação solar no Brasil – média anual típica (Wh/m².dia)



Fonte: Agência Nacional de Energia elétrica, 2005.

5.1 Efeito Fotovoltaico

A energia solar fotovoltaica é a obtida através da conversão direta da luz em eletricidade. Este efeito, denominado fotovoltaico, descoberto por Edmond Becquerel, em 1839, consiste no surgimento de uma diferença de potencial entre dois materiais semicondutores de propriedades elétricas diferentes devido à incidência de luz (fótons) na região de junção entre eles. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental

deste processo de conversão (GALDINO *et al*, 2000).

O efeito fotovoltaico está diretamente relacionado ao efeito fotoelétrico, mas a diferença entre os dois é que o primeiro se dá em materiais semicondutores, sendo que o material mais utilizado para compor células fotovoltaicas é o silício (Si), elemento onde cada átomo possui quatro elétrons em sua banda de valência (MATTOS, 2016).

5.1.1 Tipos de placas fotovoltaica no mercado

Atualmente no mercado existem diferentes tecnologias empregadas nos painéis fotovoltaicos, descreve-se de forma sucinta as principais tecnologias disponíveis, apresentadas por Souza (2018):

-Silício Monocristalino: Representam a primeira geração, são constituídos por células monocristalinas de silício. Esses painéis são feitos através de um único cristal puro de silício, que é cortado em lâminas individuais.

-Silício Policristalino: Baixo custo de produção, já que a perfeição cristalina é menor que no caso do monocristalino e o processamento mais simples, a principal diferença entre o silício policristalino e o monocristalino é que o monocristalino é obtido a partir do crescimento de um único cristal, já o policristalino é obtido a partir da solidificação do material fundido, originando a formação de inúmeros cristais.

-Silício amorfo: O silício amorfo não possui uma estrutura cristalina, mas sim uma rede irregular. A grande desvantagem é a sua baixa eficiência.

-Disseleneto de Cobre e Índio (CIS): Para se fabricar as células CIS o substrato é revestido com uma fina camada de molibdênio através de deposição catódica, e a camada CIS do tipo P pode ser fabricada através da vaporização

simultânea do cobre, índio e selênio, numa câmara de vácuo a 500°C, ou através da deposição camada a camada dos materiais.

-Telureto de Cádmio (CdTe): As células de CdTe são fabricadas sobre um substrato de vidro, com uma camada de óxido de estanho índio (OTI) como contato frontal, que é revestido com uma camada transparente de sulfato de cádmio (CdS) do tipo N, e depois com a camada de telureto de cádmio (CdTe) do tipo P.

O quadro 1 apresenta a eficiência em laboratório e eficiência em produção de cada tipo de painel.

Quadro 1: Eficiência de conversão

Material	Eficiência em laboratório	Eficiência em produção
Silício mono	24,7%	18%
Silício poly	19,8%	15%
Silício amorfo	13%	10,5%
CIS, CIGS	18,8%	14%
CdTe	16,4%	10%

Fonte: Adaptado de Souza, 2018.

Michels (2007) afirma que o desempenho do módulo fotovoltaico é altamente influenciado pela temperatura, que aliada com a irradiação solar do local onde é instalado, são os dois principais fatores que influenciam a produção de energia pelos módulos fotovoltaicos. Com o aumento da irradiação, aumenta a temperatura da célula

e, conseqüentemente, ela tende a reduzir a eficiência do módulo.

Simões (2015) reporta que os fabricantes quantificam esse efeito através de um parâmetro conhecido como Coeficiente de Potência. Ele indica qual o percentual da potência que se perde para cada °C a mais de temperatura no painel. Em casos extremos, as placas podem chegar a 70°C dependendo da hora e lugar, o que pode ter um impacto instantâneo de quase 30% na geração.

Devido a essa queda de rendimento busca-se alternativas para melhor dissipação do calor ou até mesmo a refrigeração do painel. Um exemplo disso são as Placas PVT (Placa Fotovoltaico-Térmica), as quais promovem a cogeração de energia por meio de coletores térmicos, resultando na geração de eletricidade e aquecimento de água de forma simultânea (MIGLIAVACCA *et al.*, 2014).

Apresenta-se outra forma de minimizar o efeito da temperatura, através do emprego da geotermia para a refrigeração da placa fotovoltaica, através de um fluido refrigerante que absorve o calor excedente e dissipa-o para o solo.

5.2 Energia geotérmica

Para *International Energy Agency* (IEA), a Energia geotérmica é a energia em forma de calor disponível dentro da crosta da Terra, normalmente sob a forma de água

quente ou vapor. É explorada em locais adequados para a geração de eletricidade após a transformação, ou diretamente sob a forma de calor para aquecimento, agricultura, entre outros.

A energia geotérmica é definida pelo Parlamento Europeu, Comité de Energia (2008) como “a energia armazenada sob a forma de calor debaixo da superfície da terra” (LAW,2009).

Existem diversas formas de aproveitamento da energia geotérmica, seja para geração de energia elétrica, produção de água quente para processos industriais e até mesmo para aquecimento e arrefecimento de ambientes. Cada aplicação depende da temperatura disponível para ser explorada, ou seja, de acordo com sua entalpia, que pode ser definida, resumidamente, “como a quantidade de energia térmica que um fluido, ou objeto, pode permutar com a sua envolvente, expressa-se por kJ/kg ou kcal/kg”. Assim, a energia geotérmica pode ser classificada em quatro categorias (TRILLO e ANGULO, 2008):

- Alta temperatura (maior que 150 °C): Uma temperatura superior a 150 °C permite transformar diretamente o vapor de água em energia elétrica.
- Média temperatura (entre 90 e 150 °C): Permite produzir energia elétrica

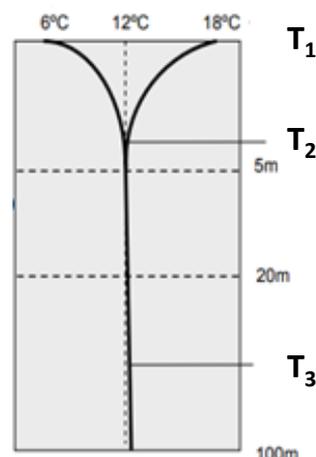
utilizando uma troca de fluidos, que é o que alimenta a central.

- Baixa temperatura (entre 30 e 90°C): O seu conteúdo em calor é insuficiente para produzir energia elétrica, mas é adequado para aquecimento de edifícios e processos industriais e agrícolas.
- Muito baixa temperatura (menos que 30 °C): Pode ser usado para aquecimento e refrigeração, necessitando do uso de bombas de calor.

Neste trabalho mostraremos como a Energia Geotérmica de muito baixa entalpia ($T < 30\text{ °C}$) pode ser empregada na refrigeração do módulo fotovoltaico, através de um fluido refrigerante aliado a um sistema de bombeamento, com o objetivo de aumentar a eficiência na geração da energia elétrica pela placa fotovoltaica.

Estudos demonstraram que a temperatura do solo a poucos metros de profundidade, é bastante estável e próxima à média anual da região (VIERA e MARANHA, 2009). A figura 2 apresenta um esquema da variação da temperatura do solo em função da profundidade. Em T1 estão representadas as temperaturas máxima (18 °C) e mínima (6 °C) de certo período de tempo, em T2, a tendência de convergência para um valor constante (12 °C) e próximo da média da região e, em T3, a partir de certa profundidade, o aumento da temperatura decorrente do gradiente térmico terrestre.

Figura 2: Fontes de energia e com a profundidade do perfil de temperatura.



Fonte: Adaptado de Law, 2009.

De acordo com relatórios publicados pela Embrapa (2017) e apresentados na tabela 2, a média anual da região de Dourados é 22,9 °C.

Tabela 2: Temperatura média (T), temperatura máxima (TM), temperatura mínima (Tm) e amplitude térmica mensal (ΔT) da região de Dourados, MS

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Ano
T (°C)	25,5	25,4	25,1	23,6	19,5	19,2	18,4	20,9	22,4	24,5	24,8	25,6	22,9
TM (°C)	31,7	31,6	31,5	29,7	25,9	25,0	25,5	28,3	29,1	30,9	31,4	31,6	29,3
Tm (°C)	21,0	20,7	20,0	18,1	14,6	13,2	12,3	13,8	15,8	18,5	19,4	20,6	17,3
ΔT (°C)	10,7	10,9	11,5	11,6	11,3	11,8	13,2	14,5	13,3	12,4	12,0	11,0	

⁽¹⁾ Dados da estação meteorológica automática, período de janeiro de 2001 a maio de 2016.

Fonte: Embrapa, 2017.

Nos sistemas energéticos de baixa entalpia a captação de energia pode ser feita de várias formas diferentes. A opção por um ou outro modo de captação depende das características do terreno, área disponível e resultados pretendidos.

De acordo com Raposo *et al.* (2015), os tipos de captação podem ser classificados em

dois tipos, sistemas abertos e sistemas fechados.

Nos sistemas em circuito fechado, que são comumente utilizados, o fluido térmico se movimenta dentro de um loop que circula e não tem contato direto com o solo; a transferência de calor com o solo ocorre através do material da tubulação. Existem quatro classes de sistemas de troca de calor de circuito fechado: vertical, horizontal, espiral e lagoa (Stuart, 2013).

Sistemas abertos interagem diretamente com o solo. Estes sistemas utilizam as águas subterrâneas ou de superfície, tais como lagos e lagoas, como um meio de transferência de calor. A água é extraída e passa através do permutador de calor e, depois, descarregada de volta à origem ou pode ser utilizada para irrigação do solo, por exemplo (Stuart, 2013).

Geralmente um sistema de refrigeração geotérmico é utilizado para aquecer e arrefecer ambientes, com o emprego de bombas de calor geotérmico. Nesse trabalho desenvolveu-se um sistema aberto para refrigerar uma placa fotovoltaica com o intuito de restabelecer o rendimento na sua produção de eletricidade em temperaturas adequadas. Para garantir uma maior eficiência do modelo, buscamos empregar um sistema capaz de bombear a água com o menor gasto de eletricidade, substituindo as bombas de calor.

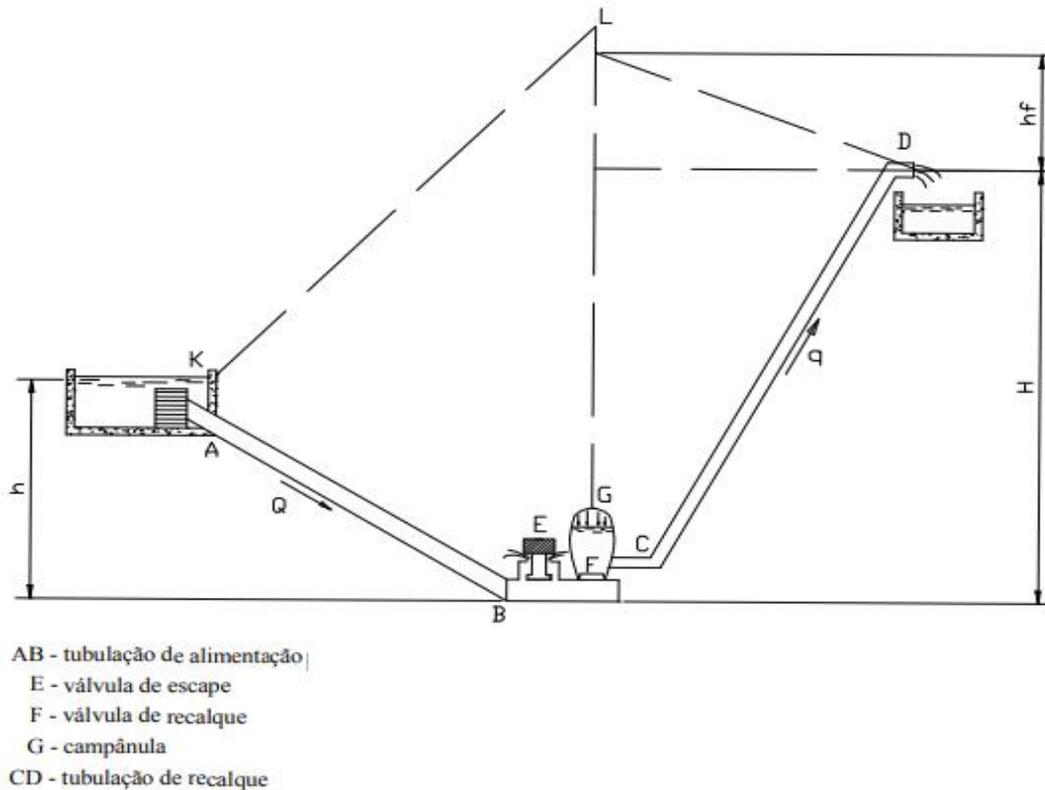
Visto que o intuito dessa pesquisa é aumentar o rendimento das placas que são destinadas a atender o público rural, o tipo de coletor geotérmico escolhido foi a configuração em aberto utilizando águas superficiais, com a utilização de um carneiro hidráulico para bombeamento do fluido e posterior utilização da água para irrigação de plantações e fins agropecuários.

5.3 Carneiro hidráulico

Oliveira e Souza (2015), define o carneiro hidráulico como um equipamento utilizado para bombear água sem a necessidade de energia elétrica, ou outras fontes de energias fósseis. O funcionamento do carneiro hidráulico é decorrente do golpe de aríete causado pelo fechamento de uma válvula, que interrompe o movimento da água proveniente de uma fonte de alimentação localizada em nível superior.

Para explicar o funcionamento do carneiro hidráulico Abate e Botrel (2002) citam Daker (1970), que apresenta os princípios de funcionamento do equipamento representado na figura 3:

Figura 3: Esquema funcional de um carneiro hidráulico



Fonte: Brotel e Abate,2002.

O processo inicia-se com a abertura da válvula E, a água decorrente da alimentação escapa pela válvula até que o empuxo que esta sofre cause seu fechamento de forma brusca, promovendo, assim, uma elevação da pressão no tubo de alimentação. A coluna de água desce pelo tubo AB com velocidade progressiva, ficando num dado instante sem saída, produzindo o choque denominado “golpe de aríete”, o qual abre a válvula de recalque F, permitindo a entrada da água na câmara de ar G. Como decorrência, o ar existente na parte superior da campânula é comprimido e oferece uma resistência crescente à entrada do líquido, chegando a tal ponto de fazê-la cessar, e fechando a válvula de recalque F, sendo que isto caracteriza o fim

de um ciclo. Este fim de ciclo causa um alívio de pressão no interior do tubo de alimentação, que associado à depressão (pressão negativa) faz com que a válvula de escape E se abra iniciando um novo ciclo. Estando E aberta, há um novo ciclo e, com ciclos sucessivos, a água que vai penetrando na câmara de ar G, obtendo pressão para subir no tubo de elevação CD, fazendo com que flua para o reservatório superior quando a pressão na campânula corresponder à altura manométrica de recalque. A eficiência do carneiro hidráulico depende do desnível entre o reservatório de coleta e a posição onde o equipamento foi instalado.

6 METODOLOGIA

O sistema idealizado se inicia na coleta de água do corpo hídrico através de um sistema de bombeamento utilizando o carneiro hidráulico que movimenta a massa de água para um reservatório próximo a placa. A água desce por gravidade e umedece uma espuma sólida instalada atrás da placa que é presa por um suporte. Ao passar pela espuma, a água absorve o calor da placa e depois é destinada para fins agropecuários, ou retorna ao corpo hídrico, uma vez que o sistema não polui a água.

Devido à dificuldade de instalar a placa próximo a um corpo hídrico, o sistema de análise foi adaptado, utilizando os processos descritos a seguir.

Utilizou-se a placa fotovoltaica instalada junto ao prédio da FAEN (Faculdade de Engenharia) – unidade 2. Os dados técnicos da placa solar são apresentados na figura 4, extraídos do catálogo do fornecedor, e a figura 5 mostra as placas que foram utilizadas.

Figura 4: Dados das placas utilizada no experimento.

Dados Técnicos

Modelo.....	SF 125X125-72-M(L)
Código anauger.....	50900
Potência máxima (PPMP).....	175 W
Corrente máxima potência (IPMP).....	4,90 A
Tensão máxima potência (UPMP).....	35,7 V
Corrente curto-circuito (IK).....	5,20 A
Tensão circuito aberto (U0).....	44,6 V
Temperatura das células operação normal (NOCT).....	50 °C
Tolerância potência.....	± 3%
Condição de teste.....	1000W/m²; AM1,5; 25°C
Tensão máxima do sistema.....	1000 V
Eficiência energética (PROCEL – INMETRO).....	13,6% - Classe A
Geração com 12 anos.....	90% da potência
Geração com 25 anos.....	80% da potência

Dimensões

Peso.....	16 kg
Dimensões.....	1580 x 808 x 35 mm
Célula tipo.....	Mono-Si
Classe de aplicação.....	Classe A
Classe de isolamento.....	Classe II

Fonte: Anauger, catálogo do fornecedor.

Figura 5: Placas utilizadas no experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o desenvolvimento do experimento foi instalado um suporte para acomodar a espuma sólida atrás da placa, como é mostrado na figura 6. A água utilizada para realizar a troca de calor com a espuma foi proveniente do reservatório da faculdade.

Figura 6: Detalhe do suporte e a espuma instalados atrás da placa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A temperatura da água que circulou no sistema foi monitorada, através de um termômetro portátil modelo TP3001. Os termômetros portáteis foram fixados na espuma próximos a canaleta de coleta da água utilizada no resfriamento, assim a

temperatura indicada era da água que já havia absorvido calor da região superior da placa.

Para a análise da eficiência da placa foi empregado um sistema de bombeamento, que foi alimentado com a energia produzida pelas placas, desta forma, quando a placa produz mais energia, uma maior vazão é recalcada pela bomba. Para acompanhar o desempenho da bomba foi instalado um medidor de vazão eletromagnético em PVC modelo O VMS® PRO, que permitiu monitorar a vazão instantânea produzida pela bomba. A figura 7 mostra o esquema de bombeamento e o medidor de vazão.

Figura 7: Detalhe do sistema de monitoramento da eficiência da placa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para tentar controlar as variáveis que podem influenciar no desempenho da placa, como a irradiação solar, buscou-se realizar a coleta de dados com e sem resfriamento em períodos próximos, visto que o índice de radiação e a inclinação do sol variam muito durante o dia.

As placas utilizadas no teste estavam ligadas em série, portanto não foi possível a análise isolada da placa com resfriamento.

Para a verificação da temperatura ambiente foi utilizado outro termômetro portátil modelo TP3001. A coleta da temperatura da água que circulou na espuma foi realizada utilizando o mesmo termômetro, para eliminar a água parada dentro da mangueira, a torneira foi ligada e a água quente que estava presente na mesma foi rejeitada; na sequência a temperatura pode ser medida. A vazão foi aferida com auxílio de um cronômetro e um barrilete com capacidade de 7l. Depois que a temperatura da água foi medida, a mangueira foi ligada a um cano PVC de ½ polegada, com vários furos ao longo do seu comprimento, que tinham a função de distribuir a água de maneira uniforme na espuma. Esse tubo foi colocado na parte superior do suporte da espuma.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A coleta de dados foi realizada no período primavera/verão, durante os meses de outubro e novembro, pois durante esse período a temperatura ambiente é mais elevada e os períodos de irradiação solar são maiores se comparado com período de outono/inverno, caracterizando um cenário mais favorável ao aumento da temperatura de operação da placa e conseqüentemente a apresentação de maior queda em seu

rendimento. Os dados foram coletados no período matutino e vespertino.

No primeiro dia de coleta, dia 22 de outubro de 2018, a coleta de dados foi realizada no período da tarde, os dados coletados são apresentados no quadro 2.

Quadro 2: Influência da radiação solar na eficiência da placa.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
15:00	1,15	31,0	52,5
15:30	1,02	30,8	55,0
15:45	0,70	30,2	50,0
16:20	0,23	30,4	39,2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode-se observar, há uma grande variação da vazão com pouco aumento da temperatura da placa, esta grande variação está associada à inclinação do sol e à incidência de luz na placa. Devido a esta grande variação da incidência de luz na placa o período de estudo foi delimitado, no período matutino após as 8:00 horas e no período vespertino até as 15:30 horas.

No segundo dia de coleta, 23 de outubro de 2018, ao início do experimento o céu apresentava formações de nuvens e no decorrer do experimento houve o aumento dessas nuvens que resultaram em chuva durante o período da tarde. Nesse dia os dados coletados se limitaram a verificação da alta temperatura praticada pela placa sem o resfriamento. Os dados são apresentados no quadro 3.

Quadro 3: Dados para a verificação da temperatura da placa sem o resfriamento.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
09:15	1,30	33,6	50,0
9:30	1,26	32,9	59,0
9:47	1,28	32,7	62,0
9:57	1,24	34,6	67,4
10:07	1,18	34,2	71,7
10:13	1,18	34,3	69,9
10:17	1,20	35,0	68,4
10:27	1,17	34,0	72,4
10:37	1,18	36,0	69,0
10:47	1,18	34,7	73,0
10:55	1,18	36,5	68,2
11:00	1,18	35,8	73,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode-se observar, à medida que a temperatura na placa aumenta, a produção de energia que alimenta a bomba cai, resultando uma redução na vazão. O pico de temperatura apresentado foi de 73,5 °C.

Após um período de chuva as coletas foram retomadas no dia 29 de outubro 2018. Agora com alguns parâmetros como a variação da irradiação solar e a temperatura que a placa pode apresentar, os ensaios com o resfriamento começaram a ser realizados.

Inicialmente foram coletados dados da placa sem o resfriamento e, em seguida, foi executado o resfriamento da placa. Ressalta-se que, para tentar controlar a variação de alguns parâmetros, os ensaios com e sem resfriamento foram efetuados em períodos próximos. A vazão sem o resfriamento apresentou variação entre 1,10 - 1,13 m³/h. Os dados são apresentados no quadro 4.

Quadro 4: Dados para a verificação da temperatura sem resfriamento, período da manhã do dia 29.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
9:25	1,12	28,5	56,7
9:35	1,12	28,2	59,8
9:44	1,11	31,9	61,3
9:46	1,10	31,8	61,2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida foi instalada a espuma sólida atrás da placa e pré umedecida, esperou-se um intervalo de tempo, de aproximadamente 15 minutos, para a estabilização da temperatura da placa e voltamos a coletar dados, agora com o sistema de resfriamento em funcionamento. A vazão registrada variou entre 1,13 - 1,16 m³/h, os dados estão expostos no quadro 5.

Quadro 5: Dados para a verificação da temperatura com resfriamento, dia 29.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
10:01	1,15	31,3	45,1
10:12	1,15	28,0	48,5
10:21	1,14	27,5	51,0
10:31	1,15	27,3	54,0
10:41	1,13	28,5	55,0
10:51	1,13	30,0	54,0
11:01	1,14	30,5	54,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

A temperatura da água de circulação no sistema foi de 26 °C e a vazão utilizada foi de $1,9 \times 10^{-5}$ m³/s, aproximadamente. Houve um acréscimo de 0,03 m³/h na vazão e aproximadamente 10°C de queda de temperatura da placa.

No mesmo dia à tarde foi realizada outra coleta de dados. Com início às 12:05h,

próximo de 12:35h o tempo nublado paralisou a coleta de dados que foi retomada uma hora depois. Abaixo estão expostos os dados coletados sem e com resfriamento, nos quadros 6 e 7 respectivamente.

Quadro 6: Dados para a verificação da temperatura sem resfriamento, período da tarde do dia 29.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
12:05	1,14	32,7	66,7
12:20	1,16	32,3	72,8
12:35	1,15	31,8	70,8
13:35	1,16	32,0	60,9
13:41	1,16	30,6	60,9

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 7: Dados para a verificação da temperatura com resfriamento, período da tarde do dia 29.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
13:48	1,20	30,3	45,7
14:00	1,21	31,5	42,0
14:05	1,21	32,9	46,3

Fonte: Elaborado pelo autor.

A temperatura da água era de 27,0°C e a vazão utilizada foi de $2,21 \times 10^{-5}$ m³/s. A coleta de dados foi paralisada às 14:05h devido ao tempo que nublou e impossibilitou a continuação da coleta de dados.

A vazão sem resfriamento da placa foi entre 1,14 - 1,17 m³/h, já com o resfriamento a variação foi de 1,19 - 1,21 m³/h, ou seja, a placa com resfriamento apresentou um ganho médio de 0,045 m³/h em seu rendimento.

No dia 30 de outubro de 2018 foram realizadas novas medidas, o céu estava com algumas nuvens que evoluíram para céu

nublado no período vespertino. Os resultados estão expostos nos quadros 8 e 9.

Quadro 8: Dados para a verificação da temperatura sem resfriamento, dia 30.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
9:18	1,16	31,2	57,8
9:26	1,14	31,7	61,7
9:32	1,15	32,0	63,2
9:38	1,15	31,6	64,5
9:43	1,14	32,2	65,8

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 9: Dados para a verificação da temperatura com resfriamento, dia 30.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
9:48	1,16	30,1	53,6
9:53	1,17	32,9	55,0
10:02	1,16	33,2	57,2
10:09	1,16	33,4	58,2
10:16	1,15	33,0	61,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

O quadro 9 apresenta os resultados da placa com o resfriamento, a vazão de circulação foi de $1,54 \times 10^{-5}$ m³/s e a temperatura da água 26,6°C. Como pode-se observar, a temperatura da placa diminui no início, porém apresentou aumento contínuo aproximando-se da temperatura registrada sem o resfriamento. Tal fato pode estar associado a vazão de circulação da água na espuma que foi a menor vazão testada. Para verificar a influência da vazão foi realizado outro ensaio, os dados coletados estão expostos nos quadros 10 e 11.

Quadro 10: Dados para a 2ª verificação da temperatura sem resfriamento, dia 30.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
10:40	1,16	31,7	63,7
10:45	1,15	61,8	66,2
10:50	1,16	32,3	68,3
10:55	1,14	32,0	66,7

Fonte: Elaborado pelo autor.

A coleta de dados com a placa resfriada foi realizada com outra vazão e por mais tempo para testar a hipótese que a vazão influencia na troca de calor e a eficiência da espuma nessa troca. A temperatura da água de circulação foi de 26,7°C e a vazão de $1,83 \times 10^{-5}$ m³/s. Os dados estão no quadro 11.

Quadro 11: Dados para a 2ª verificação da temperatura com resfriamento, dia 30.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
11:10	1,19	33,2	53,1
11:17	1,19	33,2	51,4
11:24	1,20	34,0	50,0
11:29	1,19	34,1	54,6
11:34	1,22	33,1	53,1
11:40	1,20	33,5	56,8
11:45	1,22	33,9	54,6
12:29	1,20	35,3	56,2
12:35	1,19	35,4	56,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os dados do quadro 11, monitorados durante 1 hora e 25 minutos, pode-se concluir que a vazão influencia na troca de calor, pois a temperatura na placa apresentou pouca variação com uma vazão maior. Possivelmente a vazão utilizada no quadro 9 não tinha força para mover a massa de água presente na parte superior da espuma

formando um reservatório, gerando o aquecimento da água nessa região.

Ainda no dia 30 no período da tarde foi realizado mais um teste, a temperatura da água que circulou na espuma era de 26,7 °C e a vazão foi a mesma usada anteriormente. A vazão sem o resfriamento apresentou variação entre 1,17 - 1,21 m³/h e com resfriamento 1,21 - 1,25 m³/h. O incremento na vazão foi de aproximadamente 0,04 m³/h devido ao resfriamento, os dados estão nos quadros 12 e 13.

Quadro 12: Dados para a 3ª verificação da temperatura com resfriamento, dia 30.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
12:53	1,25	33,9	47,3
12:58	1,24	33,8	51,2
13:03	1,22	34,1	52,2
13:08	1,23	34,6	52,8

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 13: Dados para a 3ª verificação da temperatura sem resfriamento, dia 30.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
13:20	1,18	32,1	58,4
13:25	1,19	32,5	61,0
13:33	1,21	33,6	55,7
13:38	1,21	34,1	59,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por volta das 13:25h e 13:33h o movimento de nuvens projetou sombra sobre a placa resultando em uma diminuição da temperatura.

No dia 2 de novembro 2018 foi realizada uma nova coleta de dados no período da tarde, o céu apresentava formações de algumas nuvens, a água que

circulou no sistema estava a 26,6 °C com uma vazão de 1,95x10⁻⁵ m³/s. Os dados são apresentados no quadro 14.

Quadro 14: Dados para a verificação da temperatura sem e com resfriamento, dia 2 novembro.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
13:25	1,13	31,4	62,0
13:30	1,13	31,8	63,8
13:35	1,14	30,7	60,7
13:45*	1,18	30,4	48,2
13:50*	1,18	30,3	51,0
13:55*	1,17	29,7	51,7
14:00*	1,16	30,0	51,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

* Dados coletados com o resfriamento

A vazão sem o resfriamento apresentou variações entre 1,13 - 1,16 m³/h, já a vazão com o sistema de resfriamento alterou-se entre 1,16 - 1,19 m³/h, isso demonstra novamente que o aumento da eficiência devido ao resfriamento ficou em torno de 0,03 m³/h acrescidos na vazão instantânea da bomba.

A seguir foi realizado mais um teste, agora com uma vazão diferente, 2,85x10⁻⁵ m³/s e a temperatura da água a 27,0 °C, os resultados são apresentados no quadro 15.

Durante o período resfriado houve algumas nuvens impedindo parcialmente a incidência do sol, que resultou em uma queda no rendimento da placa. No geral a placa sem o resfriamento produziu uma vazão de 1,12 - 1,15 m³/h, e com o resfriamento inicialmente ela produzia entre 1,13 - 1,17 m³/h e após as

nuvens reduzirem parcialmente a insolação, caiu para 1,06 - 1,10 m³/h.

Quadro 15: Dados para a 2ª verificação da temperatura sem e com resfriamento, dia 2 novembro.

Horário	Vazão (m ³ /h)	T _{ambiente} (°C)	T _{placa} (°C)
14:25	1,15	29,8	52,0
14:30	1,14	29,5	53,0
14:35	1,13	29,8	53,2
14:40	1,13	29,5	53,0
14:46*	1,15	28,8	44,3
14:51*	1,15	28,2	43,6
14:56*	1,14	29,9	43,6
15:01**	1,07	31,0	43,5
15:06**	1,08	30,8	41,4

Fonte: Elaborado pelo autor.

* Dados coletados com o resfriamento

** Dados com interferência das nuvens

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho observa-se um aumento do rendimento da placa fotovoltaica à medida que a água fluía pela espuma atrás da placa extraíndo calor, com acréscimo entre 0,03 - 0,04 m³/h na vazão instantânea. A temperatura da água utilizada variou entre 26 e 27 °C, com isso já obtive-se resultados positivos. Acredita-se que utilizando água proveniente do corpo hídrico, que de acordo com a literatura se aproxima da média anual da região, de 22,9 °C, a absorção de calor será maior, aumentando ainda mais o rendimento.

O fato dos testes terem sido realizados em períodos diferentes pode ter resultado em algumas interferências nos dados. Para melhor performance recomenda-se realizar os testes

simultaneamente, criando um sistema de bombeamento e avaliação para uma placa sem o resfriamento e outra com o resfriamento instaladas em paralelo, fazendo com que as duas sejam expostas à mesma condição de teste.

Para aumentar a eficiência de troca entre a placa e a espuma recomenda-se a implementação de um outro tubo próximo ao meio da placa para fornecer água com temperaturas menores para a região inferior da mesma, já que a água que atingia a região inferior da espuma já havia absorvido calor da região superior, reduzindo seu potencial de resfriamento. O suporte que acomodou a espuma apresentou vazamentos com vazões elevadas, desta forma, para testar o sistema com maior percolação de água deve-se estancar tais vazamentos para garantir que toda a água percorra o comprimento da placa, trocando calor com a mesma.

Estudos precisam ser conduzidos a partir das informações levantadas neste trabalho, no intuito de aperfeiçoar a técnica, uma vez que os dados aqui apresentados apontam para a possibilidade de implantação do sistema descrito proporcionar um aumento no rendimento das placas solares.

9 AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta

longa caminhada. Agradecer a minha família pela força e apoio durante a minha graduação.

Agradeço ao Prof. Dr. Agleison Ramos Omido, por toda orientação e apoio ao longo de toda a minha formação através de projetos, pesquisas e no desenvolvimento deste trabalho.

Agradecer ao Prof. Dr. Orlando Moreira por disponibilizar a placa fotovoltaica para a realização do estudo.

Aos técnicos da Faculdade de Engenharia pelo apoio e suporte durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa e do curso, pelo apoio durante minha jornada no curso de graduação.

Agradecer a PROEX (Pró-reitoria de Extensão e Cultura) pelo apoio financeiro.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ANEEL– AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. **Energia solar. Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. Ed. Brasília-DF, 2005. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf)>. Acesso: 7 de junho 2018.
2. BUHLER, Alexandre José. **Estudo de técnicas de determinação experimental e pós-processamento de curvas características de módulos fotovoltaicos**. Tese (Doutorado em engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do sul. Porto Alegre, p. 195. 2011.
3. BOTREL, Tarlei Arriel; ABATE, Caroline. **Carneiro Hidráulico Com Tubulação De Alimentação Em Aço Galvanizado E Em Pvc**. Scientia Agricola, v.59, n.1, p.197-203, jan./mar. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sa/v59n1/8095.pdf>>. Acesso em: 4 de junho 2018.
4. EMBRAPA. **O clima da região de Dourados MS**. 3º ed. revista e atualizada, v.34,2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1079733/1/DOC2017138FIETZ.pdf>>. Acesso em: 3 junho 2018.
5. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017, ano base 2016**. Rio de Janeiro,2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>> Acesso em: 20 de maio 2018.
6. EPE – Empresa de Pesquisa Energética – **ESTUDO DE DEMANDA DE ENERGIA**, demanda de energia 2050. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro,2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>> Acesso em: 25 de maio 2018.

7. GALDINO, Marco; LIMA, Jorge; RIBEIRO, Cláudio; SERRA, Eduardo; **O contexto das energias renováveis no Brasil**. Revista da Direng, 2000. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf>. Acesso em: 28 fevereiro 2018.
8. LAW, Ryan. **Geothermal Systems in the Chalk of the South East of England: Methods of Predicting Thermal Transport in a Fractured Aquifer**. University of Birmingham. 2009. Disponível em: <http://etheses.bham.ac.uk/981/1/Law10PhD.pdf>. Acesso em: 20 maio 2018.
9. MATTOS, Gustavo Marques. (2016). Estudo de rendimento e temperatura de painéis fotovoltaicos com uso de técnica de concentração solar. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro.
10. MICHELS, Roger Nabeyama. **Avaliação de um sistema de bombeamento de água alimentado por painéis fotovoltaicos**, 2007. Trabalho de conclusão de curso (Pós-graduação em engenharia agrícola) - Universidade Estadual do oeste do Paraná, Cascavel-PR.
11. MIGLIAVACCA, Alencar et al. **Cogeração elétrica e térmica utilizando placas fotovoltaicas refrigeradas a água**. Anais do SEPE - Seminário de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFFS, [S.l.], v. 4, n. 1, out. 2014. ISSN 2317-7489. Disponível em: <<https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/SEPE-UFFS/article/view/1895>>. Acesso em: 27 de maio 2018.
12. OLIVEIRA, Tallis José Cardos de; SOUZA, Teófilo Miguel de. **Eficiência do carneiro hidráulico para bombeamento de água**. 8º Congresso de extensão universitária da UNESP, p. 1-4, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/142437>>.
13. RAPOSO, Milton Daniel Gonçalves; Tiago PINHEIRO, Alexandre Sequeira. **Bombas de Calor Geotérmicas-Enquadramento e perspectiva**, 2015. Disponível em: <http://bdigital.ipg.pt/dspace/bitstream/10314/2881/1/Milton%20Raposo_1010670%20-%20Bombas%20de%20Calor%20Geot%C3%A9rmicas%20%E2%80%93%20Enquadramento%20e%20Perspetivas.pdf>. Acesso em: 20 agosto 2018
14. SIMÕES, Felipe. (2015). **Entenda o que influencia a geração do seu sistema solar**. Disponível em: <<http://www.enovaenergia.com.br/blog/post/entenda-o-que-influencia-a-geracao-do-seu-sistema-solar>>.
15. STUART, J. S. **Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options**. Applied energy, Elsevier, vol. 101(C), p. 341-348, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912000542>>. Acesso: 28 maio 2018.
16. SOUZA, Ronilson di. **Os sistemas de energia fotovoltaica**. v.1. Disponível em:

<<http://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>. Acesso em: 8 junho 2018.

17. Trillo L. and Angulo V. R., **Guía de la Energía Geotérmica**. Fundación de la Energia de la Comunidade de Madrid. 2008.
18. VIEIRA, A.; MARANHA, J. **Estudo de Modelação Numérica do Comportamento de Estruturas Termoactivas**. Em: Actas do 12º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa, 2009. Disponível em: <<http://repositorio.lnec.pt:8080/jspui/handle/123456789/1003622>>. Acesso: 28 maio 2018.
19. VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael (2014). **Energia Solar Fotovoltaica** - Introdução. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/261175798_Energia_Solar_Fotovoltaica_-_Introducao>.