

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UMA PLACA SOLAR FIXA E COM SEGUIDOR SOLAR DE EIXO ÚNICO NO MUNICÍPIO DE QUIXERÉ-CE

José Geovane Ribeiro Freitas¹, Idalmir de Souza Queiroz Júnior²

Resumo: A energia proveniente do sol pode ser transformada em energia elétrica através da geração fotovoltaica e se tornar um dos meios alternativos para suprir a demanda mundial. Porém para o melhor aproveitamento desta energia solar se fazem necessários investimentos e estudos nesta área, garantindo assim uma eficiência adequada a fim de compensar o seu alto custo de instalação e obter um maior retorno. Neste trabalho, foi analisada a influência do posicionamento de placas solares em relação aos raios solares e o quanto isso interfere na geração de energia. Os dados foram coletados durante 7 dias e avaliados através de gráficos. Foram descritos os instrumentos de medição, a posição dos painéis, alguns fatores ligados diretamente ao desempenho de placas solares e um breve estudo sobre a teoria fotovoltaica. O presente trabalho teve como objetivo fazer uma análise comparativa entre um painel fixo e outro com seguidor solar, que foram instalados na cidade de Quixeré-CE. Em comparação com o painel fixo foi constatado que o painel com seguidor solar obteve uma melhora na potência média entre 79,31% e 114,53%. A eficiência média com seguidor solar foi de 3,94% a 8,47%, sempre se mantendo mais alto do que o painel fixo, confirmando que o painel móvel é mais rentável.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica, desempenho energético, seguidor solar

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda energética na atualidade, se faz necessário buscar meios alternativos para a geração de energia através de fontes renováveis. Uma destas é a energia solar, que é obtida através de conversão da luz direta em eletricidade (Efeito Fotovoltaico), sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo fabricado com material semicondutor, a unidade fundamental desse processo de conversão [1].

Diante de mudanças no cenário mundial, no qual aumenta o consumo energético devido ao grande avanço tecnológico e também ao grande aumento populacional, os países necessitam buscar alternativas de geração de energia que seja obtida de maneira sustentável. Então com se faz necessário desenvolver métodos para se atingir o máximo de eficiência de um sistema de geração de energia, a fim de se obter uma maior produção energética.

A matriz energética brasileira, possui sua base nos recursos hídricos, devido a sua grande disponibilidade. Apesar disso, o país vem aumentando investimentos em outras fontes de energia como a biomassa e a energia eólica. Devido ao desenvolvimento nesta área de energias renováveis os investimentos também seguem para a energia solar, pois o país tem grande potencial através de bons níveis de radiação observados e a sua disposição territorial no globo terrestre [2].

O Brasil possui um grande potencial para gerar eletricidade a partir do sol. Comparando o local menos ensolarado no Brasil com o local mais ensolarado da Alemanha, que é um dos líderes no uso da energia fotovoltaica, verifica-se que é possível gerar mais energia elétrica aqui. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, diariamente incide entre 4.444 Wh/m² a 5.483 Wh/m² no Brasil [3]. Nos últimos anos a geração de energia solar aumentou consideravelmente, e em 2019 se chegou ao valor de 3769 usinas em operação [4]. Além disso, os preços dos painéis estão reduzindo de preço enquanto a eficiência das placas fotovoltaicas está aumentando, fazendo com que seja mais atrativo o investimento. Apesar da grande expansão até o início de 2019, o setor de energia solar só representava 1% da capacidade instalada no país, podendo atingir o valor de 3,3GW da fonte em operação [5].

Uma das maneiras de aumentar a eficiência de geração dos painéis fotovoltaicos é usando rastreadores solares. Os rastreadores solares são dispositivos que tem o objetivo de manter o painel fotovoltaico na posição perpendicular aos raios solares, o que proporciona um aumento considerável na produção de energia elétrica em comparação às estruturas fixas [6]. É de extrema importância a sua correta instalação conforme a posição da luz solar ao decorrer do dia.

¹ Estudante de Graduação, Bacharelado em Ciência e Tecnologia, UFRSA / CCEN

² Orientador, Dr. UFRSA / Departamento de Engenharia e Tecnologia - DET

O presente trabalho visa o estudo do comportamento da produção de energia elétrica de acordo com o posicionamento das placas solares e o quanto isso é importante para o aproveitamento máximo da energia solar. Também é objetivo desenvolver uma metodologia simples e barata que permita medir indiretamente a irradiância solar.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Princípios básicos do efeito fotovoltaico

A energia solar é captada pelas células fotovoltaicas, transformando radiação solar em energia elétrica de corrente contínua. Essas células podem ser de diversos materiais, o mais comum entre eles é o silício, que compõem as células de silício cristalino, que quando processadas e expostas à luz produzem uma diferença de potencial elétrico que é chamado de efeito fotovoltaico. Como o cristal de silício puro não conduz bem a eletricidade, é necessário o acréscimo de outros elementos afim de obter um material que possua elétrons livres, causando excesso ou falta de elétrons dependendo do elemento a ser acrescentado. Esse processo é conhecido como dopagem [7].

As células fotovoltaicas são formadas por uma junção tipo p-n no qual a camada do tipo p é caracterizada pela falta de elétrons e forma um material cristalino que possui 3 elétrons na camada de valência, e a camada do tipo n é caracterizada pelo excesso de elétrons e forma um material cristalino que possui 5 elétrons na camada de valência. Quando a célula recebe a luz do sol, os fótons são transmitidos para ela e os que possuírem energia de banda-gap maior do que o material semiconductor são absorvidos pela camada do tipo n e esta energia é transferida para o elétron e a lacuna da camada tipo p, isso faz com que os elétrons circulem entre os terminais formando uma corrente contínua que depende proporcionalmente do fluxo de fótons. Isso reforça a ideia de que quando se aumenta a irradiância, aumenta também o fluxo de fótons, e consequentemente a corrente fica maior [2] [7]. A Figura 1 mostra a estrutura básica de uma célula fotovoltaica [1].

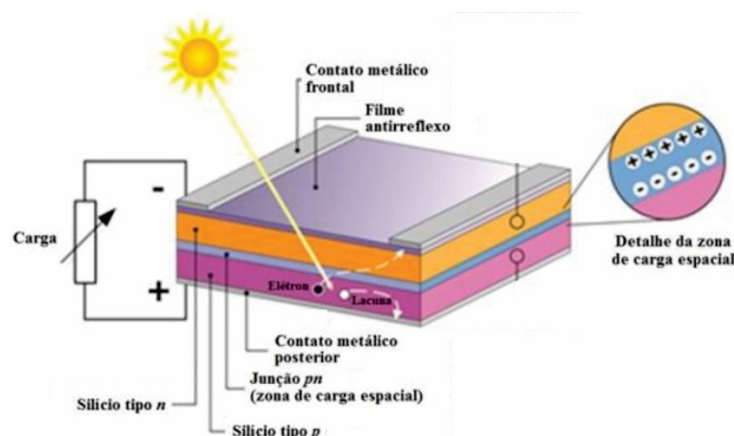


Figura 1. Estrutura básica de uma célula fotovoltaica. [Adaptado de CRESESB, 2014]

2.2. Características elétricas dos módulos fotovoltaicos (Luminosidade, Temperatura)

Na Figura 2 [1] percebe-se a relação da corrente com a tensão, em que I_{sc} é a corrente de curto circuito, ou seja, a máxima corrente que o sistema pode alcançar e V_{oc} é a tensão de circuito aberto que é a máxima tensão do sistema, ambos são medidos sem a carga no sistema. Também pode-se observar a curva que relaciona a potência com a tensão, em que I_{mp} é valor máximo da corrente, V_{mp} é valor máximo da tensão e P_{mp} é a potência de pico, ou seja, o valor máximo da potência que o dispositivo pode alcançar. I_{mp} e V_{mp} atribuem potência máxima ao dispositivo sob determinadas condições de irradiância e temperatura [8].

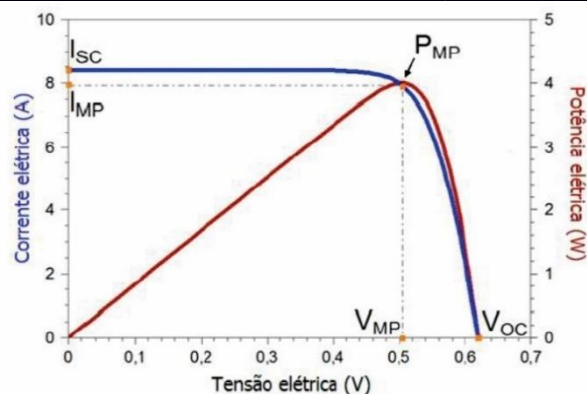


Figura 2. Curvas características I-V e P-V. [CRESESB, 2014]

Um fator que é muito importante no sistema de placas solares é a temperatura, pois quanto maior a temperatura do módulo fotovoltaico maior será a corrente e menor será a tensão, resultando em perdas significativas da potência gerada. Essa temperatura depende de diversos fatores, como os materiais que constituem os módulos, a dissipação de calor para o ambiente, as condições em que os módulos são instalados e alguns fatores ambientais (irradiância, temperatura ambiente e velocidade do vento) [2]. Na Figura 3 é mostrado o efeito causado pela temperatura na tensão e corrente [9].

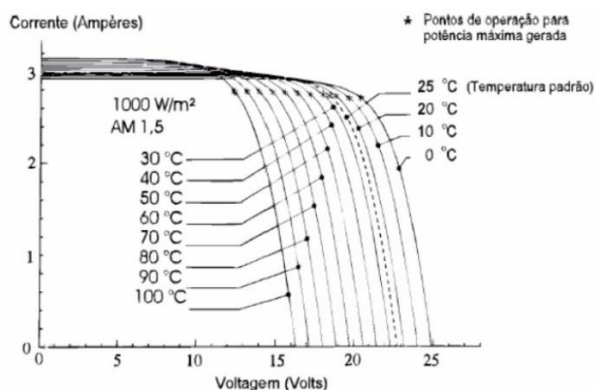


Figura 3. Efeito da temperatura na tensão e corrente. [CRESESB, 2004]

A irradiância solar é um fator essencial para o desempenho de placas solares, pois ela está ligada diretamente a potência gerada, visto que a corrente elétrica aumenta de forma linear quando há o aumento da irradiância, e a tensão também aumenta, mas de forma logarítmica, mantendo-se a mesma temperatura. A Figura 4 mostra o efeito da irradiância na tensão e corrente, no qual o módulo é mantido a 25°C [1].

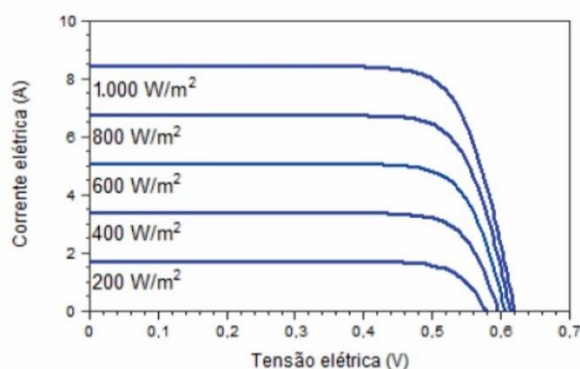


Figura 4. Efeito da irradiância na curva característica I-V. [CRESESB, 2014]

2.3. Alguns tipos de instalações de painéis referente à captação da luz solar

2.3.1. Painel fixo

Este tipo de instalação de painéis requer que a face das placas solares estejam voltadas para o norte em se tratando de instalações que estejam em locais no hemisfério sul e voltadas para o sul caso as instalações estejam em locais do hemisfério norte, que para a máxima geração de energia anual o ângulo de inclinação deve ser igual

à latitude do local [1]. A Figura 5 mostra o ângulo de inclinação de placas solares fixas [1].

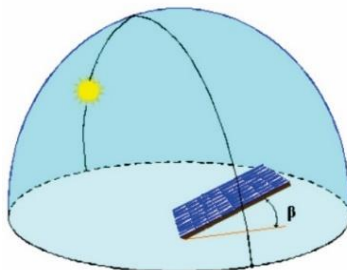


Figura 5. Ângulo de inclinação de painéis solares fixos. [CRESESB, 2014]

2.3.2. Painel móvel do tipo rastreador solar

O rastreador solar é do tipo eixo único em que os painéis acompanham a movimentação solar sobre o eixo norte-sul, inclinando-se com o valor do ângulo da latitude do local onde será instalado o painel solar [10]. A Figura 6 mostra este tipo de rastreador [10].

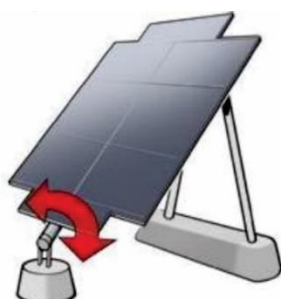


Figura 6. Rastreador solar de eixo único. [VIEIRA, 2014]

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa parte do trabalho foram citados os métodos, os materiais e equipamentos que foram necessários para a pesquisa e o período da pesquisa, que no caso foi entre 30 de setembro de 2019 e 08 de outubro de 2019. Nos dias 02 e 07 de outubro de 2019 as medições não foram realizadas.

3.1. Caracterização do local

O trabalho foi realizado na cidade de Quixeré no estado do Ceará, que possui localização geográfica de $5^{\circ} 04' 27''$ (S) e $37^{\circ} 59' 19''$ (W) [11] e é um local que tem índice médio diário de irradiância conforme Tabela 1 [12].

MÊS	IRRADIAÇÃO GLOBAL SOLAR MÉDIA (W/m^2)
Janeiro	229,58
Fevereiro	238,33
Março	241,25
Abril	231,66
Maio	227,50
Junho	220,83
Julho	232,50
Agosto	256,25
Setembro	265,83
Outubro	267,08
Novembro	258,75
Dezembro	237,91

Tabela 1. Média de irradiância global solar. [CRESESB, 2019]

Como a cidade fica próxima a linha do Equador, possui uma baixa latitude, a posição do sol varia pouco ao longo do ano, ou nas horas diárias de sol [10].

3.2. Custo do projeto

A tabela 2 apresenta os valores dos componentes utilizados no projeto, bem como o valor total.

ITEM	QUANTIDADE	PREÇO (R\$)
Estrutura móvel	01	40,00
Estrutura fixa	01	20,00
Placa solar 10W	02	185,00
Minipainel solar	01	69,00
Multímetro	05	185,00
Serviço do disco divisor	01	35,00
Lâmpadas 21W	02	10,00
Piranômetro	01	85,00
TOTAL	-	629,00

Tabela 2. Preços dos componentes do projeto. (Autoria Própria)

3.3. Projeto e estrutura

O projeto possui um protótipo fixo e outro móvel de acordo com a Figura 7, que visa ao final do trabalho obter dados sobre a comparação da potência gerada e também o quanto é importante o conhecimento sobre a angulação adequada para a instalação das placas.

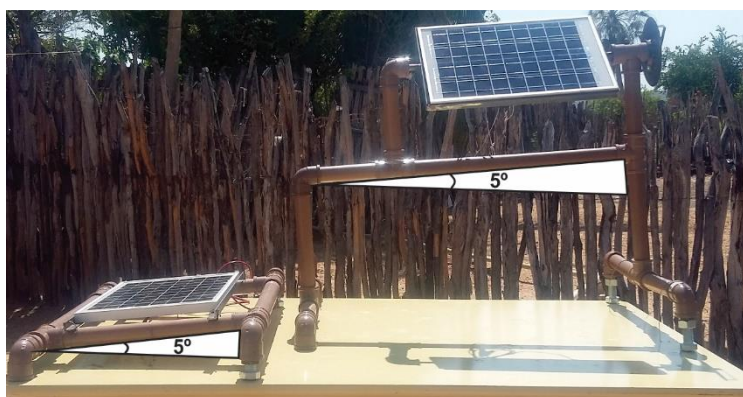


Figura 7. Estrutura do painel fixo e móvel. (Autoria Própria)

Para se obter o máximo aproveitamento da energia solar, o protótipo fixo foi direcionado de modo que a face da placa solar ficasse apontada para o norte e que a inclinação com a horizontal fosse de 5°, que é a latitude do local onde foi realizado o experimento.

O protótipo móvel também foi instalado na mesma angulação e apontamento igualmente ao anterior, este possui um disco divisor conforme Figura 8 que foi utilizado manualmente para alterar a angulação da placa solar em 5°. Os dados foram coletados a partir de 08:30h da manhã até 16:34h da tarde com medições a cada 22 minutos durante 7 dias de pesquisa conforme o período já citado anteriormente. O objetivo foi tentar manter o máximo possível a luz solar perpendicular ao plano do painel.



Figura 8. Disco divisor. (Autoria Própria)

A Tabela 3 apresenta as devidas características dos painéis solares utilizados na pesquisa, no qual os dados foram fornecidos pelo fabricante Jiaxi / Modelo 10W.

Potência Máxima (P _{máx})	10W
Tensão de circuito aberto (V _{oc})	22V
Corrente de curto circuito (I _{sc})	0,62A
Tensão na potência máxima (V _{mp})	18V
Corrente na potência máxima (I _{mp})	0,56A

Tabela 3. Características dos painéis solares. (Autoria Própria)

Para a medição de irradiância solar foi desenvolvido um dispositivo baseado em um pequeno painel fotovoltaico, onde a medida da tensão gerada pelo painel e calibrada por um equipamento comercial, permitiu a medição aproximada desta grandeza. A calibração do minipainel solar da marca Fraflor modelo G-M275 foi realizada através do medidor Instrutherm MES-100. Foram coletados dados de tensão e irradiância em vários momentos ao decorrer do dia e a comparação das medidas gerou uma equação de transformação do valor da tensão medida em irradiância. O processo de calibração é mostrado na Figura 9.



Figura 9. Processo de calibração. (Autoria Própria)

De posse dos valores de tensão e irradiância e usando o método de regressão linear através do software Excel conforme explicado por [13], a irradiância pode ser obtida em função da tensão através da Equação 1. (Para valores de tensão entre 5,45V e 5,82V).

$$G = (-1046 \times V) + 7091,3 \quad (1)$$

Coeficiente de determinação ($R^2=0,8627$)

Onde:

G=Radiação solar incidente (W/m²)

V=Tensão, em Volts (V)

E através da Equação 2. (Para valores de tensão <5,45V).

$$G = (607,29 \times V) - 2735,2 \quad (2)$$

Coeficiente de determinação ($R^2=0,9297$)

Onde:

G=Radiação solar incidente (W/m²)

V=Tensão, em Volts (V)

O minipainel foi instalado na mesma estrutura onde estavam localizadas as placas solares. Com o minipainel já devidamente calibrado, foi utilizado o multímetro da marca Foxlux modelo FX-MD para a medição de tensão e depois ser utilizada na Equação 1 ou 2 conforme já mencionado. O processo de medição de irradiância é mostrado na Figura 10.



Figura 10. Processo de medição de irradiância. (Autoria Própria)

Para a medição de temperatura das placas solares, utilizou-se o piranômetro digital infravermelho da marca Benetech modelo GM-300, conforme é mostrado na Figura 11.



Figura 11. Processo de medição de temperatura dos módulos. (Autoria Própria)

Para a medição da potência gerada pelas placas solares foi necessário a instalação de uma lâmpada 21W/24V de corrente contínua da marca Osram em cada circuito e também de dois multímetros do mesmo modelo já mencionado anteriormente. Na análise da tensão o multímetro foi instalado em paralelo com a carga e na análise da corrente o mesmo foi instalado em série conforme a Figura 12. Com estes valores obtidos e através da Equação 3 foi possível encontrar a potência gerada conforme [7].

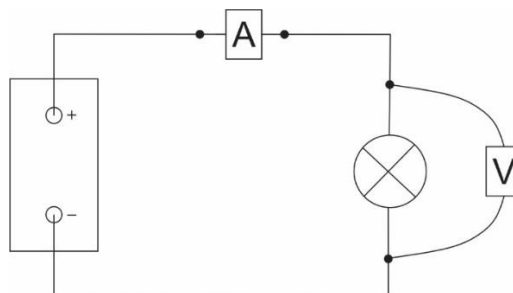


Figura 12. Processo de medição de potência. (Autoria Própria)

$$P = V \times I \quad (3)$$

Onde:

P=Potência (W)

V= Tensão (V)

I=Corrente (A)

3.4. Eficiência das placas solares

Para obtenção da eficiência das placas solares foi necessário encontrar os valores da potência gerada, a irradiância e a área útil do painel. De posse desses valores a eficiência dos painéis solares pode ser calculada através da Equação 4 conforme [10].

$$\eta (\%) = \frac{P_m}{A \times G} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

η =Eficiência do painel

P_m =Potência gerada no painel (W)

A = Área útil do painel (m²)

G =Radiação solar incidente (W/m²)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na presente seção é comparada a potência gerada entre o painel fixo (PF) e painel móvel (PM). Com o uso de gráficos pode-se observar as variações da potência de acordo com a irradiância solar. Foi analisada também a influência da temperatura na potência, representada pela média das potências do painel fixo (MPPF), média das potências do painel móvel (MPPM), média das temperaturas do painel fixo (MTPF) e média das temperaturas do painel móvel (MTPM).

4.1. Comportamento do 1º Dia (30/09/2019)

Conforme o gráfico da Figura 13, foi verificado que o painel móvel obteve uma melhora de 94,08% na potência média. Notou-se a presença de algumas nuvens durante o início do dia causando a diminuição da irradiância e como consequência a redução da potência. A eficiência média dos painéis PF e PM foi de 3,22% e 6,37% respectivamente, valores calculados de acordo com a Equação 4.

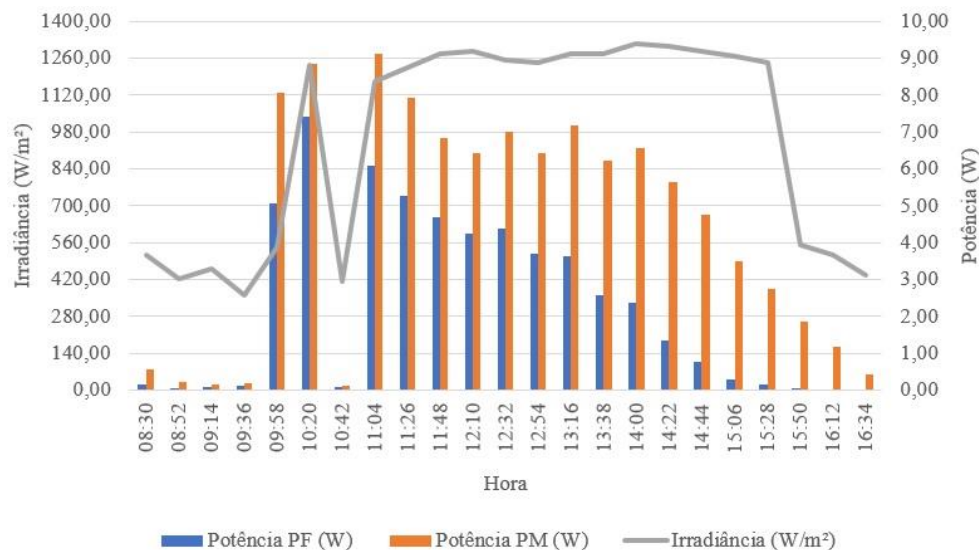


Figura 13 – 1º Dia: Análise comparativa das potências para o Painel Fixo (PF) e para o Painel Móvel (PM). (Autoria própria)

4.2. Comportamento do 2º Dia (01/10/2019)

Analisando o gráfico da Figura 14 foi constatado que a potência do painel móvel se manteve estável entre 09:58h e 14:44h devido ao fato que houve pouca variação de irradiância. O dia começou com nuvens o que ocasionou uma potência menor. O painel móvel teve um ganho de 114,53% na potência média. Como era previsto, a eficiência média do painel PM foi maior que a do painel PF, com valores de 6,44% e 2,79% respectivamente.

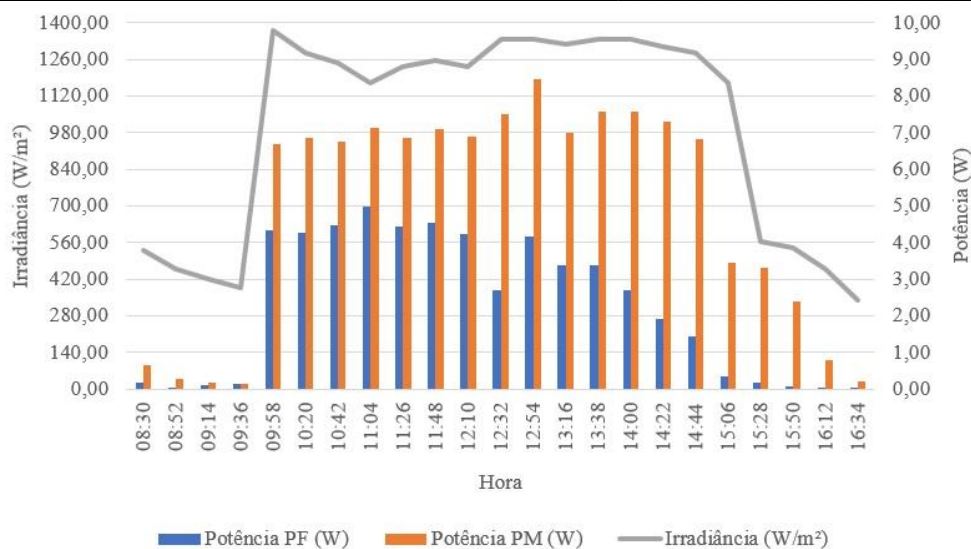


Figura 14 – 2º Dia: Análise comparativa das potências para o Pannel Fixo (PF) e para o Pannel Móvel (PM). (Autoria própria)

4.3. Comportamento do 3º Dia (03/10/2019)

O dia começou ensolarado, ocasionando potência mediana que pode ser visto no gráfico da Figura 15. Em alguns momentos a irradiância caiu devido à presença de nuvens, diminuindo a potência. O painel móvel obteve uma vantagem de 79,31% na potência média. A eficiência média do painel PF foi de 3,54% e a do painel PM de 7,05%, comprovando que o painel móvel obteve geração elétrica mais eficiente.

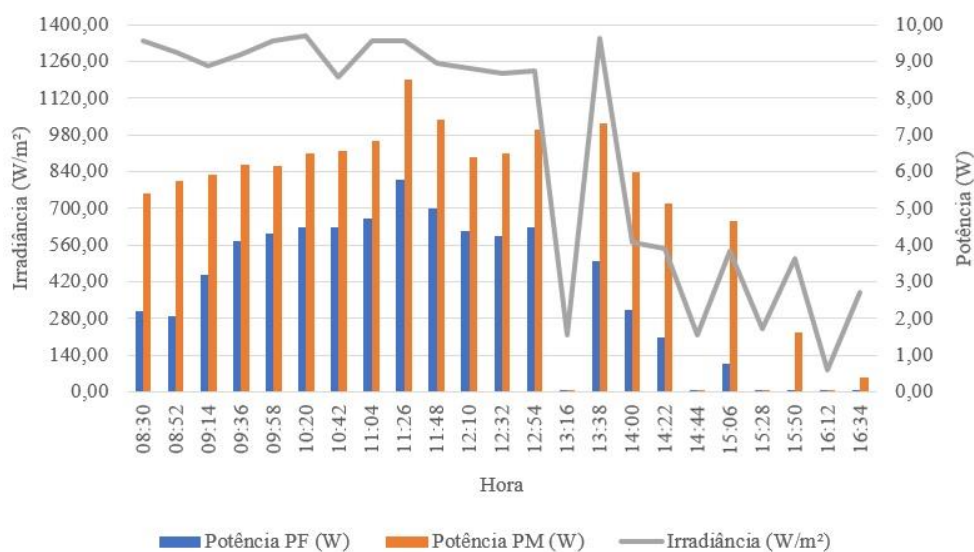


Figura 15 – 3º Dia: Análise comparativa das potências para o Pannel Fixo (PF) e para o Pannel Móvel (PM). (Autoria própria)

4.4. Comportamento do 4º Dia (04/10/2019)

O dia começou com nuvens e potência baixa. Em muitos momentos a irradiância se manteve abaixo de $600W/m^2$, ocasionando a queda de potência conforme mostrado no gráfico da Figura 16. A potência média do painel móvel se manteve melhor em 82,12%. Foi observado que ao final do dia as diferenças percentuais de potências entres os painéis foram maiores. Neste dia a eficiência média dos dois painéis foi baixa, de 1,91% para o painel PF e de 3,94% para o painel PM.

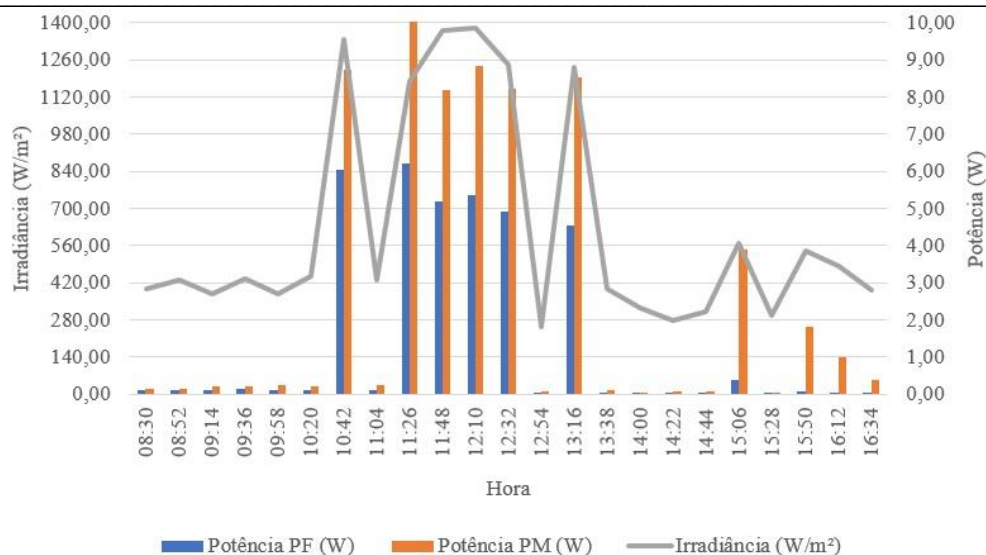


Figura 16 – 4º Dia: Análise comparativa das potências para o Pannel Fixo (PF) e para o Pannel Móvel (PM). (Autoria própria)

4.5. Comportamento do 5º Dia (05/10/2019)

Analisando o gráfico da Figura 17, percebe-se que a potência do painel móvel se manteve acima de 6W entre 09:14h e 12:54h e com certa regularidade devido à pouca variação de irradiância. O dia começou ensolarado. A maior diferença entre as duas potências foi às 14:44h que foi de 3,17W. As diferenças percentuais das potências aumentam significativamente a partir das 15:06h. A potência média do painel móvel obteve uma vantagem de 85,57%. A eficiência média dos painéis PF e PM foi de 3,57% e 7,74% respectivamente.

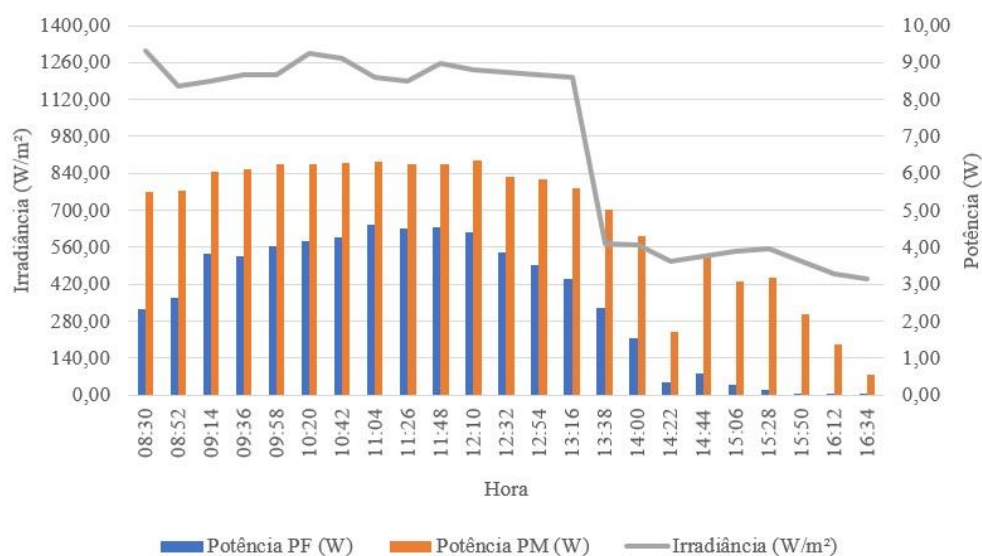


Figura 17 – 5º Dia: Análise comparativa das potências para o Pannel Fixo (PF) e para o Pannel Móvel (PM). (Autoria própria)

4.6. Comportamento do 6º Dia (06/10/2019)

O dia começou ensolarado. Em muitos momentos a irradiância se manteve acima dos 1000W/m² ocasionando uma potência significativa conforme mostrado no gráfico da Figura 18. Às 12:54h houve uma queda da irradiância o que reduziu muito a potência dos painéis. A potência média do painel móvel foi melhor em 99,95%, e a eficiência média do painel PF foi menor do que a do painel PM, com valores de 4,04% e 8,47% respectivamente.

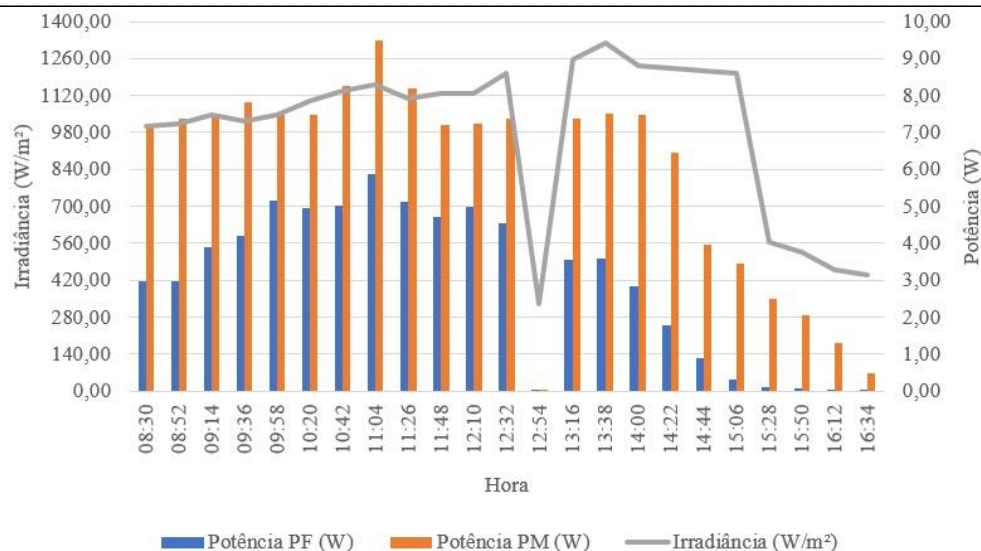


Figura 18 – 6º Dia: Análise comparativa das potências para o Painel Fixo (PF) e para o Painel Móvel (PM). (Autoria própria)

4.7. Comportamento do 7º Dia (08/10/2019)

O dia começou com nuvens e potência baixa. Conforme o gráfico da Figura 19, no período de 09:36h às 12:54h a potência do painel móvel se manteve regular devido à pouca variação da irradiância. Às 14:22h houve uma redução brusca de irradiância o que levou uma queda na potência dos dois painéis a praticamente zero. Depois das 14:44h até o final do dia, a potência do painel fixo começou a diminuir devido à baixa irradiância e perpendicularidade entre os raios solares e a face do painel. A potência média do painel móvel obteve uma vantagem de 83,33%. A eficiência média dos painéis PF e PM foi de 3,12% e 6,54% respectivamente.

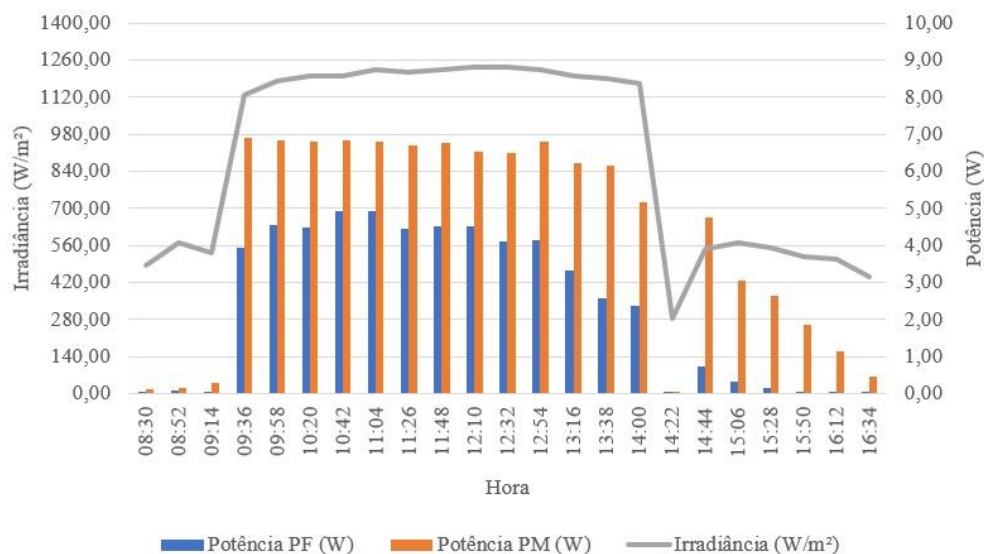


Figura 19 – 7º Dia: Análise comparativa das potências para o Painel Fixo (PF) e para o Painel Móvel (PM). (Autoria própria)

4.8. Análise das temperaturas dos módulos

Conforme mostrado no gráfico da Figura 20, nota-se que a potência foi acompanhada pela temperatura, ou seja, houve uma relação direta, o que pode ser explicado pelo fato de que uma irradiância solar maior compenhou a perda de potência através da temperatura.

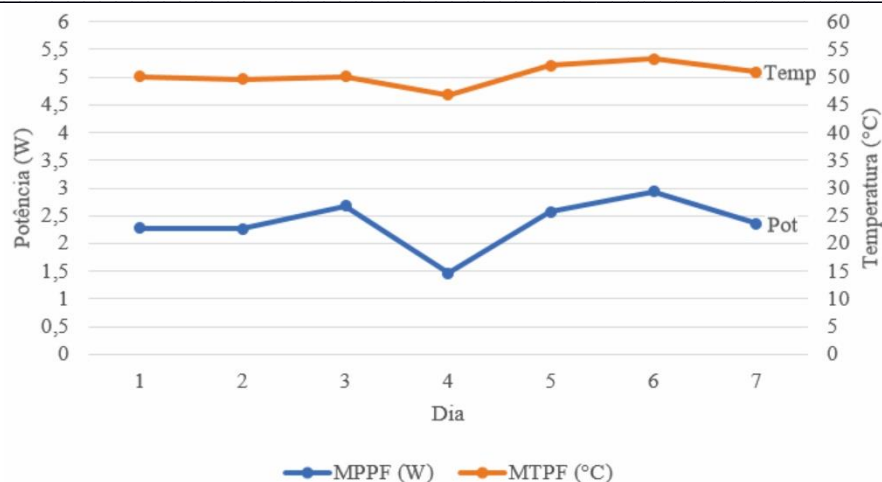


Figura 20. Análise comparativa das temperaturas (MTPF) e potências (MPPF) do painel fixo. (Autoria própria)

Como pode ser visto no gráfico da Figura 21, nota-se que a potência foi praticamente acompanhada pela temperatura, isso mostra que a potência teve uma relação direta com a temperatura. Houve uma queda de potência no dia 4, no entanto a variação de temperatura foi pequena, mostrando que a irradiância também interfere na potência, que teve uma compensação da temperatura e irradiância relacionado com a potência.

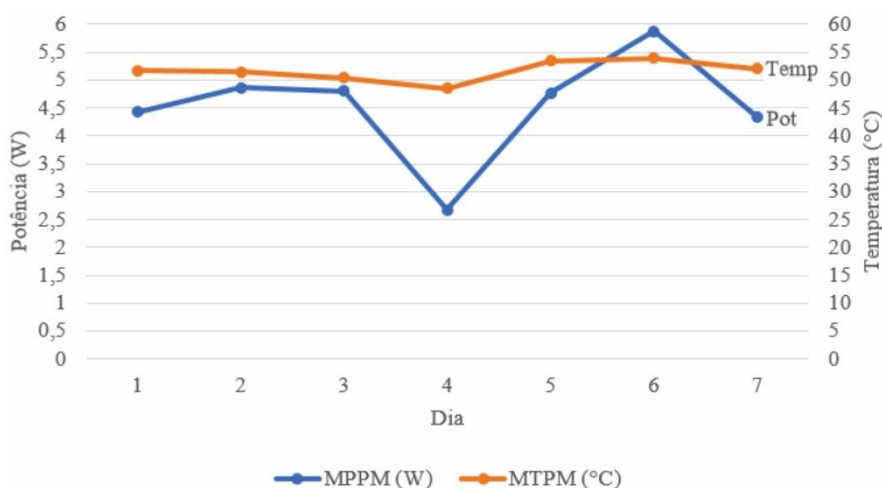


Figura 21. Análise comparativa das temperaturas (MTPM) e potências (MPPM) do painel móvel. (Autoria própria)

5. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos foi constatado que o painel com seguidor solar sempre se manteve com a potência maior em todos os dias, confirmando que a perpendicularidade entre os raios solares e face dos módulos fotovoltaicos fazem toda a diferença na geração elétrica. Foi constatado que no horário da tarde as diferenças percentuais das potências aumentam, pois havia baixa irradiância. Além disso, o ângulo entre a face do painel fixo e a luz solar aumenta de acordo com o movimento do sol.

A cidade onde foi realizado o estudo possui níveis elevados de radiação conforme gráficos mostrados anteriormente, no entanto, a pesquisa foi realizada num período de maiores índices de irradiância e isso tem interferência no resultado como todo, já que nos outros meses e durante o inverno os índices de radiação são menores.

Foi possível concluir que quando houve nuvens no início do dia ocasionando uma baixa irradiância, os painéis fixo e móvel mantiveram a potência reduzida com diferenças baixas e regulares entre os dois, já no período aproximado de 10:20h às 14:00h os valores das potências foram maiores tanto do painel móvel quanto do fixo, reforçando o fato de que nesse período os raios solares já estão num posicionamento mais próximo do ideal no painel fixo, enquanto que o painel móvel já vem acompanhando desde o início.

Foi desenvolvido um dispositivo eficiente e de baixo custo para medir indiretamente a irradiância, no qual utilizou-se um multímetro no valor de R\$37,00 junto com o minipainel solar que custou R\$69,00, totalizando um valor de R\$106,00 bem mais barato do que os aparelhos encontrados nacionalmente, que custam em média R\$600,00.

Por se tratar de medições e protótipo, que foram realizados manualmente, para trabalhos futuros seria necessário implementar uma automação no sistema, tanto do movimento do seguidor solar quanto na coleta de

dados. Seria interessante também que a pesquisa fosse realizada em períodos diferentes do ano e que o número de dados coletados fosse maior, pois assim poderia se ter uma precisão maior.

REFERÊNCIAS

- [1] CRESESEB, Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio de Salvo Brito. **Manual da engenharia para Sistema fotovoltaico**. Rio de Janeiro, 2014.
- [2] SIMIONI, Tássio. **O impacto da temperatura para o aproveitamento do potencial solar fotovoltaico no Brasil**. (Dissertação). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2017.
- [3] SOL, América do. **Potencial solar no Brasil**. Disponível em: <<http://americadosol.org/potencial-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 29 setembro 2019.
- [4] ANEEL. **Capacidade de geração do Brasil**. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 18 dezembro 2019.
- [5] PORTAL SOLAR. **Com impulso de geração distribuída, energia solar no Brasil deve crescer 44% em 2019**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/com-impulso-de-geracao-distribuida-energia-solar-no-brasil-deve-crescer-44-em-2019.html>>. Acesso em: 07 outubro 2019.
- [6] LIRA, José Rômulo Vieira. **Desenvolvimento de um rastreador solar do tipo polar com ajuste do ângulo de inclinação**. (Dissertação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, 2014.
- [7] BLASZCZAK, Vinícius. **Análise de eficiência de painel fotovoltaico com sistema tracker seguidor solar**. 2017. 39 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2017.
- [8] CAIRES, Suzane Machado Pires. **Estudo sobre posicionamento de placas fotovoltaicas**. 2014. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade Independente do Nordeste, Vitória da Conquista, 2014.
- [9] CRESESEB. Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio de Salvo Brito. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2004.
- [10] VIEIRA, R.G. **Análise comparativa do desempenho entre um painel solar estático e com rastreamento no município de Mossoró-RN**. Mossoró/RN, 2014.
- [11] GEOGRAFOS. **Coordenadas geográficas de Quixeré, Ceará**. Disponível em: <<https://www.geografos.com.br/cidades-ceara/quixere.php>>. Acesso em: 12 dezembro 2019.
- [12] CRESESEB. **Potencial solar**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 04 outubro 2019.
- [13] LAPPONI, Juan Carlos. **Estatística usando excel**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.