

INFLUÊNCIA DE FATORES DE PERDA NA EFICIÊNCIA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM INDÚSTRIAS CERÂMICAS

Álvaro Dantas de Medeiros Filho¹

Marcos Vinícius Cândido Henriques²

RESUMO

O crescente uso da tecnologia fotovoltaica para a geração de energia elétrica ganha destaque em todo o país, proporcionando autonomia na geração de energia com uma vida útil em torno dos 25 anos, tornando-a viável a civis e empresários simultaneamente. A introdução de sistemas fotovoltaicos em indústrias de cerâmica vermelha é algo necessário. O gasto elevado em custo energético força as indústrias a procurarem a viabilização da instalação de sistemas fotovoltaicos, apesar de as indústrias de cerâmica vermelha disponibilizarem de um ambiente propício ao acúmulo de fatores que ocasionam perda na eficiência do sistema fotovoltaico. Sendo assim, faz-se necessário um estudo de caso. O presente trabalho visou correlacionar os fatores de perda observados com eventuais perdas na eficiência de sistemas fotovoltaicos, e conseqüentemente uma diminuição na geração de energia elétrica. Assim, pode-se quantificar o impacto desses fatores, visando uma possível diminuição ou erradicação deles.

Palavras-chave: Módulo fotovoltaico. Energia solar. Energia sustentável.

ABSTRACT

The growing use of photovoltaic technology for power generation is highlighted all over the country, providing autonomy in power generation with a lifespan of around 25 years, making it viable for civilians and businesspeople simultaneously. The introduction of photovoltaic systems in red ceramic industries is necessary. The high energy cost expense forces industries to seek the feasibility of installing photovoltaic systems, although the red ceramic industries provide a favorable environment for the accumulation of factors that cause loss of efficiency of the photovoltaic system. Thus, a case study is necessary. The present work aimed to correlate the observed loss factors with eventual losses in the efficiency of

¹ Discente do Bacharelado em Ciência e Tecnologia, UFRSA Campus Angicos

² Prof. Doutor em Física, Departamento das Engenharias – UFRSA Campus Angicos

photovoltaic systems, and consequently a decrease in the electric power generation. Thus, the impact of these factors can be quantified, aiming at a possible reduction or eradication of them.

Key words: Photovoltaic module. Solar energy. Sustainable energy.

1 INTRODUÇÃO

A principal fonte primária de energia do nosso planeta é o Sol. A superfície terrestre recebe continuamente uma quantidade de energia solar, essencialmente na forma de radiação, mais que suficiente para suprir as necessidades da população humana no globo. Apenas uma pequena parcela dessa energia é utilizada. Mesmo assim, com poucas exceções, direta ou indiretamente boa parte da energia usada pelo ser humano tem origem solar (PINHO & GALDINO, 2014).

Com avanços tecnológicos houve uma maior acessibilidade e um incentivo considerável em relação ao uso de energias limpas e renováveis.

O Sol é uma fonte de energia renovável; sua utilização pode ser em formato de calor ou uma conversão direta de luz em eletricidade. Denominado como efeito fotovoltaico, essa transformação de luz em corrente elétrica acontece através da diferença de potencial existente em um material semicondutor, quando se é aplicado uma luz sobre ele.

A energia solar fotovoltaica é uma das fontes de energia renovável que mais cresce em todo o mundo, no Brasil ela ganha destaque por diversos fatores, fazendo com que empresários, instituições públicas e civis busquem ter acesso a esse sistema de geração de energia elétrica.

A implantação dessa energia em indústrias brasileiras de diversas áreas vem sendo cada vez mais frequente, considera-se a instalação de sistemas fotovoltaicos um bom investimento a longo prazo. Em comparação com outras indústrias a indústria de cerâmica vermelha demonstra uma insatisfação diante a instalação dessa tecnologia, os sistemas fotovoltaicos instalados em área de indústrias de cerâmica vermelha apresenta uma perda na eficiência juntamente com uma incompatibilidade de geração entre os módulos de seu sistema. Com o presente trabalho, procura-se analisar os fatores de perda nos sistemas fotovoltaicos em indústrias de cerâmica vermelha assim viabilizando a instalação de sistemas fotovoltaicos de energia.

2 DESENVOLVIMENTO

O Sol é uma fonte de energia primária, inesgotável perante o tempo terrestre, sendo ele o principal responsável pela origem das outras fontes de energia na Terra. Em comparação com outras energias a energia solar se destaca pela sua abundância e ter um enorme potencial a ser explorado, foi observado que duas horas seria suficiente para suprir o consumo energético anual da Terra (PINHO & GALDINO, 2014).

O efeito fotovoltaico, observado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891), é o fenômeno físico que permite a conversão direta da luz em eletricidade (PINHO & GALDINO, 2014). Essa eletricidade é gerada a partir da diferença de potencial existente em um material semicondutor ao receber luz. O material denominado de semicondutor possui uma banda de valência, onde é permitida a presença de elétrons, e a banda de condução, sem a presença de elétrons. A faixa que fica entre essas duas bandas é chamada de banda proibida ou bandgap, representada por E_g e é a sua largura que determina se um material é semicondutor. Materiais isolantes, por exemplo, possuem um bandgap maior que 3 eV (elétron-volt), enquanto um material semicondutor apresenta um bandgap médio de 1 eV. Assim, os fótons com energia superior à banda proibida, ao incidirem sobre esse material poderão excitar os elétrons da faixa de valência para faixa de condução.

Para aplicação fotovoltaica o condutor de silício é largamente utilizado. Os átomos do silício se caracterizam por possuir quatro elétrons que se ligam aos elétrons vizinhos, formando uma rede cristalina. Esta rede pode ser dopada com átomos de outros materiais que possuam características de doadores de elétrons ou receptores de elétrons, que é o caso do fósforo e do boro, respectivamente. Se à rede cristalina do silício forem adicionados átomos de fósforo, que possuem cinco elétrons de ligação, haverá então nove elétrons e um deles estará fracamente ligado ao átomo. Portanto o fósforo é um dopante doador de elétrons, conhecido como dopante n. Já no caso de uma dopagem da rede com átomos de três elétrons de ligação, como o átomo de boro, haverá a falta de um elétron. Essa falta do elétron é chamada de lacuna ou buraco. Por este motivo o átomo de boro é um dopante do tipo p, receptor de elétrons (PINHO & GALDINO, 2014). Ao se introduzir a uma face do silício puro átomos de boro e em outra face átomos de fósforo, forma-se uma junção chamada de pn. Assim os elétrons livres de n passam para a face p e os buracos da face p passam para a n, tornando a face p carregada negativamente devido ao excesso de elétrons e a face n eletricamente positiva devido ao acúmulo de lacunas. Quando a junção pn é exposta à energia

solar, os fótons com energia superior ao bandgap ($E_f > E_g$) formarão pares elétron-lacuna, acelerando as cargas onde o campo elétrico é diferente de zero, gerando então uma corrente entre a junção e criando-se uma diferença de potencial. Ao se colocar um fio elétrico entre essas duas faces, surge a circulação de corrente elétrica. Este é o funcionamento básico de uma célula fotovoltaica.

Após a criação de corrente elétrica na célula fotovoltaica existem dois meios de fazer uso da energia, seja através de um sistema fotovoltaico isolado (SFI) ou um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica (SFCR).

Denominado de autônomos, os sistemas fotovoltaicos isolados (SFI) são normalmente instalados em locais sem acesso à rede elétrica, e necessitam de um elemento armazenador de energia (URBANETZ, 2014). Este elemento armazenador de energia é normalmente um conjunto de baterias que armazena a energia gerada durante o período do dia com luz solar e fornece essa energia durante a noite ou quando não há radiação solar. O fornecimento dessa energia pode ser tanto em corrente contínua quanto em corrente alternada com a utilização de um inversor. Esse sistema também possui um controlador de carga que controla a carga e a descarga do banco de baterias.

Segundo Rütther (2004), uma característica fundamental de sistemas fotovoltaicos instalados no meio urbano é principalmente a possibilidade de interligação à rede elétrica pública, dispensando assim os bancos de baterias necessários em sistemas do tipo autônomo e os elevados custos e manutenções decorrentes. Estes sistemas são chamados de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR) e são instalados de modo que, quando o gerador elétrico produz mais do que o necessário para o consumidor, o excesso é injetado na rede elétrica, essa instalação consumidora acumula então um crédito energético. Já se a geração for abaixo da energia demandada pela instalação consumidora, essa falta é suprida pela rede elétrica. De acordo com Urbanetz (2010) os SFCR's são vistos como uma forma de geração distribuída (GD) ao longo dos alimentadores da rede elétrica de distribuição, em baixa ou média tensão, e contribuem para disponibilizar energia próxima ao ponto de consumo. Este sistema é basicamente constituído pelo painel fotovoltaico e o inversor, assim uma de suas vantagens é a não utilização de elementos para armazenar a energia, já que toda a energia gerada é colocada em paralelo com a energia da rede.

As indústrias buscam sistemas que reduzam ou eliminem o máximo de gastos possíveis. Sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica surgem como uma saída para gastos elevados em fatura energética. Indústrias de cerâmica vermelha se destacam pelas

elevadas faturas energéticas, com um consumo mensal em torno dos 45,500 kW-h. Tomando-se o valor médio do kW-h em R\$ 0,66, a fatura energética chega por volta dos 30 mil reais, um valor considerável quando levado em conta que se trata de um gasto fixo da empresa, o fato de poder reduzi-lo em até 98% torna-se um investimento interessante.

O Rio Grande do Norte é um dos estados que se destaca na produção de cerâmicas vermelhas sendo o maior produtor de telhas do país, contando com 186 empresas divididas em 4 grandes polos de produção: Grande Natal, Seridó, Baixo Assú e Região Oeste. Dentre os 4 grandes polos o Seridó ganha destaque por conter 99 indústrias do ramo (CTGAS-ER / SEBRAE-RN, 2013).

O ambiente das indústrias de cerâmica vermelha é composto por um fluxo contínuo de automóveis, principalmente de caminhões, onde a função é a descarga de obra prima e carga de telhas, tijolos e lajotas. Esse fluxo contínuo dentro da empresa faz com que impurezas no ambiente seja comum. Dentre os procedimentos de fabricação de materiais cerâmicos, a queima ganha destaque pelo fato que na mesma se faz uso de materiais orgânicos e consequentemente nuvens de fumaça são lançadas na atmosfera.

Em sistemas fotovoltaicos alguns fatores são levados em consideração, pelo fato de ocasionar perda na eficiência na geração de energia. As nuvens de fumaça e impurezas presentes no ambiente das cerâmicas podem ocasionar um sombreamento parcial dos módulos, fazendo com que aconteça uma redução na geração, chegando a não ser viável a instalação de sistemas fotovoltaicos no ambiente.

3 METODOLOGIA

Para a pesquisa e construção dos gráficos foi feito uso de equipamentos e aplicativos distintos que manipulados de maneira correta conseguiram trabalhar em prol de um único propósito, que se trata da identificação de fatores de perda e viabilização de sistemas fotovoltaicos em indústrias de cerâmica vermelha.

Um módulo fotovoltaico de 10 W foi utilizado para geração de energia e um multímetro digital acoplado ao módulo. Um resistor de 15 foi utilizado em série com o sistema para proporcionar uma melhor segurança numa possível oscilação repentina de corrente. O sistema foi montado sobre uma estrutura reciclável montada a partir de conexões e canos de Policloreto de polivinila (PVC) que foram descartados por uma loja de material de construção, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1. Aparato montado.



Fonte: Autoria própria (2019)

O módulo fotovoltaico disponibiliza de uma potência máxima de 10 W, valores em voltagem que vão de 0 V a 22 V e correntes que variam entre 0 A e 0.56 A de acordo com a incidência sobre a superfície do mesmo.

A medição da geração foi feita acoplando o multímetro aos terminais do módulo, tanto para medição da voltagem quanto da corrente. Para a amperagem foi medida a corrente de curto-circuito, que se trata do maior valor de corrente fornecido pelo módulo (VILLALVA, 2015).

Duas indústrias de cerâmica vermelha disponibilizaram seus espaços para a pesquisa: J. A. Dantas e Família e Chico de Keka. A análise das áreas para a pesquisa foram feitas antes da montagem da aparelhagem. O intuito foi escolher um local propício para a instalação de uma possível usina fotovoltaica de energia, onde a coleta de dados se assemelha o máximo com o que poderia acontecer com um sistema mais complexo.

O fator responsável por possíveis problemas de mismatch, incompatibilidade na geração individual das células fotovoltaicas, nos sistemas fotovoltaicos em ambas indústrias está diretamente ligado ao acúmulo de impurezas sobre a superfície do módulo fotovoltaico e nuvens de fumaça criadas pela queima do material cerâmico, em ambos os casos a direção do vento é de extrema importância pelo fato de que ele dita por onde impurezas e empecilhos presentes no ar que habita aquela atmosfera deve seguir.

Para o análise da direção do vento foi usado um aplicativo para Android que tem por objetivo fazer uma estimativa do valor em graus que seria disponibilizado por uma bússola.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção apresentamos os dados colhidos a partir do experimento em campo descrito na seção anterior.

4.1 Análise da Indústria Cerâmica J. A. Dantas e Família

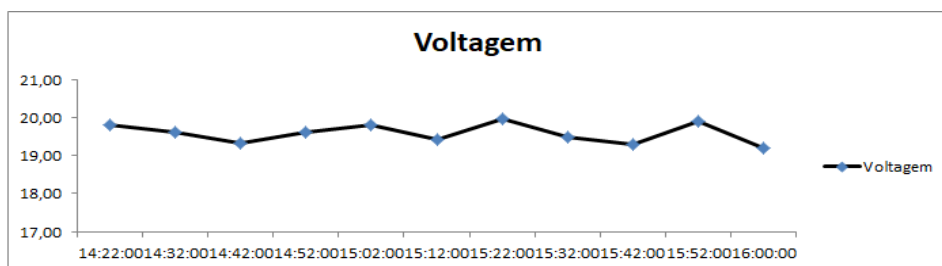
Figura 2. Local de instalação do aparato dentro da Indústria Cerâmica J.A. Dantas e Família.



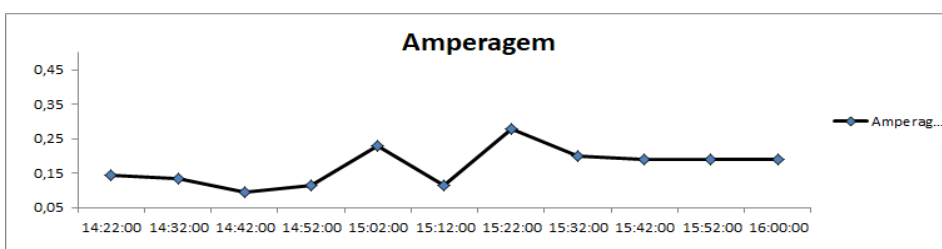
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 3. Apresenta-se em gráficos os valores obtidos em volts e ampère, respectivamente, durante o período das 14:22 até as 16 horas, podemos notar que se trata de um gráfico instável e essa instabilidade está relacionada ao tempo, o qual se apresenta parcialmente nublado.

(a)



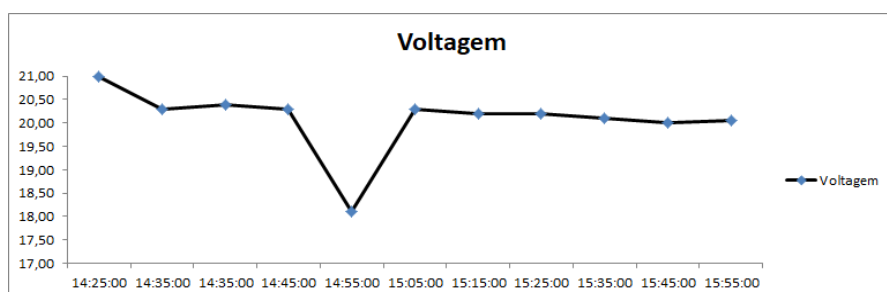
(b)



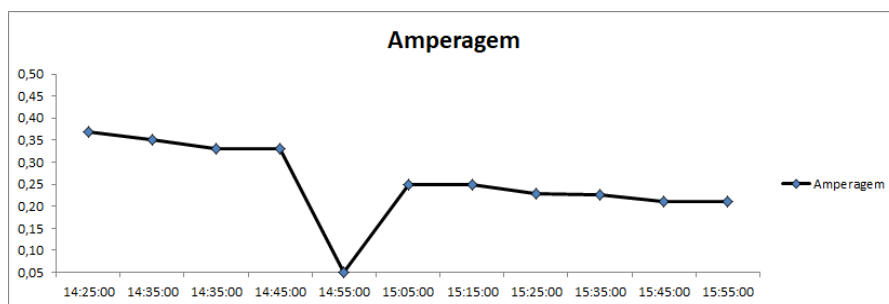
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 4. Na figura 4-a se trata de um gráfico onde pode-se observar a variação de dados em volts durante o período de uma hora e trinta minutos onde ocorreu uma variação considerável às 14:55 que reflete instantaneamente no gráfico disponibilizado na figura -b que mostra a variação da corrente, que é dada em ampère, essa variação se deu devido a uma nuvem passageira que criou um sombreamento sobre o módulo fotovoltaico no período de seis minutos. Nuvens dispersas no céu que foi o causador da oscilação às 14:55. Próximo a localização de montagem do aparato, se faz presente uma montanha de barro, numa possível mudança climática ela poderá ser uma fonte de impureza para o sistema fotovoltaico ali presente.

(a)



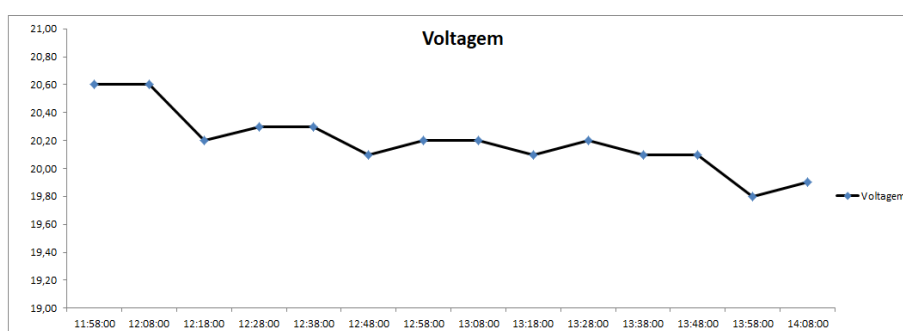
(b)



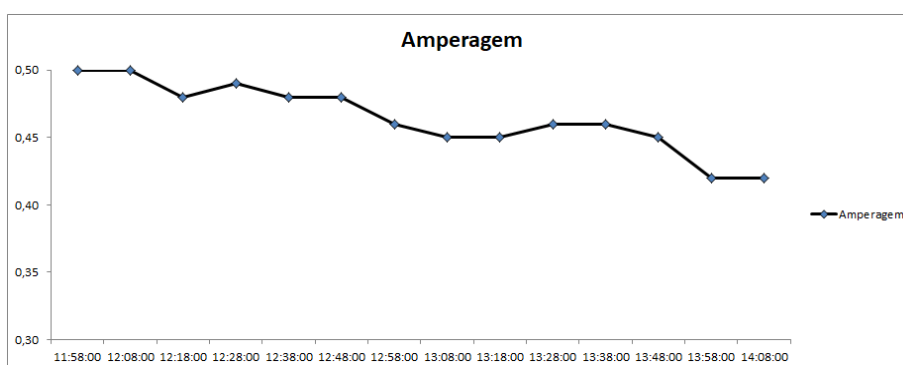
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 5. Graficamente demonstra em 5-a e 5-b como um módulo fotovoltaico se comporta quando se é exposto a uma condição de tempo favorável a geração de energia. Foram obtidos valores próximo ao máximo permitido pelo módulo e sua queda na geração se deu devido a incidência solar que tende a diminuir ao longo do tempo. O dia estava ensolarado, favorecendo a geração de energia através de sistemas fotovoltaicos.

(a)



(b)



Fonte: Autoria própria (2019)

4.2 Análise da Indústria Cerâmica Chico de Keka

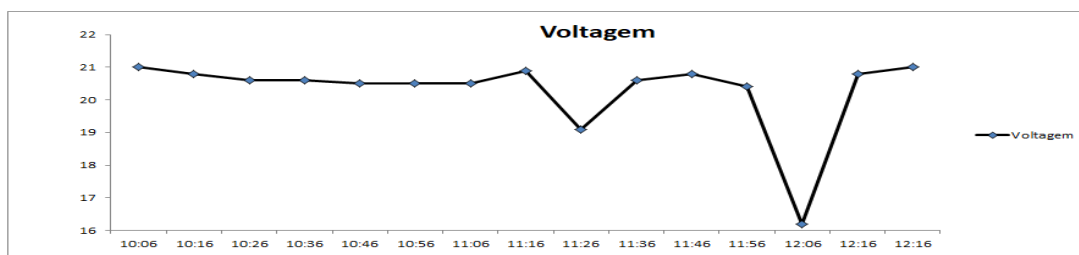
Figura 6. Detalha o local onde o aparato foi montado e a condição de tempo em que ele foi submetido na Indústria Cerâmica Chico de Keka. Local que disponibiliza de impurezas, referente a correntes de ar que carregam consigo poeira e empecilhos causadores de *mismatch*.



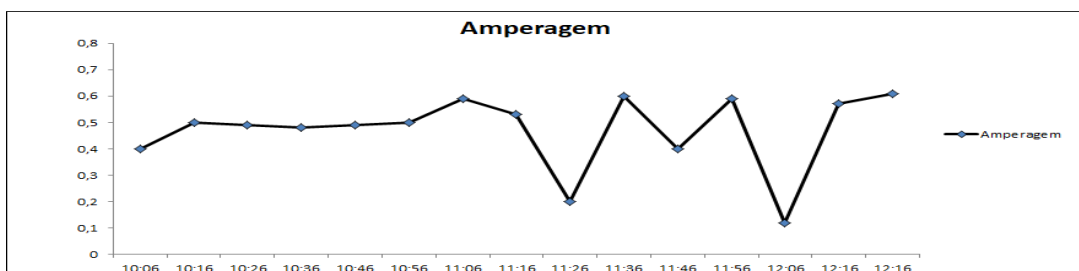
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 7. É uma resultante gráfica, 7-a e 7-b, obtida através de dados colhidos pela manhã na indústria de cerâmica vermelha Chico de Keka. Devido a condição do tempo, nuvens dispersas, o gráfico apresentou oscilações durante o período de tempo de duas horas e dez minutos, na última coleta pela manhã após observar que sobre o aparato se fazia presente uma leve camada de poeira foi feito uma ligeira limpeza, o resultado foi uma crescente nos dados, provando que o acúmulo de poeira compromete a geração de energia como um todo.

(a)



(b)



Fonte: Autoria própria (2019)

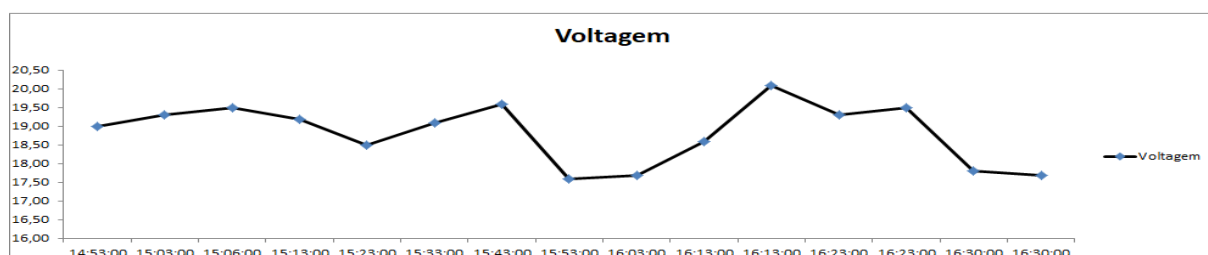
Figura 8. Módulo com uma camada considerável de impurezas, dentre elas a poeira ganha destaque por se acumular mais facilmente. O mesmo citado na Figura 7, fazendo uma relação entre o acúmulo de poeira com a queda da eficiência do sistema fotovoltaico como um todo.



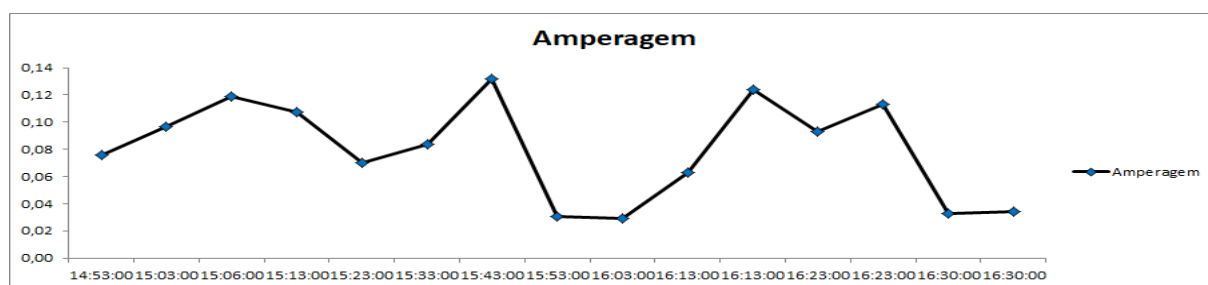
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 9. Nota-se que os valores obtidos em volts e ampères, 9-a e 9-b, comparados com dados anteriores estão bem abaixo da média devido a condição do tempo que o aparato foi exposto, o tempo estava nublado, interferindo diretamente no desempenho energético do módulo. A partir das 16:13 foram feitas duas coletas uma com 0° de inclinação e outra adicionando 10° sentido horário, fazendo uso de um aplicativo para celular, resultando em crescentes instantâneas no gráfico e consequentemente aumentos nos valores coletados.

(a)



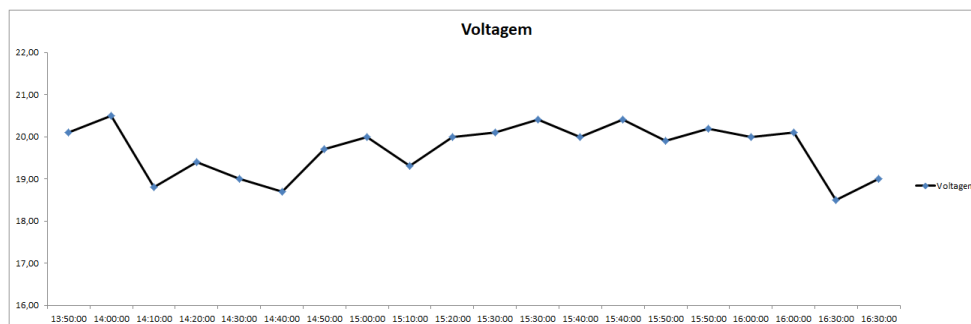
(b)



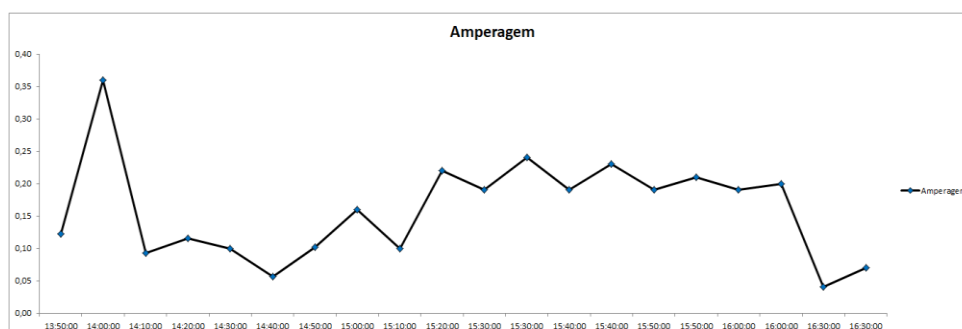
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 10. Resultado obtido após duas horas e quarenta minutos de coleta de dados, teve início às 13:50 e pendurou até às 16:30. A partir das 15:30 foi adotado o sistema de oscilação de inclinação onde acontece a inclinação do módulo, oscilando entre 0° e 10° em direção ao Sol, de maneira que a inclinação resultasse numa melhor incidência sobre o sistema fotovoltaico resultando em crescentes nos gráficos 10-a em volts e 10-b em ampère.

(a)



(b)



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 11. Explicitado um dos fatores que contribuem para o acúmulo de impurezas no módulo, a passagem constante de automóveis por uma entrada próxima à localização do aparato faz com que carros levanten poeira quando passa, como está acontecendo na figura.



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 12. Trata-se de uma imagem aérea da Indústria de Cerâmica Vermelha Chico de Keka, podemos analisar que é nítido alguns causadores de fatores de perda em sistemas fotovoltaicos, destacando-se uma nuvem artificial de fumaça, ela é proveniente da queima dos materiais cerâmicos e ocasiona um sombreamento parcial do módulo. Uma montanha de barro

que fica relativamente próximo, ao sofrer a influência de correntes de ar pode ser uma fonte considerável de impureza espalhando partículas de barro pelo ar.



Fonte: Autoria própria (2019)

5 CONCLUSÃO

A partir do estudo exposto são confirmados os fatores de perda que influenciam diretamente na eficiência do sistema fotovoltaico, diminuindo consideravelmente sua geração de energia. Confirmou-se que os principais fatores de perda estão relacionados ao acúmulo de impurezas sobre o módulo e nuvens de fumaça provenientes da queima dos materiais cerâmicos. Ambos os fatores ocasionam um sombreamento parcial da célula, acarretando numa queda na eficiência do sistema fotovoltaico como um todo.

Um estudo como esse é importante para indústrias de cerâmica vermelha, ou qualquer outro empreendimento, pelo fato de que ele visa analisar e quantificar os fatores que ocasionam perda na eficiência do sistema fotovoltaico, assim proporcionando um melhor desempenho ao otimizar todo um sistema para a geração de energia.

REFERÊNCIAS

- CTGAS-ER; SEBRAE-RN. **Diagnóstico de indústria de cerâmica vermelha do Estado de Rio Grande do Norte**. 2013. 134p.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CRESESB. 2014
- RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.
- URBANETZ JR, J.; CASAGRANDE JR, E.; TIEPOLO, G. M. **Acompanhamento do desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do escritório verde da UTFPR**. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. 2014a.
- VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

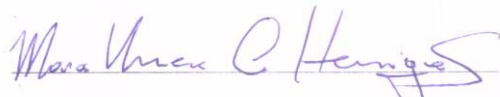
Álvaro Dantas de Medeiros Filho

**INFLUÊNCIA DE FATORES DE PERDA NA EFICIÊNCIA DE MÓDULOS
FOTOVOLTAICOS EM INDÚSTRIAS CERÂMICAS**

Artigo apresentado à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 14 / 08 / 2019.

BANCA EXAMINADORA



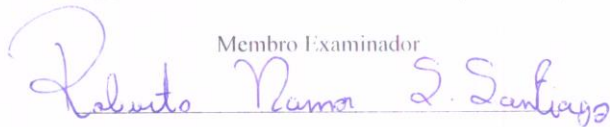
Prof. Dr. Marcos Vinicius Cândido Henriques (UFERSA)

Presidente



Prof. Dr. Damilson Ferreira dos Santos (UFERSA)

Membro Examinador



Prof. Dr. Roberto Namor Silva Santiago (UFERSA)

Membro Examinador
