

ANÁLISE DO RENDIMENTO ANUAL DE UMA USINA SOLAR EM MOSSORÓ-RN.

Brehmer P. Mendes¹ Dr. André Pedro Fernandes Neto

Resumo: A demanda por energia elétrica tem aumentado exponencialmente em consequência da expansão da economia global, que cresce a uma taxa de 3,4% ao ano. A energia solar tem se expandido por ser uma fonte renovável, pelo fato de sua produção não gerar rejeitos, e em consequência da expansão de seu uso o preço dessa tecnologia vem se tornando progressivamente mais acessível. O presente trabalho objetivou analisar a eficiência da usina solar fotovoltaica da UFERSA, localizada na cidade de Mossoró/RN. Realizou-se uma pesquisa descritiva, através da coleta de dados da estação meteorológica da instituição, onde foram realizadas medições diárias da irradiação solar no plano horizontal, e por meio de cálculos matemáticos foi estimada a irradiação no plano inclinado dos painéis. A partir desses valores e dos dados da geração de energia elétrica, foi possível calcular a eficiência da usina solar. Encontrou-se, para o ano de 2017, a irradiação diária média no plano inclinado de 5.887,16 Wh/m², produção de energia elétrica diária média de 701,27 kWh e eficiência do conjunto de módulos fotovoltaicos de 13,28%.

Palavras-chave: Eficiência; Irradiação; Produção Elétrica.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica tem aumentado exponencialmente em consequência da expansão da economia global que cresce a uma taxa de 3,4% ao ano. Segundo Dias (2018) “A demanda de energia do planeta deve aumentar 30% entre hoje e 2040, o equivalente a adicionar outra China e Índia à demanda global de hoje”. [1] O aumento da busca por esse recurso exigirá novos meios para suprir estas necessidades, por isso a importância de expandir a matriz energética, além de focar na produção de energia sustentável.

A energia solar tem se expandido por ter esse aspecto renovável, já que a sua produção não gera rejeitos, e em consequência disto o preço dessa tecnologia vem se tornando mais acessível. Mesmo a geração sendo possível apenas durante o dia, a tecnologia se paga com a autonomia que o cliente adquire com o uso dela, pois já não depende exclusivamente do uso da energia vendida pela concessionária e a mesma gera um bônus pela produção excedente dos painéis que será abatido na conta de energia do consumidor quando precisar da energia vinda da rede pública.

Considerando o crescente aumento do uso de energia solar, faz-se necessária a realização de estudos que analisem o atual estágio de eficiência de usinas de conversão fotovoltaica, especialmente quando operando no semi-árido nordestino. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é analisar o desempenho de uma usina solar de 150,8 kWp, instalada na sede da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no município de Mossoró-RN, considerando todo o exercício de 2017.

2. REFERENCIAL

Neste segmento, serão tratados assuntos que respaldam a pesquisa em questão. Neste tópico serão descritos temas relacionados a radiação solar, o funcionamento de uma usina fotovoltaica, o conceito de eficiência de um conjunto de módulos, e por fim, a forma de calcular o rendimento da usina como um todo.

2.1. Análise da eficiência de uma usina fotovoltaica

No processo da conversão de energia solar em eletricidade pelos módulos fotovoltaico não se atinge total aproveitamento deste recurso, pois ocorrem perdas durante o processo, relacionadas a diversos fatores. De acordo com Andrade (2008) “a verificação de fatores que interferem nesta conversão são objetos de estudos”. [2] Costa (2010) afirma que os principais fatores que influenciam as características elétricas de um módulo são a irradiação e a temperatura. [3] Entretanto, existem variáveis que mesmo sendo de pouca atuação deve-se levar em consideração para o cálculo do desempenho de uma usina solar. Como o albedo que nas palavras de Barbosa (2014) seria A quantidade de luz solar que está sendo absorvida ou refletida pela terra, quanto menor o albedo, mais energia a partir do sol é absorvida. [4]

Um método para a determinação da eficiência dos módulos fotovoltaicos é citado por Sobrinho (2017,

apud CARDONA E LOPEZ, 1999), ele afirma que “A eficiência de um conjunto de módulos fotovoltaicos é medida como a relação entre a energia elétrica diária produzida e a energia solar incidente no plano dos painéis, no mesmo intervalo.”[5]

2.2. Características elétricas dos módulos fotovoltaicos

Para melhor compreensão da forma de funcionamento dos painéis solares com relação a irradiação e a temperatura, é feita uma análise da curva característica de tensão versus corrente. Segundo Ferreira (2008) a variação da radiação sobre os painéis durante o seu funcionamento influencia diretamente na intensidade de corrente gerada, pois diminuindo a luminosidade haverá a diminuição da corrente, já que a corrente gerada é proporcional a quantidade de fótons incidentes. [6] A influência da radiação na tensão é normalmente desprezada uma vez que não depende deste fator, o que é demonstrado na Figura 1.

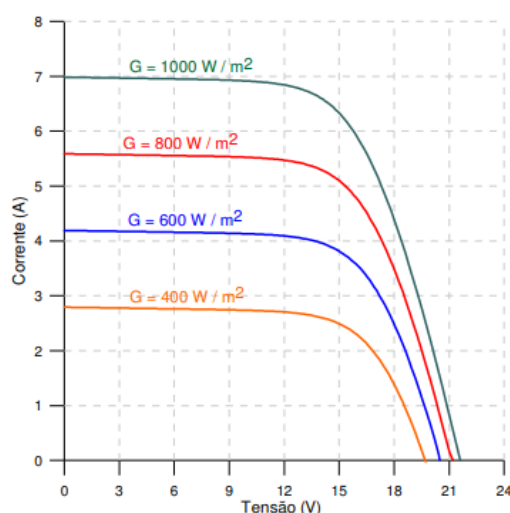


Figura 1 – curva que relaciona a corrente e a tensão sobre a interferência da irradiação.

Fonte : (GASPARIN, 2009, p. 12)

“A temperatura, ao contrário da intensidade luminosa, tem um efeito mais pronunciado na tensão de saída, diminuindo esta à medida que a temperatura aumenta. Esta variação é maioritariamente devido ao fato da mobilidade dos portadores de carga diminuir com o aumento da temperatura”. [6,2] (FERREIRA, 2008). Conforme ilustrado na Figura 2.

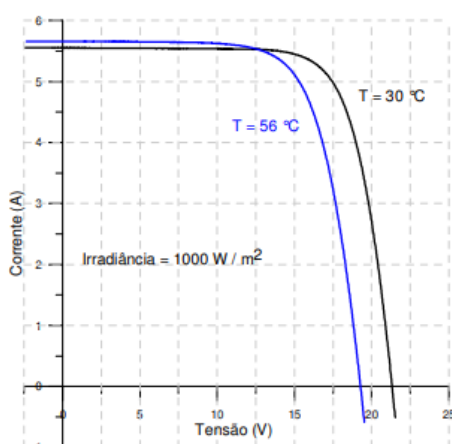


Figura 2 – curva que relaciona corrente e tensão sobre valores distintos de temperatura.

Fonte: (GASPARIN, 2009, p. 13)

Na aquisição dos módulos fotovoltaicos, o fabricante fornece em seus manuais a curva característica de cada produto. Portanto é de grande importância a verificação destes gráficos a fim de conhecer a capacidade de funcionamentol, de acordo com as condições reais de operação dos módulos, de forma segura, eficaz e eficiente.

2.3. Radiação solar e suas componentes

O sol fornece a terra energia em forma de luz e calor por meio da radiação solar provenientes das reações de fusão nuclear, que atravessam o vácuo do espaço como ondas eletromagnéticas. “No seu movimento de translação ao redor do Sol, a Terra recebe $1\,410\text{ W/m}^2$ de energia, medição feita numa superfície normal (em ângulo reto) com o Sol. Disso, aproximadamente 19% são absorvidos pela atmosfera e 35% é refletido pelas nuvens. Ao passar pela atmosfera terrestre, a maior parte da energia solar está na forma de luz visível e luz ultravioleta”. [7] (SILVA ET AL, 2017). Conforme ilustrado na Figura 3.

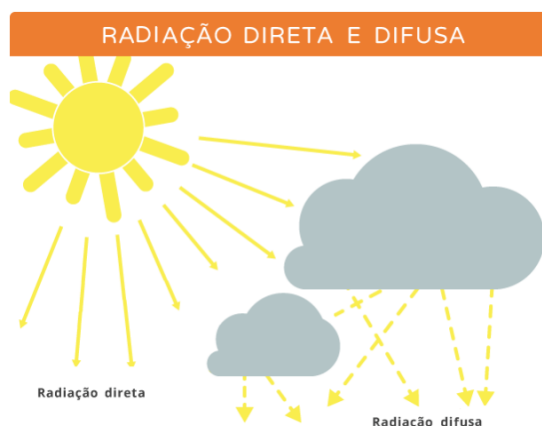


Figura 3 – ilustração da radiação direta e a radiação difusa

Fonte: <http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/energia-heliotermica/o-sol-fonte-de-energia>

A tecnologia fotovoltaica tem um grande potencial que ainda não é melhor aproveitado. Segundo Dienstmann (2009) “A média mundial de energia irradiada, mesmo sobre as 24 horas do dia, é de cerca de 165 W/m^2 , ou mais do que 5 mil vezes a necessidade energética da humanidade”. [8] Ainda assim, tem sido empregada em segmentos da economia como agricultura e horticultura, no uso de energia térmica para aquecimento de fluídos e ambientes e na geração de energia elétrica, diretamente pela conversão dos raios solares, ou indiretamente através da energia heliotérmica, onde são usados grandes espelhos para refletir os raios solares em fluídos que ao evaporarem movimentam turbinas, fazendo funcionar um gerador.

A radiação proveniente do sol é composta por dois componentes que diferem de acordo com a forma em que incide na superfície, Cantor (2017) explica que quando a radiação chega de forma direta, ou seja, sem interferências é denominado radiação direta, enquanto que a outra parte, chamada de radiação difusa, sofre espalhamento ou é refletida por outros objetos como nuvens, árvores, prédios, etc. [9]

2.4. O efeito albedo

Todos os elementos sobre a superfície do planeta, como por exemplo o solo, as árvores, os prédios, pedras, entre outros, refletem a radiação direta e difusa, e isto se deve ao albedo ou coeficiente de reflexão, que é um fator que apesar de ter pouca influência no rendimento dos módulos fotovoltaico é computado na equação de irradiação no plano inclinado. Nas palavras de Yanagi (2006) este fator é definido como a relação entre a radiação solar refletida e a radiação solar incidente no plano. [10]

A ligação direta do albedo com relação à eficiência é explicada por Cantor (2017), de acordo com quem “O aumento na radiação refletida por causa do albedo aumenta consequentemente o valor de radiação difusa que atinge o painel fotovoltaico e será constante para um determinado local sempre que os prédios ou os materiais não mudassem.” [9]

Esta relação varia fortemente com o tipo de materiais existentes à superfície: por exemplo, em regiões cobertas por neve, o albedo ultrapassa os 80%, enquanto num solo escuro, não vai além dos 10%. Na sua globalidade, o albedo médio da Terra é de cerca de 37%. O albedo varia também com a inclinação (ou obliquidade) dos raios solares – quanto maior essa inclinação, maior será o albedo. (NUNES, 2019). [11]

2.2. módulo fotovoltaico

A geração de energia elétrica através da radiação solar é possível graças ao efeito fotovoltaico. Este fenômeno consiste no surgimento de uma diferença de potencial ou tensão elétrica, quando certo material é exposto a luz visível. Sua aplicação na tecnologia dos painéis solares tem ganhado espaço no mercado e gradualmente tornando-se mais acessível. Os módulos fotovoltaicos são compostos de materiais semicondutores como o silício, que passam pelo o processo de dopagem, onde o fósforo e o Boro são acrescentados criando um polo negativo e outro positivo.

Ao juntar as camadas n e p dos semicondutores impuros forma-se uma região de transição denominada junção p-n, onde é criado um campo elétrico que separa os portadores de carga que a atingem. Quando uma célula solar é exposta à luz os fótons são absorvidos pelos elétrons. Assim, quando o fóton contém energia suficiente a ligação entre os elétrons é quebrada e estes movem-se para a banda de condução e são conduzidos através do campo elétrico para a camada n. As lacunas criadas seguem para a camada p. Quando se ligam os terminais da célula a um circuito exterior que se fecha através de uma carga irá circular corrente elétrica. Se a célula não estiver ligada a nenhuma carga, é obtida a tensão em circuito aberto da célula solar. (FREITAS, 2008). [12]

2.3. Tipos de módulos fotovoltaico

O elemento mais usado na fabricação de um painel fotovoltaico é o silício, que é um dos elementos mais abundante na superfície terrestre. Fogaça (2019) fala da aplicação dessa matéria prima no segmento tecnológico, onde é possível a fabricação de lâminas finas, usadas na produção de *chips*, circuitos integrados de computadores e outros.



Figura 4 – Imagem dos três tipos básicos de célula fotovoltaica

Fonte: http://vidrofv.geodesign.com.br/Pages/DeQue_VFV.html

O módulo fotovoltaico é formado por um conjunto de células que são classificadas de acordo com a composição de sua essência. São três tipos de célula à base de silício, monocristalino, policristalino e amorfo (Figura 4). Niedzialkoski (2013) explica que as células de silício monocristalino tem a sua montagem na forma de barras cilíndricas em fornos especiais, que passam por um corte em forma de pastilhas finas, com dimensões de 300 µm de espessura. A eficiência dela está em torno de 15% e por demandar muita energia na sua produção tem por característica um preço mais alto comprado com as demais células. [14]

O silício policristalino, constituído por um número muito elevado de pequenos cristais da espessura de um cabelo humano, corresponde a cerca de 30% das unidades fabricadas. As descontinuidades da estrutura molecular dificultam o movimento de elétrons e encorajam a recombinação com as lacunas, o que reduz a potência de saída. Por este motivo os rendimentos em laboratório e em utilização prática não excedem os 18% e 12%, respectivamente. Em contrapartida, o processo de fabricação é mais barato do que o do silício cristalino. [15] (CARDOSO, 2002).

As células de silício amorfo são obtidas por meio da deposição de camadas muito finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. Sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade varia entre 5% e 7% [14,2] (NIEDZIALKOSKI, 2013).

2.5. O funcionamento de uma usina solar

Uma usina solar é um conjunto de várias células fotovoltaicas com a finalidade de produção de energia elétrica. Porém, para que a eletricidade produzida possa ser usada existe um processo pois a corrente gerada não é compatível com aquela fornecida pela as concessionárias de energia elétrica. Para que a corrente produzida possa ser usada com pelos aparelhos do cotidiano, Fontes (2017) explica que a energia gerada nos módulos fotovoltaicos é em forma de Corrente Contínua (CC), que é então enviada aos inversores fotovoltaicos, que a convertem em

Corrente Alternada (CA), que é o tipo de energia que consumimos em nossos estabelecimentos. Conforme ilustrado na Figura 5.



Figura 5 – inversores da usina solar da UFERSA

Fonte: (<https://usinasolar.ufersa.edu.br/>)



Figura 6 – vista superior da usina solar da UFERSA.

Fonte: (<https://usinasolar.ufersa.edu.br/>)

2.5. Caracterização da usina solar da UFERSA

A usina solar fotovoltaica da universidade federal rural do semi-árido (Ufersa), está localizada no campus de Mossoró, em rio grande do Norte. É classificada como tipo minigeração distribuída, pois sua potência instalada é superior a 75 KW além de ser conectada a rede de distribuição elétrica do campus, o que torna desnecessário o uso de banco de baterias, pois a produção excedente poderá ser lançada a rede da concessionária gerando um crédito que poderá ser abatido na conta da universidade (Figura 6).



Figura 7 – foto da usina fotovoltaica da UFERSA

Fonte: (<https://usinasolar.ufersa.edu.br/>)

Segundo a instituição sua usina é composta por 580 painéis, fabricados com células de silício policristalino, com potência nominal de 260W cada, o que confere à usina uma potência instalada total de 150,8 kWp. Nesta usina, a conversão da energia CA para CC é feita por 10 Inversores com potência de 15 kW, cada, totalizando 150 kW.

2.6. Metodologia

A eficiência da usina foi calculada pela relação entre a geração de energia produzida e a radiação incidente nos painéis solares. Os dados sobre a produção do conjunto de módulos fotovoltaico foram obtidos a partir dos registros realizados pelos inversores e enviados pela internet diretamente ao fabricante dos inversores, que disponibiliza as informações através de seu sítio na internet.

Já em referência a irradiação no plano inclinado, foi necessário fazer uso de modelos matemáticos para se chegar aos dados. Primeiramente foram colhidos os dados de irradiação no plano horizontal da usina. Em seguida, fez-se uso do modelo de Liu e Jordan [17] (1960 apud FRAIDENRAICH; LYRA, 1995; OLIVEIRA, 1997), para o cálculo da radiação difusa através da transmitância atmosférica, K_t , que é a relação entre a irradiação incidente no plano horizontal, $H(0)$, e a irradiação no topo da atmosfera, H_0 , como mostra a equação (1).

$$K_t = \frac{H(0)}{H_0} \quad (1)$$

Também foi usado o modelo de Collares-pereira e Rabl [18] (1979 apud FRAIDENRAICH, LYRA, 1995), que é uma modificação do modelo de Liu e Jordan para o cálculo do coeficiente de radiação difusa. A equação proposta por Collares-pereira e Rabl [18] faz a relação entre os valores diários médios mensais de irradiação global e difusa no plano horizontal e é apresentada pela seguinte fórmula.

$$K_d = \frac{H_d(0)}{H(0)} \quad (2)$$

Onde:

K_d : coeficiente de radiação difusa, média mensal;

$H_d(0)$: irradiação difusa diária média mensal no plano horizontal;

$H(0)$: irradiação global diária média mensal no plano horizontal;

Considerando a relação feita pela equação anterior, precisa-se calcular K_d para poder isolar e encontrar o $H_d(0)$. No caso de valores diários médios mensais, isto pode ser feito a partir da equação seguinte.

$$K_d = 0,775 + 0,347(W_s - \frac{\pi}{2}) - [0,505 + 0,26(W_s \frac{\pi}{2})] \cos[2(K_t - 0,9)] \quad (3)$$

Onde:

W_s : ângulo horário do por do sol, medido com valores positivos a partir do meio-dia solar. (em radianos);

Para o cálculo de K_d de cada mês, (W_s) deve ser calculado a partir das equações (4) e (5), tomando-se o dia médio do respectivo mês.

$$W_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (4)$$

$$\delta = \sin^{-1} \left[-0,3979 \cos \left[\frac{2\pi(n+10)}{365,25} \right] \right] \quad (5)$$

Onde:

ϕ : latitude do local, considerada positiva para o hemisfério norte e negativa para o hemisfério sul;

δ : declinação solar;

$n(t)$: dia do ano, no calendário juliano.

Após o cálculo da irradiação difusa diária média mensal no plano horizontal, é possível encontrar H_b ,

Que é a irradiação direta, calculada como a diferença entre a irradiação global e a difusa.

Usualmente os painéis solares são posicionados em inclinações convenientes para cada região, no objetivo de atingir a máxima eficiência. Adota-se convencionalmente a inclinação igual à latitude da instalação, ou 10° para instalações em latitudes inferiores a este valor. No hemisfério Sul, os painéis devem ser voltados para o Norte geográfico. Assim, os módulos fotovoltaicos da usina em análise foram instalados com inclinação de 10°, para o Norte.

Como os dados da irradiação no plano inclinado não eram disponíveis, foi necessário usar o modelo matemático de Klein[19] (1977, apud IQBAL, 1983; OLIVEIRA, 1997), que é nas palavras de Ribeiro (2004) uma otimização da equação de Liu e Jordan para determinar a radiação incidente no plano inclinado, voltado para o Norte. Para o cálculo desta equação foi preciso encontrar as componentes difusa e direta da irradiação diária média mensal típica citadas anteriormente; para o ângulo de inclinação de 10 graus. Os cálculos são feitos a partir das equações 6, 7 e 8, apresentadas a seguir.

$$R_b = \frac{\cos(\varphi+\beta) \cos \delta \sin w'_s + w'_s \sin(\varphi+\beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin w_s + w_s \sin \varphi \sin \delta} \quad (6)$$

Onde:

R_b = razão entre a radiação diária média sobre uma superfície inclinada e a radiação diária média no plano horizontal;

β : ângulo de inclinação, positivo para o equador;

w'_s : menor valor entre os resultantes das duas equações (7), devendo ser aplicado na equação (6) em radianos.

$$w'_s = \min \left[\begin{array}{l} \cos^{-1}(-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta) \\ \cos^{-1}(-\operatorname{tg}(\varphi + \beta)) \operatorname{tg} \delta \end{array} \right] \quad (7)$$

Por fim, o cálculo da irradiação diária média mensal no plano inclinado é representado por $H(\beta)$, nessa soma entra a influência da radiação direta, radiação difusa, albedo e a irradiação no plano inclinado.

$$H(\beta) = H \left(1 - \frac{H_d}{H} \right) R_b + H_d \left(\frac{1+\cos \beta}{2} \right) + H_p \left(\frac{1-\cos \beta}{2} \right) \quad (8)$$

Onde:

H_p =albedo;

H_d = irradiação difusa diária media mensal no plano horizontal;

H = irradiação diária média mensal no plano horizontal.

A seguir a Figura 7 ilustra as etapas da metodologia

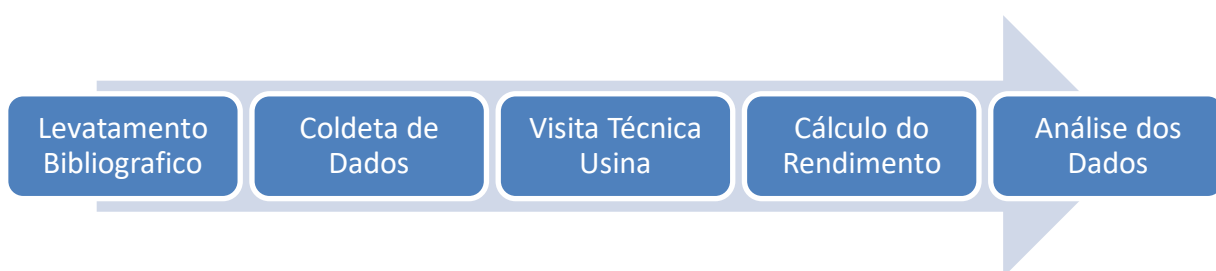


Figura 7 – Metodologia da pesquisa

2.7. Resultados e discussões

A partir dos dados de irradiação solar diária no plano horizontal obtidos pela estação meteorológica da ufersa, foi calculada a irradiação solar diária no plano inclinado dos painéis, por meio dos modelos matemáticos expostos na metodologia. As informações obtidas mostraram que no período analisado a irradiação diária no plano horizontal teve média anual de 5.884,23Wh/m2, com máxima de 7.687,20Wh/m2 (12/11/2017) e mínima de 2.133,60Wh/m2 (29/05/2017). O desvio padrão foi de 1.018,92. Por sua vez, a irradiação no plano dos painéis inclinado, teve um o valor diário médio registrado de 5.887,16 Wh/m2, valor máximo de 7.478,52Wh/m2 (03/04/2017) e o mínimo de 2.137,15Wh/m2 (29/05/2017). O desvio padrão foi de 979,61. Já os dados de geração elétrica, coletados no sítio da internet do fabricante dos inversores, apresentaram a média diária anual de 701,27

kWh, com máxima de 910,40 kWh (08/04/2017) e mínima de 286,30 kWh (29/05/2017).

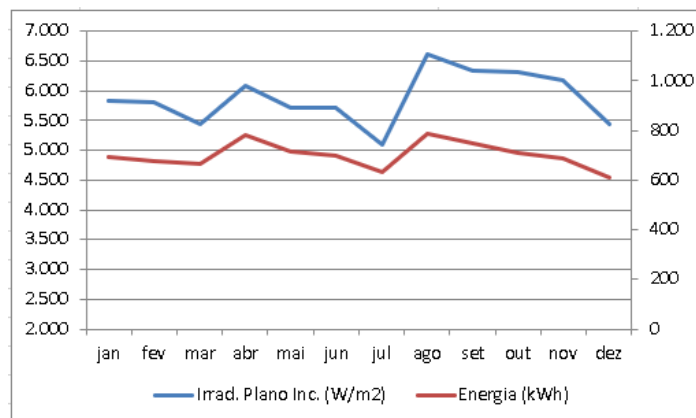


Figura 8 – relação irradiação no plano inclinado e geração de energia da usina solar da UFERSA em 2017
Fonte: (Autor próprio).

Através da figura 7, percebe-se que há uma relação entre a irradiação sob os painéis inclinados e a produção de energia elétrica, pois o aumento na radiação solar confere uma maior incidência de luminosidade sobre os módulos fotovoltaicos, o que caracteriza um fator positivo para o processo.

Com base nas informações anteriores, foi possível realizar o cálculo da eficiência da usina fotovoltaica que alcançou uma eficiência diária média de 13,28%, sendo a máxima de 14,98% (13/04/2017) e a mínima para 12,01% (08/12/2017).

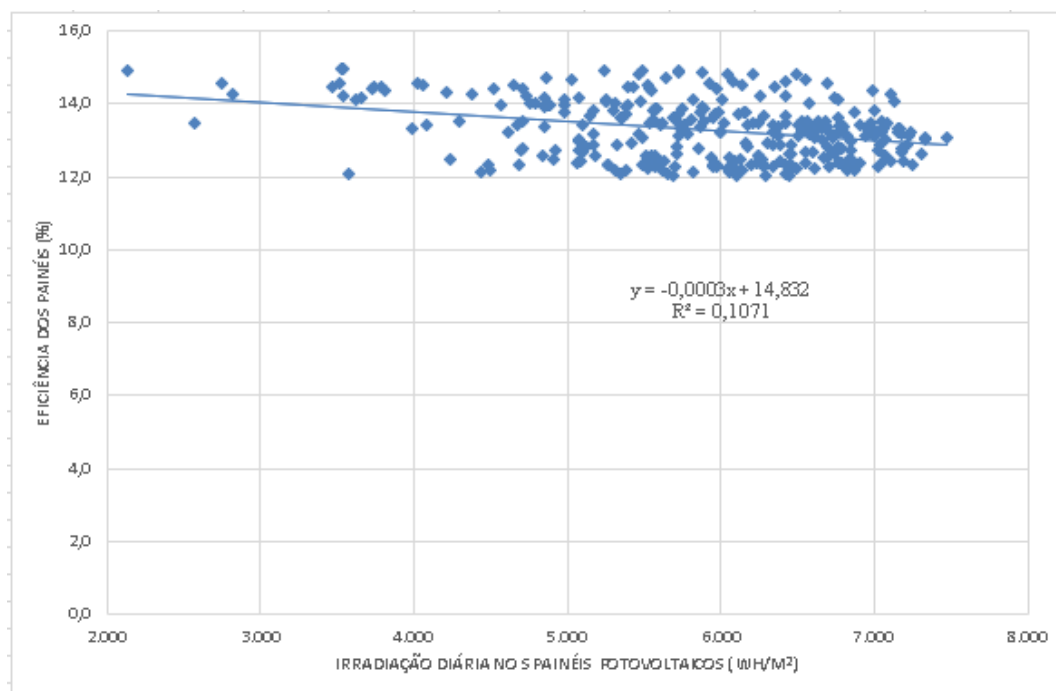


Figura 9 – relação entre irradiação solar e a eficiência do conjunto da usina solar da UFERSA.
Fonte: (Autoria própria).

A radiação solar transporta energia luminosa e calor e apesar da luminescência contribuir para uma maior produção de eletricidade, o calor ocasiona um aumento na temperatura dos painéis fotovoltaicos que influencia negativamente na produção energética. A figura 8 mostra a linha de tendência da relação irradiação versus eficiência, sendo possível identificar claramente esse comportamento onde nos dias de maior irradiação há a tendência do rendimento diminuir.

É possível observar pontos anômalos na figura 7 e 8, isto possivelmente se deve ao fato de que alguns dados da pesquisa sofreram falhas de envio de informações por parte dos inversores, ou ocorreu mal funcionamento do

3. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi calculada a eficiência de uma usina solar na cidade de Mossoró ao longo do ano de 2017. Para tal foi realizada uma coleta de dados de irradiação no plano horizontal feita através de um piranômetro conectado à Estação Meteorológica Automática (EMA) da UFERSA; as informações referentes à geração de energia elétrica foram obtidas por meio do acesso a um banco de dados onde são armazenados os registros enviados por cada um dos 10 inversores da usina. Após a decomposição da irradiação no plano horizontal para o plano inclinado, foi calculada a razão entre a produção da usina e a irradiação sobre os painéis, resultando na eficiência.

Pela análise dos dados no período em questão constatou-se que a usina teve uma eficiência média de 13,28%, com uma irradiação solar diária média de 5.887,16 Wh/m² no plano dos módulos fotovoltaicos, com inclinação de 10° para o norte, e apresentou uma produção diária média de energia elétrica de 701,27 kWh. Para medições futuras com maior acurácia é recomendável o uso de sensor de radiação solar instalado na mesma inclinação dos módulos fotovoltaicos, além de coleta de dados dos inversores com maior frequência ao longo do período de observações, de forma a evitar a perda dados por falhas nas transmissões.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RICARDO DIAS (Brasil). Cubi Energia. **Conjuntura energética global: Insights em demanda de energia**. 2018. Disponível em: <<https://www.cubienergia.com/insights-demanda-de-energia/>>. Acesso em: 07 mar. 2018.
- [2] ANDRADE, Airton Cabral de. **Análise e simulação da distribuição de temperaturas em módulos fotovoltaicos**. 2008. 143 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- [3] COSTA, Wagner Teixeira da. **MODELAGEM, ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS E MÉTODO MPPT PARA MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**. 2010. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.
- [4] VANESSA BARBOSA (Brasil). Exame. **Conhece o albedo? Ele está diminuindo e isso não é nada bom**. 2014. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/tecnologia/conhece-o-albedo-ele-esta-diminuindo-e-isso-nao-e-nada-bom/>>. Acesso em: 20 fev. 2014.
- [5] ESPÍNOLA SOBRINHO, José et al. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA EM MOSSORÓ-RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 20., 2017, Juazeiro. **A Agrometeorologia na Solução de Problemas Multiescala**. Juazeiro: Cbagro, 2017. p. 1 - 5.
- [6] FERREIRA, Ricardo Jorge de Araújo. **Carro a Energia Solar: Curvas de funcionamento de um painel fotovoltaico**. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores Major Automação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.
- [7] LEANDRO JOSE DA SILVA (Três Lagoas). Revista Conexão Eletrônica. **FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA: : FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA: Implantação de Sistema Fotovoltaico. Revista Conexão Eletrônica: AEMS - faculdade integrada de três lagoas, Três Lagoas, Ms, v. 14, n. 1, p.2188-2195, nov. 2017. Anual**. Disponível em: <<http://revistaconexao.aems.edu.br/edicoes-antiores/2017/2017/ciencias-exatas-e-da-terra-engenharias-e-ciencias-agrarias/?perPage=50>>. Acesso em: 09 mar. 2019.
- [8] DIENSTMANN, Gustavo. **Energia solar: uma comparação de tecnologias**. 2009. 92 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- [9] CANTOR, Guillermo Andrés Rodríguez. **INFLUÊNCIA DOS FATORES CLIMÁTICOS NO DESEMPENHO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS EM REGIÕES DE CLIMA TROPICAL**. 2017. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – Pb, 2017.
- [10] YANAGI, Silvia de Nazaré Monteiro. **Albedo de uma floresta tropical amazônica: medições de campo, sensoriamento remoto, modelagem, e sua influência no clima regional**. 2006. 152 f. Tese (Doutorado) - Curso de Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - Mg, 2006.
- [11] PAULO NUNES. Knoow. **Albedo**. 2019. Disponível em: <<http://knoow.net/ciencterravida/geografia/albedo/>>. Acesso em: 14 jan. 2019.
- [12] FREITAS, Susana Sofia Alves. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2008. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Electrotécnica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2008.

-
- [13] FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "Silício"; *Brasil Escola*. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/silicio.htm>>. Acesso em 09 de março de 2019.
- [14] NIEDZIALKOSKI, Rosana Krauss. **DESEMPENHO DE PAINÉIS SOLARES MONO E POLICRISTALINOS EM UM SISTEMA DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - Pr, 2013.
- [15] CARDOSO, Catarina Isabel Araújo Castro Pereira. **CRESCIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES FINOS DE CuInSe₂ PARA CÉLULAS SOLARES**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física Aplicada, Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2008.
- [16] RUY FONTES (Brasil). Blue Sol Energia Solar. **Usina Solar: Guia de Como a Energia Solar É Gerada de Forma Centralizada e Principais Usinas do Brasil**. 2017. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/usina-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 25 maio 2017.
- [17] FRAIDENRAICH, Naum; Lyra, Francisco. **Energia Solar: fundamentos e tecnologia de conversão heliotérmica e fotovoltaica**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 1995. 471 p.
- [18] COLLE, Sérgio; PEREIRA, Ênio B. Atlas de Irradiação do Brasil: 1ª versão para irradiação global derivada de satélite e validada na superfície. In: MONTENEGRO, Alexandre. A. (org.). **Fontes Não-Convencionais de Energia**. 3 ed. UFSC, Florianópolis: 2000. 208 p
- [19] IQBAL, Muhammad. **an Introduction to Solar Radiation**. Toronto: Academic Press Canadá, 1983. 390 p.