

## Monitoramento De Desempenho Do Sistema Fotovoltaico Conectado À Rede Elétrica Do Instituto Federal Do Rio Grande Do Norte Campus Pau Dos Ferros.

José Henrique Maciel de Queiroz<sup>1</sup>, José Flávio Timoteo Júnior<sup>1</sup>, Rogério de Jesus Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Engenharias – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)  
Pau dos Ferros – RN – Brasil

henrique.jhmq@hotmail.com, flavio.timoteo@ufersa.edu.br, rogerio.jesus@ufersa.edu.br

**Abstract.** *The use of solar energy in its most diverse forms has been increasing rapidly in recent years and the Brazilian territory is very favorable to this new trend. Thus, the focus of this research was on the use of solar energy in the generation of electricity, on a distributed minigeration scale. Having a generation plant of the type mentioned, the IFRN campus Pau dos Ferros was chosen as the main scenario of the study. A performance and yield monitoring was performed, which in the first month was 5.83 MWh in July, in the second 4.57 MWh and in the third month was 17.05 MWh. This demonstrates the efficiency of the system.*

**Resumo.** *A utilização da energia solar em suas mais diversas formas vem crescendo rapidamente nos últimos anos e o território brasileiro é bastante favorável a essa nova tendência. Dessa forma, o enfoque desta pesquisa deu-se ao emprego da energia solar na geração de eletricidade, em escala de minigeração distribuída. Por dispor de uma usina de geração do tipo citado, o IFRN campus Pau dos Ferros foi escolhido como cenário principal do estudo. Realizou-se então, um monitoramento do desempenho e do rendimento que no primeiro mês foi 5,83 MWh em julho, no segundo 4,57 MWh e no terceiro mês foi de 17,05 MWh. Evidenciando assim a eficiência do sistema.*

## 1. Introdução

A energia liberada pelo sol vem prometendo ser muito valiosa em termos de geração de eletricidade. Em meio a tantas crises energéticas, tem-se disponível uma fonte energética inesgotável para a escala de tempo humana.

Essa energia pode ser aproveitada de diversas formas, no estudo aqui desenvolvido, o interesse volta-se à conversão da radiação solar em energia elétrica, através do fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico. Tal solução vem ganhando popularidade nos dias de hoje devido, dentre outros fatores, à possibilidade de geração distribuída, onde o próprio consumidor possui o controle sobre as centrais de geração.

Com o constante crescimento da demanda energética mundial um dos grandes destaques dado a utilização da energia solar fotovoltaica é quanto à sustentabilidade, pois ela é considerada uma energia limpa e renovável e dessa forma é capaz de minimizar os prejuízos causados ao meio ambiente pelo homem no processo de obtenção de eletricidade. [FINDER, 2011; DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2015].

A região do alto oeste potiguar onde se situa a cidade de Pau dos Ferros está localizada em uma área que recebe alta incidência energética solar, devido a sua localização geográfica, próxima à linha do equador. Com isso espera-se que futuramente a energia solar fotovoltaica torne-se uma forte alternativa do mercado energético regional juntamente com a energia eólica que já é presente no estado. [RIO GRANDE DO NORTE, 2016].

Impulsionado por estes fatores, foi realizado este estudo de caso, tomando como objeto de estudo a central de mini geração de energia solar fotovoltaica do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) campus Pau dos Ferros, com os objetivos indicados adiante.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo geral

Frente aos fatos expostos até aqui, o presente trabalho tem como objetivo realizar um monitoramento do desempenho do sistema fotovoltaico do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN) campus Pau dos Ferros, destacando os períodos de maior e menor rendimento, para que se tenha uma ideia da competência da energia solar fotovoltaica na aplicação como geração distribuída de médio porte.

### 2.2. Objetivos específicos

- Acompanhar a energia gerada pelo sistema fotovoltaico em cada mês observado.
- Mostrar o comportamento da geração e comparar os períodos de maior rendimento e de menor rendimento, indicando as possíveis causas das diferenças entre eles.

- Estimar a quantia em dinheiro economizada pelo campus em sua conta de energia elétrica a cada mês de estudo e com base na geração esperada inicialmente, fazer uma breve avaliação do tempo de retorno do investimento.

### 3. Referencial Teórico

A quantidade de radiação solar que chega ao solo terrestre, em um plano horizontal, depende muito da latitude do local e do período do ano. De toda a radiação que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma parcela consegue chegar ao solo, isso se deve a interação que a radiação solar sofre com os elementos que compõem a atmosfera terrestre, tais como moléculas, gases, nuvens, aerossóis, etc., e também, com aqueles que estão sobre a superfície terrestre. Isto significa que quando a radiação solar viaja através da atmosfera até a superfície terrestre, sofre atenuações devidas às interações com estes elementos. [CORRÊA, 2008].

Ainda assim, o sol nos fornece um grande potencial energético continuamente, então uma ótima forma de usufruir deste potencial é convertendo-o em energia solar fotovoltaica. Segundo CRESESB (2014) a energia solar fotovoltaica é a energia obtida pelo efeito fotovoltaico, ou seja, pela conversão direta da luz solar em energia elétrica, sendo essa transformação realizada com o uso de um dispositivo composto por materiais semicondutores (célula fotovoltaica).

As células fotovoltaicas ou células solares são a unidade básica de um sistema fotovoltaico. É nelas que a conversão de energia luminosa em eletricidade realmente acontece, o processo com que isso ocorre é conhecido como efeito fotovoltaico. Uma única célula fotovoltaica retorna baixos valores de tensão e corrente para os circuitos, por esse motivo, faz-se necessário o agrupamento de várias delas, formando assim os módulos. Os módulos, por sua vez, são também agrupados formando painéis capazes de suprir grandes demandas energéticas. [SOUZA, 2012].

O desempenho dos módulos é influenciado principalmente pela intensidade luminosa que chega à superfície dos painéis e a temperatura de funcionamento das células. A corrente gerada aumenta com o aumento da luminosidade, porém com um acréscimo na temperatura, obtemos eficiências de valor mais baixo. [CRESESB, 2014].

### 4. Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida como um estudo de caso, tomando como objeto de estudo a usina de minigeração de energia solar fotovoltaica do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), campus Pau dos Ferros.

Foram realizadas visitas ao local, destinadas à coleta de informações a respeito do sistema como um todo, contando sempre com o auxílio dos engenheiros responsáveis pelo funcionamento do sistema. Os dados foram registrados por meio de anotações para serem discutidos e utilizados nas etapas seguintes da pesquisa.

No decorrer do estudo, que se estendeu de maio a outubro, preocupou-se em manter um acompanhamento diário do funcionamento dos painéis, principalmente com relação à potência gerada por eles. O banco de dados do site eletrônico Sunnyportal foi de grande importância no estudo, fornecendo informações essenciais como: potências,

histórico de geração, dentre outros. Com base nas teorias existentes, pôde-se avaliar o sistema e seu desempenho.

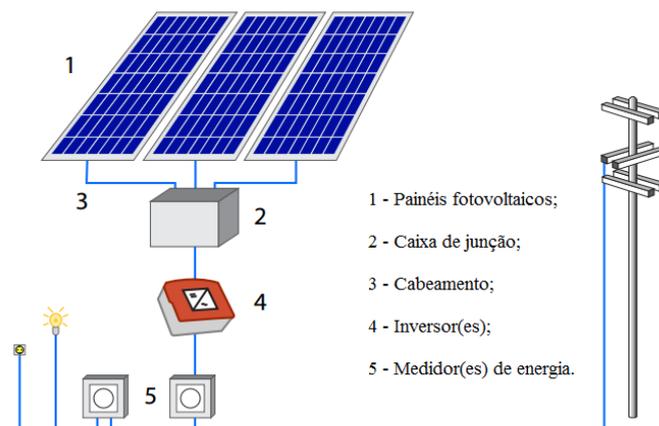
## 5. Caracterização Do Sistema

O sistema fotovoltaico instalado no IFRN campus Pau dos Ferros foi projetado para operar conectado com a rede elétrica via rede doméstica, pois ele por si só, não possui capacidade de fornecer toda a demanda energética necessária aos prédios da instituição. E conexão com a rede dispensa a necessidade de armazenamento de energia.

Com uma potência instalada total de 144,400 kWp, o sistema fotovoltaico pertencente ao campus pode ser classificado quanto à capacidade de geração como sendo uma central de minigeração solar. De acordo com a resolução 482/12 da ANEEL esta conotação se atribui às centrais geradoras de energia solar fotovoltaica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW.

### 5.1. Componentes

Por ser conectado à rede, o sistema fotovoltaico estudado possui uma estrutura semelhante à ilustrada na figura 1 abaixo, contando com os mesmos componentes e organização.



**Figura 1: Componentes de um sistema fotovoltaico on-grid.**

**Fonte: Adaptado de SOUZA, 2012.**

Os componentes representados na figura 1 podem ser identificados pela numeração que segue:

1 - Painéis Fotovoltaicos: Foram instalados ao todo 440 módulos de silício policristalino sobre os telhados de dois dos prédios da instituição, ocupando uma área de 707,74 m<sup>2</sup>. O modelo de módulo escolhido para o projeto foi o CS6P-260P da empresa Canadian Solar Inc. com uma potência individual de 260 watts. Com isso atingiu-se a capacidade instalada desejada. A figura 2 mostra uma foto da etapa de montagem dos painéis a partir desses módulos.



**Figura 2: Painéis do sistema do IFRN campus Pau dos Ferros.**

**Fonte: IFRN, 2016.**

2 - Caixa de Junção do painel fotovoltaico: É nela que estão presentes o elemento de proteção das fileiras e módulos, tais como fusíveis, diodos, interruptores e outros. Está presente neste sistema 8 caixas de junção, das quais se direcionam cabos de transmissão para os inversores.

3 - Cabeamento: Responsável pela transmissão da corrente. Os cabos devem atender às especificações do projeto, sendo capazes de suportar a corrente que se deseja conduzir através deles. No IFRN campus Pau dos Ferros os cabos que trabalham com corrente contínua (CC) possuem seção de  $4 \text{ mm}^2$  de área, enquanto que os de corrente alternada (AC) possuem seção com área de  $16 \text{ mm}^2$ .

4 - Inversor Grid-Tie: os painéis fotovoltaicos geram corrente contínua (CC), enquanto que os aparelhos em geral costumam funcionar com corrente alternada (AC). Os inversores servem justamente para realizar a conversão de CC para AC. O sistema estudado dispõe de 4 inversores do modelo Sunny Tripower 25000TL-30 da empresa SMA cada um trabalhando com potência de até 25000 watts e com eficiência máxima de 98,4 %. Apenas um inversor não seria suficiente para atender ao sistema.

5 – Medidor (es) de energia: os medidores são necessários para informar a quantidade de energia elétrica consumida proveniente da usina e a quantidade fornecida pela rede pública de abastecimento. Os medidores bidirecionais conseguem realizar essas duas aferições, dispensando outro adicional e é este o tipo empregado no sistema em questão.

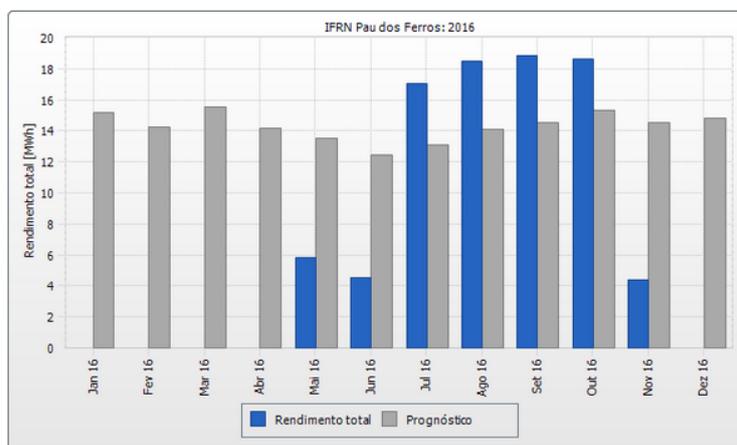
## **6. Geração De Energia**

Feitas as observações necessárias, serão expostos a seguir os dados referentes à geração no período estipulado para estudo. Para fins de análise deve-se levar em conta que o sistema iniciou suas atividades no mês de maio do ano de 2016 e que este primeiro mês de geração serviu apenas como uma etapa de testes para o sistema, e não teve como finalidade alcançar a máxima capacidade mensal. Sabe-se ainda que no mês de junho gerou-se somente a partir do dia 21 e em outubro ocorreu um problema com um disjuntor que causou interrupção no funcionamento durante três dias.

Com relação à geração diária pode-se dizer que os valores são variáveis, indo de pouco mais de 200 kWh em alguns dias nublados de maio até 697 kWh no dia de maior rendimento em outubro. Observou-se que por ser ainda um mês chuvoso, com muitas

variações climáticas, maio apresentou tanto dias de rendimento baixo, como outros que renderam acima do esperado. Já nos meses seguintes houve pouca variação diária de energia entregue, embora com leves aumentos no decorrer dos meses.

No gráfico 1 são mostrados os rendimentos acumulados em cada mês ao lado das estimativas previstas para cada um deles (prognósticos).



**Gráfico 1: Rendimento total dos meses de funcionamento observados.**

**Fonte: Sunnyportal.**

Os resultados mostram um crescimento mês a mês da quantidade de energia entregue pelo sistema. Esse acontecimento pode ser observado de forma clara entre os meses de julho, agosto e setembro, já que neles a geração aconteceu durante todos os dias. Provavelmente o mesmo teria ocorrido em outubro se não houvesse acontecido a pausa de 3 dias. Tal crescimento já era esperado pelo prognóstico, pois ele leva em consideração a radiação média que chega à localidade durante cada mês do ano e estes são justamente os meses que recebem maiores índices de insolação. Sobre a estimativa percebe-se também que após outubro é esperada uma redução nas potências alcançadas pelo sistema.

O rendimento total de maio foi de 5,83 MWh e ele ficou acima dos 4,57 MWh obtidos em junho, o que explica-se devido ao tempo de funcionamento do sistema. Nos meses seguintes obteve-se: 17,05 MWh em julho, 18,49 MWh em agosto e 18,85 MWh em setembro. Até o dia 16 de outubro rendeu-se ainda mais 18,60 MWh. Com isso têm-se que a geração do sistema do dia 04/05/2016 até o dia 30/10/2016 foi de 83,39 MWh.

Em termos percentuais temos que o mês de maio rendeu 6,99% do valor total acumulado até o dia 30/10/2016, enquanto junho contribuiu com 5,48 %, julho com 20,45%, agosto com 22,17%, setembro com 22,60% e por último a parcela referente a outubro foi de cerca de 22,30%.

Devido aos 83,34 MWh de energia ativa produzidos através da conversão da energia solar na usina, o site Sunnyportal informa que houve uma redução de emissões de dióxido de carbono no meio ambiente de 7,2 toneladas. Este é com certeza um dado muito importante para a equipe do IFRN, pois torna a instituição de ensino um exemplo a ser seguido na região, além disso, fortalecendo o compromisso que toda a população precisa ter com o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável.

## 7. Sistema De Compensação De Energia Elétrica

A central de minigeração do IFRN aderiu ao sistema de compensação de energia elétrica proposto pela ANEEL na Resolução Normativa 482/2012 (posteriormente alterada pela Resolução Normativa 687/2015) e dessa forma, a usina não só contribui positivamente em termos de sustentabilidade, mas também no fator financeiro. Quando se trata de geração distribuída, a resolução citada estabelece: Os possuidores de centrais geradoras fotovoltaicas com potência instalada de até 3MW interessados no sistema de compensação elétrica poderão ser participar do mesmo, contanto que adequem suas instalações; A energia produzida na central pode então ser injetada na rede de distribuição na forma de empréstimo à distribuidora, tal que o consumidor adquira um saldo de energia ativa disponível para posterior consumo em até 60 meses.

Devido essa medida adotada, toda energia produzida na usina, independente do horário e da taxa com que está sendo gerada, poderá ser utilizada nas edificações do campus sem tributação da distribuidora e também sem necessidade de armazenamento. Sendo assim a energia elétrica utilizada proveniente da rede de distribuição será reduzida e irá pagar-se menos na conta de energia elétrica. O valor economizado na conta paga à distribuidora é o que faz com que o sistema de geração se torne economicamente viável, uma vez que o investimento inicial do sistema é alto e deve retornar de alguma forma ao consumidor. Neste caso quanto mais eficiente estiver sendo o sistema, mais rápido será dado esse retorno.

Segundo as estimativas informadas pela equipe do IFRN, o payback do sistema do campus será dado em cerca de 12 anos após a sua implantação, ou seja, neste tempo já terá sido gerado uma quantidade de energia suficiente para cobrir todos os custos relacionados à usina. Considerando que a vida útil dos componentes pode ultrapassar a marca dos 25 anos, pode-se afirmar o investimento será muito bem recompensado no futuro.

No quadro 1 abaixo são apresentados os valores em reais (R\$) economizados devido à geração fotovoltaica de acordo com a produção e a tarifa cobrada pela distribuidora em cada mês observado, considerando que a distribuidora houvesse feito as leituras no contador exatamente no início e no fim do mês. Excluiu-se outubro devido à falta do valor da tarifa referente ao mês.

**Quadro 1:** Relação de energia produzida e economia gerada pelo sistema fotovoltaico.

Mês	Energia ativa gerada (kWh)	Tarifa do mês (R\$/kWh)	Economia na conta (R\$)
Maio	5830	0,3193	1.861,55
Junho	4570	0,3206	1.465,18
Julho	17050	0,3204	5.462,77
Agosto	18490	0,3231	5.973,60
Setembro	18850	0,3247	6.120,73
Total	64790	-	20.883,82

**Fonte:** Próprio Autor.

Nos meses completos de geração, a produção fotovoltaica chega a representar mais de 30% da energia consumida no campus e essa porcentagem vai para a conta de

energia elétrica como uma redução direta no valor pago. Além disso, nos períodos de férias na instituição o consumo energético costuma ser bem menor e a usina consegue suprir até 70% da demanda.

## 8. Conclusão

A energia solar fotovoltaica veio com o objetivo de auxiliar a matriz energética do setor elétrico mundial. Este tipo de energia tem se destacado devido às reduções dos seus custos nos últimos anos como também no incentivo de seu uso, baseando-se nas vantagens que apresenta, principalmente em relação à preservação do meio ambiente e sustentabilidade.

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a realização de uma análise do funcionamento do sistema de minigeração fotovoltaica instalado no IFRN campus Pau dos Ferros, por meio do monitoramento diário da sua produção energética, destacando os fatores que contribuíram tanto positivamente como negativamente para o seu desempenho geral. Além disso, fez-se uma simplificada avaliação da questão econômica atrelada à implantação e eficiência da usina solar nas edificações estudadas.

Em se tratando do desempenho dos módulos fotovoltaicos, após a aquisição completa dos dados, notou-se que os primeiros meses de funcionamento do sistema foram os mais conturbados, isso porque além de compreender um período de testes, ainda houve uma maior intervenção das variações climáticas. Dessa forma, principalmente os dias do mês de maio apresentaram rendimentos diários abaixo da média. Nos meses seguintes, até outubro, constatou-se um crescimento progressivo dos valores de energia entregue pelo sistema diariamente e também um padrão de geração mais consistente. Esta resposta dos módulos à radiação era realmente o esperado para a região.

Os rendimentos, no geral, estiveram acima dos valores previstos pela equipe responsável pelo sistema, o que pode proporcionar então, um tempo de payback menor que os 12 anos estimados por eles, tornando a solução energética ainda mais vantajosa. Outra informação relevante é que a geração da usina no momento corresponde a mais de 30% do consumo de energia elétrica no campus em seus períodos normais de atividade.

Sobre os resultados alcançados durante a pesquisa, conclui-se que foi obtido êxito quanto aos objetivos e foram geradas informações relevantes na área de energia limpa e renovável.

Com base no exposto pode concluir-se que a utilização da geração distribuída na forma de sistemas fotovoltaicos de médio porte mostra-se viável na cidade de Pau dos Ferros quando empregado de forma adequada, pois ficou confirmado que esta prática traz um bom retorno ao consumidor, apresentando desempenho satisfatório - no caso estudado, até mesmo superior ao esperado pelos projetistas - e contribuindo com uma sociedade mais consciente em relação ao uso dos recursos naturais.

## Referências

ANEEL. Resolução Normativa 482/2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2015.

- CORRÊA, M. P. Radiação Solar e Terrestre. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 23 p. 2008.
- CRESESB (Brasil). Grupo de Trabalho de Energia Solar Fotovoltaica (CRESESB/CEPEL) (Org.). Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos.. Edição Revisada e Atualizada. 530 p. Rio de Janeiro, 2014.
- DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias Renováveis: Buscando por uma Matriz Energética Sustentável. Reget/usfm: revista eletrônica em gestão educação e tecnologia ambiental, Santa Maria, v. 19, n. 1, p.70-81, 18 ago. 2015.
- FINDER. Findernet Componentes Ltda (Org.). O Mundo Sustentável das Energias Renováveis. São Caetano do Sul, São Paulo.: White Paper, 8 p.2011.
- RIO GRANDE DO NORTE. Sedec/assecom. Secretaria do Desenvolvimento Econômico. Energia Renovável. 2016. Disponível em: <<http://www.sedec.rn.gov.br/Conteudo.aspTRAN=ITEM&TARG=15443&ACT;=&PGE=0&PARM;=&LBL=Energia>>. Acesso em: 31 jul. 2016.
- SOUZA, R. Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica. Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares. Ribeirão Preto: Bluesol, 114 p. 2012.