

# REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

## ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ – CAMPUS ITABIRA

MARLON S. BICALHO<sup>2</sup>, THIAGO P. ARAUJO<sup>2</sup>, RAFAEL B. CARDOSO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Apresentado no XII Seminário de Meio Ambiente e Energias Renováveis

<sup>2</sup>Universidade Federal de Itajubá

E-mails: [marlonbicalho18@gmail.com](mailto:marlonbicalho18@gmail.com) ; [thiagopedrajf1@gmail.com.br](mailto:thiagopedrajf1@gmail.com.br)

<sup>3</sup>Rafael Balbino Cardoso – Professor Adjunto da UNIFEI/*Campus Itabira*.

E-mail: [cardosorb@unifei.edu.br](mailto:cardosorb@unifei.edu.br)

### RESUMO

Com o aumento das demandas energéticas e a busca de novas alternativas de geração, visando o desenvolvimento sustentável, a energia solar fotovoltaica vem ganhando destaque no cenário mundial. O desempenho energético de operação de um sistema fotovoltaico não depende somente das características de sua tecnologia, mas também, das características climáticas do local de onde está instalado e da instalação adequada dos equipamentos. Existem vários coeficientes de desempenho energético de sistemas fotovoltaicos utilizados para avaliação, os mais usuais na literatura internacional são YIELD, Performance Ratio e Fator de Capacidade. Nesse sentido, utilizando os coeficientes de desempenho, o presente estudo avalia o sistema fotovoltaico on grid de 10,2 kW de potência instalada na Universidade Federal de Itajubá, na cidade de Itabira-MG. As avaliações demonstraram que o sistema tem operado com baixa eficiência, devido aos efeitos da instalação inadequada, tanto referente à inclinação dos painéis, quanto à orientação dos mesmos, e a possíveis intervenções que podem ocorrer para a realização de outros estudos.

**Palavras-chave:** Geração Solar, Desempenho Energético, Energia Fotovoltaica.

## PERFORMANCE ANALYSIS OF THE GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN FEDERAL UNIVERSITY OF ITAJUBÁ – CAMPUS ITABIRA

With increasing energy demands and the search for new generation alternatives, looking for sustainable development, the photovoltaic solar energy has been gaining prominence in the world. The energy performance of a photovoltaic system depends not only on the characteristics of this technology, but also, the climatic characteristics of the place where it is installed and the proper installation of the equipment. There are several coefficients of energy performance of photovoltaic systems used for evaluation, the most used in the international literature are YIELD, Performance Ratio and Capacity Fator. On this way, deploying the coefficients of performance, this study evaluates the photovoltaic system on grid of 10,2 kW of power, installed at the Federal University of Itajubá, in Itabira – MG. The assessments showed that the system has operated in low efficiency, due mainly to the effects of improper installation, regarding the inclination and orientation of the photovoltaic panels, and possible interventions that may occur for other studies.

**Keyword:** Solar Generation, Energy Performance, Photovoltaic Energy.

### INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o mundo tem discutido os impactos ambientais negativos causados pelas diversas atividades antrópicas, dentre eles, os impactos oriundos da geração de energia elétrica. Cada vez mais, o cuidado com o planeta e com seu estado futuro é tratado com cautela, sobretudo nas escolhas das diretrizes adotadas buscando o desenvolvimento sustentável. Na geração de energia, existem várias alternativas de fontes renováveis e “limpas” que fomentam o desenvolvimento sustentável, dentre elas, destaca-se a energia solar (CARDOSO e CAMPOS, 2017).

A geração de energia solar fotovoltaica vem apresentando custos de implantação cada vez menos caros, do ponto de vista econômico, nos últimos anos. Segundo a International Renewable Energy Agency – IRENA, os custos de produção de painéis fotovoltaicos sofreram uma redução de aproximadamente 77% entre os anos de 2010 e 2015 na média mundial. Este fato impactou significativamente no aumento das instalações fotovoltaicas no mundo. Segundo a Academia Nacional de Engenharia (2016), a China produz cerca de 60%

dos módulos fotovoltaicos do mundo, o que ajudou o país a se tornar a maior potência em geração solar no ano de 2015 (MME, 2016).

No Brasil, a geração fotovoltaica ainda é muito pequena comparada à matriz energética nacional, correspondendo à apenas 0,02% da geração do país. Tem-se um total de 23,76 MW de potência instalada, enquanto as hidrelétricas correspondem a 61,09%, com aproximadamente 92,6 GW instalados (ANEEL, 2017). Porém, o potencial energético é um atrativo relevante para a implementação da geração fotovoltaica no país, que tem altos níveis de radiação durante os períodos de estiagem, tornando essa fonte de energia uma excelente alternativa para o desenvolvimento e planejamento do setor elétrico nacional.

Diante das vantagens da utilização da energia solar no cenário brasileiro, o governo tomou algumas medidas de incentivo à geração fotovoltaica, como a atualização da Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, passando para a Resolução Normativa nº 687/2015, que estimula a geração distribuída. Com esta Resolução Normativa, houve diminuição nos impostos e a possibilidade do crédito de energia, que agora passa a valer por 60 meses (ANEEL, 2015).

Diante deste contexto, o presente estudo avalia o desempenho do sistema fotovoltaico on grid de 10,2 kW de potência instalada, mas 5,1 kW em operação, na Universidade Federal de Itajubá, na cidade de Itabira-MG, levando em consideração os fatores climáticos e de instalação do sistema.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Existem diversas maneiras de se analisar o desempenho de um sistema fotovoltaico, entre os quais pode-se destacar o *YIELD* ou Produtividade, *Performance Ratio* ou Taxa de Desempenho e o Fator de Capacidade.

E a partir da análise desses parâmetros é possível detectar algum problema operacional ou de projeto; fazer comparação entre sistemas com tecnologias diferentes, localizações geográficas diferentes, entre outros; e fazer uma estimativa de desempenho de modelos ainda em fase de teste (IEA, 2007).

### *YIELD ou Produtividade*

O fator *YIELD* ou produtividade é a relação entre a energia gerada (kWh) e a potência instalada (kW), como visto na Equação 1 (MARION, et.al., 2005). Ele é um indicativo de

quantas horas o sistema necessitaria para gerar a mesma energia se operasse o tempo todo na potência máxima.

$$Y = \frac{E_G}{P} \quad (1)$$

Sendo:

$Y$  – *YIELD* (h);

$P$  – Potência Instalada (kW);

$E_G$  – Energia Gerada (kWh).

Este fator pode ser quinzenal, mensal, anual... depende apenas do intervalo de medição da energia gerada.

#### *Performance Ratio ou Taxa de Desempenho*

*Performance Ratio* ou taxa de desempenho é um parâmetro expresso em porcentagem que mostra a relação entre a produtividade e o número de horas de sol pleno (número de horas com radiação constante e igual a 1kW/m<sup>2</sup>), como mostra a Equação 2 (MARION, et.al., 2005).

$$PR = \frac{Y}{H_{SP}} \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

$PR$  – *Performance Ratio*;

$H_{SP}$  – Horas de Sol Pleno;

$Y$  – *YIELD* (h).

Este cálculo pode ser feito com valores diários, quinzenais, mensais... depende apenas do intervalo de tempo que os dados foram coletados. E através dele podem ser detectadas falhas do sistema, causada por aquecimento das placas, ineficiência do conversor, sombreamento, entre outros.

#### *Fator de capacidade*

O fator de capacidade, também expresso em porcentagem, é a relação entre a energia gerada e a energia que seria gerada se o sistema operasse em potência nominal o tempo todo. A Equação 3 apresenta esta relação (JUNIOR, et.al, 2016).

$$FC = \frac{E_G}{P \times 24 \times n} \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

$FC$  – Fator de Capacidade;

$P$  – Potência Instalada (kW);

$E_G$  – Energia Gerada (kWh);

$n$  – Número de dias do período analisado.

Observação: 24 corresponde ao número de horas do dia.

E com esta análise é possível observar em qual proporção o sistema real está gerando em comparação ao máximo que pode ser gerado.

#### *Caracterização do sistema*

O sistema a ser estudado é conectado à rede da CEMIG e se localiza na Universidade Federal de Itajubá – *Campus Itabira*. Ele entrou em operação em Junho/2016 e é composto por 40 painéis da marca YINGLI SOLAR. Na Figura 1 apresentam-se os painéis instalados.



**Figura 1** – Vista dos painéis instalados em 4 fileiras.

**Figure 1** – View of panels installed in 4 rows.

**Fonte:** Autoria própria

O projeto foi feito utilizando o telhado do prédio, então cada fileira de placa possui uma inclinação diferente, como apresentado na Tabela 1. E os dados de placa dos módulos podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 1** – Inclinação das placas fotovoltaicas.

**Table 1** – Inclination of photovoltaic panels.

Fileira	Ângulo
1	12°
2	14°
3	14,9°

4	15,3°
---	-------

**Fonte:** Autoria Própria.

**Tabela 2** – Dados de placa dos módulos fotovoltaicos.

**Table 2** – Plate data from photovoltaic panels.

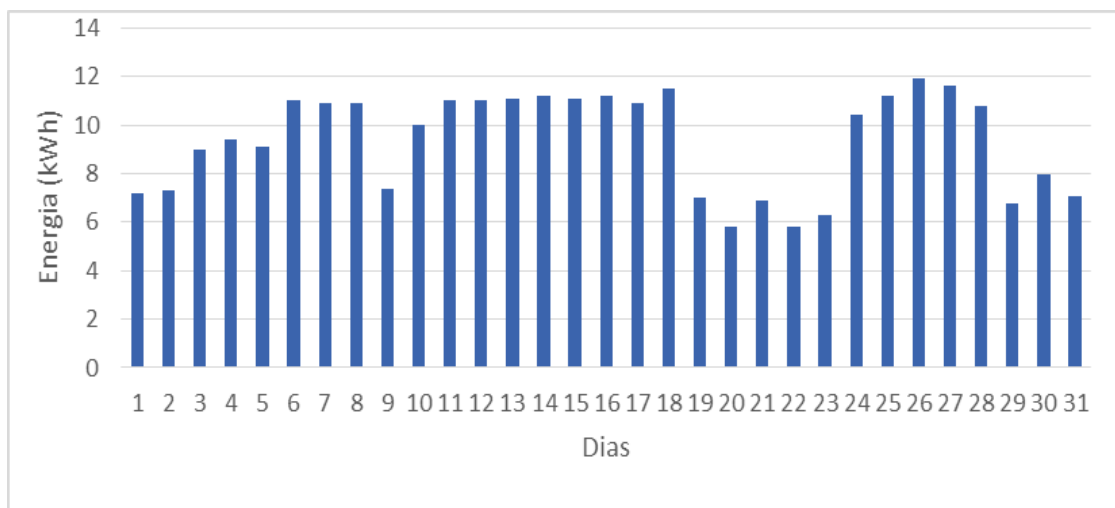
<b>Potência Máx.</b>	255 W
<b>Eficiência</b>	15,7 %
<b>Tensão (P máx.)</b>	30,0 V
<b>Corrente (P máx.)</b>	8,49 A
<b>Dimensões</b>	1640/990/35 mm

**Fonte:** Yingli Green Energy Holding.

Os painéis foram divididos em dois grupos e conectados em dois inversores de diferentes fabricantes (PHB Solar modelo PHB4600-SS e ABB modelo PVI-6000-TL-OUTD-US). Em cada grupo foram colocadas 10 placas em série, em paralelo com outras 10 placas em série, resultando em uma potência máxima de 5,1 kW. Os 40 módulos fotovoltaicos totalizam a potência de 10,2 kW. E vale ressaltar que apenas o inversor PHB Solar está em operação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar a análise do desempenho do sistema, considerou-se um período de um mês, tendo início em 01/07/2016 e término em 31/07/2016. Toda a energia gerada é lida pelo inversor e mandada a um servidor online, que cria um banco de dados e fornece toda a informação em um site. Sendo assim, foi possível pegar os dados da geração de cada dia do mês. Na Figura 2 apresenta-se a geração no período em questão.



**Figura 2** – Geração de energia do mês de Julho/2016.

**Figure 2** – Energy generation of July/2016.

**Fonte:** Autoria própria

Sobre a condição climática de Itabira, sabe-se que a cidade possui como média aproximadamente 3,38 horas de sol pleno por dia, segundo informações de 105 estações meteorológicas com dados dos últimos 10 anos (FERRARI e CARDOSO, 2016). Então, considerando que a condição climática não mudou, em uma situação hipoteticamente ideal, de acordo com a Equação 4, o sistema deveria fornecer 534 kWh de energia ao fim do mês.

$$E_T = P * H_{SP} * n \quad (4)$$

Sendo:

$E_T$  – Energia Total (kWh);

$H_{SP}$  – Horas de Sol Pleno (h);

$P$  – Potência Instalada (kW);

$n$  – Número de dias do período analisado.

Porém, por diversos fatores, foi fornecido apenas 290,8 kWh de energia.

#### *Análise do desempenho*

Com as características do sistema e das condições climáticas, estimou-se os valores ideais para os parâmetros *YIELD*, *Performance Ratio* e Fator de Capacidade, e comparou-se com os valores reais, sendo apresentados na Tabela 3.

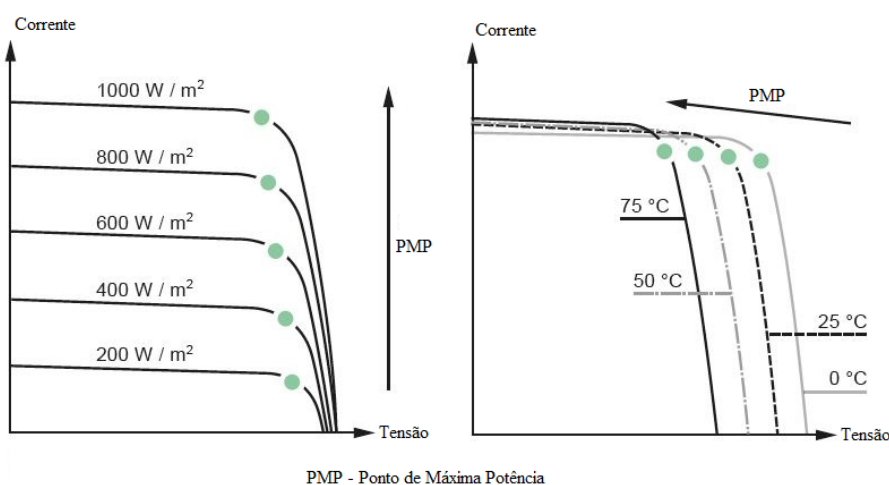
**Tabela 3** – Índices de desempenho.

**Table 3** – Performance indices.

Parâmetro	Ideal	Real
<b>YIELD</b>	104,78h	57,02
<b>Performance Ratio</b>	100%	54,42%
<b>Fator de Capacidade</b>	14,08%	7,66%

Fonte: Autoria Própria.

Os indicadores apresentaram uma baixa eficiência da instalação em questão. Os dados analisados para a instalação da UNIFEI estão entre 54 e 55% do ideal. E isto pode ter inúmeras razões. Além das perdas que já estão no sistema, como a perda *Joule* e as perdas dos equipamentos, para que os módulos possam operar com seu rendimento máximo, a temperatura ideal das placas é de 25°C, de acordo com a Norma IEC 61215, de 2005 (LIN, et.al., 2014). E isto não foi possível observar no período de medição. Quanto maior a intensidade da radiação solar, mais próxima da corrente de máxima potência o sistema fotovoltaico atingirá, no entanto o aumento da temperatura afeta a tensão, causando redução, e consequentemente redução do desempenho do sistema (LIN, HWANG e LIN, 2013). A Figura 3 apresenta as curvas características de um painel fotovoltaico sendo afetadas pela radiação e temperatura.



**Figura 3** – Curvas características de Corrente x Tensão de um painel fotovoltaico, com os efeitos da radiação (a) e temperatura (b).

**Figure 3** – Current and voltage characteristic curves of a photovoltaic panel, radiation effects (a) and temperature (b).

Fonte: Schneider Electric, 2016



Outras possíveis causas são a direção das placas, que devem sempre apontar para o hemisfério oposto; e a inclinação, que deve ser de acordo com a cidade em que o projeto se encontra (KOMONI, et.al., 2014). Estes problemas podem ficar ainda mais enfatizados devido ao período de observação se tratar do inverno, onde a posição do sol requer uma maior inclinação das placas (MATTOS, 2016).

As horas de sol pleno utilizadas são uma média da região do ano anterior, então pode ser que em Itabira tenha tido algumas variações durante o mês e isso também influencia. Por fim, o sistema fotovoltaico também é utilizado para outros estudos, sendo necessárias algumas intervenções na geração para que possa ser analisado algum comportamento do mesmo. Então, pode ser que tenha tido algum contratempo neste período, interferindo diretamente na energia gerada naquele dia.

## CONCLUSÕES

Analisando os índices apresentados na Tabela 3, percebe-se uma baixa eficiência no sistema da UNIFEI. Os parâmetros encontrados estão entre 54 e 55% do que seria o ideal. E foram encontradas algumas falhas na instalação que justificam os baixos valores. Cita-se como falhas: a instalação incorreta das placas, que deveriam ser viradas para o Norte e estão para o Noroeste; a inclinação, que deve respeitar a localização geográfica do local, porém essa, seguiu o telhado do prédio. Além disso, a taxa de sombreamento e a temperatura dos módulos também são fatores que podem afetar o desempenho.

Porém, a princípio, a baixa eficiência da geração solar na UNIFEI pode ter sido motivada não apenas por erros de projeto, mas também por interferências externas, que ocorreram devido à realização de outros estudos, comprometendo a geração momentaneamente durante alguns períodos do dia. Esta constatação foi feita tendo em vista que a latitude de Itabira é  $19^{\circ} 37' 09''$  e a inclinação das placas variam entre 12 e  $15,3^{\circ}$ ; e as placas estão apontadas para o Noroeste, sendo o Norte o sentido correto, e tais erros não justificam um rendimento tão baixo como o que foi encontrado.

Contudo, são questões que podem ser corrigidas, embora algumas necessitem de investimento. Mas como a instalação está em uma universidade, onde a principal função é a

pesquisa e o desenvolvimento, o mesmo apresenta diversas oportunidades de estudos para inúmeras áreas da engenharia.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao orientador Prof. Dr. Rafael Balbino Cardoso, pelos ensinamentos e paciência. Aos Profs. Waner Wodson, e Geovane Reis, e aos amigos e familiares, que estiveram presentes contribuindo para a execução do trabalho.

## REFERÊNCIAS

ACADEMIA NACIONAL DE ENGENHARIA, “**Energia Solar no Brasil, Situação Atual, Perspectivas e Recomendações**” Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://anebrasil.org.br/wp-content/uploads/2016/02/comite-energia-fev2016.pdf>; Acesso em: 12/03/2017.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), “**Banco de Informações de Geração**”. 2017, Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>; Acesso em: 29/03/2017.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), “**Resolução Normativa nº 687**”. 24 de Novembro de 2015, Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>; Acesso em: 15/03/2017.

CARDOSO, R. B.; CAMPOS, O. C.; “**Impacts of Climate Variables in Energy Generation in the Photovoltaic System of the UNIFEI, in Itabira City**”. Revista SODEBRAS, v. 12, p. 295-299, 2017.

FERRARI, E. M. M.; CARDOSO, R. B.; “**Mapeamento de potenciais para geração de energia fotovoltaica no estado de Minas Gerais**”. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Gramado - RS, 2016.

IEA (International Energy Agency), “**Cost and performance trends in grid - connected photovoltaic systems and case studies**”. Photovoltaic Power Systems Programme, Dezembro de 2007.

INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial); “**Norma IEC 61215**”. 04 de Janeiro de 2011. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001652.pdf>; Acesso em: 29/03/2017.

IRENA (International Renewable Energy Agency), “**Solar PV Costs 2010-2015**”. Disponível em: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=3&subTopic=32>; Acesso em: 12/03/2017.

JUNIOR, J. U.; et.al.; **“Geração Distribuída Fotovoltaica: O Caso dos Sistemas Fotovoltaico da UTFPR em Curitiba”**. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Gramado - RS, 2016.

KOMONI, V.; et.al.; **“Performance Analysis of 3.9 kW Grid Connected Photovoltaic Systems in Kosova”**. The fifth International Renewable Energy Congress IREC. Hamammet, Tunisia, 27 de Março de 2014.

LIN, C. L.; et.al.; **“Study of Constructions for Photovoltaic System to Increase the Economic Efficiency os Energy Generations”**. 11<sup>th</sup> International Conference on e-Business Engeneering; IEEE, p. 207-212, 2014.

LIN, C. L.; HWANG, Y.C.; LIN, H. C.; **“Study of the Efficiency Improvement in Power Generation from Photovoltaic”**. 17th International Conference on Cumputer Supported Cooperative Work in Desing, IEEE, p. 509 - 514, 2013.

MARION, B.; et.al.; **“Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems”**. 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition. Lake Buena Vista, Florida, 2005.

MATTOS, G. M.; **“Estudo de Rendimento e Temperatura de Painéis Fotovoltaicos com Uso de Técnica de Concentração Solar”**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, Abril de 2016.

MME (Ministério de Minas e Energia), **“Energia Solar no Brasil e no Mundo”**. 2016. Disponível em: <http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/IFES/BV/mme68.pdf>; Acesso em: 17/02/2017.

Monitoramento da Geração Feito pela AWC Disponível em: <http://my.awcbox.com/monitoramento-unidade-publica/125?und=114>.

SCHNEIDER ELECTRIC; **“Electrical installation guide”**. p. 493-524, 2016.

YINGLI GREEN ENERGY HOLDING; **“Paineis YL255P-29b”**. Disponível em: [yinglisolar.com](http://yinglisolar.com).