

# **ANÁLISE DE DESEMPENHO DE DIFERENTES ANGULAÇÕES DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DA UNIFAL-MG, CAMPUS POÇOS DE CALDAS**

**Izabella Carneiro Bastos** (UNIFAL/MG) - izabella.carneiro@unifal-mg.edu.br

**Carlos Alberto Massini Tesser** (UNIFAL-MG) - carlosa.tesser@gmail.com

**Daniel Oliveira Guimarães** (UNIFAL-MG) - doguimaraes03@gmail.com

**Ivan Alan Soares** (UNIFAL) - ivan.devwork90@gmail.com

## **Resumo:**

*A geração de energia elétrica a partir da energia solar tem-se tornado uma das matrizes mais promissoras na área de energias renováveis, principalmente no Brasil por ser um país que apresenta alta incidência de radiação solar, com isto, o número de instalações de usinas fotovoltaicas de diferentes portes veem aumentando. Como a eficiência de geração de energia fotovoltaica depende diretamente da radiação solar incidente, os módulos fotovoltaicos presentes na usina devem estar em uma orientação e angulação da melhor forma possível para captar o máximo de radiação solar. Neste trabalho, busca-se analisar a influência da angulação dos módulos em relação a horizontal na eficiência de geração de energia de duas strings que se diferenciam apenas pelo ângulo de inclinação. Estas strings passam por inversores distintos na mini-usina de geração de energia da Unifal-MG, campus Poços de Caldas. Para esta análise, utilizou-se do software fornecido pela Fronius Solar Web, em que se acessaram os dados de Energia Total Gerada destes dois inversores para três meses diferentes e extraiu-se a média destes valores para cada inversor. Foi observado nestes três meses, que a diferença de angulação entre os módulos não afeta consideravelmente a geração de energia fotovoltaica.*

**Palavras-chave:** *Energia Fotovoltaica, Eficiência, Angulação*

**Área temática:** *Conversão Fotovoltaica*

**Subárea temática:** *Aspectos técnicos de sistemas fotovoltaicos instalados*

# COMPARAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES ANGULAÇÕES DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DA UNIFAL-MG, CAMPUS POÇOS DE CALDAS

**Carlos Alberto Massini Tesser** – carlosa.tesser@gmail.com  
**Izabella Carneiro Bastos** – izabella.carneiro@unifal-mg.edu.br  
**Daniel Guimarães Oliveira** – doguimaraes03@gmail.com  
**Ivan Alan Soares** – ivan.devwork90@gmail.com  
Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciência e Tecnologia.

**Resumo.** A geração de energia elétrica a partir da energia solar tem-se tornado uma das matrizes mais promissoras na área de energias renováveis, principalmente no Brasil por ser um país que apresenta alta incidência de radiação solar, com isto, o número de instalações de usinas fotovoltaicas de diferentes portes veem aumentando. Como a eficiência de geração de energia fotovoltaica depende diretamente da radiação solar incidente, os módulos fotovoltaicos presentes na usina devem estar em uma orientação e angulação da melhor forma possível para captar o máximo de radiação solar. Neste trabalho busca-se analisar a influência da angulação dos módulos em relação a horizontal na quantidade total de energia gerada em duas strings que se diferenciam apenas pelo ângulo de inclinação. Estas strings passam por inversores distintos na mini-usina de geração de energia da Unifal-MG, campus Poços de Caldas. Para esta análise, utilizou-se do software fornecido pela Fronius Solar Web, em que se acessaram os dados de Energia Total Gerada destes dois inversores para onze meses diferentes e extraiu-se a média destes valores para cada inversor. Foi observado nestes onze meses, que a diferença de angulação entre os módulos não afeta consideravelmente a geração de energia fotovoltaica.

**Palavras-chave:** Energia Fotovoltaica, Eficiência, Angulação.

## 1. INTRODUÇÃO

A energia oriunda do Sol a qual chega à Terra é denominada de radiação solar, que são ondas eletromagnéticas com diferentes comprimentos de ondas, frequências e amplitudes. Ao receber esta energia, corpos e materiais a convertem em energia térmica, quando estes corpos tem a capacidade de absorver radiação, a energia solar é transformada em energia cinética e esta é transmitida para os átomos que compõe o corpo.

A energia fotovoltaica, por sua vez, se origina da transformação direta da radiação solar em energia elétrica. Para tal, são utilizados materiais semicondutores, em que quando exposta à radiação solar produz uma diferença de potencial, e conseqüentemente, se conectada a um circuito produzirá corrente contínua, a qual posteriormente é transformada em corrente alternada através de um dispositivo chamado inversor solar, e assim, pode ser utilizada normalmente por equipamentos em geral, reduzindo os custos de energia elétrica.

O Brasil se insere neste cenário energético por apresentar características naturais favoráveis à geração de energia solar fotovoltaica, uma vez que possui índices de irradiação solar incidente de 22% a 45% superiores à países como Espanha e Alemanha, respectivamente (ALONSO, 2016). Além disso, as barreiras de custos estão cada vez mais diminuindo em função do crescimento da escala, com previsão de até 2025 ser a fonte de energia renovável com os menores custos em comparação com as energias produzidas a partir do carvão ou gás (MAYER et al., 2015).

A geração de energia elétrica através das usinas fotovoltaicas é influenciada por diversos fatores os quais impactam diretamente no desempenho do sistema, por exemplo, localização geográfica, disposição, orientação e inclinação dos módulos fotovoltaicos (RÜTHER, 2004), assim como estado de limpeza, sombreamento e desgaste pela exposição ao tempo (NOBRE et al., 2013).

A Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), campus Poços de Caldas, local onde foi realizado o presente estudo de caso, dispõe de um grande espaço físico, sendo assim, fornece flexibilidade para que os módulos fiquem orientados para a melhor posição e com boa inclinação sem a presença de sombreamentos.

## 2. A RELAÇÃO ENTRE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E ANGULAÇÃO

A inclinação da superfície com respeito à orientação do Sol é importante para aproveitar ao máximo a radiação solar na superfície, mas também é importante saber a direção do vento e a estrutura de suporte dos módulos fotovoltaicos (espaço livre embaixo dos módulos), para obter uma maior eficiência, em função da velocidade do vento (CANTOR, 2017).

Esta inclinação dependerá do hemisfério onde o plano está localizado (norte ou sul), em que este deve ser inclinado de forma oposta para seguir o sol. Como o Brasil se localiza no hemisfério sul da Terra, recomenda-se a superfície plana ser voltada para o norte. A Fig. 1 (CANTOR, 2017) ilustra a radiação solar incidindo em um plano inclinado considerando as angulações necessárias:

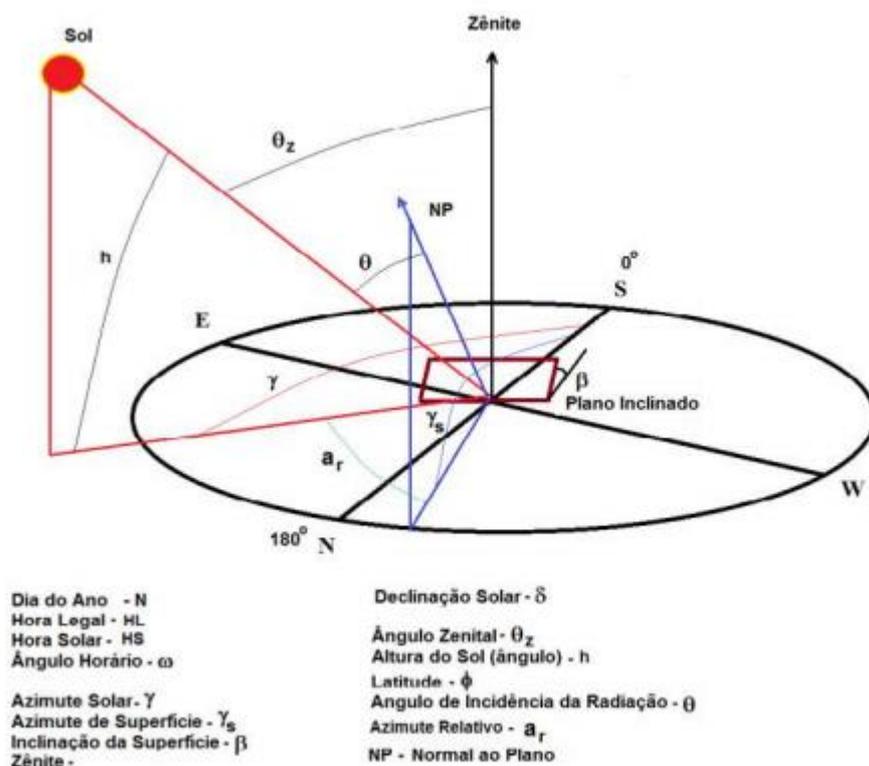


Figura 1 – Irradiação solar em um plano inclinado no hemisfério sul.

Com a Fig. 1 nota-se que para se obter valores ótimos de radiação solar incidente, e assim, a geração de energia elétrica a partir do efeito fotovoltaico seja máxima, deve-se considerar o ângulo de inclinação e a orientação dos painéis fotovoltaicos.

### 3. METODOLOGIA

Para realizar a comparação entre a quantidade de energia gerada nos painéis fotovoltaicos de acordo com a sua respectiva angulação, utilizou-se dos layouts dos telhados dos prédios F e G da UNIFAL-MG, *campus* Poços de Caldas ( $21^{\circ} 47' 16''$ S latitude e  $46^{\circ} 33' 41''$  longitude). A Fig. 2 representa uma vista superior destes prédios:



Figura 2 – Vista superior dos Prédios F e G da UNIFAL-MG.

A distância entre estes dois prédios é de aproximadamente 15 metros, e estão ambos na mesma altitude, além disso, estão voltados para o norte. As Fig. 3 e Fig. 4 representam os layouts dos prédios F e G, respectivamente:

**Distribuição dos arranjos - PRÉDIO F**

Inversor 1 - 2 Strings de 21 módulos de 370W - 15,54 kwp  
 Inversor 2 - 3 Strings com 17 módulos de 355W - 18,105 kwp  
 Inversor 3 - 3 Strings com 17 módulos de 295W - 15,045 kwp  
 Total: 144 módulos - 48,69 kwp

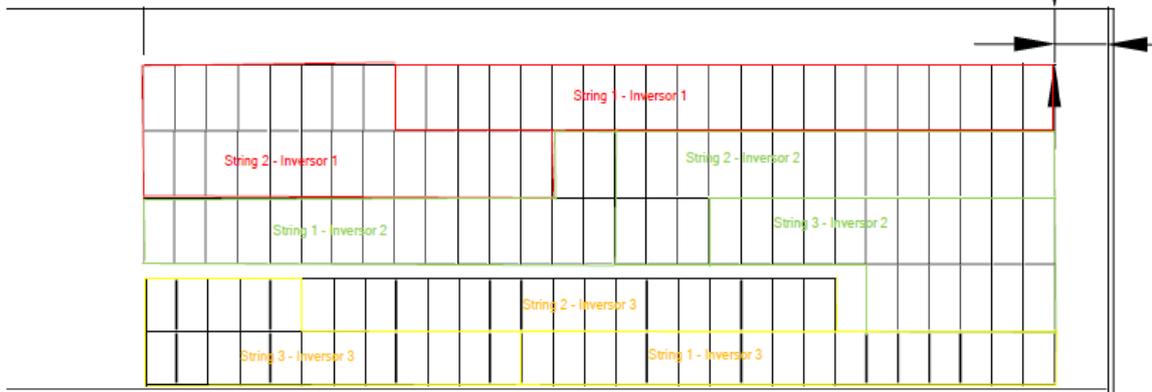


Figura 3 – Layout do telhado do Prédio F da UNIFAL-MG.

**Distribuição dos arranjos - PRÉDIO G**

Inversor 4 - 3 Strings com 17 módulos de 295W - 15,045 kwp  
 Inversor 5 - 3 Strings com 17 módulos de 300W - 15,30 kwp  
 Inversor 6 - 1 String com 7 módulos de 355W e  
 1 String com 8 módulos de 355W - 5,325 kwp  
 Total: 117 módulos - 35,67 kwp

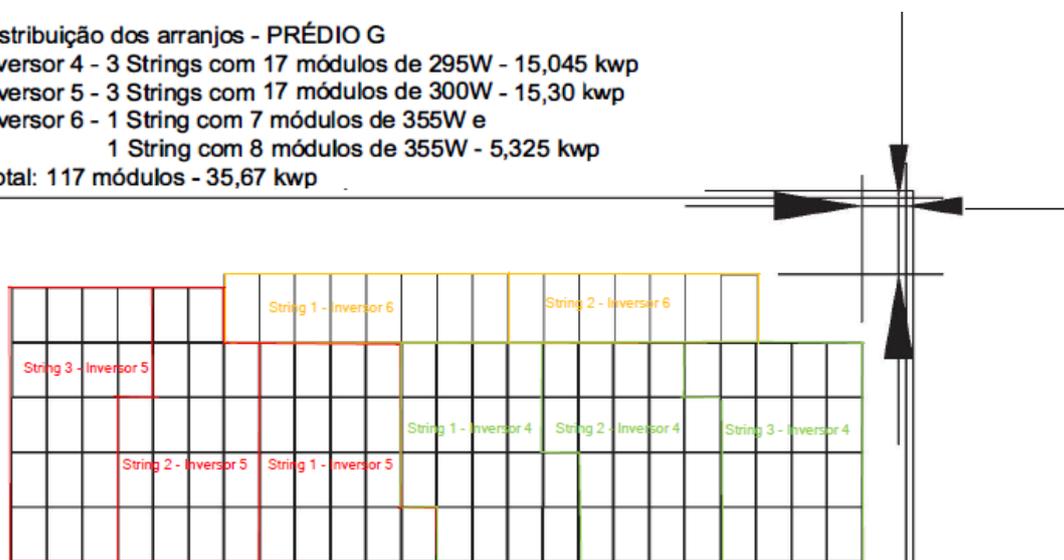


Figura 4 – Layout do telhado do Prédio G da UNIFAL-MG.

Os módulos contidos no prédio F estão todos inclinados horizontalmente em  $8^\circ$ , já os do prédio G estão inclinados em  $6^\circ$ . Estes ângulos de inclinação foram previamente definidos no projeto de instalação da usina fotovoltaica da UNIFAL-MG, *campus* Poços de Caldas, para que fosse possível verificar se, de fato, há alguma mudança nos valores de energia gerada em cada string devido à sua respectiva inclinação.

Selecionou-se para comparação de eficiência neste trabalho os módulos policristalinos de 295W de potência (Inversores 3 e 4) por possuírem exatamente os mesmos valores de máxima potência (15,045kWp), diferenciando apenas pelo ângulo de inclinação.

Os inversores que fizeram os registros de quantidade total de energia gerada (kWh) para estas strings são do modelo “Fronius Symo 15.0-3 208”, o qual fornece uma incerteza associada a cada valor de  $\pm 5\%$  de acordo com o fabricante. Com isto, obtiveram-se os dados de geração de energia total dos meses de março de 2019 a janeiro de 2020, a partir do banco de dados da Fronius Solar Web (Considerando que o banco de dados da Fronius Solar Web iniciou seus registros no dia 08 de março de 2019).

**4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Consultando o banco de dados da Fronius Solar Web para quantidade total de energia gerada (kWh) nos Inversores 3 e 4 para o meses de março de 2019 a janeiro de 2020, obteve-se a Fig. 5:



Figura 5 – Quantidade total de energia gerada nos Inversores 3 e 4 de março de 2019 a janeiro de 2020.

A partir da Fig. 5, foi possível construir a Tab. 1 e já incluir as respectivas incertezas associadas:

Tabela 1 - Quantidade total de energia gerada nos Inversores 3 e 4 para os meses de março de 2019 a janeiro de 2020 e suas respectivas incertezas.

MÊS	INVERSOR 3 QUANTIDADE TOTAL DE ENERGIA GERADA (kWh) PRÉDIO F	INVERSOR 4 QUANTIDADE TOTAL DE ENERGIA GERADA (kWh) PRÉDIO G
Março de 2019	1472,54 ± 73,63	1476,52 ± 73,83
Abril de 2019	1889,29 ± 94,46	1940,56 ± 97,03
Maio de 2019	1659,45 ± 82,97	1679,97 ± 84,00
Junho de 2019	1722,31 ± 86,12	1762,31 ± 88,11
Julho de 2019	1895,50 ± 94,78	1945,38 ± 97,27
Agosto de 2019	1933,46 ± 96,67	1953,27 ± 97,66
Setembro de 2019	1980,91 ± 99,04	1983,19 ± 99,16
Outubro de 2019	2308,52 ± 115,43	2290,00 ± 114,50
Novembro de 2019	2026,63 ± 101,33	2001,78 ± 100,09
Dezembro de 2019	1997,70 ± 99,88	1958,23 ± 97,91
Janeiro de 2020	2123,69 ± 106,18	2069,56 ± 103,48
Média	1910,00 ± 95,50	1914,62 ± 95,73

Nota-se que a posição solar nos períodos do outono (início de março até o fim de maio) e do inverno (início de junho até o fim de agosto) favoreceu os módulos os quais estavam inclinados em 6° (Prédio G).

Posteriormente, no mês de setembro (início da primavera) os módulos inclinados em 8° (Prédio F) começaram a apresentar uma geração de energia aproximadamente igual à dos módulos inclinados em 6°. No decorrer da primavera (meses de outubro e novembro) e no verão (início de dezembro até o fim de fevereiro) os módulos inclinados em 8° obtiveram melhor performance em relação à posição solar.

Observando os valores médios de energia gerada durante onze meses nos Inversores 3 e 4 (1910,00 ± 95,50 kWh e 1914,62 ± 95,73 kWh, respectivamente), pode-se afirmar que a diferença de inclinação dos módulos fotovoltaicos de apenas 2° em relação à horizontal não afeta significativamente na geração de energia como um todo, uma vez houveram duas estações do ano (outono e inverno) as quais favoreceram os módulos inclinados em 6° e duas estações do ano (primavera e verão) que favoreceram os módulos inclinados em 8°.

## 5. CONCLUSÃO

No estudo de caso realizado na mini-usina de geração de energia fotovoltaica da Universidade Federal de Alfenas, os painéis policristalinos de 295W contidos nos Inversores 3 e 4 possuíam ângulos de inclinação em relação a horizontal de 8° e 6°, respectivamente. Esta diferença de angulação entre estes módulos era o único parâmetro que os

diferenciavam, ao se observar a média de energia gerada por estes módulos num período de onze meses, pôde-se concluir que esta diferença de inclinação de 2° não é significativa para impactar na geração de energia fotovoltaica como um todo.

### **Agradecimentos**

Agradecemos ao Departamento Municipal de Energia de Poços de Caldas (DME), à ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica e ao Laboratório Aplicado de Pesquisas em Eficiência Energética da Universidade Federal de Alfenas por tornarem esta pesquisa possível.

### **REFERÊNCIAS**

- Alonso, R. H., 2016. Posicionamento eficiente de módulos fotovoltaicos em plantas solares no ambiente urbano. 2016. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Cantor, G. A. R., 2017 Influência Dos Fatores Climáticos no Desempenho de Módulos Fotovoltaicos em Regiões de Clima Tropical. Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Mayer, J. N., 2015. Study on behalf on Agora Energiewende: current and future cost photovoltaics; long-term scenarios for mark development, system prices and LCO of utility scale PV-systems, Freiburg – Germany, Fraunhofer ISE.
- Nobre. A. et al., 2013. Degradation analysis of photovoltaic systems in a tropical environment, European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 28, Paris – France, pp. 3673-7.
- Rüther, R., 2004. Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis.

### **COMPARISON BETWEEN THE DIFFERENT ANGULATIONS OF UNIFAL-MG PHOTOVOLTAIC MODULES, POÇOS DE CALDAS' CAMPUS**

**Abstract.** *The generation of electricity from solar energy has become one of the most promising arrays in the area of renewable energy, especially in Brazil, because it is a country that has a high incidence of solar radiation, thus the number of photovoltaic installations of different sizes are increasing. Since the efficiency of photovoltaic power generation depends directly on the incident solar radiation, the photovoltaic modules present in the plant must be in the best orientation and angulation possible to capture the maximum solar radiation. The objective of this paper is to analyze the influence of the angle of the modules in relation to the horizontal line in the total amount of energy generated of two strings that differ only in the inclination angle, these strings go through different inverters in the Unifal-MG's mini power plant. For this analysis, we used the software provided by Fronius Solar Web, which accessed the Total Energy Generated data from these two inverters for eleven different months and extracted the average of these values for each inverter. It has been observed in these eleven months that the angle difference between the modules does not considerably affect photovoltaic power generation.*

**Key words:** *Photovoltaic Energy, Efficiency, Angulation.*