

Analise da eficiência energética de usinas fotovoltaicas ao longo de um dia

Analysis of the energy efficiency of photovoltaic plants over a day

DOI:10.34117/bjdv7n4-328

Recebimento dos originais: 13/03/2021

Aceitação para publicação: 13/04/2021

Fabricio Geraldo da Silva

Formando bacharelado em engenharia mecânica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Minas Gerais - Campus Congonhas
Avenida Michael Pereira de Souza, 3007, Campinho, Congonhas MG
E-mail: fabricio9435@gmail.com

Gabriel Reis Maciel Campos

Formando bacharelado em engenharia mecânica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Minas Gerais - Campus Congonhas
Avenida Michael Pereira de Souza, 3007, Campinho, Congonhas MG
E-mail: gabriellreis378@gmail.com

Fabricio Carvalho Soares

Doutor em Engenharia Mecânica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Minas Gerais - Campus Congonhas
Avenida Michael Pereira de Souza, 3007, Campinho, Congonhas MG
E-mail: fabricio.soares@ifmg.edu.br

Kassiane de Souza Medeiros

Mestre em Engenharia Elétrica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Minas Gerais - Campus Congonhas
Avenida Michael Pereira de Souza, 3007, Campinho, Congonhas MG
E-mail: kassiane.medeiros@ifmg.edu.br

RESUMO

Esse estudo tem como objetivo analisar um dia de geração em duas usinas fotovoltaicas: UFV1 e UFV2. Neste trabalho será calculado as perdas de energia do dia 26/05/2020, com condições climáticas normais, sem nuvens. A energia que é gerada pelos painéis solares será comparada com a energia que incide sobre os mesmos, evidenciando as perdas. A partir do cálculo de eficiência de geração, foi possível constatar que alguns painéis possuem quedas de eficiência, que variam de acordo com o horário, ligadas a um problema crônico de posicionamento ou sombreamento intermitente.

Palavras-chave: Geração, Painéis solares, Eficiência.

ABSTRACT

This study aims to analyze a generation day in two photovoltaic plants: UFV1 and UFV2. In this work, the energy losses of 05/26/2020 will be calculated, with normal climatic conditions, without clouds. The energy that is generated by the solar panels will be compared with the energy that affects them, showing the losses. From the calculation of

generation efficiency, it was possible to verify that some panels have efficiency drops, which vary according to the time, linked to a chronic positioning problem or intermittent shading.

Keywords: Generation, Solar panels, Efficiency.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a preocupação com a não degradação do meio ambiente, buscando-se práticas e ações que estejam alinhadas com a sustentabilidade, é o foco para a redução dos impactos causados ao planeta. As energias renováveis estão dentro desse contexto exercendo um papel fundamental, pois representam uma fonte inesgotável de energia. Além de não causarem impactos ao meio ambiente e à população, como a liberação de gases de efeito estufa e a poluição, fatores que degradam cada dia mais o nosso bem estar no planeta. São consideradas energias renováveis a energia solar, eólica, geotermal e biomassa, maremotriz e de ondas, entre outras fontes.

No Brasil e no mundo vem aumentando a aplicação do conceito de sustentabilidade, no qual se inclui a implantação de sistemas fotovoltaicos para o provimento de energia elétrica em diversas situações. O sistema fotovoltaico gera energia elétrica a partir da conversão da energia de radiação solar em um sistema formado por painéis solares fotovoltaicos e, normalmente, inversores. Esse sistema, além de contribuir para a preservação do meio ambiente, apresenta uma vantagem financeira para quem opta por aplicá-lo, pois é possível integrá-lo à rede de distribuição da concessionária de modo a gerar créditos de energia. Nesta integração com a rede de distribuição, durante o dia pode-se ter excesso de produção de energia elétrica este excesso ser injetado na rede de distribuição elétrica e utilizar os créditos de energia no período noturno, uma vez que o sistema não estará gerando energia neste momento. Segundo [1], o princípio fotovoltaico pode ser definido pela criação de uma força eletromotriz, a partir da absorção de energia eletromagnética por um dispositivo formado por meio da junção de duas camadas de materiais com características eletrônica distintas. Tal dispositivo é normalmente denominado de célula solar ou célula fotovoltaica.

O sistema fotovoltaico é capaz de alimentar não apenas apartamentos e compartimentos comerciais, mas também as áreas comuns de um edifício. Nesse caso, o recurso configura um diferencial financeiro para os envolvidos, pois seus custos são devidamente divididos e a economia de energia impacta na conta mensal de cada um

individualmente [2]. De acordo com MORAIS [3], esse modelo de geração de energia elétrica está em expansão no mundo, devido a preocupação de se elevar o nível de preservação ambiental. A tendência mundial é aumentar o aproveitamento da fonte de energia solar que, ao ser largamente utilizada, terá seus custos de implantação cada vez mais reduzidos.

Este estudo tem como objetivo analisar um dia de geração de energia em duas usinas fotovoltaicas (UFV) residenciais, sendo uma delas localizada na cidade de Bom Sucesso – MG, doravante denominada UFV1 e a outra situada na cidade de Ouro Branco-MG, doravante denominada UFV2. É importante ressaltar que, a influência de fatores como sombreamento e posicionamento dos painéis interfere diretamente na eficiência da produção energética, principalmente em localizações urbanas e residenciais. No caso da posição dos painéis solares, o problema ocorre devido à instalação incorreta dos módulos, que se configura pela não verificação do melhor arranjo possível, de maneira a otimizar a incidência da radiação solar na maior parte do dia. Conforme Araújo, Rank, Bueno [4] em sua obra, sombreamento parcial é um fator de perda muito significativo em um sistema fotovoltaico, é resultado de obstáculos fixos, tais como edificações mais altas ou vegetações, que podem causar sombreamento parcial dos painéis fotovoltaicos, ou por obstáculos temporários, tais como folhas ou pássaros sobre eles.

2 METODOLOGIA

Para as análises das usinas foi considerada a geração e a incidência solar do dia 26/05/2020, com condições climáticas normais, sem nuvens. Na figura 1 e 2, é possível observar uma imagem aérea da localização das usinas-

Para analisar a geração de energia diária de cada UFV, primeiramente foi consultado o catálogo técnico dos fabricantes dos painéis fotovoltaicos, para se obter os parâmetros ideais de funcionamento, em especial a eficiência máxima do painel.

A metodologia de cálculo e análise será baseada nas curvas de potência de geração e da potência de radiação incidente ao longo de um dia. A partir desses dados será avaliada a eficiência real de geração “Equação (1)” e a perda de energia “Equação (2)” de cada MPPT.

$$\eta = \frac{E_{gerada}}{E_{incidente}} \quad (1)$$

$$Perda = E_{incidente} - E_{gerada} \quad (2)$$

A energia será calculada pela integral da potência do painel ao longo de um dia de geração, conforme a “Equação (3)”:

$$E = \int P dt \quad (3)$$

No caso da energia gerada, a potência será obtida nos portais de monitoramento de cada uma das usinas, sendo utilizado o portal <http://renovigiportal.com/> para a UFV1 e <http://renovigi.shinemonitor.com/> para a UFV2.

No caso da energia incidente, é considerada a potência máxima de geração teórica (P_{max}), conforme “Equação (4)”:

$$P_{max} = \frac{n \cdot E_t \cdot \eta_t \cdot A}{3,6} \quad (4)$$

Onde:

n = número de painéis ligados ao MPPT

E_t = energia total incidente

η_t = eficiência dos painéis solares, fornecida pelo fabricante

A = área total da superfície de placas de cada painel solar

Os valores de energia total incidente (E_t) foram obtidos no portal do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) para a cidade de Oliveira (UFV1) e Ouro Branco (UFV2).

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA UFV1

A UFV1 está instalada em perímetro urbano na cidade de Bom Sucesso – MG. Segundo o último censo do IBGE, o município possui uma população estimada em 17.603 pessoas e uma área territorial de 705.046 km². Devido à inexistência de uma estação meteorológica com disponibilização automática de dados na cidade, serão utilizados os dados meteorológicos da cidade de Oliveira – MG, disponibilizados pelo INMET [5], sendo essa a estação meteorológica mais próxima de Bom Sucesso, a cerca de 38 km de distância.

A usina UFV1 é composta por 10 painéis fotovoltaicos CS3U-365P, cada um possuindo dimensões iguais a 2000 x 992 x 35mm, eficiência nominal de 18,4% e potência de pico de 365W [6]. Integrado ao sistema existem: cinco micro inversores

Reno560-LV monofásicos, com potência nominal de 560W e eficiência máxima de 94,5%, e dois seguidores de ponto de potência máxima (MPPT) [7]. Cada MPPT possui um *string*, podendo ser ligado um painel por MPPT. A instalação dos painéis solares foi feita em uma base de telhado colonial 4 águas. O projeto de instalação previa o seguinte direcionamento das placas: quatro para o Oeste, quatro para o Norte e duas para o Leste. Porém, pela a imagem de satélite (Figura 1) que mostra a residência os painéis fotovoltaicos podem estar direcionados para pontos colaterais e não para pontos cardeais. Ressalta-se que esta casa está em um terreno em declive, com as edificações à Noroeste e à Nordeste com altitude igual ou superior ao do local de instalação dos painéis fotovoltaicos. A partir dos resultados deste trabalho será possível comprovar o real direcionamento das placas.

Fig. 1 – Imagem de satélite da UFV1.



2.2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA UFV2

A UFV2 está localizada na cidade de Ouro Branco, situada no estado de Minas Gerais, com 1100 metros de altitude e temperatura média anual de 20,6°C. A cidade possui uma população de 39.500 habitantes e 258.726 km² de área territorial [8].

A usina UFV2 possui um conjunto de 12 painéis fotovoltaicos modelo CS3U-365P, com dimensões 2000 x 992 x 35mm, uma eficiência de 18,4% e uma potência de pico de 365W [6]. Essa usina possui: um inversor RENO-4K-Plus monofásico, com 4000W de potência nominal e eficiência de 98,1%, e dois MPPTs [9], sendo que a cada MPPT estão conectados seis painéis fotovoltaicos. A instalação dos painéis foi feita em telhado embutido, com todos os painéis posicionados na mesma direção, entre o Norte e o Noroeste.

Fig. 2 – Vista aérea UFV2. Todos os painéis fotovoltaicos encontram-se direcionados em um eixo situado entre o norte e o Noroeste.



Como é possível observar nas figuras 3 e 4, nessa usina ocorre o problema do sombreamento parcial devido à platibanda da residência em que está instalada.

Fig. 3 – Sombreamento parcial nos módulos



Fig. 4 - Sombreamento parcial nos módulos



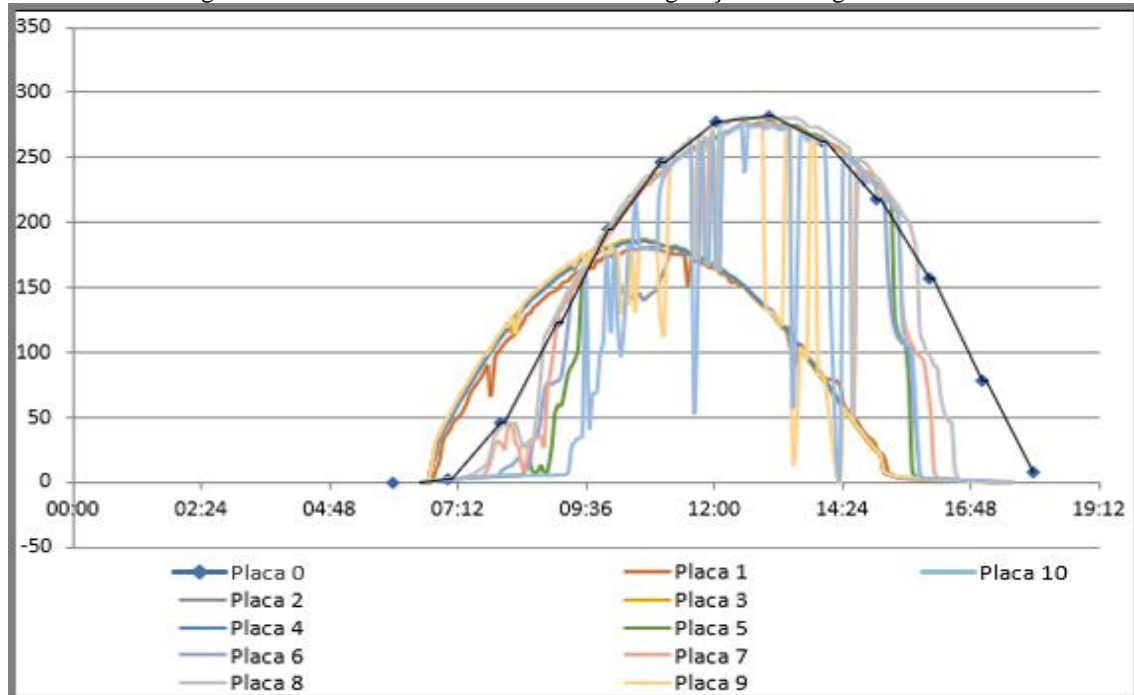
3 RESULTADOS

A partir da obtenção dos dados meteorológicos e dos dados das usinas fotovoltaicas para o dia de análise em questão, foi possível obter os gráficos que demonstram a existência de problemas no comportamento ideal de geração de energia.

3.1 ANÁLISE DAS CURVAS DE POTÊNCIA DA UFV1

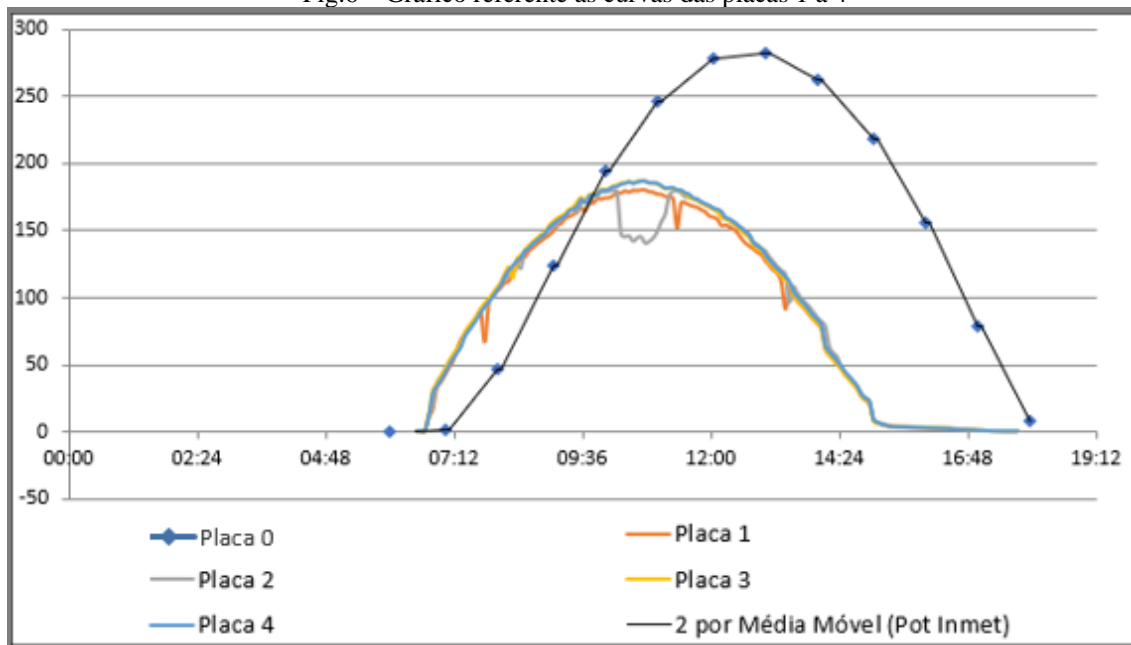
A figura 5, apresenta as curvas geradas a partir dos dados de geração da UFV1, sendo que a placa 0 representa a curva de referência (ideal) e a placa 1 a placa 10 representa cada placa do painel fotovoltaico.

Fig. 5 – Gráfico demonstrativo das curvas de geração de energia da UFV1



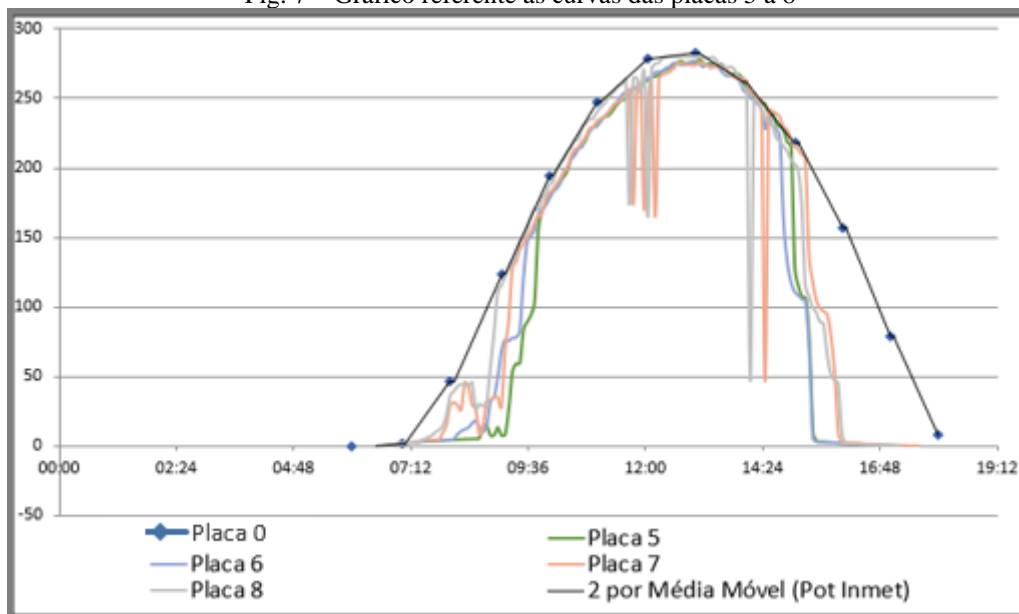
Na figura 6 é possível observar a baixa eficiência das curvas referentes às placas de 1 a 4, isso ocorre devido ao seu problema de posicionamento voltado, provavelmente, para o Sudeste. Esta situação é uma influência negativa na geração de energia, pois esses painéis não alcançam o pico máximo de geração, e param de gerar energia muito antes dos demais, ocasionando perdas no sistema que ultrapassam 40%.

Fig.6 – Gráfico referente as curvas das placas 1 a 4



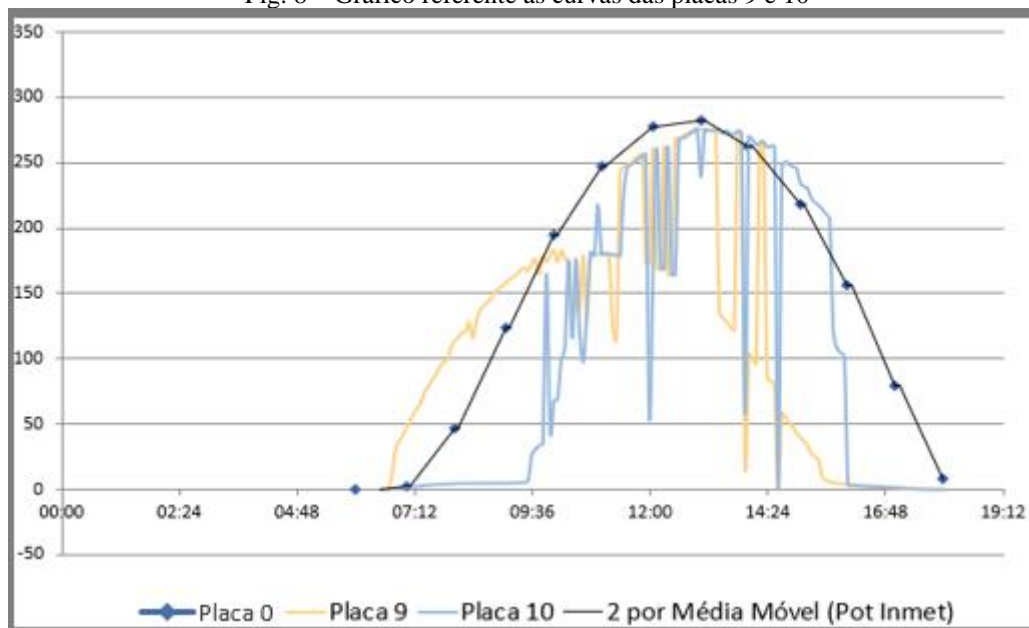
As curvas das placas de 5 a 8 apresentadas na figura 7, possuem comportamento próximo a curva ideal, porém possuem problemas de sombreamento intermitente (vales), no início da sua geração, e no meio da tarde onde se tem uma queda brusca de geração de energia, possivelmente causado pelas sombras de uma edificação vizinha. Essas placas provavelmente estão posicionadas para nordeste. Apesar dos problemas de sombreamento, esses painéis foram os que apresentaram melhor geração de energia.

Fig. 7 – Gráfico referente as curvas das placas 5 a 8



As curvas das placas 9 e 10 apresentadas na figura 8, possuem problemas de sombreamento intermitente e fixo. Foi relatada a presença constante de pombos sobre o telhado, sendo a provável causa desta perda intermitente e aleatória na geração de energia elétrica. É notório que elas alcançam o pico de geração, porém observa-se grande perda na geração de energia desde o início da sua geração. Os patamares próximos a zero no início e no final da geração indicam problemas com sombreamento nestas duas placas.

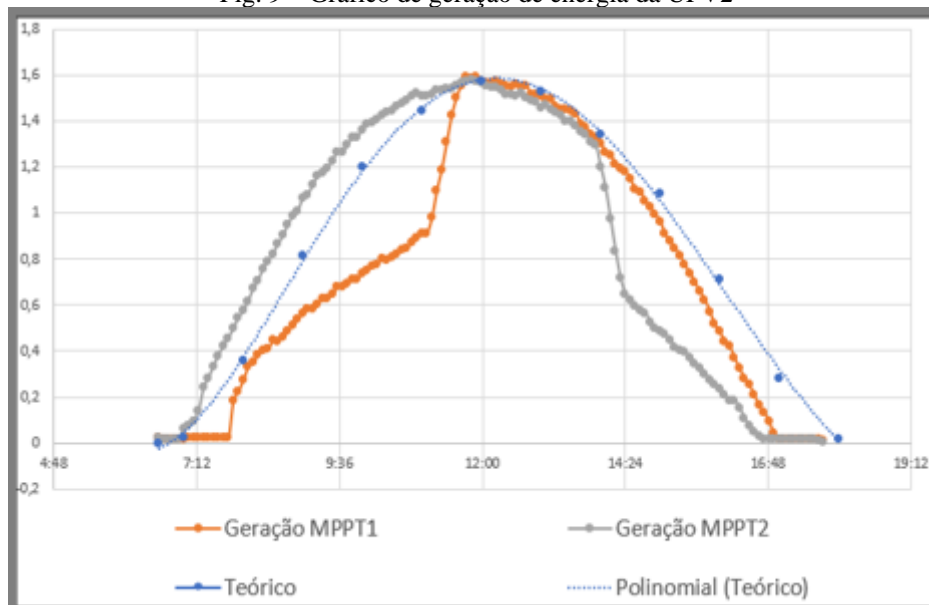
Fig. 8 – Gráfico referente as curvas das placas 9 e 10



3.2 ANÁLISE DAS CURVAS DE POTÊNCIA DA UFV2

Na figura 9 é apresentado as curvas de geração de energia referentes à UFV2. Fica claro ao observar o gráfico que o único ponto em comum é na área próxima ao pico máximo de geração (meio dia) e, para as demais horas, existe uma perda de energia similar nos dois MPPTs, porém em horários opostos. Isso se deve ao posicionamento dos painéis solares no telhado da residência. Como a sombra que é projetada nos painéis é causada devido à platibanda do telhado, ocorre sombreamento nos que estão ligados ao MPPT1 no período matutino e sombreamento naqueles ligados ao MPPT2 no período vespertino. São quase inexistentes os problemas de sombreamento intermitente nesta usina.

Fig. 9 – Gráfico de geração de energia da UFV2



3.3 ANÁLISE DE GERAÇÃO DE ENERGIA DAS USINAS

Com a utilização da equação 1, foi obtido o valor total de 18,9 kWh para geração de energia teórica ou incidente na UFV1. Na tabela 1 são apresentados os valores de energia gerados em cada MPPT da UFV1, resultando em um total de 13,14 kWh no dia 26 de maio de 2020.

Tabela 1 – Geração De Energia Para Cada Mppt

MPPT	Geração de energia dos painéis (kWh)	Perdas (kWh)	Perdas (%)
Inmet	1,89 / MPPT	-	-
1	1,03	0,85	45,4
2	1,03	0,85	45,3
3	1,07	0,81	43,1
4	1,07	0,81	43,2
5	1,51	0,37	19,9
6	1,54	0,34	18,2
7	1,59	0,30	15,9
8	1,71	0,17	9,3
9	1,23	0,65	34,6
10	1,30	0,59	31,3
Total (1 a 10)	13,14	5,79	30,6

A partir desta análise é possível constatar que as perdas de energia devido a problemas de posicionamento e sombreamento nos painéis fotovoltaicos foi de 5,79 kWh, representando um valor aproximado de 30,6%.

Na UFV2, a produção total teórica de energia, também obtida pela equação 1, foi aproximadamente igual a 20,7 kWh. A soma das gerações do MPPT1 e do MPPT2 resultou em 17,85 kWh. Na tabela 2 é possível observar a geração e as perdas por MPPT.

Tabela 2 – Geração De Energia Da Ufv2 Para Cada Mppt

MPPT	Geração de energia (kWh)	Perdas (kWh)	Perdas (%)
Inmet	10,36 / MPPT	-	-
1	8,40	1,96	18,9
2	9,45	0,91	8,8
Total (1+2)	17,85	2,87	13,9

A partir dessas análises foi possível constatar que as perdas de energia para o dia em análise, devido a problemas de sombreamento nos painéis fotovoltaicos foi de 2,87 kWh, representando um valor aproximado de 13,9%.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram feitas as análises de um dia de geração de energia para duas usinas fotovoltaicas, ambas instaladas em edifícios residenciais em área urbana. Tanto para a UFV1, quanto para a UFV2, foram constatados alguns problemas que influenciaram consideravelmente na sua geração de diária de energia.

Na UFV1, foi possível identificar um problema crônico de sombreamento em todos os painéis, o que pode ser verificado pela geração inconstante, possivelmente pelo relato da existência constante de pombos sobre o telhado. Além de alguns painéis com posicionamento incorreto, conforme evidenciado pelas perdas superiores a 40%. É possível constatar que ocorreu falha na instalação quanto ao direcionamento das placas, uma vez que existe uma divergência entre a informação do posicionamento da instalação de acordo com o projeto (4 para o oeste, 4 para o norte e 2 para o leste) e as indicações provenientes da imagem de satélite (Figura 1). Os painéis desta usina apresentam as seguintes direções: 4 direcionados para o Sudeste, 4 para o Noroeste e 2 para o Nordeste. Isso pode ser observado através das curvas de potência, com o MPPT gerando somente na parte da manhã, praticamente sem geração no período da tarde e atingindo menos de 60% da potência máxima esperada. Caso todas as placas fotovoltaicas estivessem posicionadas na mesma direção das placas 5, 6, 7 e 8, haveria uma redução na perda total para cerca de 16%, porém existe a restrição de área física neste telhado para fazer esta modificação.

Para a UFV2 foram verificados problemas com sombreamento de forma não intermitente, sendo visível pelas figuras 3 e 4 o sombreamento causado pela platibanda do telhado da residência. Para extinguir esse problema, é recomendada uma alteração na estrutura em que os painéis estão fixados, aumentando a sua base, de forma que essa atinja altura igual ou superior ao da platibanda.

REFERÊNCIAS

- [1]. COSTA, Naira Cunha; CAMARGO, Edilson Alexandre. Estudo da influência da posição de painéis solares na geração de energia elétrica. Anais do XIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – UNIVAP. São José dos Campos. 2013.
- [2]. NOVOMUNDOADM. Como Funciona a energia solar em prédios e condomínios, 2018 Disponível em:. Acesso em: 17/07/2020
- [3]. F. H. B. de L. Moraes, “Análise de desempenho de um sistema fotovoltaico de 5,2 Kw conectado à rede instalado na UECE”, Fortaleza, 2017
- [4]. ARAÚJO, ANA NUNES; RANK, NARAH IUATA; BUENO, TALITA BEZERRA. DOS FATORES DE PERDAS NOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA EM CURITIBA. 2016. 83 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016
- [5].INMET.<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em 17/07/2020
- [6]. RENOVIGI; CANADIAN. Painel Fotovoltaico CS3U-365P (catálogo técnico). Renovigi Energia Solar. Acessado em 22/07/2020
- [7]. RENOVIGI. Micro inversor RENO-560-LV (catálogo técnico). Renovigi Energia Solar. Acessado em 22/07/2020
- [8]. IBGE. Panorama das cidades. <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ouro-branco/panorama>> Acesso em 19/07/2020.
- [9]. RENOVIGI. Inversor RENO-4K-PLUS (catálogo técnico). Renovigi Energia Solar. Acessado em 22/07/2020.