

Comparação da Geração de Painéis Fotovoltaicas em Coberturas e em Fachadas

Alexandre Saugo Mazzari, João Augusto Ferraz Balducci, Lia Toledo Moreira Mota, Marcius Fabius Henriques de Carvalho, Cláudia Cotrim Pezzuto

Pontifícia Universidade Católica de Campinas

Abstract— Devido a diversos elementos como o progresso contínuo das áreas urbanas, evoluções na estrutura e no volume das construções urbanas, além do aumento no consumo de energia elétrica dentro desse contexto, as estruturas arquitetônicas atualmente estão inclinadas a crescer em altura, visando otimizar o espaço vertical nas áreas urbanas. Esse movimento em direção à verticalização busca modernizar os edifícios visando eficiência energética e autonomia sustentável, de forma a atender às necessidades dos ocupantes das construções e minimizar o impacto ambiental decorrente. Paralelamente a essa tendência, a integração de módulos e sistemas fotovoltaicos em fachadas tem se tornado mais frequente, seja como uma solução independente ou para complementar os sistemas de geração de energia presentes nos telhados dos edifícios. Nesse contexto, é crucial realizar uma análise detalhada do modo como a geração de energia nas fachadas pode contribuir para a produção total de energia de uma edificação, incluindo tanto as fachadas quanto os telhados. É exatamente nesse cenário que emerge o foco deste estudo, que visa estabelecer uma comparação entre a geração de energia por meio de painéis fotovoltaicos instalados em fachadas e em telhados.

Index Terms— Geração Distribuída, Smart Grids, Painéis Fotovoltaicos

I. INTRODUÇÃO

O potencial de geração elétrica dos módulos FVs está intimamente ligado à radiação solar [5]. Trata-se de uma relação proporcional em que as células alcançam seu desempenho satisfatório ao receberem a incidência de luz contínua e sem eventuais desvios e fenômenos óticos [2]. A corrente elétrica produzida graças à junção p-n do Silício é acrescida com o aumento da intensidade do fluxo luminoso. Em termos matemáticos, tensão (V) e corrente (I) obedecem a uma função exponencial, sendo que a variação de (V) sob diferentes intensidades de irradiância segue forma logarítmica [6]. Em síntese, os raios solares são afetados pelas condições meteorológicas e atmosféricas, logo, toda a dinâmica climática e ambiental têm atuação direta na potência elétrica dos módulos FVs [3]. A Figura 1 ilustra os elementos climáticos que influenciam a geração dos painéis FVs.

Devido a fatores como o desenvolvimento urbano, mudanças de morfologia e volumetria urbanas, bem o aumento do consumo de energia elétrica nesse ambiente, as edificações apresentam, atualmente, uma tendência a se tornarem cada vez mais altas, buscando ganho de espaço na vertical em meio à

cidade e se modernizando em busca de eficiência energética e autonomia sustentável, que atenda as demandas dos usuários da edificação, ocasionando o menor impacto ambiental possível. Junto a esta tendência, os módulos e sistemas fotovoltaicos vêm sendo cada vez mais utilizados em fachadas de modo independente ou complementar aos sistemas de geração de energia aplicados à cobertura da edificação. Nesse sentido, é de fundamental importância analisar como a geração nas fachadas pode contribuir com a geração total da edificação (fachada+cobertura). É justamente nesse contexto que se insere este trabalho, uma vez que visa comparar a geração de painéis fotovoltaicos em fachadas e em coberturas.

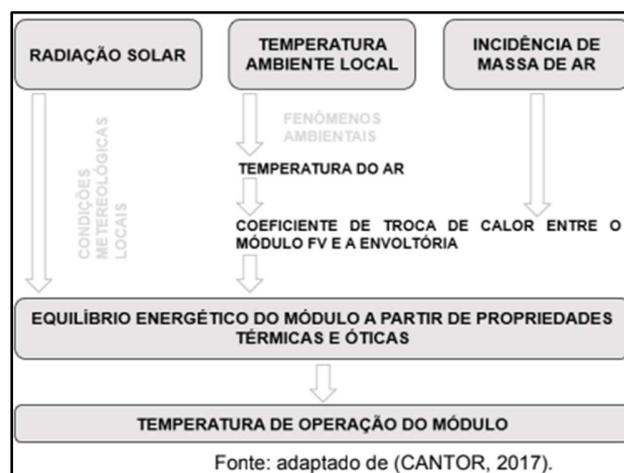


Fig. 1. Elementos climáticos contribuintes para a eficiência elétrica de módulos fotovoltaicos.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A disposição acertada dos painéis de um sistema solar fotovoltaico é o ponto de partida é fator determinante mais significativo para alcançar resultados satisfatórios na geração de energia, visto que é a partir da orientação e disposição apropriadas que os painéis recebem a irradiação solar essencial para a geração, evitando áreas sombreadas em certos momentos do dia [2].

As influências causadas pela densidade populacional nas atividades de produção de energia fotovoltaica estão sendo cada vez mais investigadas junto à relevância dos demais efeitos térmicos e ambientais. Nesse contexto, diversos autores analisam a configuração urbana, sua expansão e compactação,

verticalização e obstrução do campo de visão celeste, como variáveis essenciais para avaliar as condições de iluminação e temperatura nas grandes áreas urbanas e em suas estruturas [3].

Esses elementos estão diretamente ligados à quantidade de luz solar e, conseqüentemente, à capacidade de produção de eletricidade pelos sistemas de painéis solares fotovoltaicos. Portanto, é de suma importância reconhecer o ambiente onde os sistemas serão instalados e avaliar opções de implementação e posicionamento, levando em consideração a verticalidade das cidades, limitações de espaço e bloqueios existentes [4].

Existem diferentes categorias urbanas e sua respectiva exposição à radiação solar nas fachadas e seu potencial na produção de energia solar fotovoltaica. A influência na disposição deve ser analisada desde a etapa de concepção do projeto da estrutura, onde serão definidas as melhores faces disponíveis para a instalação e a superfície necessária para acomodar os painéis.

Uma vez que a produção dos painéis é diretamente proporcional à quantidade de luz em sua superfície, os painéis precisam estar posicionados e orientados de forma a capturar o máximo de radiação solar nas fachadas [2].

Outro aspecto relevante a ser considerado, relacionado à disposição correta dos painéis, é que essa organização deve permitir uma extensa exposição aos raios solares ao longo do dia, já que não é favorável que os módulos recebam uma grande quantidade de luz solar durante um período curto diário.

Embora os painéis recebam intensa irradiação solar direta em um intervalo breve do dia, frequentemente as células não conseguem aproveitar toda essa luminosidade, atingindo seu limite de produção.

Nessa situação, parte da energia obtida é dissipada como calor para o ambiente ou é transmitida para a estrutura, potencialmente alterando as condições de conforto térmico dentro da construção, o que não é desejável [3].

Para alcançar um posicionamento favorável próximo do ideal, é necessário analisar a direção solar e determinar sua trajetória por meio do azimute solar, que é definido pelos ângulos entre leste e oeste, do nascer ao pôr do sol, para calcular a incidência solar que atingirá os módulos durante diferentes momentos do dia.

Além disso, a altura solar e o ângulo de incidência devem ser considerados, visto que, com os módulos dispostos verticalmente, é importante avaliar a inclinação com a qual recebem a radiação solar, o que influencia diretamente no resultado esperado e na capacidade de produção [4].

É precisamente nesse contexto que este estudo se encaixa, uma vez que visa analisar a produção de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos aplicados em fachadas e coberturas de edificações.

III. METODOLOGIA

Com a intenção de analisar a geração de painéis FVs em fachadas e diferentes orientações, foram utilizadas duas estruturas, garantindo sua posição e orientação corretas. Essas estruturas (Figura 2), feitas de madeira, deixavam um painel com ângulo de 90° (emulação de uma fachada) a uma altura de 1,20m do solo e o outro painel com ângulo de 23° (emulação da cobertura) a uma altura também de 1,20m do solo. A fim de garantir a orientação do painel, foi utilizado o aplicativo

“Bússola” pré-instalado em dispositivos Apple iPhone em sua última versão disponível, iOS 16.3.1.

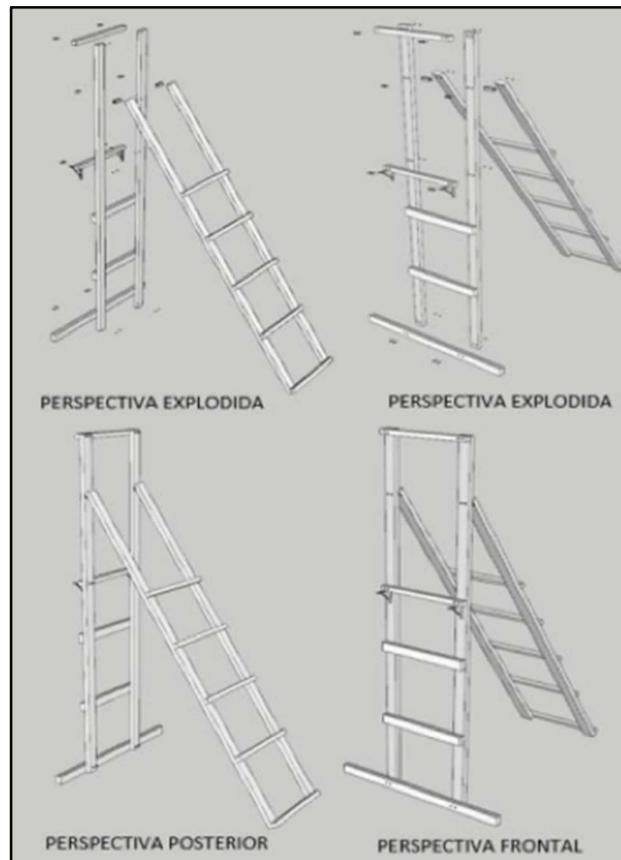


Fig. 2: Ilustração das perspectivas da estrutura de fixação do painel.

3.1. INA 219

Para a coleta de informações de geração de energia dos dois painéis FVs foram utilizados dois módulos sensores de tensão e corrente INA 219, mostrado na Figura 3. Ligados ao sensor de tensão e corrente INA 219 de cada painel, foi instalada uma carga resistiva utilizando uma resistência cerâmica de 100Ω , permitindo ao sensor identificar a corrente gerada pelos painéis.

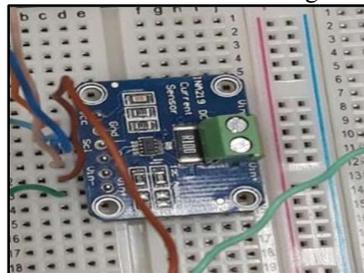


Fig. 3: Sensor de corrente e tensão INA 219.

3.2. Painel Fotovoltaico

Os painéis fotovoltaicos utilizados foram feitos de Silício Policristalino S55P, fabricados pela empresa Solaris Tecnologia. Possuem 36 células de $156 \times 65 \text{mm}$ com eficiência de 12,5%. Pesando 5,7 kg possuem dimensões de $510 \times 870 \times 53 \text{mm}$ e pode gerar uma potência nominal máxima de

55W, sendo a tensão e corrente máximas 18,2V e 3,04A, respectivamente.

3.3. Arduino

Para a coleta e processamento dos dados obtidos, é usado o microcontrolador Arduino UNO [1] (Figura 4), onde estará conectado o sensor INA 219, que fornecerá a tensão e corrente gerada pelo painel, sendo o Arduino responsável pela multiplicação destes, resultando na potência gerada.

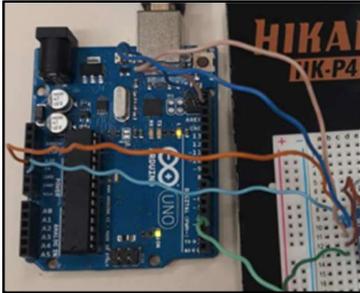


Fig. 4: Hardware Arduino UNO.

3.4. Módulo Micro SD card.

Esse dispositivo é responsável pelo armazenamento de dados. Para o armazenamento, foi utilizado um cartão micro SD de 4GB, ilustrado na Figura 5.

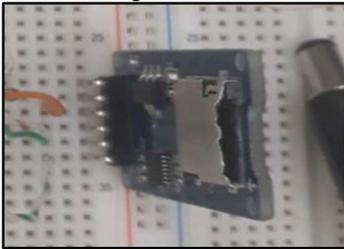


Fig. 5: Módulo Micro SD Card.

3.5. Estruturas montadas para a coleta de dados

A Figura 6 apresenta as estruturas montadas para a coleta de dados.



Fig. 6: Estruturas montadas para a coleta de dados.

3.6. Circuito completo

A Figura 7 ilustra o circuito completo. Nessa figura, está representado o circuito montado para calcular as tensões e correntes geradas pelo painel, com isso calcular a potência gerada. Neste circuito está presente: 2 INA 219, 1 Arduino Uno, 2 resistências de cerâmica, 1 SD Card.

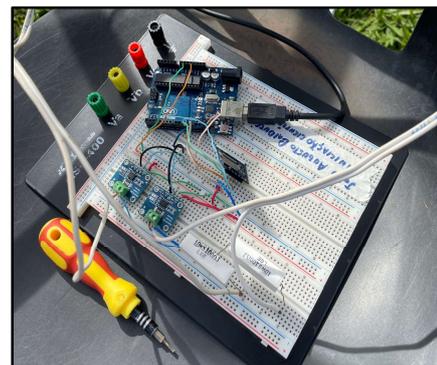


Fig. 7 - Circuito utilizado para medição

IV. RESULTADOS

A coleta de dados foi realizada na parte externa do Laboratório de Eficiência Energética da PUC-Campinas, no período de 17/06/2023 a 21/06/2023, como ilustrado na Figura 8.

As Figuras 9 a 13 ilustram a potência gerada no painel emulando a fachada e no painel emulando a cobertura.



Fig. 8 - Medições em campo no Laboratório de Eficiência Energética

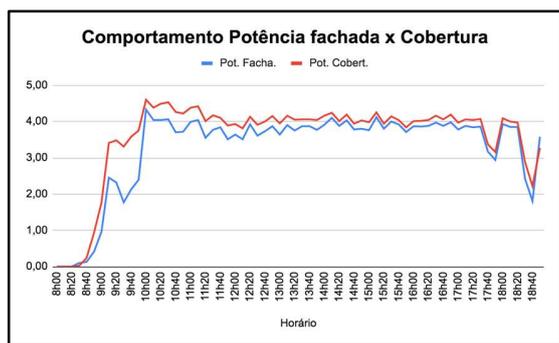


Fig. 9 - Comportamento Potência Fachada x Cobertura - 17/06

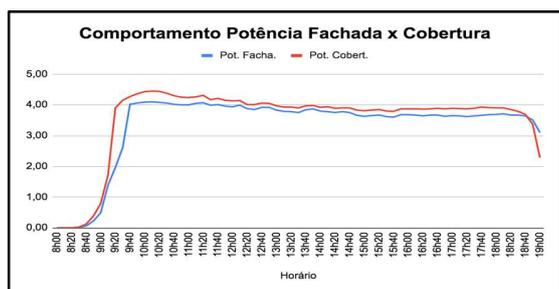


Fig. 10 - Comportamento Potência Fachada x Cobertura - 18/06

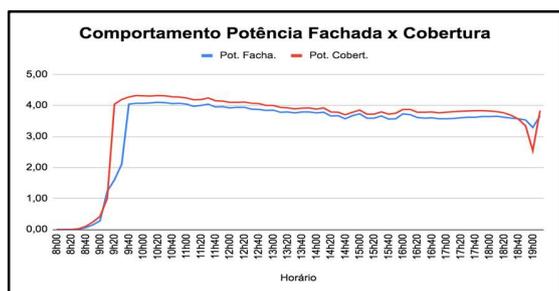


Fig. 11 - Comportamento Potência Fachada x Cobertura - 19/06

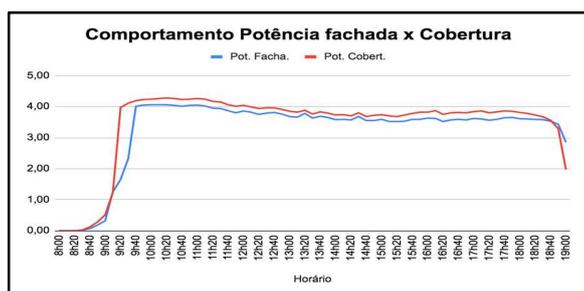


Fig. 12 - Comportamento Potência Fachada x Cobertura - 20/06

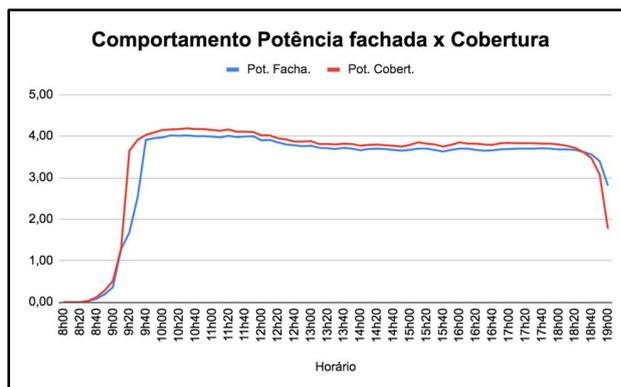


Fig. 13 - Comportamento Potência Fachada x Cobertura - 21/06

Analisando as medições ao longo dos dias 17 de Junho 21 de Junho de 2023 (medições sendo armazenadas a cada 10 minutos), com temperatura média de 24,5°C e com praticamente um céu sem nuvens em todos os dias, pôde-se notar que a geração na cobertura é mais eficiente, tendo uma geração de 3,50W como média ao longo desses dias. Já a geração na fachada foi, em média, 6% menor do que na cobertura. Outro ponto que se pôde notar com a geração na fachada é que no final da tarde ela acaba gerando mais que a na cobertura.

V. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos a partir das medições realizadas, pode-se concluir que apesar da geração na cobertura ser maior, na maior parte do tempo, do que a geração na fachada, esta última pode contribuir de forma significativa na geração de energia elétrica em uma edificação, uma vez que, em média, foi apenas 6% menor do que a geração na cobertura.

REFERÊNCIAS

- [1] Arduino (2010) - Open-source electronics prototyping platform. Disponível online em <http://www.arduino.cc/> em 23-11-2022.
- [2] Cantor, Guillermo Andrés Rodríguez. Influência dos Fatores Climáticos no Desempenho de Módulos Fotovoltaicos em Regiões de Clima Tropical. 2017, 176 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba, 2017.
- [3] Neves, Guilherme Marques. Influência do Espectro da Radiação Solar em Módulos Fotovoltaicos. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, São Paulo, 2016.
- [4] Ortega, Lisbeth Lucia Martinez. Conversão Fotovoltaica: Comparação de Modelos de Desempenho. 2013, 116 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.
- [5] Prieb, César Wilhelm Massen. Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos. 2002, 67 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002.
- [6] Bühler, Alexandre José. Determinação de Parâmetros Fotovoltaicos a partir de Ensaios de Curva Característica sem Iluminação. 2007, 89 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.



Alexandre Saugo Mazzari está cursando o 4º ano de Engenharia Elétrica na PUC-Campinas, participa do programa de Iniciação Científica pela bolsa FAPIC/Reitoria.

Além disso, trabalha na área de automação industrial na Endress + Hauser.



João Augusto Ferraz Balducci está cursando o 2º ano de Engenharia de Software na PUC-Campinas, lá é monitor de Algoritmos e Linguagem de Programação, de Estrutura e Recuperação de Dados I e também participa do programa de Iniciação Científica pela bolsa

FAPIC/Reitoria.

Além disso, atuou como capitão programador da equipe de robótica OGEL entre 2016 e 2019 pela qual conquistou, dentre outros, o prêmio de vice-campeão na Olimpíada Brasileira de Robótica Estadual e 4º lugar na Olimpíada Brasileira de Robótica Nacional, em 2017.



Lia Toledo Moreira Mota é Engenheira Eletricista formada pela Universidade Estadual de Campinas (1998), com mestrado em Engenharia Elétrica (2001), doutorado em Engenharia Elétrica (2005) e Pós-doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas

(2006); em Engenharia Elétrica pela McGill University (2006-2007), Montreal, Canadá; e em Eficiência Energética pela Universidade Estadual de Campinas (2010). Atualmente, é Professora Doutora, em Regime de Dedicção (40h), da Pontifícia Universidade Católica de Campinas; membro do IEEE e da SOBRAPO; Docente permanente do PPG em Engenharia Elétrica da PUC-Campinas; Docente permanente do PPG em Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC-Campinas; Foi Coordenadora do PPG em Sistemas de Infraestrutura Urbana da PUC-Campinas (2016-2018); Atualmente, é Coordenadora do PPG em Engenharia Elétrica da PUC-Campinas; Consultora Ad-hoc FAPESP. Atua, também, como revisora de periódicos científicos nacionais e internacionais, dentre eles: o IEEE Transactions on Education, a revista Sba: Controle & Automação da Sociedade Brasileira de Automatica, o IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution e o IEEE Transactions on Power Systems. Tem experiência na área de Sistemas de Energia Elétrica, com ênfase nas áreas de Automação, Operação e Planejamento de Sistemas Elétricos; Automação Predial; Edifícios Inteligente; Instalações Elétricas Prediais e Industriais; Modelagem da Carga; Eficiência Energética; Eletrotécnica e Ensino em Engenharia. Desenvolve, também, a título de consultoria e prestação de serviços de Engenharia, trabalhos técnicos relacionados a projetos de instalações elétricas de baixa, média e alta tensão. (Fonte: Currículo Lattes)



Claudia Cotrim Pezzuto, atualmente, é Docente Permanente do PPG em Sistemas de Infraestrutura Urbana da Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Possui doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas, mestrado em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos e graduação em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário Moura Lacerda. Tem experiência na área de Arquitetura e Urbanismo, atuando principalmente nos seguintes temas: conforto térmico urbano, clima urbano, eficiência energética, transporte cicloviário, transporte não-motorizado, e desempenho térmico em edificações.



Marcius Fabius Henriques de Carvalho, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora, mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1986). É Professor Titular da PUC-Campinas nos Programas de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana e Engenharia Elétrica. Tem como áreas de interesse aplicações de técnicas de pesquisa operacional a solução de problemas associados à Infraestrutura.