

ANÁLISE DE UMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA EM UM BLOCO DE UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA

**Fernando de Castro Ferreira¹, Andréa Teresa Riccio Barbosa²,
Gabriel Edgar Hermann³**

¹Aluno do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, MS, Brasil.
(fernando.castro@ufms.br).

² Professora do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, MS, Brasil.

³ Aluno do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Eficiência Energética e Sustentabilidade, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, MS, Brasil.

Resumo: Este artigo apresenta o estudo da instalação fotovoltaica em um prédio de uma Universidade Federal. O trabalho partiu das informações obtidas no projeto e na inspeção visual da instalação in loco para a análise comparativa com as orientações estabelecidas pela literatura técnica. Após minuciosa e criteriosa observação, considera-se possível inferir algumas oportunidades de melhoria do sistema estudado, buscando alcançar o valor mais próximo possível da máxima potência.

Palavras-chave: Instalação Fotovoltaica, Eficiência Energética, Análise de Instalação de Energia Solar.

INTRODUÇÃO

O artigo 225 da Constituição Federal declara o meio ambiente ecologicamente equilibrado, como bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida, impondo aos poderes públicos, portanto, o dever de defender e preservar o meio ambiente.

Observa-se também que a energia elétrica é considerada essencial, e com o modo de vida do mundo atual é praticamente impossível ficar sem seu fornecimento, pois nessa situação, pode-se até mesmo paralisar a sociedade contemporânea. Aliado a isso, o processo de crescimento econômico está intimamente ligado ao consumo de energia elétrica por parte das empresas e indivíduos [SILVA, 2021].

Estimativas apontam que consumo de energia elétrica mundial dobrará até 2050, representando grandes desafios no planejamento da operação e expansão de sistemas elétricos [MÉVEL *et al.*, 2020]. A energia produzida pelas usinas hidrelétricas no Brasil é a principal constituinte da matriz energética nacional, contudo, ela está chegando a sua máxima capacidade, devido à falta de bacias hidrográficas relevantes e propícias para a instalação de novas unidades hidrelétricas. Aliado a isso, soma-se o fato de que nos últimos meses do ano a demanda energética atinge seu máximo e, ao mesmo tempo, os reservatórios dessas usinas alcançam seus níveis mais baixos.

Por outro lado, nesses mesmos meses críticos, os recursos renováveis são elevados se comparados a média anual [SILVA *et al.*, 2019]. A situação precária dos reservatórios das hidroelétricas brasileiras, aliada à crescente demanda pela energia elétrica, somada ainda a pressão pela redução na emissão de poluentes, dentre outros fatores, ocasionam uma iminente necessidade de maior investimento em novas fontes de energia. Nesse contexto, seria necessário diversificar a matriz energética brasileira a fim de reduzir a dependência da geração hidráulica [ALENCAR *et al.*, 2019].

Uma das alternativas é utilizar o sol como uma fonte de energia com potencial para se transformar em eletricidade o que está ao alcance de todas as localidades do mundo e que vem ganhando reconhecimento, representatividade e investimento tecnológico. Sendo assim, a instalação de placas fotovoltaicas desponta como um caminho alternativo para trazer um desenvolvimento no setor energético aliado à preservação ambiental, estabelecendo-se, portanto, uma nova forma geração distribuída.

A geração distribuída é definida como uma fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição por meio do consumidor, possibilitando a redução das perdas no sistema e a melhoria no sistema de fornecimento de energia.

No Brasil, a regulamentação da geração de energia através de placas solares fotovoltaicas é dada pela Resolução Normativa Nº 482, de 17 abril de 2012, revisada pela Resolução Normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015 e posteriormente pela Resolução Normativa Nº 786 de 17 de outubro de 2017 [ANEEL, 2012], [ANEEL, 2015] e [ANEEL, 2017]. Essa conexão ao sistema elétrico é responsável pelo neologismo prosumidor, acrônimo das palavras produtor e consumidor, devido as características desse *stakeholder* nas redes elétricas.

As principais vantagens associadas à utilização de geração distribuída renovável são: perdas técnicas reduzidas, perfil de tensão melhorado, redução da emissão de poluentes, maior eficiência energética, confiabilidade e segurança dos sistemas aprimorados, melhoria na qualidade da energia elétrica, dentre outras.

Observa-se ainda que a instalação de unidades fotovoltaicas em locais inadequados pode criar deterioração de parâmetros técnicos do alimentador assim como aumento do custo, tendo um efeito contrário ao desejado.

Analisando a geração fotovoltaica em um bloco de uma universidade pública brasileira, buscou-se, neste trabalho, investigar os componentes do sistema e detectar oportunidades de uma melhor eficiência energética, com propostas de intervenções para o aprimoramento do potencial energético.

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A radiação emitida pelo sol, conhecida como banda solar, encontra-se na faixa de comprimento de onda de 0,1 a 3 μm , sendo 7% na região do ultravioleta, 46,8% na região visível e o restante na região do infravermelho [SILVA *et al.*, 2019].

Efetivamente, a irradiação solar no Brasil ocorre do amanhecer ao anoitecer, ou seja, os painéis só produzem energia elétrica em uma fração de tempo, em geral de 10 a 12 horas, das 24 horas diárias [ALENCAR *et al.*, 2018].

Em cada localização na terra, os raios solares de forma direta incidem com uma determinada inclinação em relação ao solo dependendo da hora do dia, fazendo com que seja necessária à instalação de painéis com uma orientação adequada para maximizar o rendimento do módulo fotovoltaico [SILVA *et al.*, 2018].

Tendo em vista a movimentação do sol, do Leste para o Oeste, a orientação ideal para se instalar um painel fotovoltaico é direcionar a sua face para o Norte geográfico. Caso a localização da instalação seja no Hemisfério Sul, ou voltada para o Sul geográfico, no

projeto haverá mais placas instaladas para compensar a perda de produção.

Na maioria dos locais, a direção do Norte ou Sul verdadeiro não coincide com o Norte ou Sul Magnético, então, são necessárias correções do referencial magnético que podem ser obtidas através de mapas e programas computacionais [SILVA *et al.*, 2018].

A irradiância e a insolação são conceitos importantes na geração de energia elétrica, isso porque a quantidade de energia solar recebida em uma determinada localidade na terra pode ser um critério crucial para a instalação de um sistema fotovoltaico [SILVA *et al.*, 2017].

A irradiância se caracteriza como a potência que é conseguida em uma determinada área, já a insolação é uma grandeza que expressa a razão da energia pela área ao longo de um intervalo de tempo. A irradiância se caracteriza como uma das principais medições feitas e sendo seus valores disponibilizados através do mapa solarimétrico [FRIGO *et al.*, 2013].

As variações da irradiância solar incidente e da temperatura ambiente afetam a temperatura de operação das células fotovoltaicas que compõem os módulos fotovoltaicos. O aumento da irradiância incidente e/ou da temperatura ambiente produz um aumento da temperatura da célula e, conseqüentemente, tende a reduzir a sua eficiência. Isto se deve ao fato de que a tensão da célula diminui com o aumento da temperatura de maneira considerável, enquanto que sua corrente sofre um incremento quase que desprezível [SILVA *et al.*, 2017].

Um aspecto importante é a inclinação que os raios solares incidem na superfície da placa fotovoltaica, apresentando um melhor aproveitamento quando os raios solares incidem de forma perpendicular com o plano da placa. Tendo em vista que existe uma variação do ângulo de incidência solar diariamente e que o custo de instalação de mecanismos para o acompanhamento da radiação solar é muitas vezes inviável de aplicar, deve-se instalar a placa com um determinado ângulo de inclinação, que depende da latitude geográfica da instalação [SILVA *et al.*, 2021].

O rendimento das células depende de diversos fatores e a operação em módulo possui eficiência global inferior à eficiência das células individuais devido ao fator de empacotamento, à eficiência ótica de cobertura do módulo e, à perda nas interconexões elétricas das células e ao descaso nas características das células [SERAPHIM *et al.*, 2004].

Aliado ao tipo de tecnologia utilizado na fabricação dos módulos, o ângulo de inclinação dos painéis em relação ao solo e orientação norte ou sul geográfico

apresentam um fator primordial nos números da geração de energia elétrica [SERAPHIM *et al.*, 2004].

Os sistemas fotovoltaicos fixos apresentam um ângulo pré-determinado de inclinação dos módulos em relação ao solo, o qual é escolhido para haver uma melhor captação dos raios solares incidentes sobre esse sistema durante todo o período de produção, otimizando assim a quantidade de energia elétrica gerada [PEREIRA *et al.*, 2017].

Para que o sistema gerador fotovoltaico tenha o máximo de eficiência de funcionamento, é necessário que os módulos fotovoltaicos sejam montados com uma inclinação equivalente a latitude do local de instalação, podendo ter uma variação de $\pm 10^\circ$ do ângulo de inclinação com o ângulo dessa latitude. Todavia, caso o local onde será realizada a montagem, esteja em uma latitude de 10° N à 10° S, é recomendada a inclinação mínima da 10° para propiciar a limpeza dos módulos pela ação pluviométrica [MONDAL e DENICH, 2014].

Outro aspecto a ser considerado no processo de instalação do sistema fotovoltaico é a localização mais adequada para o sistema gerador, que deve ter uma boa incidência de radiação solar, visto que o sombreamento provocado pela própria edificação, por construções circunvizinhas, pela vegetação e por outros objetos de entorno, tais como postes de iluminação pública ou redes de transmissão e distribuição, podem reduzir de maneira considerável a capacidade geradora de eletricidade daquele sistema [MONDAL e DENICH, 2014].

Um estudo sobre a variação de geração de energia elétrica para cada tipo de tecnologia de fabricação de módulos fotovoltaicos, combinado ao estudo de implementação de seguidores solares de um ou dois eixos de rotação apresentam extrema importância, quando uma região desponta como uma forte candidata para geração solar fotovoltaica conectada à rede. Isso porque o custo de instalação e o retorno financeiro para esse caso apresenta forte ligação com o tipo de tecnologia de placas aplicada e o sistema utilizado [FRIGO *et al.*, 2013].

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa quanto ao procedimento de coleta de dados se caracteriza como Estudo de Caso, pois é o mais apropriado quando se deseja investigar um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto real. Nesse caso, realizar uma análise de uma instalação fotovoltaica em um bloco de uma universidade pública.

Para realizar o levantamento de dados no local de estudo de caso, que possibilitaram uma análise da

instalação fotovoltaica, fizeram-se levantamentos bibliográficos em livros em normas técnicas, em artigos científicos, em dissertações, em teses e outros materiais. Desta forma, informações relevantes sobre o tema foram obtidas, para que as obtenções de dados e recomendações de procedimentos técnicos fossem adequados. Essas fontes de dados são secundárias e os dados com fonte primária foram obtidos *in loco* e foram realizadas na Fundação Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS).

A UFMS possui diversos campi, e é dividida, também, em unidades administrativas. Essa instituição de ensino superior já foi alvo de pesquisas pretéritas no âmbito energético [NAVES, 2015] e [PETENATTI, 2015]. Com relação ao sistema tarifário de energia elétrica, a UFMS é um consumidor A-4 com tarifação Horária Azul.

O presente artigo, por sua vez, tem o estudo dirigido à unidade administrativa da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Engenharia e Geografia (FAENG), cujo funcionamento ocorre em algumas edificações do *campus* Cidade Universitária, localizado em Campo Grande. Dentre os quais destaca-se a edificação do Bloco 7^a, na Figura 1, com localização aproximada de latitude $20,5^\circ$ Sul e longitude $54,6^\circ$ Oeste, objeto central deste trabalho.

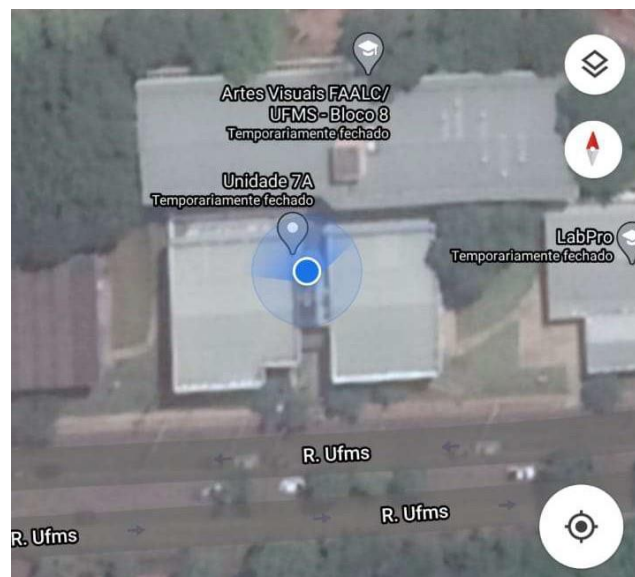


Figura 1. Localização do bloco da universidade.

Fonte: google maps.

Essa edificação possui dois pavimentos e conta com cobertura em telhas metálicas e existência de platibanda no contorno e passou pela instalação de um arranjo fotovoltaico entre os anos de 2020 e 2021.

O arranjo fotovoltaico pela nomenclatura da referência [ABNT, 2020] é o conjunto de módulos

fotovoltaicos ou subarranjos fotovoltaicos mecânica e eletricamente integrados, incluindo a estrutura de suporte.

Um arranjo fotovoltaico não inclui sua fundação, aparato de rastreamento, controle térmico e outros elementos similares, sendo que o arranjo fotovoltaico estudado no presente artigo corresponde ao conjunto de dois subarranjos fotovoltaicos (chamados pelo autor de: instalação lado leste e instalação lado oeste, para tal nomenclatura, foi usada a divisão da edificação, não se confundindo com a orientação dos painéis, fato que será tratado posteriormente neste trabalho), sendo, por definição, cada subarranjo uma subdivisão de um arranjo fotovoltaico considerando questões relacionadas com proteção e/ou distribuição de corrente.

Os subarranjos estudados no presente trabalho são compostos por diferente número de módulos fotovoltaicos (36 na instalação do lado leste e 60 no lado oeste) como pode ser visto das Figuras 2. Com relação ao sistema aqui estudado, trata-se de um sistema fotovoltaico fixo e conectado à rede elétrica.



Figura 2. Foto do telhado do bloco.
Fonte: foto retirada pelo autor.

O presente trabalho partiu das informações obtidas no projeto e da inspeção visual da *instalação in loco* para a análise comparativa com as orientações estabelecidas pela literatura técnica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após minuciosa e criteriosa observação, considera-se possível inferir algumas oportunidades de melhoria do sistema estudado, a fim de incrementar a eficiência energética, buscando alcançar o valor mais próximo possível da máxima potência.

Elencou-se os pontos destacados pela presente pesquisa:

- redistribuição dos subarranjos para que ambos tenham número igual de módulos fotovoltaicos;

- mudança da instalação do subarranjo leste para a face do telhado com inclinação para o lado norte;
- reinstalação dos módulos instalados próximos as unidades evaporativas dos equipamentos condicionadores de ar, ou, alternativamente, a reinstalação das mesmas unidades evaporativas para maior distanciamento do sistema gerador fotovoltaico, objetivando menor impacto da saída de ar aquecido dos primeiros na temperatura de operação do último;
- bem como buscar maior afastamento da platibanda para evitar a ação de sombreamento sobre os módulos fotovoltaicos, assim como, também, a poda da vegetação próxima, com o mesmo objetivo de reduzir ou anular o possível efeito negativo do sombreamento;
- adequação do ângulo de inclinação dos módulos através da regulagem dos suportes de fixação para obtenção de angulação mais próxima o possível da ideal para a localização geográfica e que favoreça a autolimpeza das placas pela ação das chuvas.

Para além das oportunidades de melhoria do sistema de geração fotovoltaico em estudo, o presente trabalho apresenta, ainda, oportunidades para o desenvolvimento de novas pesquisas, com possibilidade de aumento da eficiência energética e incremento da produção científica. Dentre as eventuais oportunidades de pesquisas futuras tem-se, por exemplo, o exame dos dispositivos de condicionamento de potência do sistema fotovoltaico e a investigação do potencial de incremento na geração por meio de dispositivos que permitam o rastreamento solar em 1 ou 2 eixos.

CONCLUSÃO

No caso do território nacional, recebe-se elevados índices de irradiação solar, ou seja, dentre as formas de geração de energia renovável podendo-se citar a energia fotovoltaica, como uma das alternativas para atender ao crescimento de uma população altamente dependente de eletricidade. Esta fonte vem ganhando especial destaque por ser uma forma de produção de eletricidade limpa, evitando a grande devastação ambiental registradas nas últimas décadas, causadas especialmente pelo uso de combustíveis fósseis.

Apesar de ainda apresentar necessidade de incentivos econômicos para se tornar popular, o sistema fotovoltaico já é utilizado em grande escala e a fonte solar fotovoltaica é a maior geradora de empregos na área de energia renováveis do mundo, sendo responsável por 3,6 milhões (32%) dos 11 milhões de empregos renováveis do planeta. Olhando para o futuro, projeções apontam que, no ano de 2050, a solar fotovoltaica corresponderá a mais de 30% da capacidade instalada da matriz elétrica do Brasil, com

o potencial de gerar mais de 1 milhão de empregos no país.

O panorama global da produção de eletricidade através da energia solar, por meio dos painéis solares fotovoltaicos, mostra que é possível alcançar uma capacidade instalada de 100 GW, e ainda evitar a emissão de 70 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera, anualmente [ALMEIDA, *et al.*, 2015]. Estudo criterioso no projeto da instalação fotovoltaica se tornam imprescindíveis para uma melhor eficiência dos sistemas, sejam em construções públicas ou privadas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL (Brasil). Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL (Brasil). Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST. Brasília: ANEEL, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL (Brasil). Resolução Normativa nº 786 de 17 de outubro de 2017. Altera a Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012. Brasília: ANEEL, 2017.

ALENCAR, M. R. B.; SOUZA, J. S.; SOUZA, B. A.; NEVES, W. L. A. Estimativa de onde instalar painéis fotovoltaicos para aumentar a eficiência energética de redes elétricas. In: Anais do XXII Congresso Brasileiro de Automática 2018, Universidade Federal da Paraíba, vol. 1, n. 1, 2019, ISSN 2525-8311, Campinas: Sociedade Brasileira de Automática, 2020.

ALMEIDA, E. *et al.* Energia Solar Fotovoltaica: Revisão Bibliográfica. In: Engenharias Online, Revista FUMEC, vol. 1, n. 2, 2015, ISSN 2447-1488, Belo Horizonte, Universidade FUMEC, 2016. p. 21-33.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10899: Energia solar fotovoltaica – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

FRIGO, M. M. (2013). Impacto da micro geração de energia elétrica em sistemas de distribuição de baixa tensão. Campo Grande, 2013. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil.

MÉVEL, C.; FERRAZ, B. P.; LEMOS, F.; HAFFNER, S. Impacto do ângulo de geração solar fotovoltaica no desempenho de uma rede de distribuição. In: Anais do XXII Congresso Brasileiro de Automática 2018, Universidade Federal da Paraíba, vol. 1, n. 1, 2019, ISSN 2525-8311, Campinas: Sociedade Brasileira de Automática, 2020. 7p.

MONDAL, M.; DENICH, M. Assessment of renewable energy resources potential for electricity generation in Bangladesh. Renewable and Sustainable Energy Rev., v.14, p.2401-2413, 2014

NAVES, S. D. P. (2015). Diagnóstico Energético – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – Unidade 5 e Antigo Departamento de Engenharia Elétrica. Campo Grande, 2015. 100p. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil.

PEREIRA, E. B. *et al.* Atlas Brasileiro de energia solar. 2 eds. São José, dos Campos: INPE, 2017. 80p.

PETENATTI, R. F. O. (2015). Eficiência Energética nas instalações do campus de Três Lagoas Unidade II. Campo Grande, 2015. 170 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil.

SERAPHIM, O.J.; SIQUEIRA, J.A.C.; DINIZ SILVA, C.; FIORENTINO, J.J.; ARAÚJO, J.A.B. Eficiência energética de módulos fotovoltaicos mono e poli-cristalinos em função da radiação solar global. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURALE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, 5., 2004, Campinas. Anais...Campinas: UNICAMP, 2004.

SILVA, M. S.; SILVA, V. S.; FORTES, D. R. de O., MAIA, F. C. T. Comparação técnico-econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos com diferentes tecnologias no Nordeste. In: Anais do XXII Congresso Brasileiro de Automática 2018, Universidade Federal da Paraíba, vol. 1, n. 1, 2019, ISSN 2525-8311, Campinas: Sociedade Brasileira de Automática, 2020.

SILVA, P. R.; SANTOS, H. P. de S.; BRAGA, L. R.; SILVA, L. F. G. Traçador de curvas IxV de um módulo fotovoltaico para avaliações de desempenho em condições reais de operação, 2018.

SILVA, R. G., CARMO, M. J. do. Energia Solar Fotovoltaica: uma proposta para melhoria da gestão energética. In: *Inter Science Place, International Scientific Journal*, vol. 12, n. 2, 2017, ISSN 1679-9844, Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2017. p. 129-147.

SILVA, W. C. da. Consumo de energia elétrica em baixa tensão: uma análise socioeconômica comparada. Ponta Grossa, 2021. 178 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil.