

## **SISTEMA FOTOVOLTAICO NA HIDRELÉTRICA DE BOA ESPERANÇA: COMPARAÇÃO DE MODELO TERRESTRE E FLUTUANTE**

ANA BEATRIZ ALVES AZEVEDO<sup>1</sup>, SÂMARA CARVALHO FREITAS<sup>2</sup>, SAMUEL FLORIANO SILVEIRA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Discente de Engenharia Elétrica, UFPI, Teresina-PI, beatrizazevedo00@ufpi.edu.br;

<sup>2</sup>Discente de Engenharia Elétrica, UFPI, Teresina-PI, samaraf@ufpi.edu.br;

<sup>3</sup>Discente de Engenharia Elétrica, UFPI, Teresina-PI, samuelflorianos@ufpi.edu.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2021

**RESUMO:** Os avanços das tecnologias e a ampla necessidade de diminuir o uso de combustíveis fósseis, resultaram na criação de diversas formas renováveis de obtenção de energia, sendo uma das mais atuais o Sistema Fotovoltaico Flutuante (SFF). Propõe-se realizar a comparação entre um sistema fotovoltaico terrestre (SFT) e um sistema fotovoltaico flutuante no Piauí, analisando as vantagens, desvantagens e desafios. Por meio do software PVSOL foram realizados os dimensionamentos e, a partir dos dados recolhidos, foi feito o comparativo entre os sistemas. Constatou-se que para uma produção de aproximadamente 1 MWh/ano o SFF necessitou de 623 placas a menos, uma área menor em 1391,8 m<sup>2</sup> e 4 inversores a menos. Isso foi devido a maior eficiência causada pela redução da temperatura dos módulos. Portanto, em geral, o SFF possui mais benefícios quando comparado ao SFT na região estudada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Piauí; Usina solar; Viabilidade; Eficiência; Energia sustentável; Desafios.

## **PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN HYDROELECTRIC BOA ESPERANÇA: COMPARISON OF TERRESTRIAL AND FLOATING MODEL**

**ABSTRACT:** Advances in technology, as well as the ample need in decreasing the use of fossil fuels, resulted in the creation of various renewable ways of obtaining energy, one of the most current being the Floating Photovoltaic System. It is proposed to carry out a comparison between a terrestrial photovoltaic system and a floating photovoltaic system in Piauí, analyzing the advantages, disadvantages and challenges. Through the PVSOL software, the sizing was performed and, from the data collected, a comparison between the systems was made. It was found that for a production of approximately 1 MWh/year the floating photovoltaic system required 623 less plates, a smaller area by 1391.8 m<sup>2</sup>, as well as 4 less inverters. This was due to greater efficiency caused by the reduction in module temperature. Therefore, it is noted that in general, the floating photovoltaic system has more benefits when compared to the terrestrial photovoltaic system in the studied region.

**KEYWORDS:** Piauí; Solar Plant; Viability; Efficiency; Sustainable Energy; Challenges.

## **INTRODUÇÃO**

O aumento do uso de fontes de energias renováveis em relação às reservas fósseis ocorreu por serem menos prejudiciais ao meio ambiente. No Brasil não foi diferente, segundo dados de 2019, a matriz energética brasileira é composta em 83% por energias renováveis, de modo que é predominada por hidrelétricas (BEN, 2020). Porém, esse recurso apresenta limitações que podem tornar a conta de energia mais cara para o consumidor, bem como oferecer riscos para o ecossistema. Por isso, busca-se alternativas que alinhem as necessidades econômicas, sociais e ambientais. Com isso, surgiram pesquisas sobre materiais mais eficientes para as células, sistemas com seguidor solar e sistemas flutuantes.

Dessarte, uniu-se o fato do Brasil apresentar grandes áreas ocupadas por represas de usinas hidrelétricas com a tecnologia das usinas solares flutuantes, de modo que hidrelétricas como Balbina, localizada em Presidente Figueiredo, Amazonas e no lago da usina hidrelétrica de Rosana, localizada em Rosa, São Paulo, por exemplo, já usufruem dessa alternativa de implementação. Como o Piauí já se destaca no uso de energia solar fotovoltaica - de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) a potência das usinas de energia solar fotovoltaica instaladas passou de 1 GWh em 2021 (Piauí, 2021) - a implantação de uma usina solar flutuante na hidrelétrica de Boa Esperança, localizada em Guadalupe, se tornou uma alternativa para melhorar os ganhos em energia elétrica.

Esse trabalho tem como objetivo fazer um comparativo entre uma usina solar flutuante e uma usina solar terrestre localizadas, respectivamente, sobre a barragem e nas proximidades da Usina Hidrelétrica de Boa Esperança. Então, através do software PVsol foi realizado o dimensionamento para a injeção de 1 MWh/ano, bem como informações bibliográficas para a ratificação dos dados encontrados especificando as vantagens, as desvantagens e os desafios para que seja possível definir qual das duas é mais viável para a região.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a Barragem Boa Esperança que foi desenvolvida pela Companhia Hidrelétrica de Boa Esperança (COHEBE), localizada em Guadalupe - Piauí, e represa cinco bilhões de metros cúbicos de água do rio Parnaíba, bem como presta grandes benefícios à população através da criação de peixes e regularização da vazão do rio, além de melhorar as possibilidades de navegação do rio Parnaíba (Projeto, 2004). Com um clima tropical subúmido quente, a temperatura média da região é geralmente entre 23 °C a 37 °C (Climatologia, 2021). A irradiação solar diária média da região é de 5,59 kWh/m<sup>2</sup>/dia e a inclinação para um possível sistema fotovoltaico através da maior média anual é de 9° N (Centro, 2021). Estudos revelam que na parte da barragem há táxons de fitoplâncton adaptados a flutuação e elevada penetração de luz solar (O Reservatório, 1998).

Para o dimensionamento dos sistemas se usou o software de design e simulação PVSOL que através da localização ele retornou os dados climáticos locais úteis ao projeto. A partir disso, foi usado o banco de dados do software para a seleção do módulo fotovoltaico. Através dos estudos se verificou que como o albedo se destaca no aumento da potência de saída do módulo a escolha do módulo bifacial CS3W - 435 PB - AG (Figura 1.a), com eficiência de 19,47%, seria uma boa alternativa. Com a quantidade de painéis definida e a potência do sistema se definiu o inversor de energia solar. Optou-se pelo MAX 80KTL3 LV/MV (Figura 1.b) com máxima potência de CC de 104 kW e com 7 entradas rastreamento de ponto de potência máximo (MPPTs) com suporte para 2 strings em cada uma. Baseado nos dados reunidos em uma tabela foram também coletadas bibliografias para a ratificação das vantagens, das desvantagens e dos desafios de modo que no final seja definido qual é o mais viável.

Figura 1 - (a) Datasheet do Módulo fotovoltaico CS3W - 435 PB - AG (Canadian Solar, 2020) e (b) Inversor MAX 80KTL3 LV/MV (Growatt, 2019).



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a determinação de qual é mais viável foi realizado o dimensionamento dos sistemas para uma injeção de aproximadamente 1 MWh/ano. Identificou-se as vantagens, desvantagens e os desafios que influenciam na escolha, para que seja aprovado aquele que oferece mais benefícios sociais, econômicos e ambientais. A tabela 1 apresenta o resumo dos resultados.

Tabela 1. Resultados dos dimensionamentos das duas usinas

<b>Comparativo das duas usinas fotovoltaicas</b>		
	<b>Terrestre</b>	<b>Flutuante</b>
Quantidade de placas	1456	833
Potência instalada	633,36 KWp	362,36 KWp
Área dos painéis	3253,2 m <sup>2</sup>	1.861,2 m <sup>2</sup>
Quantidade de inversores	7	4
Injeção na rede	1.013,876 KWh/ano	1.012,895 KWh/ano
Desempenho	80,3%	138,3%
Rendimento anual específico	1.600,57 KWh/KWp	2.795,11 KWh/KWp
Emissão de CO2 evitada	608,241 kg/ano	476,026 kg/ano

Fonte: PV\*SOL modificado pelo autor (2021)

### Comparativo das vantagens de cada sistema

Para a determinação da quantidade de painéis através do módulo escolhido se verificou que sistema fotovoltaico terrestre (SFT) necessita de 623 módulos a mais. Como consequência, a área ocupada pelo SFT também é maior (1.391,8 m<sup>2</sup> a mais). Isso proporciona ao sistema fotovoltaico flutuante (SFF) uma vantagem, pois não precisa investir na aquisição do terreno, bem como o deixa disponível para a realização de outras atividades (Sahu et al., 2016). Com relação ao número de inversores e ao desempenho, o SFF necessita de 4 e tem um desempenho de 138,3%, enquanto que o terrestre requer 7 e apresenta um desempenho de somente 80,3%.

Quando se trata do rendimento anual, o SFF tem 1.194,54 KWh/KWp a mais que o SFT. Isso se dá pelo aumento ou pela manutenção na eficiência decorrente da diminuição da perda de energia em forma de calor, uma vez que ocorre o resfriamento dos módulos aliado a alta ausência de sombreamento e pela refletividade natural da superfície da água (Sahu et al., 2016). Assim, o aumento da eficiência dos módulos está diretamente relacionado com a temperatura de operação. Por isso, há a importante vantagem de se instalar uma usina fotovoltaica em um espelho d'água, pois diminui as perdas de eficiência e conseqüentemente melhora o rendimento. Além disso, há registros de que as temperaturas reduzem de 5% a 20% nestas instalações e que esses fatores dependem da localização, do clima e da estrutura de flutuação desejada (Rec, 2018).

A inclinação ideal referente a maior média anual é de 9° N (Centro, 2021), porém por convenção se usa 10° N a fim de diminuir o acúmulo de sujeira. Estudos sobre sujidade em painéis fotovoltaicos indicam perdas em torno 5% dependendo do ambiente e da umidade (Lemos, 2016). Para mais, SFT pode evitar a emissão de 608.241 kg/ano de CO<sub>2</sub>, enquanto que o SFF 476.026 kg/ano. Outro ponto é que a instalação de um SFF influencia na vida biótica da barragem, haja vista que a quantidade de luz do sol no corpo d'água pode diminuir e ocasionar a redução da proliferação de algas (Trapani & Santafé, 2014). Com isso, há a diminuição do processo de eutrofização e melhoria da qualidade da água, bem como da biodiversidade local.

### Comparativo dos desafios de cada sistema

O sistema terrestre pode gerar a intensificação de processos erosivos, assoreamento, alterações no fluxo hidrológico superficial, bem como o risco de acidentes com animais. Já no sistema flutuante os problemas podem ser decorrentes do comprometimento da vida do ecossistema, principalmente ao sombrear uma área expressiva do lago, uma vez que pode causar desequilíbrio na cadeia trófica.

Com relação a instalação de um SFT a forma mais comum é a estrutura de sustentação no solo por apresentar fácil instalação e manutenção e ser indicada para sistemas de todo porte, mas é mais propício a situações de sombreamento, acúmulo de poeira, contato de pessoas, de animais e de objetos.

Já a estrutura de sustentação usada em um SFF deve ser capaz de suportar cargas pesadas, o que garantirá a flutuabilidade e estabilidade do sistema de geração elétrica (Strangueto & Sahu, 2016).

Definir o tipo de ancoragem é de suma importância também, visto que colabora para que a usina não sofra danos causados pelas adversidades do ambiente de implementação, além de possibilitar segurança na fixação da plataforma (Silvério, 2018). Tal escolha é baseada em pesquisas sobre os dados do local como topografia, batimetria, composição do solo, variação do nível d'água, velocidade e direção do vento. Vale salientar que a instalação e manutenção de um SFF apresenta algumas dificuldades a mais quando comparado com um SFT. Algumas condições como variação do nível d'água em reservatórios, rajadas de vento, fatores meteorológicos podem complicar a montagem, ancoragem e a operação da usina. Entretanto, em lagos artificiais ou açudes, em que a ancoragem e fixação são mais simples, torna-se mais fácil e rápido realizar a montagem do sistema flutuante. Já no que se refere a manutenção do sistema de ancoragem necessitará de mão de obra mais especializada, como o uso de mergulhadores. Além disso, o uso de cabos subaquáticos também necessita de atenção, uma vez que se relaciona diretamente com a segurança da fauna aquática e dos colaboradores.

Para mais, pelo fato de o SFF estar próximo à água os módulos fotovoltaicos devem suportar elevados níveis de umidade, além das variações de temperatura. Fatores como estes degradam e interferem na eficiência dos módulos, visto que a umidade facilita a formação de bolhas, o que dificulta a dissipação de calor pelas células, aumenta o aquecimento e diminui o tempo de uso do módulo (Ndiaye, 2013).

É importante ressaltar que locais que apresentam baixa disponibilidade hídrica ou meses sem chuvas, como é o caso deste reservatório, esse tipo de instalação pode trazer benefício na redução da evaporação. Porém, em reservatórios muito grandes não se deve esperar um ganho expressivo, pois a área ocupada pelo SFF não será necessariamente significativa em área total. No caso desta simulação a cobertura da área não chega a 1% do reservatório, logo os benefícios trazidos por ele serão locais.

## CONCLUSÃO

O aparato experimental consistiu na injeção de aproximadamente 1 MWh/ano em um sistema terrestre na proximidade da UHE de Boa Esperança e outra flutuante sobre a barragem. Foram avaliadas as vantagens, as desvantagens e os desafios de cada um e após a análise se observou que o SFF se sobressai.

Dentre os benefícios do SFF sobre o STF há uma quantidade menor de: placas (diferença de 623), área (diferença de 1.391,8 m<sup>2</sup>), inversores (diferença de 4), além de apresentar um desempenho muito superior ao do sistema convencional, maior ganho de eficiência e diminuição da sujeira. Porém, quando se trata na redução da emissão de CO<sub>2</sub> o terrestre sobressai com uma diferença de 132,215 kg/ano evitados. No que se refere aos desafios o SFT necessita apenas de um estrutura que se adeque à terraplanagem do terreno. Já o flutuante necessita de dados mais aprofundados sobre a barragem para que se possa definir a estrutura e o sistema de amarração. Deve-se levar em conta também que o SFF pode sofrer com a umidade e ter a eficiência reduzida.

Assim, apesar de apresentar mais peculiaridades em relação ao terrestre, o sistema flutuante se sobressai quando todos os desafios são analisados de forma crítica e controlados ao máximo. Os dados apresentados mostram que a instalação de um sistema fotovoltaico na barragem da Hidrelétrica de Boa Esperança possui um impacto não somente na economia, mas na sociedade e no ambiente, uma vez que contribui para a redução da poluição em créditos de carbono. Dessa forma, os autores também acreditam que, nas próximas décadas, sistemas fotovoltaicos flutuantes serão responsáveis por impulsionar a expansão da energia fotovoltaica no país, tendo assim maior destaque na matriz energética.

## REFERÊNCIAS

- BEN. Balanço Energético Nacional. 2020. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019\\_Final.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf). Acesso em: 21 jun. 2021
- Canadian Solar: BiHiKu SUPER HIGH POWER BIFACIAL MONO PERC MODULE. 2020. Disponível em: [https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian\\_Solar-Datasheet-BiHiKu\\_CS3W-MB-AG\\_EN.pdf](https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-BiHiKu_CS3W-MB-AG_EN.pdf). Acesso em: 8 março 2021.

- CRESESB. Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>. Acesso em: 16 abril 2021.
- Climatologia em Guadalupe, BR. 2021. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/6665/guadalupe-pi>. Acesso em: 12 abril 2021.
- Growatt Max 50-100ktl3 LV/MV. 2019 Disponível em: <https://www.ginverter.pt/show-42-588.html>. Acesso em: 12 março 2021.
- Lemos, L. O., Ferreira, Â. M., Jota, P. R. S., Silva, A. G. V. Efeitos da sujidade no desempenho de módulos fotovoltaicos, Belo Horizonte – Minas Gerais, VI CBENS - VI Congresso Brasileiro de Energia Solar, Minas Gerais. 2016. Disponível em: [https://www.posmat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/120/2017/08/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_Lucelio\\_Lemos.pdf](https://www.posmat.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/120/2017/08/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Lucelio_Lemos.pdf). Acesso em: 14 maio 2021.
- Ndiaye, A. et al. Degradations of silicon photovoltaic modules: A literature review. Solar Energy, v. 96, p.140-151, out.2013. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.07.005>. Acesso: 20 maio 2021.
- O Reservatório de Boa Esperança (Maranhão – Piauí, Brasil). [S. l.], 1998. Disponível em: [http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=118&Itemid=408#algas](http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=118&Itemid=408#algas). Acesso em: 15 abril 2021.
- Piauí alcança a liderança na potência de energia solar no País. [S. l.], 10 jun. 2021. Disponível em: <https://www.pi.gov.br/noticias/piaui-alcanca-a-lideranca-na-potencia-de-energia-solar-no-pais/>. Acesso em: 22 junho 2021.
- Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea: Diagnóstico do Município de Guadalupe. [S. l.], 3 mar. 2004. Disponível em: [https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15992/Rel\\_Guadalupe.pdf?sequence=1](https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15992/Rel_Guadalupe.pdf?sequence=1). Acesso em: 16 abril. 2021.
- PV\*SOL 2021.3.34217. Versão 2021.3. [S. l.]: Valentin Software GmbH, 2021. Disponível em: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>. Acesso em: 8 jan. 2021.
- Rec. Riding the wave of solar energy: Why floating solar installations are a positive step for energy generation. 2018. Disponível em: [https://www.recgroup.com/sites/default/files/documents/wp\\_-\\_floating\\_pv\\_rev\\_d\\_web.pdf](https://www.recgroup.com/sites/default/files/documents/wp_-_floating_pv_rev_d_web.pdf). Acesso em: 13 maio 2021.
- Sahu, A., Yadav, N., Sudhakar, K.. Floating photovoltaic power plant: A review. Renewable And Sustainable Energy Reviews, v. 66, p.815-824, 2016. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/J.RSER.2016.08.051>. Acesso em: 13 maio 2021.
- Silvério, Naidion Motta. Utilização de usinas solares flutuantes para operação coordenada com centrais hidrelétricas: estudo de caso das hidrelétricas da bacia do rio São Francisco. Universidade Federal de Itajubá, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/1155>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- Strangueto, K. M. Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas. Tese de doutorado - UNICAMP. Campinas, SP. 2016. Acesso em: 12 maio 2021.
- Trapani, K.; Santafé, M.R. (2014) A review of floating photovoltaic installations: 2007– 2013. Prog. Photovolt: Res. Appl. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pip.2466>. Acesso em: 14 maio 2021.