

**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA:
ESTUDO DA DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA COM A
INSERÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS NA SUPERFÍCIE DAS REPRESAS DAS
HIDRELÉTRICAS¹**

Angélica da Silva²
Marcelo Felisberto de Lima
Fernando Pinto Coelho
Agnaldo José dos Santos

RESUMO

Este artigo mostra a viabilidade da implementação de usinas solares flutuantes no Brasil. A ampliação das usinas já existentes nas superfícies dos lagos das hidrelétricas pode ser utilizada para geração de mais energia fotovoltaica. O aspecto metodológico enfatiza a obtenção de dados da irradiação solar, envolvendo a geração de energia por sistemas fotovoltaicos e de hidrelétricas, o potencial solar do Brasil para implantação de sistemas flutuantes. Uma análise numérica da potência de usinas solares sobre as represas das usinas hidrelétricas de Sobradinho e de Tucuruí foi realizada, com isso é visto que a energia gerada supriria 91,21% da potência nacional que é de 180 GW. A aplicação desses resultados sugere a diversificação da matriz energética brasileira.

Palavras-chave: Energia Solar. Usinas Flutuantes. Usinas Hidrelétricas. Rio São Francisco.

¹ **Como citar este artigo:**

SILVA, A. da.; LIMA, M. F. de.; COELHO, F. P.; SANTOS, A. J. dos. Energia solar fotovoltaica: estudo da diversificação da matriz energética brasileira com a inserção de usinas fotovoltaicas na superfície das represas das hidrelétricas. **ForScience**, Formiga, v. 10, n. 1, e00764, jan./jun. 2022. DOI: 10.29069/forscience.2022v10n1.e764.

² **Autor para correspondência:** Angélica da Silva, angelicamagal@gmail.com

**SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY:
STUDY OF DIVERSIFICATION OF THE BRAZILIAN ENERGY MATRIX WITH
INSERT OF PHOTOVOLTAIC PLANTS ON THE LAKES SURFACES OF
HYDRELECTRIC RESERVOIRS.**

ABSTRACT

This article shows the viability of the floating solar plants implantation in Brazil. The enlargement of the existing plants on the hydrelectric lakes surfaces can be utilized to generate more photovoltaic energy. The methodological aspect emphasizes the obtation of solar irradiation data, to involve the energy generation by photovoltaic system, hydrelectric plants and Brazil's solar potential to implantation of floating plant system. A numerical analysis of power solar plants above reservoirs of the hydrelectric plant of Sobradinho and Tucuruí was realise, with this the energy generated would supply 91,21% of national power energy. The application of this results suggest the diversification of the Brazilian energy matrix.

Keywords: Solar Energy. Floating Plants. Hydrelectric Plants. São Francisco River.

1 INTRODUÇÃO

A cada ano, o custo da energia solar fotovoltaica está se reduzindo de acordo com a potência mundial instalada. Analisando historicamente, é visto que, em meados da década de 1970, o custo de 1 Watt proveniente de cada placa solar era US\$ 79,67, e em 2014 esse custo diminuiu para US\$ 0,21/Watt (NEOSOLAR, 2021). Essa redução ocorreu devido aos avanços tecnológicos no material e o aumento da produção dos módulos solares fotovoltaicos (DANTAS; POMPERMAYER, 2018). Além disso, a diminuição do preço vem impulsionando fortemente o mercado fotovoltaico.

No Brasil, a matriz energética usada é de aproximadamente 57,04% da energia elétrica gerada nas usinas hidrelétricas (UHE) e 24,70% é proveniente das usinas termoelétricas, o que tem causado alta nas tarifas, principalmente nos períodos de estiagem, levando as concessionárias a fazerem uso da bandeira vermelha (ANEEL, 2015). As demais quantidades são provenientes das usinas eólicas, 11,09%; das pequenas centrais hidrelétricas do país, com um percentual de 3,05%; uma parcela é proveniente das usinas solares, 2,53%; e, uma pequena parcela são provenientes das usinas nucleares e centrais geradoras hidrelétricas, correspondendo a 1,58% (ANEEL, 2021c).

Em termos territoriais, as cinco maiores represas de hidrelétrica no Brasil ocupam uma área inundada de 13.615 km² (MELLO, 2011). Essa área equivale a 2,35 vezes a área do Distrito Federal e poderia ser utilizada, parcialmente, para geração de energia solar fotovoltaica, através de sistemas flutuantes. A França é pioneira nesse sistema em relação ao seu protótipo.

A Holanda foi o primeiro país a investir nesse tipo de geração, entretanto a maior usina implantada está localizada ao sul da China com a capacidade de geração de 40 MWp, a usina *Sungrow*. Outros países, como os Estados Unidos da América, Japão e Reino Unido, também já investem nesse tipo de geração e o Brasil, por sua vez, já começou a gerar energia utilizando essa tecnologia. Dentre as vantagens do uso desse sistema, destaca-se o não uso de captura de solo, e ainda reduz em 70% a evaporação da água da região sombreada pelo painel solar, além de promover um melhor funcionamento do painel por estar em temperatura mais baixa (BRAGA, 2017).

Quando se observa dados da geração mundial de energia elétrica, pode-se notar que houve aumento de 15.548,1 TWh em 2001 para 26.935,9 TWh em 2019 (BIROL, 2021), ou seja, um aumento de 73,24% na produção de energia elétrica mundial. Segundo (LOONEY, 2021), o crescimento médio, na geração de energia, nos anos de 2009 a 2019 foi de 2,9% ao ano, e uma redução de 0,9% de 2019 para 2020, mesmo assim, apresentou um crescimento de 72,51% na geração de energia elétrica nos últimos 20 anos. A estimativa de geração para 2021 está em torno de 26.800 TWh. Essa redução se deve ao momento atípico vivenciado no mundo inteiro: a pandemia da SARS-CoV-2. Segundo Grätzel (GRÄTZEL, 2001), se 0,1% de toda a superfície da Terra fosse recoberta com painéis solares com 10% de eficiência, seria o suficiente para abastecer toda necessidade humana de energia elétrica. Essa afirmação do início do século continua sendo válida nos dias de hoje.

As áreas das superfícies das represas situadas no Brasil podem ser utilizadas para fins de geração de energia elétrica. Em algumas áreas, por exemplo, na Hidrelétrica de Sobradinho já está sendo utilizada uma parte do espelho d'água para a produção de energia solar fotovoltaica, utilizando o sistema flutuante, sem deixar de ter a função de represa reguladora do fluxo de água, para manutenção de geração controlada de energia pelas usinas hidrelétricas localizadas nos níveis mais baixos do Rio São Francisco.

Com base nessas informações, este estudo consiste em averiguar o custo e a capacidade de geração de energia fotovoltaica, fazendo uma comparação do uso das áreas de represas das usinas hidrelétricas. As áreas das represas das usinas de Sobradinho e Tucuruí são usadas como referências para análise numérica para instalação de usinas fotovoltaicas construídas em módulos flutuantes. Os resultados mostram que as áreas analisadas produziriam uma potência de geração contínua correspondente a 91,21% da potência nacional que é de 180 GW (ANEEL, 2021a).

2 CUSTOS DE GERAÇÃO E A AMPLIAÇÃO DAS USINAS FLUTUANTES

A matriz energética brasileira é diversificada onde a principal fonte geradora vem das UHEs. Sabendo disto, um comparativo entre os preços das energia solar fotovoltaica e da energia das hidrelétricas foi feito, conforme pode ser visto na Tabela (1). Esses valores são referentes aos resultados dos leilões de geração - preço por fonte (ANEEL, 2019; ANEEL, 2021b).

Tabela 1 – Custos de geração por kWh

Fonte	Custo (R\$) por kWh ¹	Custo (R\$) por kWh ²
Grandes UHEs (>50 MW)	0,157	0,174
Fotovoltaica (FV)	0,084	0,166

¹ Valores em outubro de 2019. ² Valores em agosto de 2021.

Fonte: ANEEL, 2019 e 2021b

É possível observar que o preço de geração por meio das usinas fotovoltaicas está diminuindo, pois, em novembro de 2015, o custo de geração estava em torno de R\$ 0,350/kWh e em outubro de 2019 o custo de geração chegou a R\$ 0,084/kWh (AGUIAR, 2019). Isso não vem ocorrendo com as UHEs, porque a média de preço destas está em torno de R\$ 0,157/kWh. Em 2021, tanto o custo da geração da fonte solar quanto da fonte hidrelétrica aumentaram, R\$ 0,166/kWh e R\$ 0,174/kWh, respectivamente. Isso ocorreu por conta do aumento do preço dos insumos em decorrência da demora da produção de componentes eletrônicos, devido a pandemia da SARS-CoV-2, e também do aumento do dólar. Ainda assim, o custo de geração das usinas fotovoltaicas se mostra inferior ao das UHEs. Em comparação, o retorno do investimento de uma usina solar tem uma média de 5 anos, o que resulta entre 15 e 20 anos de lucro, levando em consideração o tempo de vida do painel. Sendo assim, mesmo havendo pequena diferença de preço, fazendo uma análise ao longo dos anos, o sistema fotovoltaico apresenta melhor custo benefício o que corrobora para o aumento da implantação dessas usinas no país. Além disso, de acordo com a Lei de Swanson, o preço dos módulos fotovoltaicos tende a cair cerca de 20% do custo, com cada duplicação da produção acumulada de painéis solares. Essa descoberta foi feita através de análise gráfica, na qual observou-se que o preço da energia solar fotovoltaica decai a cada ano, analisando-se a respectiva curva de experiência, ou de aprendizagem (SWANSON, 2006). Essa tem sido a causa principal da redução dos preços de oferta da energia fotovoltaica, fazendo com que nos últimos 5 anos tenha se tornado de menor custo do que a energia produzida por grandes UHEs, como mostra a Tabela (1). A Figura (1) mostra a redução do preço médio global entre os anos de 1976 e 2019. Essa diminuição tem favorecido o crescimento de

implantação de sistemas fotovoltaicos em todo o mundo. Atualmente, o preço está em torno de US\$ 0,21/Watt.

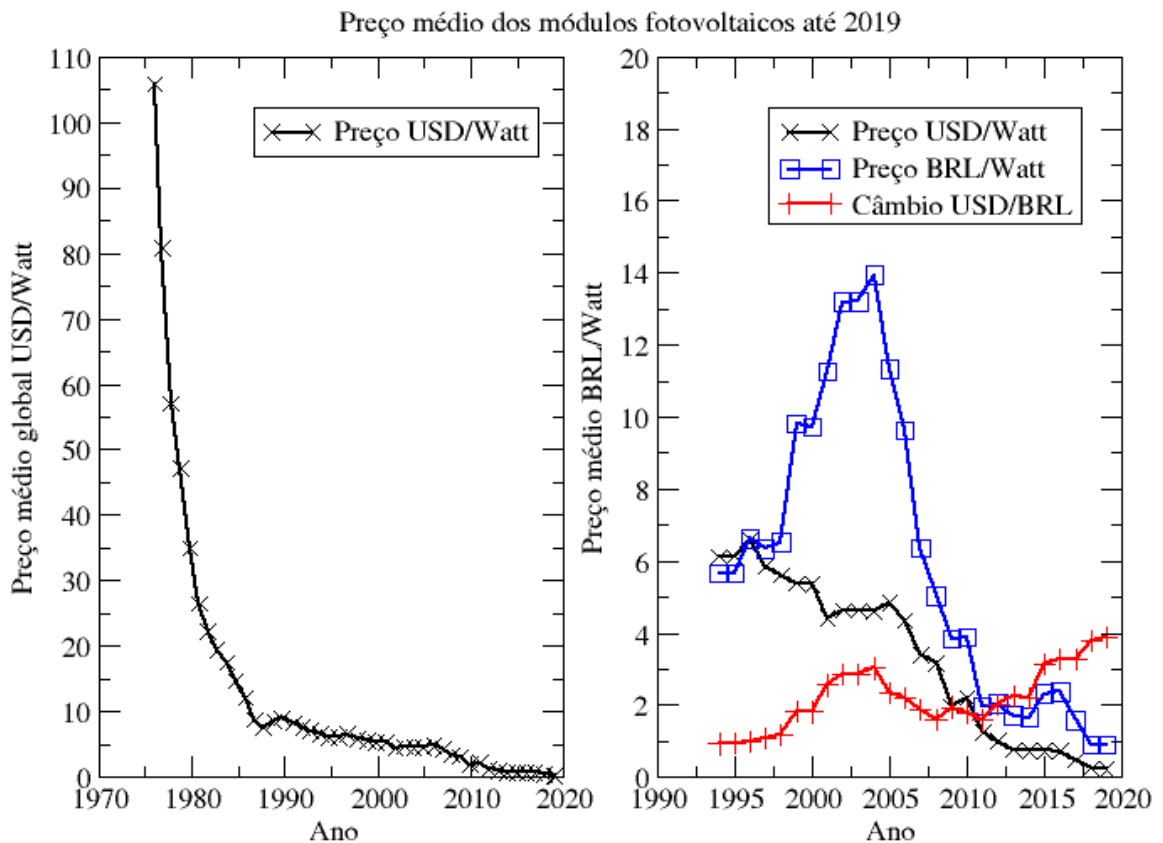


Figura 1 – Preço médio global dos módulos fotovoltaicos
 Fonte: Os autores, 2021 - Adaptado de (NEOSOLAR, 2021) e (AASP, 2021)

O valor final da energia fotovoltaica produzida sofre influência direta dos custos de implantação do sistema em relação ao total de energia gerada, mais especificamente, o investimento inicial, sua manutenção preventiva, outros custos que porventura venham a ocorrer, somados e dividido pelo total de energia produzida e suas taxas. Podemos resumir tais custos por meio da fórmula apresentada abaixo em que fornece o custo unitário por energia gerada (C_{unit}):

$$C_{unit} = \frac{\sum_{i=0}^N [(Inv_i + COM_i)(1 + taxa)^{-i}]}{\sum_{i=0}^N [EneProd(1 - \eta_i)(1 + taxa)^{-i}]} \quad (1)$$

onde, o índice i representa o tempo em anos ($i = 0, 1, 2, \dots$), sendo $i = 0$ o ano de compra dos equipamentos, N o tempo de duração; Inv_i o investimento no ano i ; COM_i são os Custos de Operação e Manutenção no ano i ; $EneProd$ é a energia produzida no ano i ; η é a taxa de decaimento anual da eficiência da placa; e $taxa$ é a taxa de desconto ao ano (DANTAS; POMPERMAYER, 2018).

Partindo do princípio da ampliação dos sistemas fotovoltaicos, isso pode ser feito nos sistemas flutuantes que já estão implantados e em funcionamento sobre represas brasileiras. A primeira usina flutuante foi implantada no país em 2016 na UHE-Balbina, localizada no município de Presidente Figueiredo-AM, com projeto inicial de 1 MWp. Atualmente, a planta no espelho d'água tem capacidade de geração de 5 MWp numa área de 0,050 Km², o que corresponde a aproximadamente 0,0021% da área total da represa, que é de 2.360 Km² (SOLAR, 2017). Na UHE-Sobradinho, situado no município de Sobradinho-BA, também há uma usina flutuante operando numa área de 0,011 km², aproximadamente 0,0002% da área total, cuja capacidade de geração é de 1,0 MWp (CHESF, 2019). A operação dessa planta começou em 2019. É importante destacar que o Brasil é pioneiro na implantação das usinas flutuantes sobre lagos de represas. Em território rural, a primeira implantação desse sistema foi realizada em 2016 em um lago da Fazenda Figueiredo, no município de Cristalina-GO. A planta gera 304 kWp (BRAGA, 2017).

A vantagem do sistema flutuante reside na melhora do desempenho dos painéis fotovoltaicos, pois em terra, as perdas devido às altas temperaturas podem chegar a 20% em relação à capacidade nominal (SOLAR, 2017). As temperaturas dos painéis em solo podem chegar a 80° C. Sendo assim, com a implantação dos sistemas flutuantes, evita-se perdas da capacidade nominal, o que ocasiona lucro, e também há uma redução de até 70% da evaporação da água na região instalada, devido ao sombreamento na lâmina d'água (BRAGA, 2017; AHLERT, 2017).

Em comparação a um sistema fotovoltaico instalado em terra firme, uma usina flutuante apresenta dificuldades adicionais em sua instalação, como dependência de condições meteorológicas para realização de montagem, ancoragem dos módulos fotovoltaicos e fatores como rajadas de ventos. Havendo grandes variações do nível do reservatório também pode ser um complicador. Em se tratando de lagos artificiais, ou açudes, com locais de ancoragem menos complexos, as instalações podem ocorrer de forma vantajosa com maior rapidez e facilidade (BARRETO, 2020). Em estudos feitos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o investimento em usinas solar flutuantes poderá ser até 18% maior do que a produção fotovoltaica em terra (PORTALSOLAR, 2020).

Outros fatores são o acúmulo de sujeira nos painéis e os impactos ambientais como a degradação da qualidade da água que são causados por duas ações principais: uso de embarcações para atividades de manutenção, podendo ocorrer a produção de resíduos sólidos diversos

como óleo ou combustível, a inviabilização de atividades pesqueiras e a degradação das tintas antivegetativas aplicadas às estruturas flutuantes (BARRETO, 2020).

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Através de análise gráfica já disponibilizadas, das localizações geográficas e fazendo o cruzamento com o atlas solarimétrico, foi realizado um estudo de caso. O atlas utilizado, possui informação temporal de coleta de dados de 17 anos. Essa coleta é realizada por meio do modelo BRASIL-SR, que é um modelo físico para a obtenção de estimativas da radiação solar incidente (PEREIRA et al., 2017), que é obtida em três etapas:

- (i) tratando os dados oriundos da meteorologia e imagens de satélites;
- (ii) aplicando o método de transferência radiativa de "dois-fluxos";
- (iii) calculando as componentes de irradiação solar incidente na superfície em Wh/m²: irradiação global horizontal (H), irradiação direta normal (H_n), irradiação difusa horizontal (H_{dif}) e irradiação global no plano inclinado (H_i).

Esse modelo assume que o fluxo de radiação solar medido pelo satélite no topo da atmosfera está distribuído de forma linear entre condições atmosféricas extremas: céu claro e céu completamente encoberto por nuvens. Com isso, é possível a definição de uma relação de linearidade inversa entre a irradiância global na superfície (Wh/m²) e o fluxo de radiação refletida na extremidade da atmosfera. Isso permite escrever:

$$G = G_0[(\tau_{clear} - \tau_{cloud})(1 - C_{eff}) + \tau_{cloud}] \quad (2)$$

onde G é o fluxo de radiação solar incidente na superfície, G_0 é a radiação incidente na extremidade da atmosfera, C_{eff} é o coeficiente de cobertura de nuvens, τ_{clear} e τ_{cloud} são, respectivamente, as transmitâncias atmosféricas nas condições de céu claro e completamente encoberto. Sendo assim, é possível determinar a radiação solar incidente na superfície através de estimativas oriundas de duas componentes independentes, τ_{clear} e τ_{cloud} . As estimativas dessas componentes ocorrem a partir de parametrização dos processos físicos que ocorrem na atmosfera (PEREIRA et al., 2017).

Com base em todas essas configurações, dispomos das coordenadas geográficas das UHEs de Tucuruí e Sobradinho, por meio do Google Earth, e com isso a obtenção das médias dos valores mínimos e máximos, de cada mês, da irradiação média nacional do plano inclinado para as análises apresentadas neste trabalho.

3.1 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Para o cálculo da potência máxima da energia produzida por uma usina fotovoltaica são considerados diversos aspectos. A potência fotovoltaica (P_{FV}) máxima em kWp é dada pela equação a seguir:

$$P_{FV} = NI_s\eta_s A_s/1000 \quad (3)$$

onde N é o número de painéis da usina fotovoltaica, I é a radiação solar incidente, η_s é a eficiência do painel fotovoltaico e A_s é a área de cada painel.

A geração calculada pela Equação (3) não considera as perdas inerentes a transformação da energia da radiação incidente em energia fotovoltaica. Tais perdas, que não são mostradas nesta equação, são as perdas do sistema fotovoltaico, perdas de eficiência do inversor, perdas de sincronismo e na resistência elétrica do circuito, por reflexão, entre outras. Essas perdas diminuem a quantidade de energia aproveitada pelo sistema. Um modelo que adota aproveitamento de 75% da energia gerada foi adotado de modo a modelar essas perdas na Equação (3) com base em estudos semelhantes como os de (CABELLO; POMPERMAYER, 2013) e (TOLMASQUIM et al., 2012).

3.2 GERAÇÃO HIDRELÉTRICA

A geração de energia de uma hidrelétrica pode ser medida por duas grandezas: a altura ou desnível vertical entre o nível do lago da represa e o nível mais baixo no leito do rio natural, onde a água é devolvida e a vazão de água disponível para a movimentação das turbinas (STEINER, 2018).

A força de acionamento das turbinas pode ser descrita pela seguinte expressão:

$$F = PA = \rho ghA \quad (4)$$

onde P é a pressão da água e A é a área transversal do tubos que dão acesso a turbina, ρ é a densidade da água e h desnível hidráulico.

Uma forma de se avaliar sucintamente a energia que está sendo produzida em uma usina hidrelétrica utiliza-se a seguinte equação de potência:

$$P_{ot} = Fv \quad (5)$$

em que, v é a velocidade da água. Ao fazermos a substituição da Equação (4) na Equação (5), obtemos (PIZA, 2012):

$$\begin{aligned} P_{ot} &= Fv \\ &= (\rho ghA)v \\ &= gh(\rho Av) \\ &= hgQ \end{aligned} \tag{6}$$

onde $Q = \rho Av$ é a vazão mássica, dada em kg/s .

Este sistema não é 100% eficiente e na prática a energia gerada é um pouco inferior a essa potência calculada, devido às perdas na transformação da energia potencial hidráulica em energia elétrica. A informação do valor da energia produzida em uma hidrelétrica já vem com a subtração das perdas no processo de geração.

Para calcular a potência média de uma hidrelétrica, deve-se considerar as perdas, ou o fator de eficiência:

$$\begin{aligned} P_h &= \eta_S P_{ot} / 1000 \\ &= \eta_S (hgQ) / 1000 \end{aligned} \tag{7}$$

onde P_h é potência média de geração em kW, h é a altura de desnível da represa, Q vazão disponível em kg/s , g é aceleração da gravidade ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) e η_S é a eficiência total do sistema (de 0 a 1, ou de 0% a 100%). A eficiência total por sua vez é decomposta em vários fatores:

$$\eta_S = \eta_H \eta_T \eta_M \eta_G \eta_E \tag{8}$$

onde η_H é a eficiência do sistema hidráulico (canal, tubulação), η_T é a eficiência da turbina, η_M é a eficiência da transmissão mecânica (correia, acoplamentos), η_G é a eficiência do gerador e η_E é a eficiência da transmissão elétrica.

3.3 O POTENCIAL SOLAR DO BRASIL E O SISTEMA FLUTUANTE

O Brasil possui uma das maiores taxas de irradiação solar do mundo, o que mostra que há um excelente potencial para a implantação das usinas fotovoltaicas. Analisando o índice de irradiação no plano inclinado, é possível observar esse fato através da Tabela (2). Esses valores são dados de uma média mensal dos valores diários de irradiância em todo o país e que tem uma base temporal de coleta de dados de 17 anos (PEREIRA et al., 2017). Essa mesma análise é feita para as regiões das UHE-Sobradinho e UHE-Tucuruí por meio das coordenadas geográficas de cada usina.

Tabela 2 – Índice de irradiação média nacional no plano inclinado

Mês	Mínimas (Wh/m ² dia)	Máximas (Wh/m ² dia)
Janeiro	3690	6362
Fevereiro	3668	6596
Março	3764	6443
Abril	3614	6225
Mai	3462	6034
Junho	3023	6105
Julho	3055	6392
Agosto	3677	6925
Setembro	3153	6935
Outubro	3302	6741
Novembro	3783	6619
Dezembro	3773	6355

Fonte: Adaptado de Pereira *et al.* (2017)

A UHE-Tucuruí está localizada no estado do Pará. Possui a segunda maior área inundada e capacidade de armazenamento do Brasil, com 3.007 Km² e 50 bilhões de metros cúbicos, respectivamente (MELLO, 2011), sendo a maior capacidade geradora em território nacional. A superfície represada, no Rio Tocantins, está situada em uma região onde o clima é sazonal com longos períodos chuvosos.

A UHE-Sobradinho está localizada no interior da Bahia e possui o maior lago artificial do mundo com 4.214 km² de superfície de espelho d'água, com capacidade de armazenamento de 34,1 bilhões de metros cúbicos (MELLO, 2011). Essa superfície, situada no semiárido Nordeste, sofre grandes perdas de água por evaporação, devido às altas temperaturas o que resulta na baixa umidade do ar. A média anual da evaporação no lago de Sobradinho é de 2.206 mm. Com base nessa estimativa, a vazão anual, decorrente dessa evaporação, é de 132 m³/s (PEREIRA *et al.*, 2008). Este valor supera a vazão planejada para a transposição de águas do Rio São Francisco, que é de 114,3 m³/s (CASTRO, 2011).

As perdas por evaporação podem ser reduzidas pela instalação de painéis solares flutuantes na superfície da represa. Suportes flutuantes para a instalação na superfície d'água de lagos foram fabricados com polietileno de alta densidade (*High-density polyethylene* - HDPE) para acoplar painéis solares fotovoltaicos. O HDPE é um material reciclável de baixo custo, com preço em torno US\$ 1,30/kg no mercado internacional. Essa tecnologia foi patenteada pela empresa francesa Ciel el Terre, detentora da marca Hydrelío© (VELOSO; GAVEAU, 2012) e tem durabilidade superior a 20 anos (TIERRE, 2012). A Figura (2) mostra a maior usina

fotovoltaica flutuante do mundo, com potência de 40 MWp e que começou operar em 2017, utilizando a tecnologia do HDPE. Esta usina, *Sungrow*, está localizada no sul da China, província de Anhui.



Figura 2 – Módulos fotovoltaicos flutuantes instalados na usina *Sungrow* localizada em Anhui, China.

Fonte: (LO, 2017)

Levando em consideração a taxa de irradiação e as áreas das represas brasileiras, projetos de maior dimensão, como esse da China, podem ser implementados a fim de gerar mais energia, suprimindo parte do consumo, ou quiça gerar mais que a demanda consumida, com a possibilidade de não haver aumento na tarifa da conta de luz, nos meses de estiagem, por exemplo.

Uma estimativa do fator de rendimento (γ) é feita considerando as Condições Padrão de Teste - CPT - (*Standard Test Condition - STC*), a qual designa uma irradiância de 1000 W/m^2 . Ao multiplicar a quantidade de horas diárias, 24 h, pela irradiância no CPT, tem-se que a irradiação solar diária (S_{Diaria}) é de $24 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$. Então, o fator de rendimento de cada usina pode ser obtido por meio da Equação (9):

$$\gamma = \left(\frac{S_{Media}}{S_{Diaria}} \right) \times 100\% \quad (9)$$

onde, S_{Media} é a irradiação solar média diária da região coletada a partir estudos já existentes (PEREIRA et al., 2017). Na prática, o valor do coeficiente de rendimento pode ser maior ou menor, isso vai depender da irradiação incidente na região.

Para se fazer uma análise sobre a capacidade de geração fotovoltaica, usando lagos de usinas hidrelétricas, faz-se o cálculo médio de irradiação solar nos lagos das UHEs e aplica-se

o respectivo fator (γ), para cada caso. Esses valores são obtidos pela média aritmética entre os valores máximo e mínimo da irradiação das UHEs estudadas.

Algumas análises podem ser feitas, a fim de saber a quantidade de energia a ser gerada nas superfícies das represas das hidrelétricas, utilizando painéis fotovoltaicos com sistema flutuante. Para isto, propõe-se três casos a serem avaliados:

- (i) as áreas dos dois maiores lagos artificiais do país (UHE-Sobradinho na Bahia (939'16,5''S, 4130'17,5''W) e UHE-Tucuruí no Pará (417'22,9''S, 4942'45,2''W));
- (ii) análises das áreas ocupadas por duas usinas solares heliotérmicas e suas respectivas potências de geração: *Ouarzazate* - 510 MW (localizada no Marrocos, inaugurada em 2013) e *Ivanpah* - 392 MW (localizada nos Estados Unidos, inaugurada em 2014), para posteriormente fazer um estudo numérico, sobre qual potência seria obtida se um conjunto de usina com essas características fossem implantadas em áreas equivalentes as superfícies de cada UHEs citada;
- (iii) análise da potência de painéis fotovoltaicos (*Photovoltaic* - PV) com 10% de eficiência medindo 1,00 m², cobrindo toda a superfície do lado de cada usina citada no item 1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas localizações das duas UHEs foram obtidos os valores das médias mensais do índice da irradiação diária através do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2017). Os dados correspondentes ao fator de rendimento estão dispostos na Tabela (3). A média aqui avaliada é obtida pela soma aritmética do valor máximo e mínimo da irradiação e dividido por 2.

Tabela 3 – Índice de irradiação no plano inclinado das UHE-Sobradinho e Tucuruí

UHE	Mínimas (Wh/m ² .dia)	Máximas (Wh/m ² .dia)	Médias (Wh/m ² .dia)	γ (%)
Sobradinho	5750	6000	5875	24,47
Tucuruí	4750	5000	4875	20,31

Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2017)

Na primeira análise, está sendo considerada a área da represa da UHE-Sobradinho (Ver Tabela (4)). A área da represa de Sobradinho, 4.214 km², é equivalente a 168,56 áreas da usina solar *Ouarzazate*. Utilizando a área da represa de Sobradinho para a construção de 168,56 usinas solares *Ouarzazate*, seria possível a produção de energia com potência máxima de 85.965,60 MWp, utilizando o sistema flutuante. Em termos de geração contínua, seria produzido o equivalente a 21.035,78 MW, isso quando se considera o fator de rendimento $\gamma = 24,47\%$

da irradiação média diária local, o que corresponde a aproximadamente 20 vezes a produção diária da UHE-Sobradinho.

De forma semelhante, ao comparar com a usina solar *Ivanpah*, é visto que a área de Sobradinho é 324,15 vezes a área dessa usina. Sendo assim, a produção diária teria uma potência máxima, cujo valor é de 127.068,30 MWp. Em termos de geração contínua, seria produzido o equivalente a 31.093,61 MW, correspondendo a aproximadamente 29,61 vezes a produção diária da UHE-Sobradinho. Neste caso, pode-se pensar na tecnologia de módulos flutuantes.

Comparando agora em termos de painéis solares de 1,00 m² com 10% de eficiência, a área de Sobradinho é 4,124×10⁹ vezes a área de um painel PV de 1,00 m². Com isso, a produção diária teria uma potência equivalente a 421.400 MWp. Em termos de geração contínua, seria produzido 103.116,58 MW, o que corresponde a 98,2 vezes a produção diária de UHE-Sobradinho.

Importante ressaltar que na represa de Sobradinho há uma usina flutuante em operação com 1 MWp. Levando em consideração os valores de $\gamma = 24,47\%$ e da irradiação média diária tem-se 244.700 W de geração contínua, correspondendo a 0,023% da produção diária da usina por meio das turbinas (CHESF, 2019).

Tabela 4 – Avaliação das potências das usinas de geração de energia solar sobre a área da represa da Hidrelétrica de Sobradinho

UHE	Área (km ²)	Quantidade máxima na área alagada ^a	Capacidade de geração/ unidade(MWp)	Avaliação de potência de pico (MWp)	Potência de geração contínua (MW)
Sobradinho	4.214	1,00	1.050	1.050,00	^b 1.050,00
<i>Ouarzazate</i>	25	168,56	510	85.965,60	^c 21.035,78
<i>Ivanpah</i>	13	324,15	392	127.068,30	^c 31.093,61
Painéis PV	10 ⁻⁶	4,124×10 ⁹	100×10 ⁻⁶	421.400,00	^c 103.116,58

^aQuantidade de usinas ou painéis PV baseados na área total da UHE-Sobradinho. ^b Produção diária por meio da vazão da água através das turbinas (dia e noite). ^cIrradiação solar diária média mensal 5,875 kWh/m².dia, correspondente a um fator $\gamma = 24,47\%$ da avaliação da potência de pico (Ver Tabela (3)).

Fonte: Os autores, 2021

Na segunda análise, está sendo considerada a área da represa da UHE-Tucuruí (Ver Tabela (5)). A área da represa de Tucuruí, 3.007 km², é equivalente 120,28 áreas da usina solar *Ouarzazate*. Utilizando a área do tamanho de Tucuruí para a construção de 120,28 usinas solares *Ouarzazate*, seria possível a produção de energia com potência máxima de 61.200,8 MWp, na mesma região. Em termos de geração contínua, seria produzido o equivalente a 12.458,72 MW, considerando o fator de rendimento $\gamma = 20,31\%$ na irradiação média diária local, o que corresponde a aproximadamente 1,48 vezes a produção diária da UHE-Tucuruí.

Ao se comparar desta vez com a usina solar *Ivanpah* é visto que a área Tucuruí é 231,30 vezes a área dessa usina. Sendo assim, a produção diária teria uma potência máxima de 90.552,60 MWp. Em termos de geração contínua, seria produzido o equivalente a 18.414,99 MW, correspondendo a aproximadamente 2,20 vezes a produção diária da UHE-Tucuruí.

Comparando agora, em termos de painéis solares de 1,00 m², com 10% de eficiência, a área de Tucuruí é 3,007 × 10⁹ vezes a área de um painel PV de 1,00 m². Com isso, a produção diária teria uma potência equivalente a 300.700 MWp. Em termos de geração contínua, seria produzido 61.072,17 MW, o que corresponde a aproximadamente 7,3 vezes a produção diária de UHE-Tucuruí.

Tabela 5 – Avaliação das potências das usinas de geração de energia solar sobre a área represa da Hidrelétrica de Tucuruí

UHE	Área (km ²)	Quantidade máxima na área alagada ^d	Capacidade de geração/ unidade(MWp)	Avaliação de potência de pico (MWp)	Potência de geração contínua (MW)
Tucuruí	3.007	1,00	8.370	8.370,00	^e 8.370,00
<i>Ouarzazate</i>	25	120,28	510	61.200,80	^f 12.458,72
<i>Ivanpah</i>	13	231,30	392	90.552,60	^f 18.414,99
Painéis PV	10 ⁻⁶	3,007 × 10 ⁹	100 × 10 ⁻⁶	300.700,00	^f 61.072,17

^dQuantidade de usinas ou painéis PV baseados na área total da UHE-Tucuruí. ^e Produção diária por meio da vazão da água através das turbinas (dia e noite). ^fIrradiação solar diária média mensal 4,875 kWh/m².dia, correspondente a um fator $\gamma = 20,31\%$ da avaliação da potência de pico (Ver Tabela (3)).

Fonte: Os autores, 2021

A Figura (3) mostra o comparativo de potência de geração de usinas fotovoltaicas flutuantes sobre as UHEs de Sobradinho e de Tucuruí. Pode-se observar que a região de Sobradinho é mais propícia a construção dessas usinas e, graficamente, se observa uma intensidade de potência de geração contínua que chega a ser:

$$I_{Tucuruí} = 61.072,58 \text{ MW} / 3.007 \text{ km}^2 = 20,31 \text{ MW} / \text{km}^2 \quad (10)$$

$$I_{Sobradinho} = 103.116,58 \text{ MW} / 4.217 \text{ km}^2 = 24,45 \text{ MW} / \text{km}^2 \quad (11)$$

Os valores das Equações (10) e (11) obtidos correspondem a 20,31 W/m² e 24,45 W/m², respectivamente. Isto mostra que a instalação de usinas fotovoltaicas flutuantes na superfície do lago da UHE-Sobradinho chega a ter uma produção de energia 20,38% maior para mesma área utilizada, tornando o lago da Usina de Tucuruí menos competitiva para implantação dessa tecnologia do que o de Sobradinho.

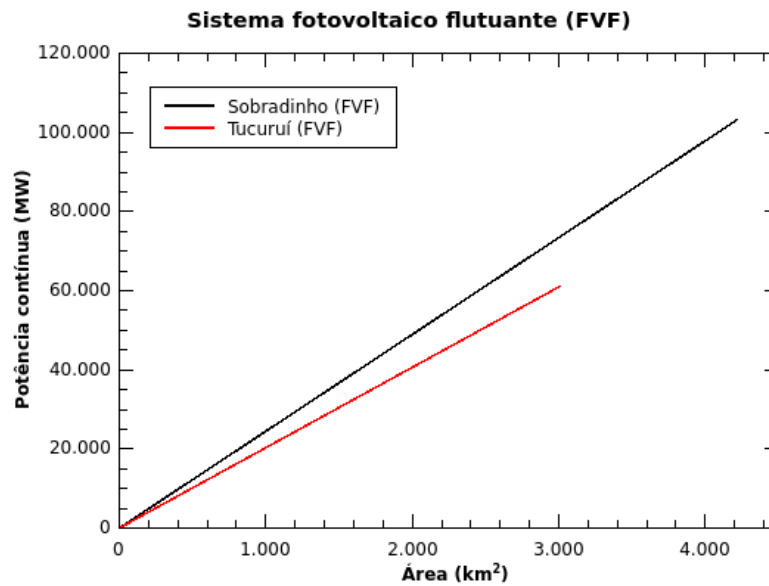


Figura 3 – Potência contínua em função da área
Fonte: Os autores, 2021

As Figuras (4) e (5) mostram o comparativo de potência de geração de usinas fotovoltaicas flutuantes sobre as UHEs de Sobradinho e de Tucuruí em comparação com as usinas de *Ouarzazate* e *Ivanpah*, respectivamente. Em ambos os casos, as usinas de painéis fotovoltaicos flutuantes produziram energia de forma mais eficiente.

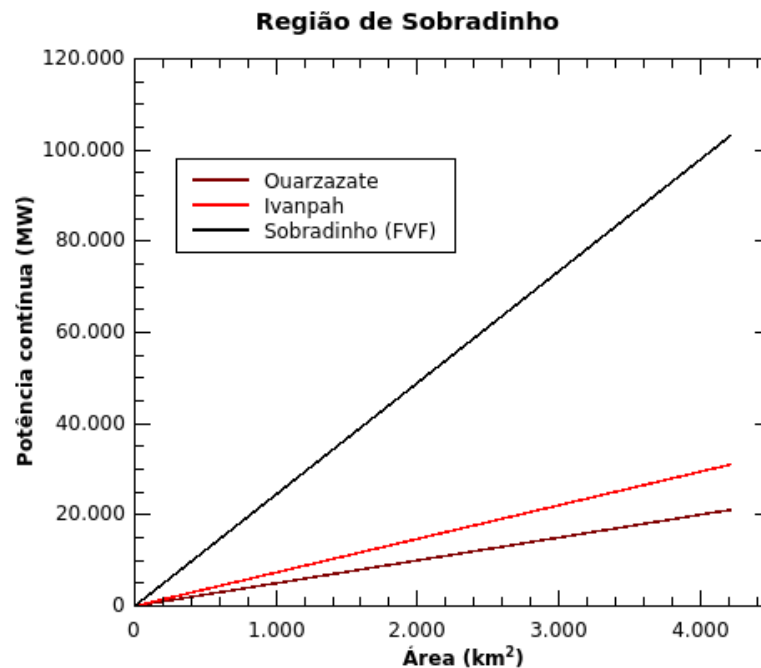


Figura 4 – Comparação de potência contínua versus área na região de Sobradinho
Fonte: Os autores, 2021

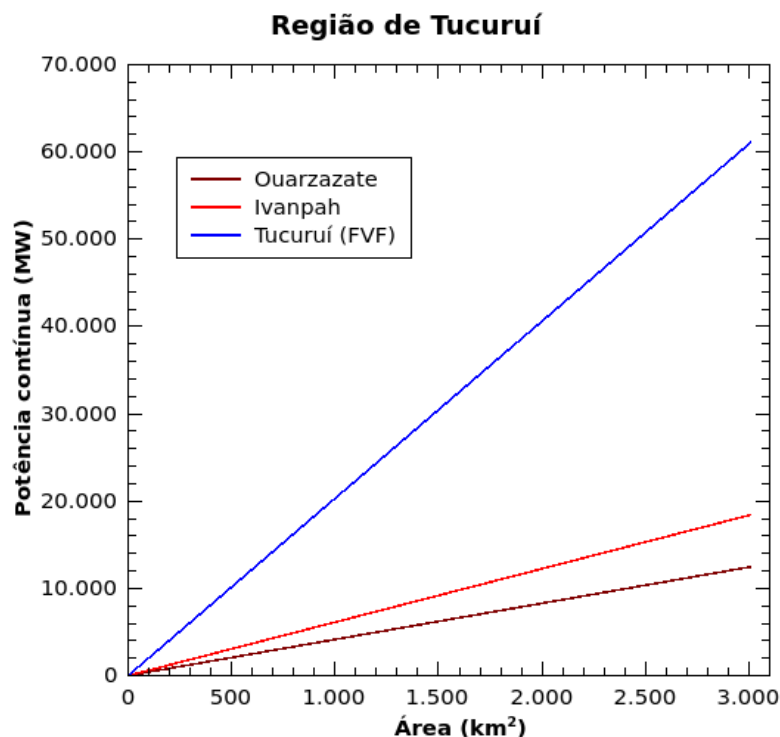


Figura 5 – Comparação de potência contínua *versus* área na região de Tucuruí
Fonte: Os autores, 2021

Através dessas análises, é possível perceber que cada metro quadrado dos lagos das UHEs poderia ser aproveitado com sistemas flutuantes para a produção de energia. Com a implementação de painéis PV com 10% de eficiência com dimensões de 1,00 m² essa produção diária varia de 7,3 a 98,2 vezes a energia produzida pelas UHEs de Tucuruí e Sobradinho, respectivamente. A soma das potências de geração contínua das duas usinas é de 164,2 GW, esse resultado mostra que as áreas analisadas produziriam uma potência de geração contínua correspondente a 91,21% da potência nacional que é de 180 GW.

5 DESAFIOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação de uma planta de geração de energia fotovoltaica por meio dos sistemas flutuantes demanda novos desafios. Por se tratar de um procedimento não convencional de instalações de sistemas fotovoltaicos, sistemas esses sensíveis e complexos, exigiria o suporte e a logística de empresas de alta capacidade técnica capaz de realizar o transporte seguro de equipamentos diversos e pessoas habilitadas, inclusive mergulhadores. Os custos de implantação de um sistema fotovoltaico fluvial devem levar em consideração a logística aquática.

Outro desafio importante é compreender quais os impactos que um grande conjunto de

painéis flutuantes podem produzir no meio ambiente. Há vários fatores pertinentes, porém, podemos focar em dois fatores que evidenciam ser os mais proeminentes no quesito ambiental e despertam nossa curiosidade imediata. O primeiro é como a sombra dos painéis podem afetar as propriedades físico-químicas da água, tais como a temperatura, a dispersão do oxigênio e o pH da água. Questões como estas demandam estudos mais específicos a cerca da relação entre os fatores e a adaptação dos peixes à essas mudanças. Outra questão que desperta curiosidade é a redução da evaporação da água, ou seja, uma redução na perda do volume de água por evaporação. Um desafio é analisar como a redução de evaporação afetaria a umidade atmosférica local e seus impactos na vegetação, já afetada pelas altas temperaturas e pouca precipitação inerente a região do semi-árido.

A consolidação da tecnologia de usinas fotovoltaicas flutuantes no Brasil diversificaria a matriz energética nacional sendo possível a exportação do excedente proveniente da geração e a diminuição dos preços na conta de luz do consumidor. As análises numéricas da capacidade de geração de energia fotovoltaica das superfícies inundadas, apresentadas neste trabalho, podem também ser estendidas para áreas dos canais de transposição do Rio São Francisco, o que iria desencadear a diversificação da economia, gerando emprego e renda na ampliação da capacidade de produção de energia elétrica nacional. Além disso, a alimentação para as linhas de transmissão poderia ser alternadas: pelo dia a alimentação da rede poderia ser pelo sistema fotovoltaico flutuante e à noite, as linhas de transmissão seriam alimentadas pelas UHEs.

Os objetivos deste trabalho foram alcançados, pois os resultados obtidos e apresentados através de figuras e tabelas mostram que o uso de apenas duas áreas de hidrelétricas produziriam energia para atender a necessidade do país. A redução dos custos, nos próximos 20 anos, sugere que a viabilidade econômica estaria assegurada.

REFERÊNCIAS

AASP. **Dólar**. 2021. Disponível em: <<https://www.aasp.org.br/suporte-profissional/indices-economicos/atualizacao-mensal/dolar/>>. Acesso em: 27 nov. 2021.

AGUIAR, B. F. **Workshop de energia heliotérmica**. 2019. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/arquivos/mesa1_bernardo_epe.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

AHLERT, V. S. C. **Técnicas de estimação de parâmetros de módulos fotovoltaicos**. 2017. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Graduação em Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, 2017.

ANEEL. **Aperfeiçoamento do sistema de bandeiras tarifárias**. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2015/053/resultado/ntecnica_aneel_226_2015.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2020.

_____. **Leilão de energia garante investimento de R\$ 11,2 bilhões**. 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/leilao-de-energia-garante-investimento-de-r-11-2-bilhoes/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 30 mar. 2020.

_____. **Capacidade de geração de energia no Brasil supera os 180 GW**. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/capacidade-de-geracao-de-energia-no-brasil-supera-os-180-gw/656877?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2F%2Fsala-de-imprensa-exibicao-2%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D3>. Acesso em: 27 nov. 2021.

_____. **Resultado leilão - 008/2021-ANEEL - Resumo Vendedor**. 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/Resultados_Leilao_8-2021-A-5.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2021.

_____. **Sistema de informação de geração da ANEEL SIGA: Capacidade de geração do Brasil**. 2021. Disponível em: <<https://bit.ly/2IGf4Q0>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

BARRETO, A. V. **Expansão da geração**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-466/NT%20Solar%20Fotovoltaica%20Flutuante.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2021.

BIROL, F. **Key World Energy Statistic 2021**. 2021. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/52f66a88-0b63-4ad2-94a5-29d36e864b82/KeyWorldEnergyStatistics2021.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2021.

BRAGA, T. **Cristalina terá primeira usina fotovoltaica flutuante em propriedade rural no Brasil**. 2017. Disponível em: <<https://www.irrigoias.com.br/post/cristalina-ter%C3%A1-primeira-usina-fotovoltaica-flutuante-em-propriedade-rural-no-brasil>>. Acesso em: 22 mar. 2020.

CABELLO, A. F.; POMPERMAYER, F. M. **Energia fotovoltaica ligada rede elétrica: atratividade para o consumidor final e possíveis impactos no sistema elétrico**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2013. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/963/1/TD_1812.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.

CASTRO, C. N. **Transposição do rio São Francisco: Análise de oportunidade do projeto**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2011. 57 p. Disponível em: <https://ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_1577.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2020.

CHESF. **Chesf energiza usina solar flutuante**. 2019. Disponível em: <https://www.chesf.gov.br/_layouts/15/Chesf_Noticias_Farm/Noticia.aspx?IDNoticia=373>. Acesso em: 07 mar. 2020.

DANTAS, S. G.; POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2018. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2388.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2020.

GRÄTZEL, M. Photoelectrochemical cells. *Nature*, v. 414, p. 338, 2001.

LO, T. **Is Beijing becoming a global climate leader? Chinese company builds worlds largest floating solar plant that could power 15,000 homes**. Mail Online, 2017. Disponível em: <<https://www.dailymail.co.uk/news/article-4589114/China-builds-world-s-largest-floating-solar-plant.html>>. Acesso em: 07 mar. 2020.

LOONEY, B. **Statistical Review of World Energy 2021|70th edition**. 2021. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2021.

MELLO, F. M. **A história das barragens no Brasil, séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do comitê brasileiro de barragens**. Rio de Janeiro: CBDB, 2011. 524 p.

NEOSOLAR. **Qual o preço de uma placa solar fotovoltaica?** 2021. Disponível em: <<http://hidro.gd/calculando-a-energia-gerada/>>. Acesso em: 27 nov. 2021.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos - SP: [s.n.], 2017.

PEREIRA, S. B. et al. Evaporação líquida no lago de sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, p. 346–352, 2008.

PIZA, F. J. B. T. **Como medir a energia hidráulica e hidrelétrica?** 2012. Disponível em: <<http://hidro.gd/calculando-a-energia-gerada/>>. Acesso em: 21 nov. 2021.

PORTALSOLAR. **Custo de instalação de sistemas de energia solar flutuante é até 18% maior que em terra**. 2020. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/custo-de-instalacao-de-sistemas-de-energia-solar-flutuante-e-ate-18-maior-que-em-terra.html>>. Acesso em: 25 nov. 2021.

SOLAR, P. **Usina solar fotovoltaica flutuante começa a ser produzida na região do Amazonas**. 2017. Disponível em: <portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/usina-solar-fotovoltaica-flutuante-comeca-a-ser-produzida-na-regiao-do-amazonas.html>. Acesso em: 26 mar. 2020.

STEINER, R. M. **Calculando a energia gerada**. 2018. Disponível em: <<http://hidro.gd/calculando-a-energia-gerada/>>. Acesso em: 21 nov. 2021.

SWANSON, R. M. A vision for crystalline silicon photovoltaics. *Progress in photovoltaics: Research and Applications*, v. 14, p. 443–453, 2006.

TIERRE, C. E. 2012. Disponível em: <<https://www.ciel-et-terre.net/hydrelio-floating-solar-technology/hydrelio-products/>>. Acesso em: 08 mar. 2020.

TOLMASQUIM, M. T. et al. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012. Disponível em: <https://www.vario.com.br/VarioECP/arquivos/Downloads/NT_EnergiaSolar_2012_EPE.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.

M. VELOSO e A. GAVEAU. **Panel Supporting Device**. 2012. WO2012139998A2. Disponível em: <<https://patentimages.storage.googleapis.com/28/1d/fc/4ff9208f31860f/WO2012139998A2.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

DADOS DOS AUTORES

Nome: Angélica da Silva

E-mail: angelicamagaly@gmail.com

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6641766556373236>

Possui graduação em Licenciatura em Física pela Universidade Federal de Alagoas - UFAL (2016), onde atuou na área de Física Aplicada (Óptica) e na área de educação (Ensino de Física e Ensino de Ciências). Possui mestrado em Engenharia Elétrica Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (2018), onde atuou no Departamento de Engenharia Elétrica - DEE, com área de estudo voltada para as energias renováveis com ênfase em sistemas fotovoltaicos. De julho de 2018 até abril de 2020 atuou no Eixo Tecnológico das Engenharias Civil e de Produção, na UFAL - Campus do Sertão, como docente substituta na área de Física, lecionando nos níveis iniciais Cálculo, Física e Laboratório de Física. No curso de Pedagogia, desta mesma instituição, lecionou Estatística Educacional. Atualmente, atua na rede básica de educação no estado de Pernambuco (SEE-PE) como docente de Física e também atua como pesquisadora colaboradora no Laboratório de Energia Solar - Campus do Sertão da Universidade Federal de Alagoas e no Núcleo de Produção de Energia do Semiárido Alagoano/NUPRES-AL.

Nome: Marcelo Felisberto de Lima

E-mail: marcelo.lima@delmiro.ufal.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9657694486529268>

Possui graduação em Física pela Universidade Federal de Alagoas - UFAL (2004) e mestrado em Física da Matéria Condensada, UFAL (2007). Doutorado concluído em 2011 na mesma instituição, sob a orientação do Prof. Dr. Madras Viswanathan Gandhi Mohan, (prof. titular livre no Departamento de Física da UFRN). Trabalha com propriedades de Scaling em modelos de caminhadas aleatórias Markovianas e não-Markovianas do tipo Lévy e Alzheimer. Possui experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Hardware, protocolos de redes do tipo NIS e NFS para clusters com sistema Debian Linux. Professor Associado I na Universidade Federal de Alagoas/Campus do Sertão. Fui Coordenador da Coordenadoria de Gestão Institucional (CoGInst) no Campus do Sertão entre os anos de 2013 e 2017. Sou membro das comissões de avaliação de estágio probatório, comissões de progressão de adjuntos, associados e titulares. Atualmente estou coordenador do Curso de Ciências: Biologia, Física e Química do Programa PRIL.

Nome: Fernando Pinto Coelho

E-mail: fernando.coelho@delmiro.ufal.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3939158456013182>

Perito em Análise Ambiental pela Corregedoria do Tribunal de Justiça do Estado de Alagoas (2019). Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, área de concentração em Energias Renováveis (2018). Tem formação em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, pela Fundação Getúlio Vargas – FGV, realizou projetos de pesquisa na área ambiental. Consultor Ad Hoc do Ministério da Educação e Cultura – MEC. Líder do Grupo de Pesquisa do Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica (CNPQ) – Núcleo de Produção de Energia do Semiárido de Alagoas – NUPRES/ AL. Prof. da área de Hidrografia e da disciplina Avaliação de Impactos Ambientais, pela Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento – Universidade Federal de Alagoas. Master Business Administration (MBA) em Gestão Empresarial – Fundação Getúlio Vargas – FGV. Graduado em Geografia pela Universidade Federal de Alagoas.

Nome: Agnaldo José dos Santos

E-mail: agnaldo@delmiro.ufal.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6344341038743655>

Graduado em Física Bacharelado pela Universidade Federal de Alagoas - UFAL (2003). cursou mestrado (2005) e doutorado (05/2010) no Programa de Pós-Graduação em Física da Matéria Condensada na UFAL. É professor efetivo da UFAL e leciona disciplinas de Física e Matemática nos cursos de Engenharia Civil e de Engenharia de Produção do Campus do Sertão. Tem experiência em ensino de curso superior. Fez estágio de doutorado no Laboratório de Nanotecnologia e Energia Solar da UNICAMP. A tese de doutorado em Física pela UFAL/UNICAMP envolve as seguintes áreas: Simulação computacional com programação em linguagem C++ de dinâmicas de difusão eletrônica em células solares, pesquisa e desenvolvimento de células solares de TiO₂ com ênfase na dinâmica de recombinação cinética, comportamento não linear da resistência interna e energia solar. Tem conhecimentos do estado da técnica de deposição de filmes condutores de SnO₂, sobre vidro, pelo método LPD (Liquid Phase Deposition). Atualmente, é Diretor Geral do Campus do Sertão da UFAL com Sede em Delmiro Gouveia-AL. Como pesquisador é líder e fundador do Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico em Energia e Recursos Naturais - GPDTERN, é Coordenador Laboratório de Energia Solar e liderou a fundação do Programa Permanente de Pesquisa, Ensino, Extensão e Inovação em Desenvolvimento de Sistemas Sustentáveis e Autossustentáveis/P3E2IDS2A no Campus do Sertão, sendo o Coordenador do Programa. Atua também com pesquisador no Núcleo de Produção de Energia do Semiárido Alagoano/NUPRES-AL.