

# ESTUDO DO POTENCIAL DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO FLUTUANTE NO AÇUDE SANTO ANASTÁCIO PARA COMPENSAÇÃO DE CONSUMO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Andreza Cavalcante Maranhão Melo

Breno Bezerra Freitas – brenobf93@gmail.com

Paulo Cesar Marques de Carvalho

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

## 1.1. Recurso solar e meteorologia da radiação solar

**Resumo.** O presente trabalho avalia o potencial Fotovoltaico Flutuante (FVF) no açude Santo Anastácio para o estudo de compensação de consumo do campus Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC). A pesquisa analisa o consumo para o ano de 2022 a fim de realizar o dimensionamento de plantas FVF nos diferentes cenários de compensação e determinar também a área limite a qual a usina pode ocupar no espelho d'água para mitigar impactos no ecossistema local. A partir disso, é realizado o cálculo da geração anual FVF através do software PVsyst, onde considerou-se cenários com módulos bifaciais ativados e desativados e com perdas no sistema. Dessa maneira, são definidos três cenários, onde o primeiro representa 50% de compensação do consumo, o segundo 75% de compensação e o terceiro 100% de compensação. Logo, as potências nos diferentes cenários são: 2.833 kWp, 4.237 kWp e 5.666 kWp, ocupando respectivamente 37,44%, 56% e 74,8% da área disponível. Assim, a geração anual para cada cenários sem perdas é de 5.843.896 kWh, de 8.764.356 kWh e de 11.685.900 kWh, respectivamente. Ao utilizar o PVsyst e considerar perdas, obtém-se no cenário 1 4.782.138 kWh sem bifacialidade e 5.129.181 kWh com bifacialidade, no cenário 02 são 7.158.145 kWh sem bifacialidade e 7.694.455 kWh com bifacialidade e no cenário 03 são 9.433.748 kWh sem bifacialidade e 10.148.572 kWh com bifacialidade, onde as perdas variam entre 12,20 % e 19,27 % em relação à geração ideal.

**Palavras-chave:** Potencial Fotovoltaico Flutuante. Açude Santo Anastácio. Compensação de consumo

## 1. INTRODUÇÃO

Na busca por soluções alternativas de geração de energia elétrica, o mercado da fotovoltaica (FV) tem ganhado bastante destaque e está ocupando uma parcela considerável como fonte de energia no planeta, desempenhando também um papel importante na redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Segundo PVPS (2023), a base FV global em 2022 atingiu 1.185 GW de potência instalada, sendo que desse total, o Brasil produziu 23,6 GW. Dessa maneira, considerando apenas 60% desses sistemas FV instalados em 2022 com uma geração de energia superior aos 50% é possível proporcionar uma redução de aproximadamente 1.399 Mt de emissões CO<sub>2</sub> por ano. De acordo com o infográfico de outubro da ABSOLAR (ABSOLAR, 2023), a geração FV no Brasil ocupa 15,6% da sua matriz energética e vem evoluindo bastante, com potência instalada superior a 34,2 GW, sendo a Geração Distribuída (GD) responsável por 70% dessa produção.

A geração FV está presente de forma ascendente no mercado global, sendo que em alguns países, devido à escassez de terras para instalação de usinas solares no solo, são utilizadas plataformas flutuantes para adequar o sistema em corpos d'água e essa tecnologia está se tornando também uma realidade no Brasil. Atualmente, os projetos nesse segmento somam cerca de 3,4 GW em todo o mundo, onde a maior parte está localizada na região da Ásia-Pacífico Canalsolar (2023). Os sistemas fotovoltaicos flutuantes (FVF) apresentam previsões promissoras quanto à potência instalada, pois segundo Wood Mackenzie (2023), o mercado de FVF pode ultrapassar os 6 GW de potência instalada até 2031. No Brasil, o potencial FVF também apresenta elevado potencial, pois cobrindo apenas 1% dos reservatórios a previsão é ter capacidade instalada superior a 40 GW, sendo as regiões Nordeste e Sudeste as que apresentam os maiores potenciais segundo Lopes (2022). Além disso, de acordo com a EPE (2023), não há impedimentos regulatórios quanto a inserção dessa tecnologia no Brasil. Dessa maneira, a instalação de FV em espelho d'água indica uma alternativa viável.

Ademais, a Lei 14.300 (Brasil, 2022) institui o marco legal da GD, onde redefine as condições gerais para o sistema de compensação e adequa as regras das conexões de Micro e Minigeração Distribuída e apesar da maioria das instalações nacionais serem em ambientes residenciais e comerciais, o setor público também é atendido, sendo o objetivo deste trabalho fazer uma análise do potencial FVF da Universidade Federal do Ceará (UFC) utilizando o Açude Santo Anastácio (ASA), localizado parcialmente no campus Pici, para atender seu consumo. Para isso, realiza-se o dimensionamento da usina FVF e analisa-se diferentes cenários de compensação com auxílio do *software* PVsyst.

## 2. PANORAMA DAS APLICAÇÕES EM FVF

Segundo PV MAGAZINE (2023) e PV MAGAZINE (2020), as instalações FVF estão se consolidando no mercado e umas das razões para esse impulso é a escassez de terras planas em alguns países e a redução da evaporação da água. E apesar dos preços ainda serem mais elevados em comparação com as instalações montadas no solo, estudos iniciais comprovam que o rendimento é maior em comparação aos sistemas FV tradicionais, apresentando outras vantagens como: menor degradação do módulo, redução do crescimento de algas e menor propensão a acumular poeira. Além disso, os primeiros projetos FVF montados foram desenvolvidos com a finalidade de P&D, e o primeiro montado com esse objetivo foi instalado no Japão, em Aichi, em 2007.

Ainda segundo PV MAGAZINE (2023), a previsão anual de flutuantes por região no mundo é disponibilizada na Fig. 1, sendo estas informações de outubro de 2022.

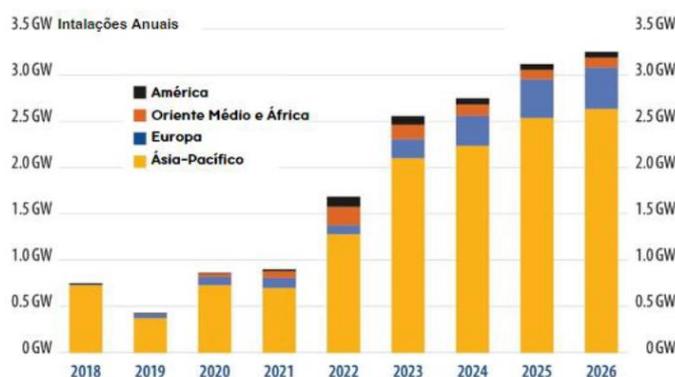


Figura 1 – Previsão anual de Flutuantes no Mundo

As plantas FVF estão presente em mais de 60 países. Sendo que 35 países abrigam cerca de 350 sistemas operacionais com uma capacidade cumulativa de aproximadamente 2,6 GW. Neste contexto, prevê-se que a Ásia represente cerca de mais de 60% da procura global, tendo influência principalmente da China, Índia, Coreia do Sul, Taiwan, Tailândia e Vietnã (PV MAGAZINE, 2023).

No caso do Brasil, não existem impedimentos regulatórios para tecnologia FVF pelo menos no viés do setor elétrico, mas atualmente existem apenas usinas experimentais, sendo que a maior usina em operação se encontra no reservatório da barragem de UHE de Sobradinho, na Bahia com potência de 1 MWp (EPE, 2023).

Em São Paulo, a CESP tem uma usina FVF com uma potência de 50 kWp no reservatório da UHE Porto Primavera, em Rosana – SP (EPE, 2023) e em Pernambuco, no arquipélago de Fernando de Noronha, o grupo COMPENSA prevê a construção de um FVF no espelho d'água do açude Xaréu, uma área de 4.900 m<sup>2</sup> e com estimativa de produzir 1.238 MWh (ABSOLAR, 2023).

## 3. METODOLOGIA APLICADA

### 3.1 Caracterização da área de estudo

O ASA é uma importante fonte litorânea localizada parcialmente no Campus do Pici da UFC, em Fortaleza-CE e sua construção data de 1918 (Araújo, 2003). Seu perímetro é em torno de 3.000 metros. Com coordenadas de localização: 3°44'36.0"S 38°34'15.0"W. Atualmente o açude encontra-se completamente urbanizado e é contornado pelos bairros: Padre Andrade, Presidente Kennedy, ParqueLândia, Amadeu Furtado, Bela Vista, Panamericano e Pici.

O reservatório é localizado em um ambiente urbano dentro de uma região com precipitação média de 1.338 mm caracterizado por um período chuvoso entre janeiro e maio e clima Tropical Quente Sub-Úmido, de acordo com dados analisados em 2017 (Ceará, 2017). Além disso, está localizado em uma área que apresentou temperaturas máxima de 33.8 °C e mínima de 21.0 °C e velocidade média dos ventos de 3.2 m/s, de acordo com os dados do INMET, 2022. O açude envolve uma Bacia Hidráulica que possui cerca de 12,8 hectares e bacia hidrográfica com aproximadamente 134.400 m<sup>2</sup>. Sua barragem possui 182 m de comprimento e sua capacidade de armazenamento d'água, inicialmente era de 500.000 m<sup>3</sup>

De acordo com Mesquita (2020), o espelho d'água do açude é em média 16,00 ± 2,6 ha e possui profundidade de 4,79 ± 0,56 m, o que torna o reservatório relativamente raso. E por conta da eutrofização, a superfície do lago é parcialmente coberta por macrófitas de cerca de 24 ± 6,2 % do reservatório. Além disso, a água é descarregada por um vertedouro que possui uma largura de 2,0 m, assim, o volume permanece praticamente constante (Fraga, 2020). De acordo com Fraga (2020), a superfície média do lago é em torno de 16,00 ha e com uma profundidade máxima de cerca de 5 m. A temperatura da água no lago é aproximadamente 30 °C durante todo o ano.

### 3.2 Metodologia para definição da área limite

Segundo Reges (2022), após obter os dados históricos do açude é necessário definir a área inundada pelo comportamento hidrológico quanto à variabilidade ao longo dos anos. Como o Açude apresenta valores constantes é possível considerar o espelho d'água como um dado estacionário desconsiderando a área da superfície que é parcialmente coberta por macrófitas.

Sequencialmente é necessário verificar as condições máximas para a área da planta FVF e o limite superior indicado por Haas (2020) é que a faixa de ocupação da planta FVF em reservatórios é entre 40-60% para não afetar o ecossistema aquático. Dessa forma, é adotado esse mesmo critério para o Açude Santo Anastácio.

Em seguida, conforme Strangueto (2016), é indicado que 34% da área definida da usina FVF deve ser destinada para o espaçamento entre os flutuadores e a zona de manutenção. Logo, a área restante 66% devem ser utilizados para o sistema, ou seja, a área reservada aos módulos.

Por fim, conforme (Reges, 2022) deve ser calculado a potência instalada da planta FVF, para isso é utilizado a área e a potência de cada módulo FV, sendo possível também obter a produção de eletricidade com dados de radiação diária do local. Dessa forma, com as informações do LABREN, a média diária da irradiação no plano inclinado para o Estado do Ceará na região de estudo é 5,75 kWh/m<sup>2</sup>.dia. E para obter a produção de eletricidade ideal é necessário multiplicar a potência instalada dos módulos pela Horas de Sol Pleno, e esta última por sua vez, é obtida dividindo a irradiação local desejada por 1 kW/m<sup>2</sup>, pois é uma grandeza que indica o número de horas que a irradiância alcança a taxa constante de 1 kW/m<sup>2</sup>.

A Fig. 2 detalha por meio de um fluxograma a metodologia para determinação da área limite para planta FVF e a obtenção da sua capacidade instalada.

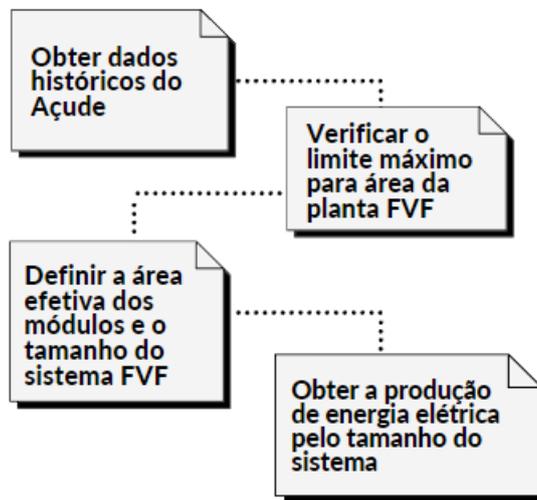


Figura 2 – Fluxograma da Metodologia para determinação da área limite da planta FVF e a obtenção da sua capacidade instalada

### 3.3 Determinação da área limite para o sistema FVF

Seguindo a metodologia, o primeiro passo é definir a área inundada e para o estudo é considerado o reservatório com área disponível de 16 ha ou 0,16 km<sup>2</sup> e é necessário desconsiderar a ocupação de macrófitas com uma porcentagem de 30,2%. Dessa forma, a área inundada obtida é de 0,11 km<sup>2</sup>.

Aplicando o segundo passo, o valor limite adotado para ocupação é de 50%. Dessa forma, a área FVF obtida é 0,055 km<sup>2</sup>. E a partir desse valor, a área limite ocupada pelos módulos FVF é 0,036 km<sup>2</sup>. O último passo é calcular a capacidade instalada, de forma que são projetados módulos de 590 Wp, cujas dimensões são 2172x1303x35 mm e é calculado uma potência total de 7,5 MWp com 12.720 módulos para o sistema. E a produção de eletricidade mensal obtida com essa geração corresponde a 1.293.750 kWh.

### 3.4 Metodologia de dimensionamento do sistema FVF

Para realizar o dimensionamento da FVF será necessário analisar as contas de energia do campus do Pici da UFC para projetar um sistema que atenda ao consumo parcial e total em diferentes cenários e assim conseguir verificar as taxas de ocupações dos sistemas estimados em relação a área inundada do açude. Dessa maneira, serão estudados três cenários de compensação com base na análise das contas de energia da UFC.

Inicialmente, é necessário verificar que as contas de energia da UFC se enquadram no grupo A, subgrupo A3. Os consumidores desse grupo têm a tarifa binômia, e por isso são tarifados tanto pelo consumo de energia [kWh], quanto pela demanda [kW].

De acordo com Soprano (2023) e Ayrão (2023), inicialmente é necessário definir o período para o estudo e levantar o histórico das contas de energia, separando informações referente ao consumo hora ponta (HP) e hora fora ponta (HFP), demandas HP, HFP e contratada e os valores da tarifa de energia (TE) HP e HFP. Após organizar esses dados é possível calcular as médias dos consumos e obter o dimensionamento da geração HFP.

Sequencialmente, deve ser calculado o fator de ajuste, que é a divisão entre TE HFP e TE HP e a explicação para a utilização desse fator é que a geração do sistema FVF se dará praticamente no horário HFP, e nesse período a tarifa de energia é menor. E como a energia produzida será consumida automaticamente, o excedente de geração deve ser utilizado para compensar o consumo do período HP, no entanto, nesse intervalo a tarifa é maior, sendo assim necessário correção.

O terceiro passo é corrigir o consumo HP aplicando o fator de ajuste para obter o dimensionamento da geradora HP [ajustado]. O cálculo é obtido pela divisão da média dos consumos neste posto tarifário pela média dos fatores de ajustes no intervalo de estudo

O quarto passo é analisar o histórico das demandas, pois a potência máxima do inversor deve ser igual ou menor ao valor da demanda contratada para que não seja necessário realizar o aumento de carga nem adequações na capacidade física da subestação. Além disso, a obtenção dos detalhes da potência, níveis de tensão e proteções da Subestação são fundamentais para verificar a compatibilidade com os dados técnicos do inversor, ao passo que a potência dimensionada para o sistema não deve ser superior a disponibilizada pelo transformador da subestação.

O quinto passo é obter as horas de Sol pleno (HSP). Essa grandeza é obtida consultando as médias diárias de irradiação no plano inclinado [kWh/m<sup>2</sup>. dia] em Fortaleza próximas à região prevista para instalação da FVF e dividindo por 1 kW/m<sup>2</sup>. Esses dados podem ser obtidos pelo LABREN ou pelo CRESESB. Como são dados diários deve ser multiplicado por 30 dias para obter as HSP por mês.

O sexto passo é obter o valor do consumo total considerado para realizar o dimensionamento da FVF.

O sétimo passo é realizar o dimensionamento do sistema FVF considerando 50%, 75% e 100% do consumo do campus do Pici. Importante destacar que todas as perdas CA/CC são desconsideradas e será obtido um sistema ideal.

O oitavo passo é definir o “carregamento”, ou melhor, a relação entre potência nominal dos módulos pela potência nominal dos inversores. Segundo Stanisci (2019), essa relação costuma ficar entre 1,10 e 1,40. Para o dimensionamento foi adotado um valor de até 1,20. Dessa forma, a potência de geração fica limitada à potência máxima do inversor e a curva de potência versus tempo na saída do inversor fica achata ou grampeada conhecido como efeito clipping. A principal vantagem para sobrecarregar o inversor, conhecido como *oversizing*, é justamente levá-lo a sua capacidade total com uma potência menor. São representados dois cenários, um sem a limitação da potência (linha laranja) e outro com limitação (linha azul). E desde que a energia adicional obtida pelo *oversizing* seja superior a energia que não foi produzida tem-se um FDI (fator de dimensionamento do inversor) favorável, e consequentemente, um sistema otimizado.

O nono passo é determinar a quantidade de módulos e inversores necessários para cada sistema dimensionado. As potências para o módulo e inversor já foram escolhidas no capítulo 05, sendo 590 Wp e 200 kW, respectivamente. Dessa maneira, a quantidade de módulos é obtida realizando a divisão da potência total do sistema pela potência do módulo escolhida. E a quantidade de inversores é obtida respeitando a relação “DC/AC Ratio” de até 1,20.

Por último, para definir a área utilizada do açude pelos sistemas dimensionados é necessário a área dos módulos pela quantidade dos mesmos, considerando como 66% a área dos módulos em relação à total, e para obter a taxa de ocupação em relação ao limite máximo útil da área da planta FVF é necessário considerar o valor 0,66 referente à porcentagem indicada para área reservadas somente aos módulos e o valor de 0,0550 km<sup>2</sup> referente a área máxima que a planta FVF pode ocupar.

## 4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FVF

### 4.1 Análise das faturas

Com o auxílio do setor de infraestrutura da UFC (UFCINFRA), obteve-se e analisou-as as faturas de energia do ano de 2022 aplicando a metodologia descrita, o que resultou nas Tab. 1.

### 4.2 Definição dos cenários de compensação

Aplicando a metodologia descrita, o dimensionamento geradora [kWh] HFP e o dimensionamento geradoras [kWh] HP é obtidos. O consumo total considerado [kWh] é obtido somando as duas variáveis determinadas anteriormente. Assim, as Tab. 2 resume os cenários 1, 2 e 3, representando respectivamente as compensações de 50%, 75% e 100%, da aplicação da metodologia.

A lei 14.300 (Brasil, 2022) trouxe mudanças na potência máxima para minigeração distribuída para fonte solar fotovoltaica que passa a ser 3 MW. Assim, no cenário 1, a usina se enquadra em GD, sendo necessário limitar a potência do inversor para 3.000 kW (carregamento = 1,25), mas nos cenários 2 e 3 ela supera o valor estipulado na lei.

Tabela 1 – Média dos ajustes para 2022

Mês	TE HFP	TE HP	Fator de ajuste
Janeiro	0,3440	0,5570	0,6176
Fevereiro	0,3482	0,5637	0,6176
Março	0,3481	0,5636	0,6176
Abril	0,3505	0,5675	0,6176
Mai	0,3702	0,5982	0,6188
Junho	0,4163	0,6707	0,6207
Julho	0,4201	0,6769	0,6207
Agosto	0,3715	0,5984	0,6207
Setembro	0,3646	0,5873	0,6208
Outubro	0,3667	0,5907	0,6208
Novembro	0,3650	0,5879	0,6208
Dezembro	0,3724	0,5999	0,6208
MÉDIA	-	-	0,6179

Tabela 2 – Cenários de compensação do consumo do Pici

Resumo das informações da planta FVF	Cenário 1 (50%)	Cenário 2 (75%)	Cenário 3 (100%)
Consumo considerado [kWh]	486.908	730.363	973.815
Consumo atingido [%]	50%	75%	100%
HSP	172,5	172,5	172,5
Sistema ideal [kWp]	2822,7	4.234	5645,3
Sistema adotado [kWp]	2833,18	4.237	5666,36
Potência dos inversores [kW]	200	200	200
Quantidade dos inversores	12	20	25
Potência total dos inversores [kW]	2.400	4.000	5.000
Quantidade dos módulos	4.802	7.182	9.604
Área estimada necessária do lago [km <sup>2</sup> ]	0,0206	0,0308	0,0412
Taxa de ocupação [%]	37,44	56	74,9

## 5. SIMULAÇÃO NO PVSYS

Para a realização das simulações, foram adotadas as perdas: ôhmicas (3% para perdas no lado CC e 4% para o lado CA e para o transformador: 0,1% para a perda no núcleo e 1% para as perdas resistivas), térmicas, de qualidade dos módulos, de modificadores de ângulo de incidência e sombreamentos. As demais perdas foram desconsideradas por ser um sistema sem registro de parâmetros na literatura e nem aplicações no mercado por se tratar de um sistema ainda pioneiro.

Para determinação do ângulo da inclinação dos módulos e o azimute foi adotado uma regra geral, pois segundo Canalsolar (2023), a orientação dos módulos deve ser voltada ao hemisfério norte, ou seja, ter um azimute de 0° graus e a inclinação deve ser igual ao ângulo de latitude e quando este ângulo é inferior a 10° é adotado valor de 10° como referência.

### 5.1 Simulação para os cenários

#### Cenário 01

A planta FVF será composta por módulos de silício monocristalino, interligados entre si em grupos de 28 e 29 módulos por cadeias também chamados strings. O número de módulos e sua potência máxima unitária estabelecem a potência máxima da instalação, sendo a potência nominal de 2833 kWp e temos uma instalação de:

- 2.842 módulos de 590 Wp, 98 strings e 7 inversores com 14 strings por inversor.
- 1.960 módulos de 590 Wp, 70 strings e 5 inversores com 14 strings por inversor

Assim, a Fig. 3 apresenta o layout simulado no PVSYS para o cenário 01.

Finalizada a simulação, obteve-se os valores de geração de eletricidade em 4.782 MWh para módulos sem bifacialidade e 5.129 GWh para os módulos com bifacialidade.

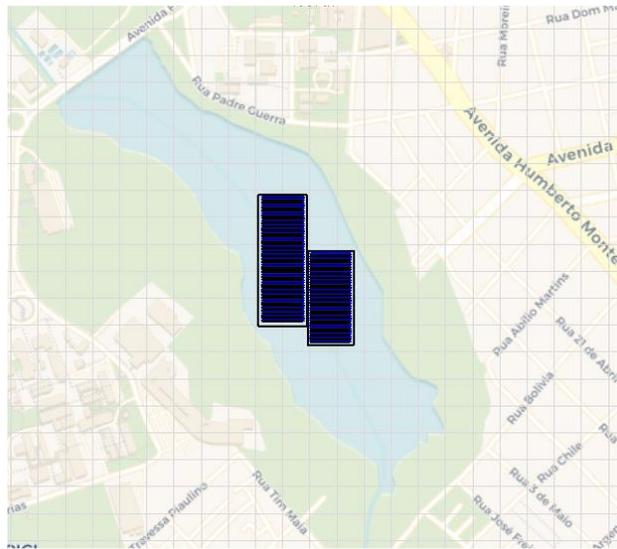


Figura 3 – Simulação Caso 01: 50%

### Cenário 02

A planta FVF será composta por módulos de silício monocristalino, interligados entre si em grupos de 25 e 26 módulos por cadeias também chamados strings. O número de módulos e sua potência máxima unitária estabelecem a potência máxima da instalação, sendo a potência nominal de 4.237 kWp e temos uma instalação de:

- 2.450 módulos de 590 Wp, 98 strings e 7 inversores com 14 strings por inversor.
- 4.732 módulos de 590 Wp, 182 strings e 13 inversores com 14 strings por inversor

Assim, a Fig. 4 apresenta o layout simulado no PVSYST para o cenário 02.

Finalizada a simulação, obteve-se os valores de geração de eletricidade em 7.159 MWh para módulos sem bifacialidade e 7.694 GWh para os módulos com bifacialidade.

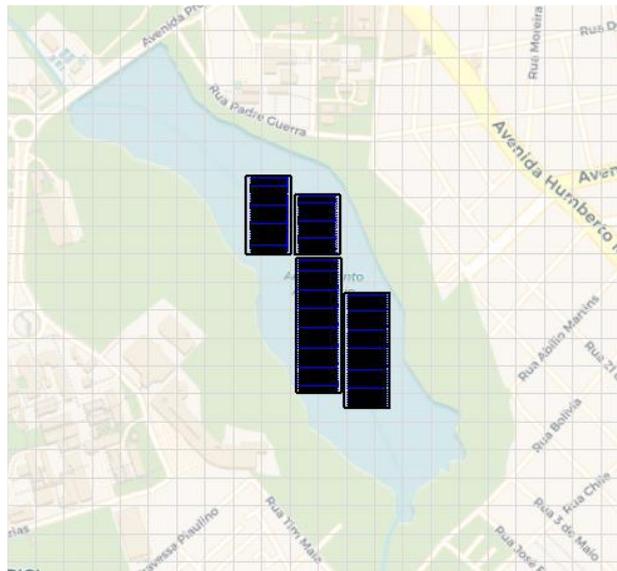


Figura 4 – Simulação Caso 01: 75%

### Cenário 03

A planta FVF será composta por módulos de silício monocristalino, interligados entre si em grupos de 26 e 28 módulos por cadeias também chamados strings. O número de módulos e sua potência máxima unitária estabelecem a potência máxima da instalação, sendo a potência nominal de 5.666 kWp e temos uma instalação de:

- 2.548 módulos de 590 Wp, 98 strings e 7 inversores com 14 strings por inversor.
- 7.056 módulos de 590 Wp, 252 strings e 18 inversores com 14 strings por inversor

Assim, a Fig. 5 apresenta o layout simulado no PVSYST para o cenário 03.

Finalizada a simulação, obteve-se os valores de geração de eletricidade em 9.434 MWh para módulos sem bifacialidade e 10.148 GWh para os módulos com bifacialidade.

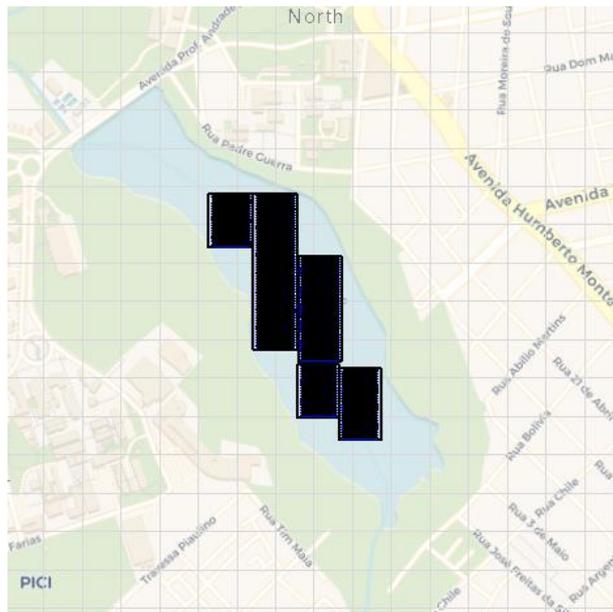


Figura 5 – Simulação Caso 01: 100%

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Cenário 1

A partir do analisado, o cenário 1 apresenta uma geração anual estimada de 5.842.896 kWh, com um sistema FVF com potência instalada de 2.833 kWp e taxa de ocupação do ASA em 37,44%. Diante disso, a Fig. 6 mostra o balanço da produção de energia ao longo dos meses considerando uma geração ideal versus uma geração mais realística com os dados de simulação.

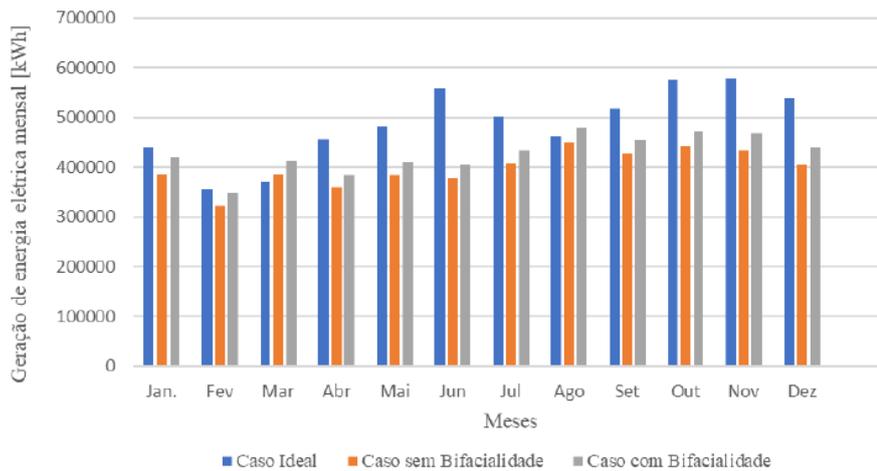


Figura 6 – Balanço de Geração de energia

### 6.2 Cenário 2

A partir do analisado, o cenário 2 apresenta uma geração anual estimada de 8.764.356 kWh, com um sistema FVF com potência instalada de 4.237 kWp e taxa de ocupação do ASA em 56%. Diante disso, a Fig. 7 mostra o balanço da produção de energia ao longo dos meses considerando uma geração ideal versus uma geração mais realística com os dados de simulação.

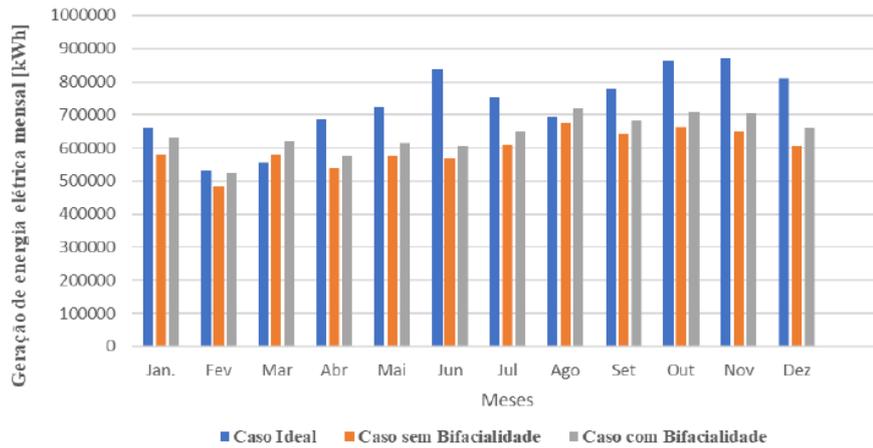


Figura 7 – Balanço de Geração de energia

### 6.3 Cenário 3

A partir do analisado, o cenário 3 apresenta uma geração anual estimada de 11.685.900 kWh, com um sistema FVF com potência instalada de 5.666 kWp e taxa de ocupação do ASA em 74,9%. Diante disso, a Fig. 8 mostra o balanço da produção de energia ao longo dos meses considerando uma geração ideal versus uma geração mais realística com os dados de simulação.

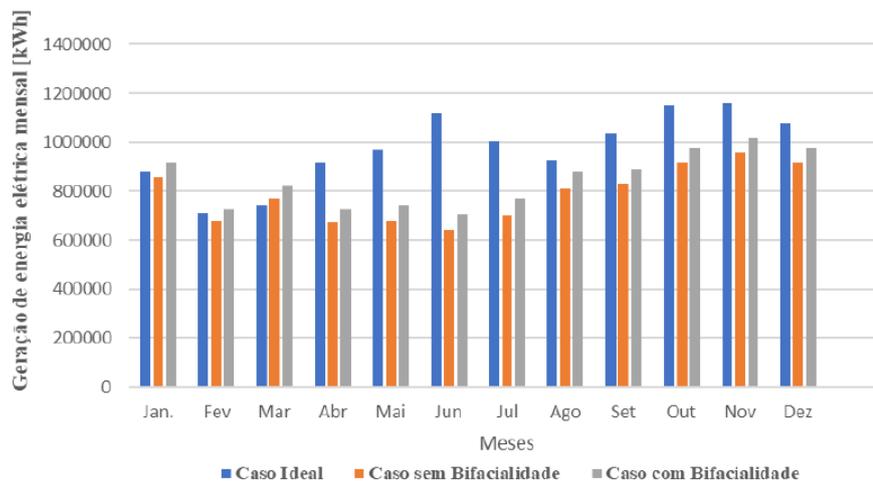


Figura 8 – Balanço de Geração de energia

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho consistiu em fazer o primeiro estudo do potencial FVF na UFC através do açude Santo Anastácio com a previsão de três cenários de compensação de consumo. Dessa forma, em cada cenário foram utilizados os dados da conta de energia da UFC para o ano de 2022. Além disso, em cada caso estudado foi previsto um dimensionamento para a planta FVF ideal com o uso de módulos da CANANDIAN de 590 Wp e modelo para o inversor da HUAWEI de 200 kW, sendo esses modelos utilizados no mercado para projetos com porte semelhantes. Para complementar o estudo foi avaliada a área limite que pode ser ocupada pela planta FVF recomendada por estudos para não afetar o ecossistema e foram realizadas simulações utilizando o software PVSyst para obter valores de geração de energia elétrica mais realísticas, considerando perdas conhecidas no mercado e que poderiam ser aplicadas independentemente do local da instalação da usina

A metodologia do trabalho buscou inicialmente avaliar a área ótima que pode ser ocupada pela planta FVF e com os dados da área disponível analisou que o reservatório possui aproximadamente uma área de 0,16 km<sup>2</sup>, todavia uma parte está comprometida pela ocupação de macrófitas, e, dessa maneira, precisou ser desconsiderado do valor disponível do reservatório. Logo, por recomendações da literatura, uma porcentagem recomendada para instalação da usina é de ocupar 50 % do reservatório e considerando esse dado, obteve-se a área útil para a planta FVF

correspondente a 0,055 km<sup>2</sup>, na qual 66 % seria ocupado pelos módulos e 34 % para passagem, espaçamento e manutenção.

Por último, foram realizadas simulações com o software PVsyst para os sistemas do ano de 2022 onde foram considerados estudos com o módulo bifacial ativo e desativado, pois configuram cenários mais realísticos com as características tarifárias atuais da UFC, e como resultado, foi possível constatar que em relação a geração ideal, a obtenção da geração por simulação apresentou perdas, tendo esses seguintes resultados: para o cenário de 50 %, o caso desconsiderando bifacialidade, as perdas previstas da geração foram de 18,15 %, obtendo de forma mais realística uma geração anual de 4.782.138 kWh e considerando a bifacialidade obteve-se uma geração anual de 5.129.181 kWh com perdas de 12,21 % no sistema. Para o cenário de 75 %, o caso desconsiderando bifacialidade, as perdas previstas da geração foram de 18,4 %, obtendo de forma mais realística uma geração anual de 7.158.145 kWh e considerando a bifacialidade obteve-se uma geração anual de 7.694.455 kWh com perdas de 12,20 % no sistema. Por fim, para o cenário de 100 %, o caso desconsiderando bifacialidade, as perdas previstas da geração foram de 19,27 %, obtendo de forma mais realística uma geração anual de 9.433.748 kWh e considerando a bifacialidade obteve-se uma geração anual de 10.148.572 kWh com perdas de 12,20 % no sistema.

### Agradecimentos

O segundo autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 pela bolsa de doutorado. O terceiro autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa

### REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 01 jul. 2023.
- ABSOLAR. Usinas solares flutuantes. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/usinas-solares-flutuantes/>>. Acesso em: 01 jun. 2023
- Araújo, J. C. Assoreamento em Reservatórios do Semi-árido: Modelagem e Validação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 2, p. 39-56, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v8n2.p39-56>
- Brasil. Lei nº 14.300, de 06 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília: Secretaria-Geral, 2022. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm). Acesso em: 05 de maio de 2023.
- Canalsolar. Como determinar o ângulo de inclinação dos módulos fotovoltaicos. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/como-determinar-o-angulo-de-inclinacao-dos-modulosfotovoltaicos/>. Acesso em: 20 jun. 2023.
- Canalsolar. Mercado global de energia solar flutuante pode dobrar até 2031. Disponível em: <[https://canalsolar.com.br/mercado-global-de-energia-solar-flutuante-podedobrar-ate-2031/?utm\\_campaign=boletim\\_diario\\_29052023&utm\\_medium=email&utm\\_source=RD+Station](https://canalsolar.com.br/mercado-global-de-energia-solar-flutuante-podedobrar-ate-2031/?utm_campaign=boletim_diario_29052023&utm_medium=email&utm_source=RD+Station)>. Acesso em: 02 maio 2023.
- Ceará. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Perfil Municipal 2017 Fortaleza. Fortaleza: IPECE, 2017. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2018/09/Fortaleza\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wpcontent/uploads/sites/45/2018/09/Fortaleza_2017.pdf). Acesso em: 05 jun. 2023.
- EPE. Expansão da geração solar fotovoltaica flutuante Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-466/NT%20Solar%20Fotovoltaica%20Flutuante.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2023.
- Fraga, R. F. Rocha, S. M. G., Lima Neto, I. E. Impact of flow conditions on coliform dynamics in an urban lake in the Brazilian semiarid. WATER SA. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1734948>
- Haas, J. et al. Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. Energy Conversion and Management, Elsevier, v. 206, p. 112414, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112414>
- Mesquita, J. B F et al. The influence of hydroclimatic conditions and water quality on evaporation rates of a tropical lake. Journal of Hydrology. 2020. v. 590, 125456. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125456>
- PV MAGAZINE. Asia takes the lead on floating PV. Disponível em: < <https://www.pvmagazine.com/magazine-archive/asia-takes-the-lead-on-floating-pv/>>. Acesso em: 20 maio. 2023.
- PV MAGAZINE. Floating solar PV gains global momentum. Disponível em: <<https://www.pv-magazine.com/2020/09/22/floating-solar-pv-gains-global-momentum/>>. Acesso em: 20 maio 2023.
- PVPS. Snapshot of Global PV Markets. Disponível em: <[https://iea-pvps.org/wpcontent/uploads/2023/04/IEA\\_PVPS\\_Snapshot\\_2023.pdf](https://iea-pvps.org/wpcontent/uploads/2023/04/IEA_PVPS_Snapshot_2023.pdf)>. Acesso em: 01 jul. 2023.

- Reges, J. P. Metodologia de Dimensionamento de Plantas Fotovoltaicas Flutuantes em Açudes do Semiárido. 2022. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/66156>. Acesso em: 10 jun. 2023.
- Rocha, S. M. G. et al. Seasonal and interannual variability of residence time and total phosphorus in a small hypereutrophic lake in Brazilian northeast. *Journal of Hydrology*. 2020. v. 590. DOI: <https://doi.org/10.17159/wsa/2022.v48.i3.3893>
- Lopes, M. P. C. et al. Technical potential of floating photovoltaic systems on artificial water bodies in Brazil. *Renewable Energy*. 2022. V 181, p 1023-1033. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.104>
- Soprano. Sistemas Fotovoltaicos: como analisar o investimento para consumidores do Grupo A. Disponível em: <https://www.soprano.com.br/blog/sistemas-fotovoltaicos-como-analisar-o-investimento-para-consumidores-do-grupo-a>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- Stanisci, N. S.. Relação entre potência DC e AC em usinas fotovoltaicas. Disponível em: [https://www.linkedin.com/pulse/rela%C3%A7%C3%A3o-entre-pot%C3%Aancia-dc-e-ac-em-usinas-nelsonstanisci/?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_android&utm\\_campaign=share\\_via](https://www.linkedin.com/pulse/rela%C3%A7%C3%A3o-entre-pot%C3%Aancia-dc-e-ac-em-usinas-nelsonstanisci/?utm_source=share&utm_medium=member_android&utm_campaign=share_via). Acesso em: 20 jun. 2023.
- Strangueto, K. Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidrelétricas. Tese (Planejamento de Sistemas Energéticos) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. 147 f.
- Ayrão, V. Como calcular FV para clientes do Grupo A. Disponível em: <https://viniciusayrao.com.br/como-calcular-fv-para-clientes-do-grupo-a/>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- WOODMACKENZIE. Global floating solar to top 6GW threshold by 2031. Disponível em: <https://www.woodmac.com/press-releases/global-floating-solar-to-top-6gw-threshold-by-2031/>. Acesso em: 02 maio 2023.

#### **STUDY OF THE POTENTIAL OF A FLOATING PHOTOVOLTAIC SYSTEM ON THE SANTO ANASTÁCIO RESERVOIR TO OFFSET THE CONSUMPTION OF THE FEDERAL UNIVERSITY OF CEARÁ**

**Abstract.** *This work evaluates the Floating Photovoltaic (FVF) potential of the Santo Anastácio reservoir for the consumption compensation study of the Pici campus of the Federal University of Ceará (UFC). The research analyzes consumption for the year 2022 in order to calculate the size of the FVF plants in the different compensation scenarios and also to determine the limit area that the plant can occupy in the water mirror to mitigate impacts on the local ecosystem. The annual PV generation is then calculated using the PVsyst software, considering scenarios with bifacial modules activated and deactivated and with losses in the system. In this way, three scenarios are defined, where the first represents 50% compensation of consumption, the second 75% compensation and the third 100% compensation. Therefore, the powers in the different scenarios are: 2,833 kWp, 4,237 kWp and 5,666 kWp, occupying 37.44%, 56% and 74.8% of the available area respectively. Thus, the annual generation for each scenario without losses is 5,843,896 kWh, 8,764,356 kWh and 11,685,900 kWh, respectively. When using PVsyst and considering losses, scenario 1 gives 4,782,138 kWh without bifaciality and 5,129,181 kWh with bifaciality, scenario 02 gives 7,158,145 kWh without bifaciality and 7,694,455 kWh with bifaciality and scenario 03 gives 9,433,748 kWh without bifaciality and 10,148,572 kWh with bifaciality, where losses vary between 12.20 % and 19.27 % in relation to ideal generation.*

**Keywords:** *Floating Photovoltaic Potential. Santo Anastácio Dam. Consumption compensation*