

IMPACTO DA GERAÇÃO DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS FLUTUANTES SOBRE A MATRIZ ENERGÉTICA DE ESTADOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Raoni Alves de Lima¹
Arlindo Hernany Ramos Delgado¹
Dayane Cynthia Pinto Oliveira¹
Edenizio Oliveira da Silva¹
Iágson Carlos Lima Silva¹
Ivens Gabriel de Oliveira Ciríaco Mendes¹
Karol Damasceno Cysne¹
Kevin de Paula Amorim¹
Leticia de Oliveira Santos¹
Paulo Cesar Marques de Carvalho¹

¹Universidade Federal do Ceará

DOI: 10.47168/rbe.v29i1.778

RESUMO

Com o aumento da demanda pela geração sustentável de energia elétrica tem crescido o interesse por plantas fotovoltaicas flutuantes (FVF) em nível mundial. A partir desta motivação, o presente artigo tem como objetivo analisar o impacto da geração de plantas FVF em reservatórios, considerada a matriz energética de estados do semiárido brasileiro. Assim, as plantas FVF podem aproveitar a extensa rede de reservatórios já instalada na região, gerando eletricidade a partir dos elevados níveis de irradiação solar do semiárido. A metodologia adotada de dimensionamento das plantas FVF utiliza um nível de confiabilidade que indica o percentual do tempo total no qual o reservatório permanece em um determinado nível durante o período de análise. O potencial de geração investiga dois cenários com módulos FV de 265 Wp e 380 Wp, considerando o impacto sobre o consumo de estados do semiárido.

Palavras-chave: Geração de energia elétrica; Usina fotovoltaica flutuante; Semiárido brasileiro.

ABSTRACT

The increased demand for sustainable electricity generation has increased interest in floating photovoltaic (FPV) plants across the world. Based on this motivation, this article aims to analyze the impact of the

generation of photovoltaic plants in reservoirs, considering the energy matrix of the Brazilian semi-arid states. Thus, the FPV plants can take advantage of the extensive network of reservoirs already installed in the region, generating electricity from the high levels of solar radiation in the semi-arid region. The methodology adopted for sizing the FPV plants uses a reliability level that indicates the percentage of the time that the reservoir remains at a given level during the analysis period. The generation potential investigates two scenarios with photovoltaic modules of 265 Wp and 380 Wp, considering the impact on consumption in semi-arid states.

Keywords: Electric power generation; Floating photovoltaic plant; Brazilian semi-arid region.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por energia elétrica vem sendo verificado em nível mundial, em decorrência do crescimento populacional e econômico. Na atual conjuntura, grande parte da geração de energia elétrica advém de processos de queima de combustíveis fósseis, principalmente do carvão mineral e gás natural. Assim, um dos maiores desafios é conciliar a geração de energia elétrica com a conservação dos recursos naturais e com baixos impactos ambientais, resultando em uma maior demanda por novas fontes alternativas de geração, conforme (SOUSA, 2022). Para o horizonte de 2050, é previsto que o setor energético mundial enfrente desafios como o aumento da demanda por eletricidade e problemas relacionados às atuais fontes de energia elétrica, principalmente considerando os aspectos ambientais, segundo (FREITAS, 2020). Neste contexto, a busca de novas fontes sustentáveis de energia e o aprimoramento das existentes, visando o aumento da eficiência energética, tem se tornado tendência mundial. Assim, a demanda por fontes alternativas com o intuito de integrar cada vez mais a matriz energética de um país mostra-se como uma questão recorrente, conforme (CAVALCANTE, 2018).

No âmbito global da geração renovável de eletricidade, a fotovoltaica (FV) corresponde à terceira opção mais usada, depois da eólica e hídrica. Em 2021, 3,6% da geração mundial foi proveniente da tecnologia FV, com crescimento de 22% em relação ao ano anterior, registrando uma geração de 179 TWh, ficando atrás apenas da eólica em termos de crescimento absoluto da geração. Diante desses dados, estima-se um impulso de investimentos nessa tecnologia num aspecto mundial, uma vez que a FV se apresenta como uma opção de menor custo para geração de eletricidade em relação a outras tecnologias renováveis (IEA, 2022). No Brasil, as fontes renováveis com maior des-

taque são a hidrelétrica, eólica e solar, representando respectivamente 52,2%, 11,0% e 10,2% da matriz elétrica nacional. Juntas essas três fontes somam 154.141 MW da potência instalada no país, com a FV contribuindo com 21.349 MW e registrando uma taxa de crescimento médio anual de 67% entre 2017 e 2022 (ABSOLAR, 2022). O Brasil é rico em recursos naturais e tem localização privilegiada em relação à disponibilidade de energia solar, com a vantagem de possuir recursos humanos disponíveis para atuar no setor, conforme (RELLA, 2017).

Segundo (YOUSUF et al., 2020), a fonte solar é atualmente utilizada em uma diversidade de aplicações, com a capacidade de ser uma fonte substituta de outros recursos. Inicialmente, as plantas FV eram basicamente instaladas apenas sobre o solo ou edificações, em pequena escala, como no caso de uso domiciliar, se restringindo ao aproveitamento das coberturas das casas, ou em grande escala, sobre as superfícies de galpões industriais e terrenos. No que diz respeito à expansão da geração FV, Reges et al. (2022) afirmam que são enfrentados desafios, como a competitividade no uso da terra para fins agrícolas, redução da eficiência devido à alta temperatura de operação dos módulos, redução da geração pelo acúmulo de poeira nos módulos e intermitências inerentes ao recurso solar. Deste modo, uma estratégia para reduzir alguns desses desafios está no uso de sistemas fotovoltaicos flutuantes (FVF) sobre reservatórios, lagos e mares; adicionalmente, plantas FVF podem reduzir a evaporação dos corpos hídricos, problema que afeta principalmente o semiárido brasileiro. Segundo (MACÊDO, 2022), plantas FVF apresentam resultados promissores, com potencial de não apenas minimizar a evaporação de água, mas também de garantir o abastecimento constante de energia limpa e renovável para os municípios vizinhos aos açudes. De acordo com (LOPES, 2022), a instalação de sistemas FVF nesses reservatórios pode interferir em parâmetros como a incidência de irradiação sobre a superfície, velocidade do vento e temperatura da superfície, produzindo condições favoráveis à redução da evaporação e à facilitação de obtenção de licenças ambientais, uma vez que são geralmente instaladas em áreas anteriormente antropizadas.

O clima em regiões áridas e semiáridas é o que mais propicia a evaporação, com o monitoramento quantitativo sendo de grande importância para avaliar os recursos hídricos e estudar o balanço hídrico, segundo (CHENG et al., 2017). Segundo (RAJAUD e NOBRET-DUCOUDRÉ, 2017), a área total das regiões semiáridas quentes (RSAQ) representa cerca de 7% da superfície terrestre global e 71% dessas regiões estão incluídas no clima tropical. As principais RSAQ encontram-se na cintura do Sahel, centro-sul da África, grandes partes da Austrália e, em menor grau, no oeste da Índia e Paquistão, no leste da cordilheira dos Andes, partes do norte do México e na bacia do Medi-

terrâneo e nordeste do Brasil. No contexto nacional de geração de eletricidade até 2020, a região Nordeste do Brasil se afirmou como a segunda região maior geradora do país, com seis de seus nove estados apresentando autossuficiência em geração. Tal característica no crescimento da geração de eletricidade se deve à ascensão das fontes renováveis, com aproveitamento dos elevados recursos eólicos e solares da região, conforme (FERREIRA et al. 2022). Neste contexto, (REGES et al., 2022) propõem uma nova metodologia de dimensionamento de usinas FVF, usando dados de represas do semiárido brasileiro e australiano, considerando o alto nível de irradiação e a rede de reservatórios, que na maioria dos casos é a única fonte de abastecimento de água da população. Devido a essas características climáticas, esses reservatórios apresentam alta variabilidade do nível de água armazenada, alterando com isso a área inundada. Tal comportamento destaca a relevância do dimensionamento de usinas FVF nesses reservatórios, podendo reduzir perdas por evaporação, mantendo os reservatórios estáveis em nível de água, e ajudando a população local a superar períodos de secas severas.

Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar o impacto da geração de plantas FVF em reservatórios sobre a matriz energética de estados do semiárido brasileiro, com a geração anual estimada sendo comparada com o consumo anual de energia elétrica dos estados em 2020. O artigo está estruturado da seguinte forma: inicialmente, a seção estado da arte analisa usinas FVF em nível internacional e nacional, assim como as tecnologias empregadas; em seguida, a metodologia é discutida e são apresentados os valores estimados de geração para as plantas FVF em reservatórios do semiárido brasileiro.

2. ESTADO DA ARTE SOBRE SISTEMAS FVF

Na presente seção são apresentadas e comentadas experiências e tecnologias de sistemas FVF, visando comparar os resultados obtidos no cenário internacional com os do cenário brasileiro, servindo de referência para um estudo de implementação de um método de dimensionamento de usinas FVF em reservatórios.

2.1 Experiência internacional com FVF

Ravichandran e Panneerselvam (2022) destacam que sistemas FVF em reservatórios apresentam-se como uma tecnologia inovadora e altamente vantajosa para o aumento de eficiência de geração, além de auxiliarem na redução dos índices de evaporação. O desempenho elétrico do sistema FVF em grandes reservatórios de usinas hidrelétricas na Índia é avaliado; considerando um sistema FVF de 5 MW,

a análise numérica mostra que a instalação resulta em uma geração de 160 GWh. Além disso, a planta FVF pode economizar 1,40 milhão de m³/dia e indiretamente é capaz de manter uma geração adicional de 514,80 MWh/dia a partir da água economizada por meio de sua integração com as usinas hidrelétricas. Goel et al. (2022) destacam que na Índia a geração FV conectada à rede é representada principalmente por instalações terrestres, com o aumento do número de projetos FV sendo limitado pelo uso da terra. Assim, para acompanhar o desenvolvimento da capacidade FV, alternativas devem ser estabelecidas; o uso de sistemas FVF é uma das principais vertentes para investimentos, passando a receber atenção global, com grandes perspectivas de crescimento nos próximos anos. Mittal e Saxena (2017) comentam a enorme demanda de energia e escassez de terrenos baldios para usinas FV nas cidades Indianas, apresentando como solução o aproveitamento da energia solar por meio de usinas FVF para produção sustentável. A viabilidade de instalação de usinas FVF de 1 MW na barragem de Kota e no lago Kishore Sagar, Índia, também é apresentada, com potencial de geração de 1.838.519 kWh, economia de 37 milhões de litros de água e redução anual de 1.714 toneladas de emissões de CO₂.

Tarigan (2021) comenta que plantas FVF são uma solução adequada para uma rápida expansão da geração FV. Em seu estudo é avaliada a implantação de um sistema FVF para suprir a demanda de energia elétrica de Surabaya, na Indonésia, que foi em torno de 2.145 GWh em 2019. Como resultado, uma unidade de 1.255 MWp de FVF é necessária para suprir esta demanda; a zona costeira à noroeste da cidade mostra-se adequada esse tipo de empreendimento. Ravichandran et al. (2021) analisam a instalação de usinas FVF nas hidrelétricas de High Dam e Aswan Reservoir, no Egito, que juntas possuem uma capacidade de 2,65 GW. Para cada barragem são simulados dois cenários: com e sem a instalação de usinas FVF de 5 MW, com os resultados abordados em termos de taxa de evaporação e eletricidade produzida para diferentes tecnologias: com módulos poli e mono cristalino e filme fino. Os resultados mostram que a instalação de FVF conduz as barragens a um melhor desempenho em termos de redução de emissões de dióxido de carbono, economia de água e redução da evaporação, também ajudando na geração adicional de 514,80 MWh/dia a partir da água economizada por meio da integração com usinas hidrelétricas. Farrar et al. (2022) abordam questões relacionadas à energia e água, elementos da meta de desenvolvimento sustentável da ONU. A abordagem considera o uso de FVF no sistema de irrigação para impedir as perdas por evaporação; para o estudo foi selecionada uma região árida e com estresse hídrico na Jordânia, com dados reais de consumo de água e energia. Um sistema FVF de inclinação fixa, de 300 kWp, é apresentado como o projeto ideal considerados economia de água, rendimento da geração e reduções de emissões, sendo a op-

ção preferida em comparação ao FV no solo.

Plantas FVF no Lago Jablanica, na Bósnia e Herzegovina, são analisadas por (PAŠALIĆ, 2018), mostrando que uma superfície de menos de 3% da área total do lago permite a instalação de uma usina FVF de 30 MW. Essa capacidade seria agregada à geração da usina hidrelétrica de Jablina, que tem 180 MW. Isso implica potencial para exploração significativamente melhor das bacias de Neretva e Rama, também no país, e aumento da produção em períodos com baixa capacidade dos reservatórios. Tal empreendimento impulsionaria soluções importantes, como a ocupação das áreas potencialmente utilizáveis para agricultura e habitação, além do aumento da capacidade de geração e melhor aproveitamento dos reservatórios hidrelétricos. Segundo (ABID et al. 2019), no Paquistão, Afeganistão e Ásia Central enfrenta-se dificuldade de acesso à água e perdas na área de transmissão de energia elétrica. Assim, em períodos secos essas regiões apresentam altas taxas de evaporação devido às altas temperaturas, acarretando problemas na demanda de água. Os autores avaliam a aplicação da tecnologia FVF para as regiões citadas, ressaltando benefícios como a redução da evaporação, abastecimento sustentável de água, energia limpa e redução das emissões de gases de efeito estufa.

2.2. Experiência brasileira com FVF

Siqueira et al. (2022) abordam os principais entraves e desafios da implantação dos sistemas FVF no Brasil, focando na viabilidade econômica do uso de FVF e comparando com as usinas convencionais no solo. A busca por sistemas FVF é crescente no Brasil, sendo a região Nordeste a que apresenta o maior potencial devido às maiores taxas de irradiação solar durante todo o ano, e baixa influência de massas úmidas e frias vindo do sul. Nesse sentido, os estudos sobre os entraves e desafios dos sistemas FVF no Brasil são de grande relevância para identificar e mensurar as adversidades, contribuindo para a expansão do uso desses sistemas. Santos et al. (2022) analisam um estudo de caso no Reservatório Passaúna, sudeste do Brasil, para avaliação dos efeitos de sistemas FVF no índice de evaporação de água. O estudo é motivado pela escassez de água potável, potencializada pelas variações climáticas, bem como o aumento ao longo dos anos das taxas de evaporação hídrica. Para as análises foram utilizados dados de temperatura, umidade, irradiação solar, velocidade do vento, dentre outras informações meteorológicas. Os sistemas FVF são propostos em três cenários distintos: 1 MWp, 2,5 MWp e 5 MWp. Os dados obtidos para 5 MWp mostram uma economia de água em torno de 2,69 hm³/ano, com capacidade de abastecimento para cerca de 35.292 pessoas ao longo do mesmo período. Os resultados atestam a efetividade e efi-

ciência de geração e diminuição dos índices de evaporação dos reservatórios. Das Neves et al. (2022) estudam a implantação de um sistema FVF para a captação de água na represa Passaúna, administrada pela empresa de saneamento Sanepar. É abordado um sistema FV instalado sobre estruturas metálicas fixadas no solo e um sistema FVF instalado com flutuadores. Os sistemas apresentam semelhanças; no entanto, para efeitos comparativos, analisa-se o comportamento de cada um dos sistemas em um intervalo de doze meses, avaliando a taxa de desempenho, o fator de capacidade e a produção. As conclusões identificam que os possíveis efeitos da temperatura, sujeira e do fator de dimensionamento do inversor podem impactar a taxa de desempenho dos sistemas.

Busson et al. (2021) analisam o comportamento térmico e elétrico de um módulo FV em aplicações convencionais e em superfícies hídricas flutuantes. É feita uma modelagem matemática em cenários com fontes de calor fixas para reduzir a temperatura de operação e aumento da eficiência de conversão. O modelo algébrico proposto é não linear e as equações exigem solução numérica iterativa, e os testes experimentais permitem comparar o comportamento térmico e elétrico de um módulo FVF e um módulo FV no telhado (convencional), ambos em Fortaleza, Brasil. A temperatura do módulo FVF é 3,2°C menor do que a temperatura do módulo convencional; o modelo matemático desenvolvido prevê com erro de 5% a temperatura de operação do módulo e, de acordo com medições, a produtividade do módulo FVF é 26,1% maior do que a produtividade do módulo FV convencional. Segundo Porto et al. (2017), os sistemas FVF ganham espaço em diversos países por consistir uma estratégia que, além da geração, evitam a evaporação dos recursos hídricos e, pelo efeito do resfriamento dos módulos, contribuem para o aumento na eficiência de conversão. Na pesquisa é verificada a viabilidade técnica da implantação de um sistema FVF no reservatório Castanhão, no Ceará; como resultados, a capacidade a ser instalada é de até 5,59 MWp, correspondente a uma geração anual de 9256 MWh e emissão evitada de 2129 toneladas de CO₂.

Giordani et al. (2022) enfocam os aspectos ambientais associados à geração FVF no Paraná, destacando que os impactos dos sistemas FVF podem ser potencialmente menos relevantes em relação aos sistemas terrestres. Assim, é necessário o desenvolvimento do processo de licenciamento ambiental de forma a proporcionar a correta identificação, monitoramento e mitigação dos impactos negativos, assim como a potencialização de impactos positivos. O porte do empreendimento, as características do ecossistema aquático, aspectos socioambientais do entorno, usos existentes e previstos para o reservatório, devem nortear o órgão ambiental no que tange à necessidade e complexidade de estudos e programas de mitigação a

serem propostos. Há que se considerar ainda a necessidade de emissão de autorizações específicas, como a outorga de uso da água, submissão do projeto à Marinha, além de outras questões que podem surgir com eventuais envolvimento de órgãos diversos.

2.3 Tecnologias para FVF

Xiao et al. (2021) afirmam que as usinas FVF são a chave para aproveitar ao máximo as vantagens dos corpos hídricos para o desenvolvimento do recurso solar no futuro. A identificação do risco de investimento é um pré-requisito importante para promover projetos em grande escala; assim, os autores propõem um modelo para avaliar o risco de investimento desta tecnologia na China. Os aspectos técnicos, locais de instalação, estruturais e dificuldade de acesso à conexão de rede elétrica são os fatores que mais implicam riscos de investimento para esse tipo de sistema. Com isso, os investidores priorizam áreas com baixos riscos estruturais e técnicos e com fácil acesso à rede, acarretando a diminuição das possibilidades de aplicação e aumento nos critérios de prospecção de áreas adequadas. Além disso, o investimento em equipamento de armazenamento de energia é capaz de melhorar a taxa de utilização dos projetos FVF. Pouran et al. (2022) apresentam benefícios das FVF em comparação com as FV no solo: i) não ocupam áreas habitáveis e produtivas e podem ser implantadas em ambientes degradados, reduzindo os conflitos de uso da terra; ii) colaboram com a economia de água através da mitigação da evaporação, contribuindo para a segurança hídrica em regiões áridas, combinadas com a flexibilidade de implantação em diferentes corpos d'água, incluindo reservatórios de água potável. Porém, a falta de políticas de apoio e estratégias de desenvolvimento por parte dos governos pode prejudicar o crescimento sustentável das FVF. A confiabilidade em longo prazo das estruturas flutuantes também é uma das preocupações existentes que, se não melhoradas, pode limitar a expansão da tecnologia.

Ma et al. (2021) apresentam uma revisão sobre as aplicações de usinas FVF, contendo as principais tecnologias emergentes, condições de seleção do local de instalação, os elementos de design da estrutura para máxima geração e as características gerais de diferentes tipos de estruturas. Diferentes tipos de estruturas de suporte flutuante no nível da água têm suas características próprias em termos de facilidade de instalação, conveniência para expansão, estabilidade estrutural e custo. A estrutura de módulo em forma de jangada mostra-se adequada para grandes usinas FVF devido à tecnologia de produção e modularização. Em termos de eficiência de geração, conservação de água e ambiente ecológico, as usinas FVF têm interações complexas

com o meio ambiente. Para proteção ambiental, corpos d'água artificiais são mais adequados para a construção de FVF do que lagos naturais. Segundo (AKSAMOVIC et al., 2022), para o pleno funcionamento de plantas FVF é necessário que o sistema opere em sua faixa ideal, por isso, é importante que o cabeamento, a estrutura flutuante, os módulos e conexões estejam em configuração adequada para diminuição das perdas inerentes ao processo. Os autores propõem uma análise das perdas no circuito CC em usinas FVF de grande porte (>1 MW), utilizando uma usina FVF de 3 MW. Com o objetivo de avaliar as perdas no circuito em relação ao tipo de cabeamento empregado, são propostas duas topologias: com dois tipos de cabeamento e com um único cabeamento. Para a topologia com dois tipos de cabeamento as perdas são inferiores a 0,55%, que aumentam com o aumento da potência dos inversores. Já para a topologia de um único cabeamento as perdas são maiores que 0,7%, que aumentam de forma mais rápida com o aumento da potência dos inversores em relação à topologia anterior.

Dobre et al. (2021) apresentam as principais estruturas e componentes para usinas FVF, com painéis rígidos ou flexíveis. Esses sistemas são classificados em quatro grupos principais em relação às suas estruturas de apoio: (1) matrizes inclinadas: necessitam de pontões rígidos; (2) submerso: pode ser instalado com ou sem pontão; (3) filme fino: não é necessário pontão forte como estrutura de suporte devido ao baixo peso dos módulos de filme fino e (4) uma abordagem utilizando módulos FV rígidos com acumulador de calor latente com materiais microencapsulados de mudança de fase que controlam a temperatura de operação dos módulos. Ainda é difícil apresentar uma estimativa de aplicação em grande escala dessas tecnologias emergentes, tendo em vista que existem alternativas com menor custo e maior confiabilidade no mercado. Outra dificuldade encontrada para expansão das usinas FVF está nas diferentes configurações e topologias, que são complexas e variam bastante de um cenário para outro, acarretando aumento nos custos de implantação e operação. Trapani e Millar (2014) apresentam o conceito e o design do arranjo FVF flexível de filme fino (T3F-PV), destinado à geração *offshore* em larga escala. Os autores observam que existem problemas previstos, principalmente a confiabilidade elétrica dos painéis, que estão propensos à absorção de água; porém, a presença da água pode levar a um resfriamento, que representa uma vantagem. A análise das condições de operação é realizada através de um protótipo em pequena escala em um período de 45 dias. Os dados obtidos constatam uma redução de 0,5% na eficiência elétrica devido a sedimentos oclusos nos módulos; em termos de redução da temperatura de operação, as análises mostram uma melhoria em torno de 5% da média da geração.

De acordo com (CLAUS e LÓPEZ, 2022), na última década vem se verificando uma notável expansão do mercado FVF devido às vantagens de eficiência energética e ocupação do solo que esses sistemas proporcionam. No entanto, a expansão FVF tem encontrado dificuldades no aproveitamento do potencial *offshore*, se limitando a aplicações em água doce, tanto pelas adversidades nas condições ambientais quanto pela falta de maturidade do setor. Os autores tratam do projeto FVF no meio marítimo, discutindo os principais aspectos da tecnologia e verificando a aplicabilidade no meio proposto. Xu e Welens (2022) analisam a interação dinâmica das ondas marítimas em estruturas poliméricas de acoplamento de módulos FVF em aplicações *offshore* em grande escala. Uma estrutura simulada analisa o comportamento de sistemas FVF em aplicações *offshore* diante de situações de estresse mecânico, e outra estrutura flutuante não submersa é modelada como um acoplamento não linear de vigas Euler Bernoulli–von Kármán (EBVK). Os dois cenários estudados levam em consideração estruturas flutuantes de grande escala do tipo pontão e estruturas do tipo membrana acoplada. Os autores ressaltam a importância das análises e simulações para aplicações de projetos estruturais em diferentes cenários, avaliando os efeitos das estruturas em condições de estresse mecânico para aplicações de FVF no mar.

3. METODOLOGIA

O primeiro passo da metodologia do presente manuscrito consiste na escolha de reservatórios do semiárido brasileiro, englobando os estados do Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE), Bahia (BA) e Minas Gérias (MG); a escolha obedece aos seguintes critérios: (1) localização dentro das fronteiras do semiárido; (2) uso dos maiores reservatórios do semiárido, no máximo três por estado; (3) reservatórios com capacidade superior a 100 hm³; (4) pelo menos um reservatório por estado, obedecendo aos critérios anteriormente definidos e (5) reservatórios com dados de cota disponíveis no portal da Agência Nacional de Águas (ANA). Os reservatórios escolhidos estão apresentados na Figura 1, adaptada de Sudene (2017).

A metodologia utiliza a classificação de capacidade de armazenamento de reservatórios proposta por (GÜNTNER e BRONSTERT, 2004), sendo os níveis 1, 2 e 3 inferiores a 100 hm³; com isso analisamos 14 reservatórios, de classificação 4 (100-1000 hm³) e 5 (>1000 hm³). O procedimento metodológico de dimensionamento de plantas FVF em açudes do semiárido proposto em Reges et al. (2022) é aplicado aos reservatórios escolhidos; a metodologia se dá em quatro etapas: (1) Obtenção de dados históricos de reservatórios em região se-

miárida; (2) Construção das curvas de permanência (CP) referentes à área inundada dos açudes; (3) Definição dos níveis de confiabilidade e condições limite para a determinação da área da planta FVF; (4) Determinação da capacidade instalada da planta FVF e produção mensal de eletricidade usando os valores mensais de produtividade FV de cada açude.

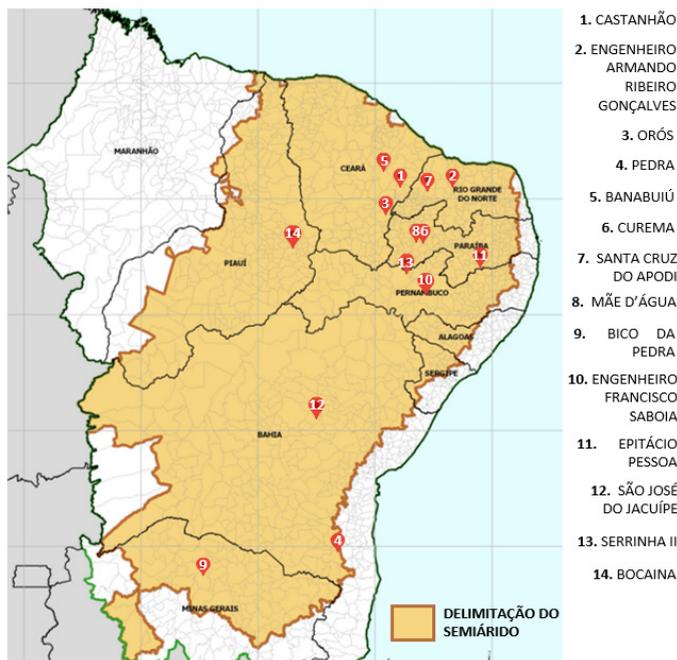


Figura 1 - Reservatórios selecionados no estudo

De acordo com Reges et al. (2022), no caso de não haver disponibilidade de dados, para a determinação da área inundada dos reservatórios é necessária a utilização de regressão polinomial a partir dos valores de vazão. No presente estudo, como são considerados apenas reservatórios de classificação 4 e 5, estes dados estão disponíveis no portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que é base para disponibilização das informações sobre águas no Brasil, administrado pela ANA; assim, fica descartado o uso da regressão polinomial.

3.1 Obtenção, tratamento e visualização dos dados

Os principais dados para o presente estudo são a relação Cota-Área-Volume (CAV) histórica. Os dados de cota e volume são obtidos do portal de dados históricos da ANA, e os dados de área são encontrados no portal de metadados do SNIRH. O período definido no momento da extração dos dados é de 2001-2021, no entanto os reservatórios possuem períodos diferentes de disponibilidade de dados. Por tanto, é considerada a quantidade de meses disponíveis para cada reservatório. A Tabela 1 (ANA, 2022) mostra o conjunto de dados obtidos para os reservatórios estudados a partir das duas fontes mencionadas.

Tabela 1 – Conjunto de dados obtidos para os reservatórios estudados

Nº	Reservatório - (Classificação)	Capacidade (hm³)	Período (meses)	Cota (m)		Volume (hm³)		Área (km²)	
				C _{máx}	C _{mín}	V _{máx}	V _{mín}	A _{máx}	A _{mín}
01	Castanhão CE - (5)	6.700,00	2003-2019 (202)	105,61	17,18	6.542,08	139,52	421,58	22,06
02	Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves RN - (5)	2.373,07	2001-2019 (219)	57,72	35,06	2.263,20	286,35	176,44	46,64
03	Orós CE - (5)	1.940,00	2001-2019 (220)	199,31	179,42	1.875,46	0,00	193,47	25,27
04	Pedra BA - (5)	1.640,00	2012-2019 (86)	219,14	210,19	904,00	422,00	65,68	40,80
05	Banabuiú CE - (5)	1.601,00	2001-2019 (220)	142,50	101,15	1.407,09	1,29	118,18	2,49
06	Curema, PB - (4)	744,14	2012-2019 (86)	236,91	133,16	369,58	14,93	35,20	3,27
07	Santa Cruz do Apodi RN - (4)	599,71	2018-2019 (14)	79,24	76,48	151,97	114,09	14,89	13,59
08	Mãe D'água PB - (4)	545,02	2004-2019 (181)	243,36	110,35	275,91	17,51	47,57	4,42
09	Bico da Pedra MG - (4)	529,59	2001-2019 (220)	551,60	533,04	491,79	45,64	39,39	9,03
10	Engenheiro Francisco Sabeia PE - (4)	504,00	2009-2019 (120)	434,38	411,39	469,31	7,66	52,97	1,41
11	Epitácio Pessoa PB - (4)	466,53	2001-2019 (218)	377,53	359,56	397,26	35,51	41,98	7,68
12	São José do Jacuípe BA - (4)	357,00	2012-2019 (85)	372,42	365,39	55,20	11,83	9,44	2,94
13	Serrinha II PE - (4)	311,08	2006-2019 (158)	394,85	379,38	304,64	11,66	43,51	4,06
14	Bocaina PI - (4)	106,00	2015-2018 (51)	260,95	255,30	34,13	15,51	2,52	1,13

Os valores históricos das áreas dos reservatórios são representados na Figura 2 a fim de identificar o comportamento de cada um ao longo do período considerado.

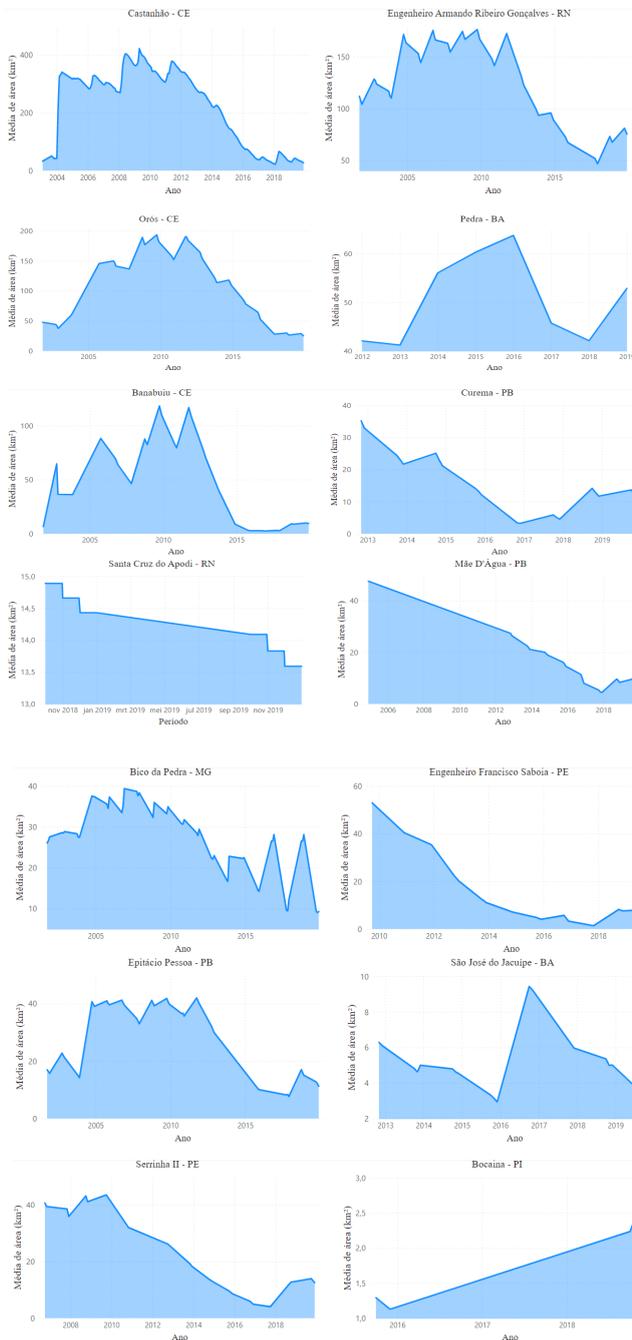


Figura 2 – Histórico de área dos reservatórios do semiárido considerados

Considerando comportamentos semelhantes, os reservatórios Eng. Armando Ribeiro Gonçalves- RN, Orós - CE, Banabuiú – CE e Epitácio Pessoa – PB, com períodos de dados entre 218 e 220 meses, tiveram uma redução de área e volume a partir de 2011, com a redução das chuvas sendo considerada um alerta em relação ao consumo de água nessas localidades. Nos reservatórios Bico da Pedra - MG, São José do Jacuípe - BA e Bocaina - PI houve a elevação na área devido a uma maior quantidade de chuvas entre 2016 e 2018. Dessa forma, verifica-se que o semiárido brasileiro tem suas particularidades e variações meteorológicas locais.

Após a extração de dados e análise gráfica das áreas, é realizado o tratamento dos dados extraídos do portal da ANA e do SNI-RH. O tratamento utiliza a linguagem de programação Python: (1) As informações de ambas as fontes são compiladas em uma tabela, por reservatório, contendo os dados relevantes para o presente estudo; (2) São retiradas informações duplicadas ou irrelevantes da tabela, assim como as linhas com valores em branco ou de cota nula; (3) Por fim, é gerado um conjunto de dados para cada reservatório com as seguintes informações: reservatório, capacidade, data, cota, volume e área.

A partir dos dados de cada reservatório, é possível obter as informações necessárias para a geração das curvas CAV e o desenvolvimento das próximas etapas da metodologia aplicada. A relação CAV é componente básico para a definição de regras operacionais de reservatórios, de análises de disponibilidade e demanda, de modelos de otimização e de sistemas de suporte à decisão (SSD) dentro da bacia hidrográfica, segundo (MATOS, 2012). As curvas CAV para cada um dos reservatórios estão apresentadas na Figura 3, mostrando a relação cota-área, em azul, e volume-cota, em laranja; as linhas pontilhadas representam a curva de suavização dos dados. As curvas CAV apresentadas visam validar se os dados de ambas as fontes, quando unificados, são complementares.

As curvas da Figura 3 mostram o comportamento característico de uma curva CAV, com área e volume crescendo com a cota. A maioria dos reservatórios apresenta um comportamento logaritmo entre cota-área e cota-volume. No caso dos reservatórios Bocaina, São José Jacuípe, Santa Cruz do Apodi e Pedra o comportamento logaritmo não fica tão claro; segundo a Tabela 1, esses são reservatórios com uma menor quantidade de dados disponíveis, o que explica o vazio nas curvas de suavização.

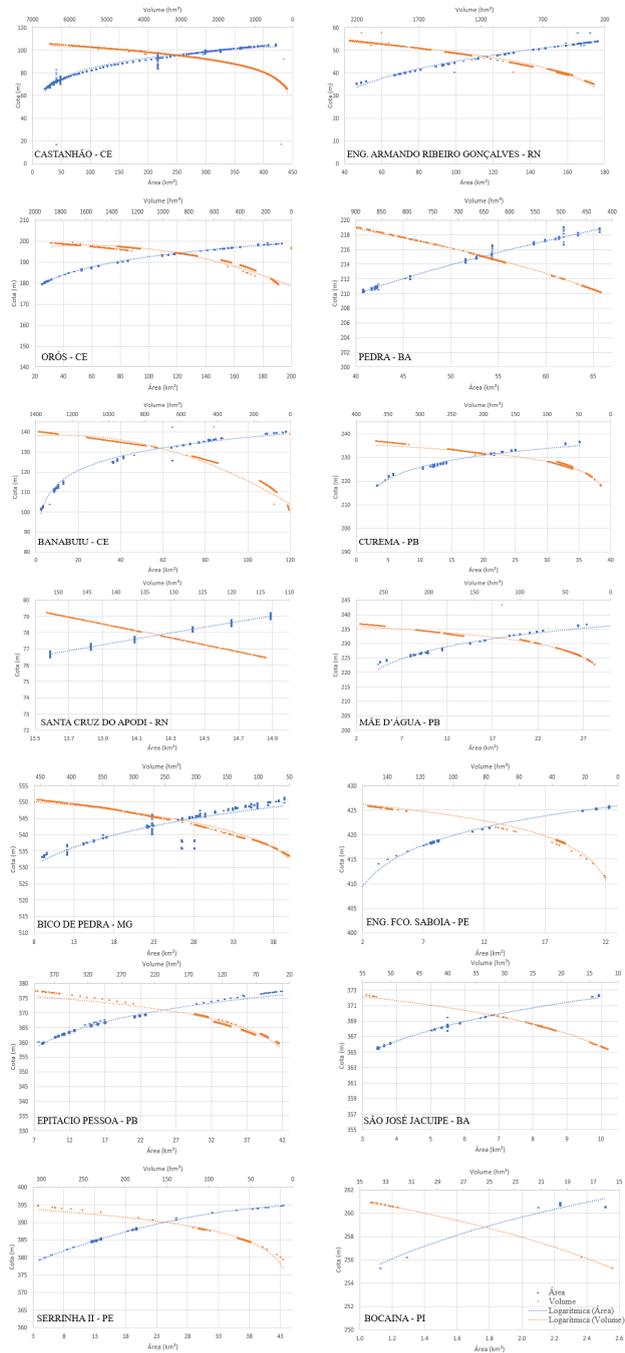


Figura 3 – Curvas CAV dos reservatórios do semiárido considerados

3.2 Curva de permanência (CP)

De acordo com (VOGEL e FENNESSEY, 1994), a CP é uma característica fluviométrica definida como a relação entre a magnitude e a frequência de vazões diárias, semanais, mensais (ou outro intervalo de tempo) para uma bacia hidrográfica, fornecendo uma estimativa da porcentagem do tempo que uma dada vazão é igualada ou excedida num período histórico. Seu primeiro uso é atribuído a Clemens Herschel, por volta de 1880, e desde então tem sido amplamente utilizada para estabelecer rentabilidade econômica para empreendimentos hidroenergéticos.

Os dados de área inundada são fundamentais para determinação da capacidade instalada de uma planta FVF. Desta forma, é empregada uma adaptação do modelo de (VOGEL e FENNESSEY, 1994), utilizando os dados de área inundada ao invés dos dados de vazões diárias para elaboração das CPs dos reservatórios do semiárido considerados; além disso, é considerada a função percentil para o levantamento da curva. De acordo com a estatística descritiva, essa função é capaz de dividir uma amostra de dados em cem partes com os dados em ordem crescente, cada um com um percentual de dados aproximadamente igual. Sendo assim, essa função corresponde à frequência cumulativa dos valores ordenados, onde os valores de permanência dos reservatórios podem ser encontrados através da função complementar dos percentis.

A CP de área relaciona os valores de áreas inundadas por reservatório com os níveis de confiabilidade, ou seja, traça a probabilidade de se ter áreas inundadas iguais ou maiores de acordo com os metadados analisados em cada reservatório. Com isso, a partir da análise da forma da CP, é possível entender o regime hidrológico dos reservatórios. A declividade da curva demonstra a variabilidade do reservatório, uma menor declividade aponta que o reservatório é mais naturalmente regular ao longo do tempo e sua variabilidade é menor.

3.3 Determinação dos níveis de confiabilidade

O nível de confiabilidade do presente estudo é determinado considerando um cenário em que as condições propostas para a área da planta FVF não sejam extremas: áreas muito pequenas, com alta permanência, ou áreas muito grandes, com baixa permanência. Sendo assim, é proposto o nível de confiabilidade de 80% para esse estudo: em 80% do tempo o reservatório permanece com uma determinada área inundada e, portanto, com a capacidade proposta de geração da planta FVF.

Conforme apresentado na Figura 4, as CPs dos reservatórios

selecionados possuem características bem diferentes. Alguns reservatórios possuem a declividade da curva bem suave, como é o caso do Castanhão, que possui uma maior regulação natural hídrica; outros reservatórios têm uma declividade bem acentuada, como é o caso de Pedra, com uma rápida variação decrescente de permanência com o aumento da área inundada. Há também reservatórios que permanecem com a área inundada máxima em apenas 10% do tempo; há aqueles, em que na maior parte do tempo, permanecem com áreas inferiores a 50% da área total inundada.

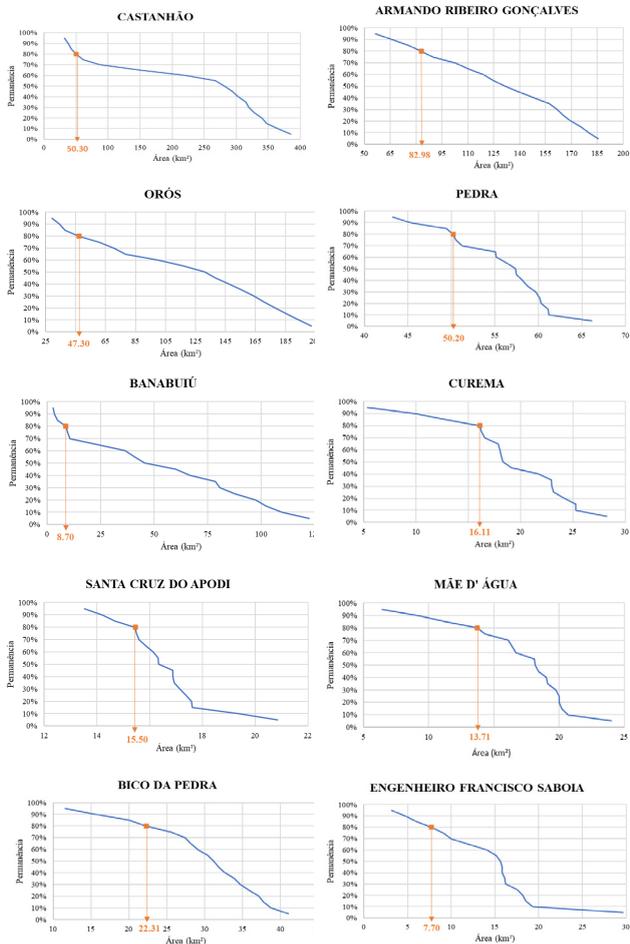


Figura 4 – CPs dos reservatórios, com nível de confiabilidade de 80%

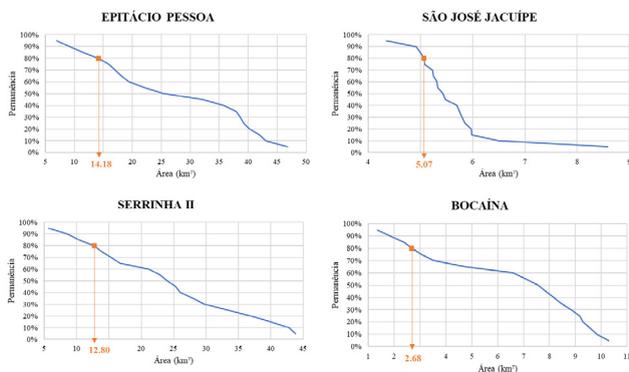


Figura 4 – CPs dos reservatórios, com nível de confiabilidade de 80% (cont.)

4. CENÁRIO DE GERAÇÃO ELÉTRICA

Seguindo a metodologia escolhida, após a obtenção dos dados históricos e a escolha dos níveis de confiabilidade, estima-se o cenário de geração de eletricidade anual. Para isso, é calculada a área disponível para 80% de confiabilidade, seguindo a recomendação de (STRANGUETO, 2016) de reservar 34% da área disponível da planta para o espaço entre os flutuadores, visando a movimentação de técnicos. Dois módulos FV são escolhidos: CS6P-265P, com 265 Wp e 1,6 m², utilizado na usina FVF de Sobradinho da CHESF, e RSM144-6-380M, com 380 Wp e 1,99 m², instalado na usina FVF em Furnas. Com esses dados é definida a quantidade de módulos a serem instalados e, conseqüentemente, a potência; em seguida, utilizando os dados de produtividade diária (kWh/kWp/dia) obtidos em INFO ENERGYDATA (2021), pode-se estimar a geração elétrica anual para cada reservatório.

Os cenários de geração FVF para os reservatórios estão representados na Tabela 2, na qual a geração anual estimada é comparada com o consumo anual de energia elétrica dos estados em 2020, de acordo com (FERREIRA et al., 2022), (EPE, 2021): CE (11,9 TWh), RN (6,26 TWh), BA (24,9 TWh), PB (5,6 TWh), PE (14,15 TWh), PI (3,7 TWh) e MG (55,7 TWh). No CE a energia elétrica gerada com três reservatórios chega a 153% do consumo no estado no caso 1 e a 175% no caso 2. Para os reservatórios do RN, a geração somente no Açude Eng. Armando Ribeiro Gonçalves é 227% do consumo anual. Para a BA, a eletricidade gerada em duas barragens chega a 39%, no

caso 1, e 45%, no caso 2, do total consumido no estado. Para a PB, a geração de três barragens em relação ao consumo chega a 135% no caso 1 e a 156% no caso 2. Para MG, a geração chega a 7%, no caso 1, e a 8%, no caso 2, do consumo em 2020. Para PE, a eletricidade gerada em duas barragens chega a 25% no caso 1 e a 29% no caso 2. Para o PI, a geração chega a 12%, no caso 1, e 14%, no caso 2 do consumo. A Figura 5 compara as capacidades instaladas FVF por reservatório, em cada caso.

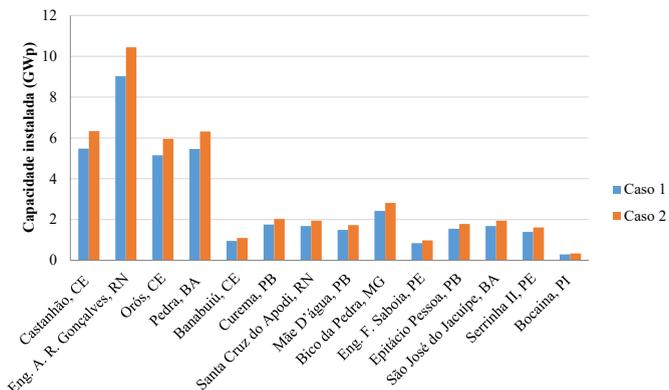


Figura 5 – Capacidade instalada: Caso 1 (módulos de 265 Wp) e 2 (módulos de 380 Wp)

Tabela 2 - Geração anual FVF estimada em comparação com o consumo anual dos estados do semiárido

Reservatório (Classificação)	Área (80% de confiabilidade (km²))	Área para os módulos FV (km²)	Caso 1 (módulos de 265 Wp)				Caso 2 (módulos de 380 Wp)			
			Nº de módulos	Capacidade (GWp)	Geração (GWh/Ano)	% do consumo estadual	Nº de módulos	Capacidade (GWp)	Geração (GWh/Ano)	% do consumo estadual
Castanhão, CE - (5)	50,30	33,19	20646	5,47	8578,82	72%	16658	6,33	9925,31	83%
Eng. A. R. Gonçalves, RN - (5)	82,98	54,76	34059	9,03	14205,11	227%	27480	10,44	16434,67	263%
Orós, CE - (5)	47,30	31,21	19415	5,14	8109,01	68%	15664	5,95	9381,76	78%
Pedra, BA - (5)	50,18	33,11	20597	5,46	7452,56	30%	16618	6,31	8622,27	35%
Banabulú, CE - (5)	8,72	5,75	3590	0,95	1461,01	12%	2888	1,10	1690,32	14%
Curema, PB - (4)	16,10	10,62	6609	1,75	2855,04	51%	5332	2,03	3303,16	59%
Santa Cruz do Apodi, RN - (4)	15,45	10,19	6345	1,68	2689,80	43%	5117	1,94	3111,98	50%
Mãe D'água, PB - (4)	13,71	9,04	5628	1,49	2453,43	44%	4540	1,73	2838,51	51%
Bico da Pedra, MG - (4)	22,30	14,71	9153	2,43	3820,35	7%	7384	2,81	4419,97	8%

Tabela 2 - Geração anual FVF estimada em comparação com o consumo anual dos estados do semiárido (cont.)

Reservatório (Classificação)	Área (80% de confiabilidade (km ²))	Área para os módulos FV (km ²)	Caso 1 (módulos de 265 Wp)				Caso 2 (módulos de 380 Wp)			
			Nº de módulos	Capacidade (GWp)	Geração (GWh/Ano)	% do consumo estadual	Nº de módulos	Capacidade (GWp)	Geração (GWh/Ano)	% do consumo estadual
Eng. Francisco Saboia, PE - (4)	7,74	5,10	3177	0,84	1328,22	9%	2563	0,97	1536,69	11%
Epitácio Pessoa, PB - (4)	14,17	9,35	5816	1,54	2255,39	40%	4692	1,78	2609,38	47%
São José do Jacuípe, BA - (4)	15,45	10,19	6342	1,68	2312,26	9%	5117	1,94	2675,18	11%
Serrinha II, PE - (4)	12,76	8,42	5238	1,39	2175,34	15%	4226	1,61	2516,77	18%
Bocaina, PI - (4)	2,68	1,76	1100	0,29	453,30	12%	888	0,34	524,44	14%

5. CONCLUSÕES

O presente artigo analisa o potencial impacto da geração de plantas FVF em reservatórios, com a geração anual estimada sendo comparada com o consumo anual de energia elétrica dos estados, em 2020. Para escolha dos reservatórios utiliza-se como premissa a classificação de porte hídrico e disponibilidade de dados hidrológicos, de modo que sejam selecionados até no máximo três reservatórios por estado. Na abordagem metodológica é realizada uma análise de Cota-Área-Volume (CAV), com uma base histórica de 2001-2021, da qual é observada uma relação logarítmica entre cota-área e cota-volume. Através das curvas de permanência (CP) é determinada a capacidade de plantas FVF na superfície dos reservatórios com uso de um nível de confiabilidade, que no estudo é considerado de 80%.

O potencial de geração FVF é calculado para dois cenários, considerando módulos de 265 Wp e 380 Wp e, posteriormente comparado com o consumo dos estados. Para o CE a perspectiva de geração é de 18,15 TWh no cenário 1 e 20,99 TWh para o cenário 2, para o RN a geração é de 16,89 TWh no cenário 1 e 19,54 TWh para o cenário 2, para a BA a geração é de 9,76 TWh no cenário 1 e 11,29 TWh para o cenário 2, para a PB a geração é de 7,56 TWh para o cenário 1 e 8,75 para o cenário 2, para PE a geração é de 3,50 TWh para o cenário 1 e 4,05 TWh para o cenário 2, para o PI a geração é de 0,45 TWh para o cenário 1 e 0,52TWh para o cenário 2, e para MG a geração é de 3,82 TWh no cenário 1 e 4,41 TWh no cenário 2. Considerando a participação desta geração no consumo de eletricidade de cada estado, o percentual varia de forma significativa, função principalmente da área calculada para os módulos FV e do nível de consumo estadual. O reservatório Eng. Armando Ribeiro Gonçalves apresenta os maiores valores percentuais: 227% e 263% do consumo do RN para os casos

1 e 2, respectivamente; os menores valores percentuais são encontrados no reservatório Bico da Pedra: 7% e 8% do consumo de MG para os casos 1 e 2, respectivamente.

Os resultados encontrados através da metodologia apresentada podem ser usados para auxiliar as políticas energéticas dos estados mencionados, identificando projetos prioritários para financiamento. Assim, o planejamento energético estadual pode ser incrementado com a identificação de reservatórios mais viáveis para a instalação de plantas FVF, contribuindo para o desenvolvimento regional. Como resultado, plantas FVF em reservatórios do semiárido brasileiro, além de propiciar uma alternativa de geração limpa e sustentável, podem suprir total ou parcialmente a demanda elétrica de seus respectivos estados.

Dentre os principais benefícios de utilizar reservatórios para instalação de plantas FVF se destacam:

- a. Redução da evaporação da água dos reservatórios, contribuindo para a segurança do armazenamento hídrico de regiões semiáridas;
- b. Redução da necessidade de utilização de novas áreas de terras habitáveis e produtivas para a instalação de plantas FV;
- c. Redução da necessidade de limpeza da sujidade devido à poluição por poeira sobre os módulos FV;
- d. Aumento da geração devido ao resfriamento dos painéis FV pela proximidade com a água;
- e. Potencial turístico, considerando que as plantas FVF atraem turistas e recursos para a comunidade local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABID, M. et al. Prospects of floating photovoltaic technology and its implementation in Central and South Asian Countries. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 16, n. 3, p. 1755-1762, 2019.

ABSOLAR (org.). Panorama do solar fotovoltaico no Brasil e no mundo. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 02 nov. 2022.

AKŠAMOVIĆ, Abdulah et al. DC Cabling of Large-Scale Photovoltaic Power Plants. *Applied Sciences*, v. 12, n. 9, p. 4500, 2022.

ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). SAR – Sistema de acompanhamento de reservatórios. 2022. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sar/>. Acesso em: 16 out. 2022.

BUSSON, Bruna et al. Experimental assessment and modeling of a floating photovoltaic module with heat bridges. *IEEE Latin America Transactions*, v. 19, n. 12, p. 2079-2086, 2021.

CAVALCANTE, Yuri de Sousa. Análise do potencial de plantas fotovoltaicas flutuantes em açudes do Ceará. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018

CHENG, Yiben et al. Is annual recharge coefficient a valid concept in arid and semi-arid regions? *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 21, n. 10, p. 5031-5042, 2017.

CLAUS, R.; LÓPEZ, M. Key issues in the design of floating photovoltaic structures for the marine environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 164, p. 112502, 2022.

DAS NEVES, Carlos Eduardo Teixeira et al. Análise Dos Índices De Mérito De Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes Em Ambientes Distintos: Solo E Flutuante. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS. 2022.

DOBRE, Leonard Cătălin; ȚURCANU, Alexandru; CRĂCIUNESCU, Aurelian. Floating Photovoltaic Power Plants. In: 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE). IEEE, 2021. p. 1-4.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

FARRAR, Lewis W. et al. Floating solar PV to reduce water evaporation in water stressed regions and powering water pumping: Case study Jordan. *Energy Conversion and Management*, v. 260, p. 115598, 2022.

FERREIRA, G. et al. Análise do consumo e geração de eletricidade dos estados nordestinos entre 2006 e 2020. *Revista Brasileira de Energia*, v. 28, n 1, p. 125-160, 2022. [DOI: 10.47168/rbe.v28i1.653]

FREITAS, Breno Bezerra et al. Scenarios for Ceará's electricity Generation matrix in 2050. *Ciência e Natura*, v. 42, p. 63, 2020.

GIORDANI, Soraia et al. Aspectos ambientais, de licenciamento e avaliação do potencial de implantação de usinas fotovoltaicas flutuantes no estado do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS. 2022.

GOEL, Ayush; YADAV, Deepanshu; KESARI, J. P. Floating solar photovoltaic system. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, v. 4, n. 4, 2022.

GÜNTNER, Andreas; BRONSTERT, Axel. Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modelling in semi-arid areas. *Journal of Hydrology*, v. 297, n. 1-4, p. 136-161, 2004.

IEA, Solar PV power generation in the Net Zero Scenario, 2010-2030, IEA, Paris. IEA. License: CC BY 4.0, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/solar-pv-power-generation-in-the-net-zero-scenario-2010-2030>. Acesso em: 27 out. 2022.

INFO ENERGYDATA. Global solar atlas. 2021. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.609193,8.4375,3>. Acesso em: 02 nov, 2022.

LOPES, Mariana Padilha Campos et al. Technical potential of floating photovoltaic systems on artificial water bodies in Brazil. *Renewable Energy*, v. 181, p. 1023-1033, 2022.

MA, Chao; WU, Runze; SU, Hui. Design of floating photovoltaic power plant and its environmental effects in different stages: A review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 13, n. 6, p. 062701, 2021.

MACÊDO, R. D. O. L. J. Avaliação do potencial para geração de energia renovável nas barragens Armando Ribeiro Gonçalves e Gargalheiras - RN. 2022. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022

MATOS, A. J. S. Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional CAV-NH. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MITTAL, Divya; SAXENA, Bharat Kumar; RAO, K. V. S. Floating solar photovoltaic systems: An overview and their feasibility at Kota in Rajasthan. In: 2017 international conference on circuit, power and computing technologies (ICCPCT). IEEE, 2017. p. 1-7.

PAŠALIĆ, Sedir; AKŠAMOVIĆ, Abdulah; AVDAKOVIĆ, Samir. Floating photovoltaic plants on artificial accumulations—Example of Jablanica Lake. In: 2018 IEEE international energy conference (ENERGYCON). IEEE, 2018. p. 1-6.

PORTO, Yorrana Coutinho et al. Viabilidade técnica para implantação de um sistema solar fotovoltaico flutuante em um reservatório do semi-árido brasileiro. *Revista Tecnologia*, v. 38, n. 2, 2017.

POURAN, Hamid M. et al. Environmental and technical impacts of floating photovoltaic plants as an emerging clean energy technology. *Is-science*, v. 25, n. 11, p. 105253, 2022.

RAJAUD, Amélie ; NOBLET-DUCOUDRÉ, Nathalie de. Tropical semi-arid regions expanding over temperate latitudes under climate change. *Climatic Change*, v. 144, n. 4, p. 703-719, 2017.

RAVICHANDRAN, N.; PANNEERSELVAM, B. Floating photovoltaic system for Indian artificial reservoirs—an effective approach to reduce evaporation and carbon emission. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 19, n. 8, p. 7951-7968, 2022.

RAVICHANDRAN, Nagananthini; FAYEK, Hady H.; RUSU, Eugen. Emerging floating photovoltaic system—Case studies high dam and Aswan reservoir in Egypt. *Processes*, v. 9, n. 6, p. 1005, 2021.

REGES, Jonas Platini et al. Sizing Methodology of Floating Photovoltaic Plants in Dams of Semi-Arid Areas. *Journal of Solar Energy Engineering*, v. 144, n. 4, p. 041003, 2022. [DOI: 10.1115/1.4052959]

RELLA, Ricardo. Energia fotovoltaica no Brasil. *Revista de Iniciação Científica*, v. 15, n. 1, p. 28-38, 2017.

SANTOS, Fernando Roberto dos et al. Effects of a floating photovoltaic system on the water evaporation rate in the Passaúna reservoir, Brazil. *Energies*, v. 15, n. 17, p. 6274, 2022.

SIQUEIRA, Daniel Carlos Santos de; ALMEIDA SOUSA, Vinicius Davi de; SILVA LESS, Diani Fernanda de. Sistema fotovoltaico flutuante, principais entraves e desafios de implantação no Brasil: uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 1, p. e45311125084-e45311125084, 2022. O TÍTULO NÃO É EM INGLÊS?

SOUSA, Nararaly Pereira de. Avaliação e análise da instalação de uma usina solar fotovoltaica flutuante no açude Rosário do município de Lavras da Mangabeira-CE. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2022.

STRANGUETO, Karina Maretti. Estimativa do potencial brasileiro de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidroelétricas. 147f. Tese de doutorado (Curso de Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2016.

SUDENE. Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de nº 107, de 27/07/2017 e de nº 115, de 23/11/2017. 2017.

TARIGAN, Elieser. Simulation of the floating pv system to supply electricity demand for the city of Surabaya, Indonesia. In: 2021 6th International Conference on Renewable Energy: Generation and Applications (ICREGA). IEEE, 2021. p. 48-53.

TRAPANI, Kim; MILLAR, Dean L. The thin film flexible floating PV (T3F-PV) array: The concept and development of the prototype. *Renewable Energy*, v. 71, p. 43-50, 2014.

VOGEL, Richard M.; FENNESSEY, Neil M. Flow-duration curves. I: New interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 120, n. 4, p. 485-504, 1994.

XIAO, Yanli et al. Investment risk evaluation of inland floating photovoltaic power plants in China using the HFLTS–TFN method. *Clean Energy*, v. 5, n. 3, p. 536-550, 2021.

XU, Pengpeng; WELLENS, Peter R. Theoretical analysis of nonlinear fluid–structure interaction between large-scale polymer offshore floating photovoltaics and waves. *Ocean Engineering*, v. 249, p. 110829, 2022.

YOUSUF, Hasnain et al. A review on floating photovoltaic technology (FPVT). *Current Photovoltaic Research*, v. 8, n. 3, p. 67-78, 2020.