



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO E ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE UMA USINA SOLAR
FOTOVOLTAICA FLUTUANTE NO AÇUDE ROSÁRIO DO MUNICÍPIO DE
LAVRAS DA MANGABEIRA-CE

Discente: Nararaly Pereira De Sousa

Orientador: Prof. Dr. André Sobral

Coorientadora: Prof^ª Me. Tatiane Carolyne Carneiro

POMBAL – PB

2022

NARARALY PEREIRA DE SOUSA

AVALIAÇÃO E ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE UMA USINA SOLAR
FOTOVOLTAICA FLUTUANTE NO AÇUDE ROSÁRIO DO MUNICÍPIO DE
LAVRAS DA MANGABEIRA-CE

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal de
Campina Grande – UFCG, Campus Pombal,
como parte das exigências para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. André Sobral

Coorientadora: Prof.^a Tatiane Carolyne
Carneiro

POMBAL-PB

2022

S725a Sousa, Nararaly Pereira de.

Avaliação e análise de instalação de uma usina solar fotovoltaica flutuante no açude Rosário do município de Lavras da Mangabeira-CE / Nararaly Pereira de Sousa. – Pombal, 2022.

44 f. il. color

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Prof. Dr. André Sobral, Profa. Ma. Tatiane Carolyne Carneiro”.

Referências.

1. Energia solar. 2. Curva de permanência. 2. Planta fotovoltaica - Dimensionamento. 4. Impactos Ambientais. 5. Semiárido. 6. Usina Fotovoltaica Flutuante - UFVF. I. Sobral, André. II. Carneiro, Tatiane Carolyne. III. Título.

CDU 620.92(043)

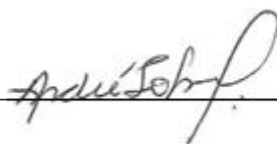
NARARALY PEREIRA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO E ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE UMA USINA SOLAR
FOTOVOLTAICA FLUTUANTE NO AÇUDE ROSÁRIO DO MUNICÍPIO DE
LAVRAS DA MANGABEIRA-CE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovado em 18 de agosto de 2022.

BANCA EXAMINADORA



Orientador - Prof. Dr. André Sobral
Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande – *Campus Pombal*.



Examinador Interno - Prof. Dr. Raphael Borges da Nóbrega
Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande – *Campus Pombal*.



Examinador Externo - Dr. Jonas Platini Reges
Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará.

Pombal-PB
2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre está presente nos momentos mais difíceis, pela saúde e discernimento concebido durante a jornada de graduação.

A minha mãe, Maria Ivani de Sousa Pereira, por sua história de vida que me encorajou a nunca desistir. Ao meu pai, Raimundo Pereira Neto.

Aos meus irmãos, Cintia, Ranier, Raniely, Nayara e Maria Aparecida, por serem meu alicerce e sempre apoiarem minhas decisões.

Ao meu noivo Felipe Euler Sousa Silva Rodrigues, por todo apoio e incentivo durante essa jornada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. André Sobral e minha coorientadora Prof^a Me. Tatiane Carolyne, pela paciência e todo conhecimento repassado.

Aos meus amigos de graduação, por todo apoio e incentivo prestados no decorrer desses anos, em especial Isabel Pimenta Gabriel e a Barbara Marinho por toda paciência, carinho e compreensão.

A minha prima Rosânia, por toda ajuda e troca de experiências durante o período de graduação.

Fica registrado também o meu agradecimento a Maiara, Amaral, Ellida, Filipe, Vanuza e Priscila, por todos os conhecimentos compartilhados.

A todos que aqui não foram citados, mas que direta ou indiretamente contribuíram para que eu conseguisse chegar até aqui.

Aos meus professores de graduação que fizeram parte da minha formação acadêmica. A todos, o meu muito obrigada.

Agradeço também aos professores que fizeram parte da minha história desde a infância.

Ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), por todo suporte.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram com minha jornada acadêmica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Potência Instalada (MW) e status das usinas outorgadas do mercado regulado e livre por estado Brasileiro.....	12
Figura 2 - Layout de uma UFVF.	16
Figura 3 - Distribuição mundial das plantas FVF ou UFVF por tipo de reservatório.	17
Figura 5 - Mapa de localização do município de Lavras da Mangabeira – CE.....	23
Figura 6 - Registro do açude Rosário em Lavras da Mangabeira - CE	24
Figura 7 - Fluxograma das etapas metodológicas do estudo.....	25
Figura 8 - Visão do Site do portal Hidrológico do Ceará.	26
Figura 9 - Informações do Açude Rosário.	27
Figura 10 - Evolução do volume armazenado do Açude do Rosário.	27
Figura 11 - Dados do Açude do Rosário	28
Figura 12 - CAV do açude Rosário.....	28
Figura 13 - Construção do Gráfico para realizar a regressão polinomial de segundo grau no Excel – Passo 1.	29
Figura 14 - Construção do Gráfico para realizar a regressão polinomial de segundo grau no Excel – Passo 2.	29
Figura 15 - Construção do CP no Excel do Açude do Rosário com dados diários.	31
Figura 16 - CP da área inundada do açude Rosário.	31
Figura 17 - CP da área inundada com as condições limites mínima e máxima.	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Implantação de uma UFVF as atividades relativas a ocorrência dos impactos causados.	21
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área total disponível, número de corpos hídricos avaliados e distribuição do potencial FPV em reservatórios artificiais por Continente.	19
Tabela 2 - Distribuição das condições limites para a Área UFVF.	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAV	Cota-Área-Volume
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CP	Curva de Permanência
FV	Fotovoltaico
FVF	Fotovoltaicas Flutuantes
UFVF	Usina Fotovoltaica Flutuante

RESUMO

A Usina Fotovoltaica Flutuante (UFVF) consegue ser uma alternativa para amenizar os problemas de abastecimento de água, por meio da redução da evaporação da água do reservatório. Outra vantagem, quando comparado com as usinas fotovoltaicas, é o aumento da eficiência na geração de eletricidade, pois a água contribui no arrefecimento das placas. Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise da metodologia de dimensionamento empregada para a implantação de uma UFVF e avaliar a geração solar fotovoltaica mediante a construção da Curva de Permanência (CP) do açude Rosário, município de Lavras da Mangabeira - CE. Assim, evidenciou-se uma análise dos ganhos em armazenamento da água do reservatório, impactos socioambientais e oportunidades para redução de custos. Os procedimentos metodológicos pautaram-se em quatro etapas: obtenção dos dados históricos do açude; construção da CP referente a área inundada do reservatório; escolha dos níveis de confiabilidade (90% e 80%) e verificação das condições limites para determinar a área da UFVF, cálculo da capacidade instalada da UFVF e produção diária de eletricidade através dos valores diários de produtividade fotovoltaica local. A metodologia de dimensionamento foi elaborada a partir da construção de dois cenários para a produção de energia elétrica. Os módulos escolhidos para cada cenário, são de 245 Wp e 275 Wp. Os resultados da análise de implantação da Área UFVF para a produção anual de energia elétrica pode chegar a 470,70 GWh e 612,14 GWh. A potência total da UFVF encontrada no estudo de caso para os cenários escolhidos foi 286,57 MWp e 372,69 MWp.

Palavras-chave: Curva de Permanência. Dimensionamento. Energia Solar. Impactos Ambientais. Semiárido. Usina Fotovoltaica Flutuante.

ABSTRACT

The Floating Photovoltaic Plant (UFVF) can be an alternative to alleviate water supply problems, by reducing the evaporation of water from the reservoir. Another advantage, when compared to photovoltaic plants, is the increased efficiency in electricity generation, as water contributes to the cooling of the plates. This work aims to present an analysis of the sizing methodology used for the implementation of a UFVF and to evaluate the photovoltaic solar generation through the construction of the Permanence Curve (CP) of the Rosário reservoir, municipality of Lavras da Mangabeira - CE. Thus, an analysis of the gains in storage of the water from the reservoir, socio-environmental impacts and opportunities for cost reduction was evidenced. The methodological procedures were based on four steps: obtaining historical data from the dam; construction of the CP referring to the flooded area of the reservoir; choice of reliability levels (90% to 80%) and verification of boundary conditions to determine the UFVF area (UFVF Area), calculation of the UFVF's installed capacity and daily electricity production through the daily values of local photovoltaic productivity. The dimensioning methodology was elaborated from the construction of two scenarios for the production of electric energy. The modules chosen for each scenario are 245 Wp and 275 Wp. The results of the analysis of the implementation of the UFVF Area for the annual production of electricity can reach 470.70 GWh and 612.14 GWh. The total power of the UFVF found in the case study for the chosen scenarios was 286.57 MWp and 372.69 MWp.

Keywords: Permanence Curve. Sizing. Solar Energy. Environmental Impacts. Semi-arid. Floating Photovoltaic Plant.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1	FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – ENERGIA SOLAR.....	14
3.2	USINAS FOTOVOLTAICAS FLUTUANTES - UFVFs	14
3.3	USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE - UFVF	16
3.4	APLICAÇÃO - ESTUDOS DE CASO	18
3.5	IMPACTO AMBIENTAL – UFVF.....	20
4	MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	23
4.2	MAPEAMENTO DA ÁREA	25
4.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DE DIMENSIONAMENTO DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS DO AÇUDE DO ROSÁRIO.....	25
4.3.1	Dados históricos do açude Rosário	26
4.3.2	Construção da Curva de Permanência.....	30
4.3.3	Determinação dos níveis de confiabilidade	31
4.3.4	Capacidade instalada da UFVF.....	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	ESCOLHA DOS NIVEIS DE CONFIABILIDADE.....	33
5.2	ANALISE DO CENÁRIO 1 E 2 E DA CAPACIDADE INSTALADA DA UFVF 34	
5.3	CÁLCULO DA CAPACIDADE INSTALADA E DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DA UFVF PARA A ÁREA DE ESTUDO	34
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
7	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A humanidade sempre buscou por fontes de energia, a princípio, utilizavam o sol como fonte de luz e de calor, e logo após a descoberta do fogo. Com a urbanização, se dá início aos processos industriais e a um novo estilo de vida para os países mais desenvolvidos, fazendo com que a energia fosse utilizada na maioria das atividades humanas, assim como nos dias de hoje (BIZERRA; QUEIROZ; COUTINHO, 2018).

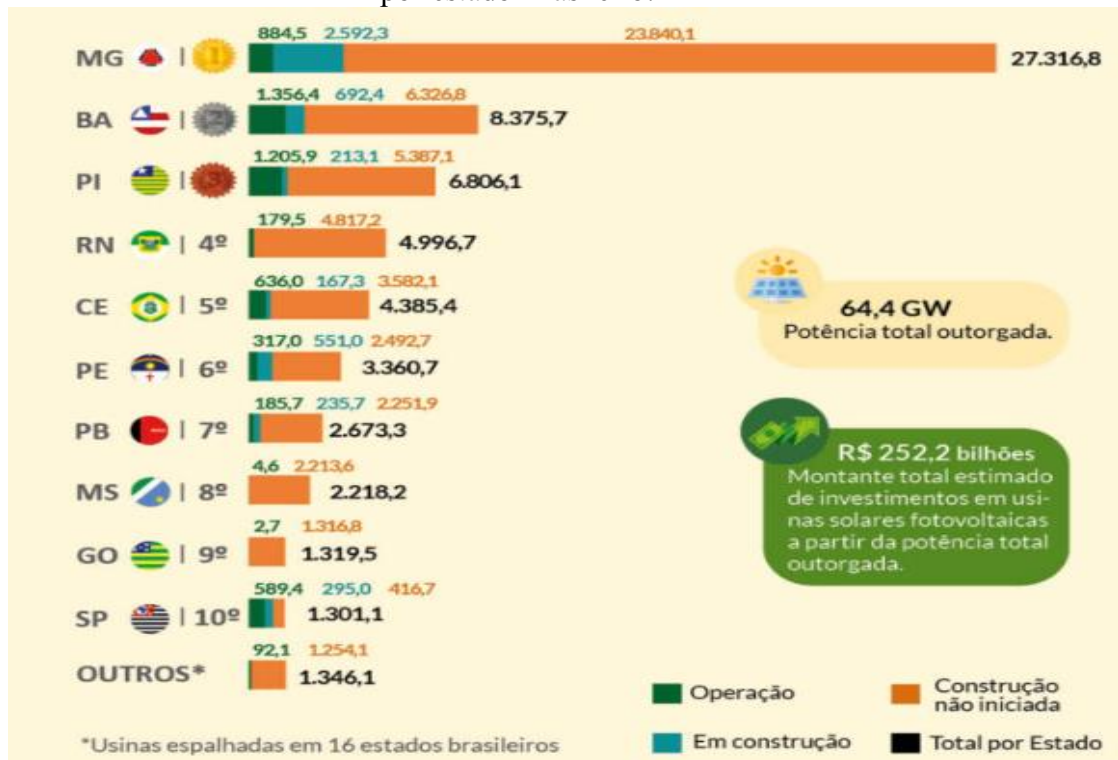
Em decorrência do avanço da tecnologia e do crescimento populacional e industrial houve também o aumento da necessidade e da demanda por energia elétrica. Grande parte da geração de energia elétrica advém de processos de queima de combustíveis fósseis principalmente petróleo e seus derivados, carvão mineral e gás natural. A utilização dos combustíveis fósseis tem se intensificado desde o século XIX e tem colaborado com uma variedade de impactos ambientais e sociais além da emissão de gases que estão correlacionados ao efeito estufa.

Um dos maiores desafios da atualidade é conciliar a geração de energia elétrica com a conservação dos recursos naturais e com baixos impactos ambientais, e isso resulta em uma maior demanda de novas fontes alternativas de geração de energia. Em muitos países as fontes renováveis de energia vêm ganhando maior participação na matriz elétrica global. Em países como o Brasil, as fontes de energia menos poluentes de maior destaque são a energia hidrelétrica, eólica e solar, que juntas representam mais da metade das fontes energéticas do País (Absolar, 2022).

A energia solar é gerada por meio de módulos fotovoltaicos que captam a irradiação solar e a converte em energia elétrica, podendo ser um sistema fotovoltaico convencional ou flutuante. A diferença entre os dois sistemas está basicamente em seu local de instalação e sua estrutura de fixação, pois exercem as mesmas funções de conversão de energia.

A energia solar fotovoltaica já lidera um espaço no mercado de forma significativa, principalmente em regiões com grandes índices de incidência solar, como a região Nordeste do Brasil, conforme Figura 1.

Figura 1- Potência Instalada (MW) e status das usinas outorgadas do mercado regulado e livre por estado Brasileiro.



Fonte: Absolar, 2022.

Os estados que se destacam e lideram em potência instalada em operação são: Bahia e Piauí seguido por Minas Gerais, Ceará e Pernambuco, a maioria no Nordeste do País (Absolar, 2022). Apesar de ainda estar em fase de estudos, as Usinas Fotovoltaicas Flutuantes - UFVF têm mostrado maiores vantagens em relação às usinas fotovoltaicas tradicionais, principalmente devido ao aumento de eficiência na geração de energia, pois os sistemas fotovoltaicos flutuantes são instalados em locais com temperaturas mais amenas resultando no aumento da eficiência na conversão de energia. Os ganhos de energia entre os sistemas podem variar entre 4% e 14,5% (MME, 2020).

Diante desse contexto, o estudo de metodologias que auxiliem na escolha de uma fonte de energia mais limpa possível é importante. A UFVF assume relevância com a preocupação sobre as questões ambientais, considerando-se também o cenário econômico atrelado a necessidade de fontes limpas e renováveis para a geração de energia.

Levando em conta o vasto recurso solar existente na região Nordeste do Brasil e o alto índice de evaporação dos reservatórios, a UFVF tem o potencial de contribuir com o setor elétrico cumprindo dois importantes papéis: gerar energia elétrica limpa e auxiliar na preservação da água do reservatório onde o sistema foi instalado, favorecendo no controle e na melhoria da qualidade da água. A partir de uma análise geográfica, pode-se observar que o

impacto da cobertura de grandes superfícies pode melhorar a bacia de água e equilíbrio em seus aspectos físicos e biológicos (ROSA-CLOT; TINA, 2018).

Portanto, atentando a necessidade de ampliar a geração de energia limpa através de novas alternativas, nesse estudo propôs-se uma metodologia que atendesse a implementação de uma UFVF no açude de Rosário, localizado no município de Lavras da Mangabeira, estado do Ceará, Brasil. Além disso, essa proposta atribui-se a necessidade de um estudo bibliográfico para analisar os impactos ambientais decorrente da implementação da UFVF, como também da sua aplicabilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a inserção de uma usina solar fotovoltaica flutuante em reservatório de água na cidade de Lavras da Mangabeira-CE, através da utilização do software Excel.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar o mapeamento da área em estudo;
- Construção da Curva de Permanência;
- Analisar o potencial de geração de energia a partir de uma UFVF no reservatório Rosário;
- Realizar avaliação bibliográfica de potenciais impactos ambientais da instalação de uma UFVF em reservatório de água;
- Aplicar metodologia que auxilie nos cálculos de dimensionamento e simulação da instalação da UFVF.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – ENERGIA SOLAR

As fontes de energias renováveis como a eólica, solar, e por ondas dentre outras, oferecem uma alternativa ecológica e econômica com relação aos combustíveis fósseis e já estão desempenhando um papel crucial no atendimento da crescente demanda global de energia, (RUSU, 2019).

Com intuito de preservar os recursos naturais, amenizar a sobrecarga da demanda de energia elétrica e reduzir os inúmeros impactos causados pelas tradicionais fontes de energias como as advindas de combustíveis fósseis, se tornou necessário a busca por energias alternativas. Essas fontes de energias renováveis agridem menos o meio ambiente e dentre elas estão a energia eólica, a energia fotovoltaica ou solar, a energia hidráulica, biomassa, biogás, e outras que atualmente vem crescendo e ganhando espaço no mercado (AGUILAR; OLIVEIRA; ARCANJO, 2012).

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), responsável pelos serviços de fiscalização e regulação de energia elétrica no país, inclui as fontes de energias provenientes do sol, dos ventos, do mar, geotérmica, do esgoto, lixo e dejetos animais, como “outras fontes”. Energias que são consideradas renováveis e do ponto de vista ambiental, sustentáveis. Essas fontes alternativas diversificam as fontes de energia elétrica, reduzindo a dependência da utilização dos combustíveis fósseis, como exemplo o carvão e o petróleo, onde a queima desses produtos é responsável pela maioria das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) (ANEEL, 2008).

Através do Programa de Desenvolvimento de Geração e Distribuição de Energia Elétrica, criado em 2015, o Brasil busca expandir e estimular a geração de energias renováveis pelos próprios consumidores, principalmente a fotovoltaica por meio de incentivos, fornecendo linhas de crédito a indústrias e residências. Criações de novos programas federais também visam incentivar os municípios e estados mais distantes a obterem sua geração de energia limpa (MME, 2015).

3.2 USINAS FOTOVOLTAICAS FLUTUANTES - UFVFs

O conceito de geração de UFVF resulta da combinação entre duas tecnologias: a tecnologia Fotovoltaica (FV) e a tecnologia de flutuação (SAHU et al., 2016). Novas pesquisas

sobre as usinas fotovoltaicas flutuantes ganham força com o desenvolvimento da tecnologia, principalmente devido a redução das emissões do carbono por essa fonte de geração de energia, onde se torna de interesse mundial (GORJIAN *et al.*, 2021).

A UFVF tem uma grande vantagem, que é a não necessidade de terreno para serem instaladas, com isso evita-se o desmatamento de grandes áreas e em alguns casos com o custo de locação ou compra do terreno, uma vez que são instaladas sobre as águas dos oceanos, lagos, lagoas, reservatórios, estações de tratamento de águas residuais, represas, canais, etc. Além disso, outra vantagem é a preservação dos corpos d'água, devido à redução da propagação dos raios do sol, o reservatório perde menos volume por evaporação, há ganhos de eficiência na produção de energia, redução da temperatura dos módulos dentre outras. Porém, alguns impactos ambientais podem ser analisados também, devido à baixa incidência solar na água, pode haver uma redução potencial do crescimento das algas, reduzindo a capacidade de algumas plantas aquáticas realizarem a fotossíntese, afetando a qualidade da água, além disso, também existem as possibilidades de acidentes elétricos em razão dos cabos subaquáticos e ter impacto nos ecossistemas existentes (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016).

Há diversos tipos de plataformas flutuantes, sendo elas:

- Flutuadores para suporte e fixação direta dos módulos fotovoltaicos;
- Flutuadores + Estruturas metálicas (para apoiar os módulos fotovoltaicos): são mais simples que o anterior, sendo similares aos sistemas em terra;
- Membranas e tapetes: projetadas para suportar o estresse mecânico e a exposição ao sol, cobrem a superfície da água e criam uma base para instalação dos módulos;
- Estrutura tubular: módulos com suportes fixos, para maximizar a cobertura da área disponível, ou com rastreamento, para otimizar a geração de energia.

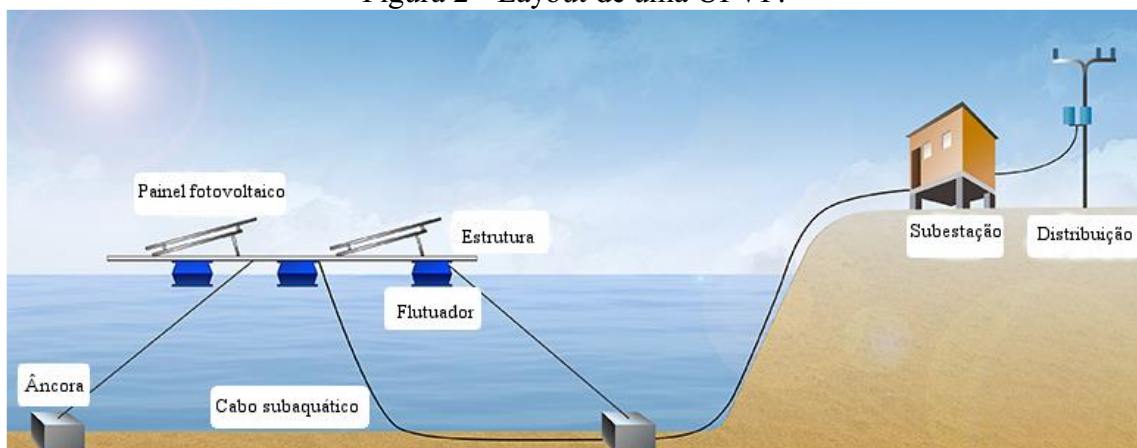
Cada plataforma e estrutura é escolhida de acordo com as particularidades do ambiente que será instalado, assim como o sistema de ancoragem e amarração, sendo as partes mais críticas da instalação das placas. Assim, torna-se necessário vários dados do local como a topografia, composição do solo, variação do nível d'água, velocidade e direção do vento e características de operação entre outras, garantindo a estabilidade e flutuabilidade das instalações de acordo com seu tempo determinado de vida útil, cerca de 25 anos (MME, 2020). As usinas tradicionais de geração de energia elétrica como a hidrelétrica têm a característica de utilizar um gerador síncrono para produção de energia. Além disso, oferecem serviços complementares à geração de energia que proporcionam estabilidade ao sistema por meio de controle de tensão e frequência, contribuição de inércia, capacidade de operação contínua e

recuperação de distúrbios. Já um módulo de UFVF devido à variabilidade e dependência do recurso luz do sol, não opera continuamente, o que dificulta a regulação da frequência no SIN. Além disso, por ser uma tecnologia baseada em inversores, não possui inércia, o que reduz drasticamente a capacidade de recuperação da estabilidade de frequência após uma perturbação, também são necessárias diferentes técnicas para controle de tensão, bem como para suporte em caso de queda de tensão. (CORREA, SAAVEDRA e RODRIGUEZ, 2020).

3.3 USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE - UFVF

Uma UFVF tem como principais componentes: sistema de flutuação, sistema de ancoragem, módulos FV, cabos e inversores. Na Figura 2 é possível verificar como é o *layout* de uma UFVF e seus componentes.

Figura 2 - Layout de uma UFVF.



Fonte: Choi, 2014; adaptada por Reges, 2022.

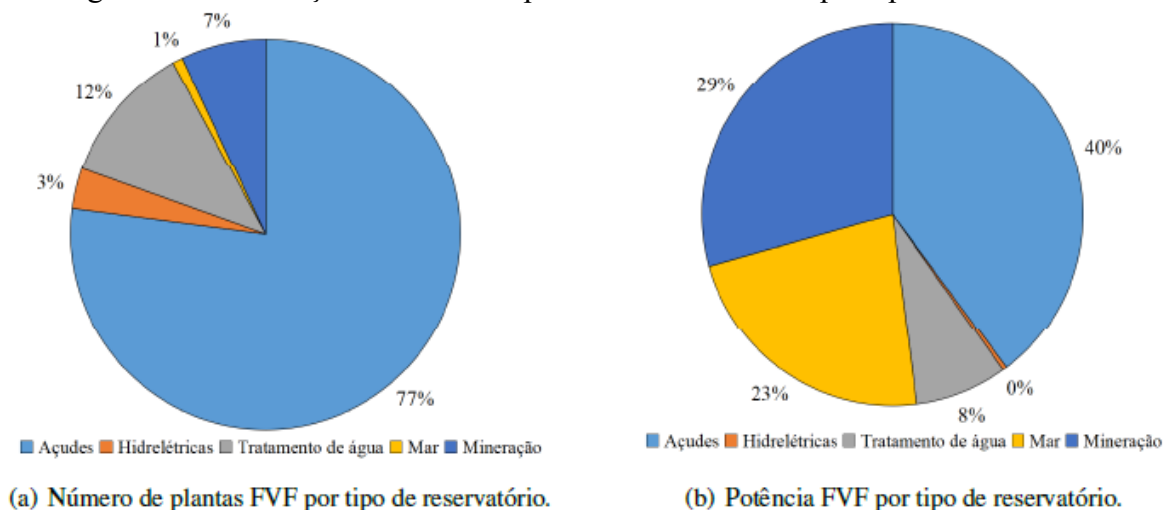
Conforme a EPE (2020) a UFVF é constituída de tais componentes:

- (i) Painéis fotovoltaicos: responsáveis por captar a irradiação solar e converter em energia elétrica;
- (ii) Plataformas flutuantes: são usadas como estrutura de suporte para instalação dos módulos fotovoltaicos, proporcionam estabilidade e flutuabilidade, podendo conter passarela para manutenção, suporte para os cabos elétricos e inversores;
- (iii) Ancoragem e amarração: objetiva a fixação da plataforma flutuante nas margens e/ou no fundo do corpo d'água, e deve ser capaz de resistir aos esforços causados pela variação do nível d'água e pelo vento; e
- (iv) Cabos elétricos e/ou cabos subaquáticos.

Um fator importante para instalação de uma UFVF é o layout do reservatório, pois as mesmas requerem planejamento e design específicos do local. Logo, a sua geometria deve ser flexível para se adaptar as diferentes geometrias internas dos reservatórios de água. O projeto de instalação deve levar em consideração o aproveitamento máximo da área de cobertura da mesma, minimizando o espaçamento entre os módulos FV, considerando o ângulo de inclinação e o acesso para manutenção. Por fim, outro fator importante é a orientação da UFVF, que depende da latitude e longitude do local de instalação (FERRER-GISBERT et al., 2013; SAHU et al., 2016).

Segundo Gamarra e Ronk (2019), a geração de energia FV está em ampliação em todo o mundo, especialmente em países com alta densidade populacional devido ao uso concorrente por terrenos disponíveis. Na Figura 3 apresenta-se a distribuição mundial das plantas Fotovoltaicas Flutuantes (FVF) ou UFVF por tipo de reservatório.

Figura 3 - Distribuição mundial das plantas FVF ou UFVF por tipo de reservatório.



Fonte: REGES, 2022.

Conforme Figura 3 (a) o maior número de plantas é encontrado em açudes (77%), seguida em plantas de tratamento de água (12%), Mineração, Hidrelétricas e Mar compõem essa distribuição com 7%, 3% e 1% respectivamente, assim como maior potência por tipo de reservatório (b) 40% são os açudes, seguido por mineração (29%), Mar (23%) e 8% em estações de tratamento de água (REGES, 2022). Logo, os açudes construídos para o armazenamento de água são uma alternativa para instalação de UFVF. Para a região semiárida do Brasil, Sacramento et al. (2015) relatam que a taxa de evaporação é 2.500 mm/ano e que a inserção de plantas FVF reduzem a evaporação do reservatório em até 70%. As instalações da UFVF abrem novas fronteiras para o aumento da capacidade instalada de geração solar, especialmente em

países com altas densidades populacionais onde há usos concorrentes para disponibilidade de terra.

Como desafios, quando o UFVF é instalado em grandes corpos d'água, eles devem ser capazes de resistir a tempestades (exigindo um forte sistema de amarração e ancoragem), o que também pode implicar em desvios da orientação e inclinação ideais (CHOI et al 2013). A manutenção pode ser mais desafiadora do que a usina montada em terra e, devido à sua implantação incipiente, alguns componentes ainda são mais caros, mas podem se beneficiar no futuro de economias de escala (RANJBARAN et al, 2019).

3.4 APLICAÇÃO - ESTUDOS DE CASO

Estudos conduzidos em diversos países têm mostrado que o aumento anual de energia produzida a partir de UFVF tem variado de 3,3% a 7,3% dependendo da localização, configuração geométrica da instalação e tecnologia dos módulos (mono-bifacial). Além disso, o rendimento dos sistemas flutuantes que tem se apresentado 10% maior do que os sistemas instalados no solo (Tina *et al.*(2021); Choi *et al.*(2016)).

Liu *et al.*(2017), através do método dos elementos finitos, calcularam a temperatura dos módulos assumindo uma temperatura ambiente próxima à superfície da água 5° mais baixa que a do solo. Os resultados mostram uma diferença de temperatura entre o módulo na água e em terra igual a 3,5° e um aumento na eficiência de cerca de 1,58–2%.

O mercado atual tem sido influenciado por várias grandes fábricas nos últimos anos, a maioria das quais surgiu na China total de 73% (950 MWp) seguida pelo Japão com uma participação total de 16% (180 MWp), Coreia, 6% Taiwan, 2% Reino Unido 1% e 2% os demais países. Estudos realizados em 2019 pelo Instituto de Pesquisa de Energia Solar de Cingapura (Banco Mundial, 2019) estimaram a quantidade possível de energia gerada por meio da instalação de módulos FV em corpos d'água artificiais disponíveis, na Tabela 1 é possível visualizar os resultados em três cenários diferentes onde o uso de 1%, 5% e 10% das superfícies disponíveis.

Tabela 1 - Área total disponível, número de corpos hídricos avaliados e distribuição do potencial FPV em reservatórios artificiais por Continente.

Continent	Total Available Surface Area (km ²)	Number of Water Bodies Assessed	FPV Potential (GWp)					
			Percentage of Used Total Surface Area			Possible Annual Energy Generation (GWh/y)		
			1%	5%	10%	1%	5%	10%
Africa	101130	724	101	506	1011	167165	835824	1671648
The Middle East and Asia	115621	2041	116	578	1156	128691	643456	1286911
Europe	20424	1082	20	102	204	19574	97868	195736
North America	126017	2248	126	630	1260	140815	704076	1408153
Oceania	4991	254	5	25	50	6713	33565	67131
South America	36271	299	36	181	363	58151	290753	581507
Total	404454	6648	404	2022	4044	521109	2605542	5211086

Fonte: Banco Mundial, 2019

A América do Norte, com quase 34% do total de corpos d'água e 32% do total de superfície d'água disponível, oferece a capacidade máxima de mercado de 1260 GWp quando o fator de área é de 100 Wp/m² e a taxa de desempenho da radiação solar é 80%, seguido pelo Oriente Médio e Ásia, África, América do Sul, Europa e Oceania.

A América do Norte, com quase 34% do total de corpos d'água e 32% do total de superfície d'água disponível, oferece a capacidade máxima de mercado de 1260 GWp quando o fator de área é de 100 Wp/m² e a taxa de desempenho da radiação solar é 80%, seguido pelo Oriente Médio e Ásia, África, América do Sul, Europa e Oceania.

Um estudo realizado por Farfan e Breyer (2018) determinou o potencial mundial para esses híbridos. Eles descobriram que cobrir os reservatórios hidrelétricos existentes com 25% de FPV poderia pelo menos dobrar a geração hidrelétrica (6.300 TWh versus 2.500 TWh). Em um estudo feito por Cazzaniga *et al* (2019), constatou-se que cobrir 2,5% dos reservatórios existentes poderia aumentar a produção de energia desses híbridos em cerca de um terço. No entanto, o FPV também pode restringir a operação da energia hidrelétrica porque um nível mínimo de água precisa ser mantido para evitar o encalhe das estruturas da FPV. Além disso há outra questão ainda pouco explorada da FPV, que é o seu efeito sobre o ecossistema aquático. Por exemplo, a FPV pode impactar a ecologia uma vez que a fotossíntese é controlada pela luz. Controlar a luz solar na quantidade certa pode reduzir o esgotamento de oxigênio como consequência da degradação da biomassa de algas e pode impedir o desenvolvimento de proliferação de algas tóxicas. No entanto, muito sombreamento pode matar todos os produtores primários pelágicos, como as microalgas, o que pode ter impactos prejudiciais na cadeia alimentar geral (ANINDITO *et al.*, 2018). No final de 2019, a capacidade fotovoltaica total instalada atingiu 518,2 GW em todo o mundo e 138 GWp na Europa.

Dois fatores podem limitar o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica, a saber:

- a) invasividade e impacto ambiental,
- b) intermitência e disponibilidade por tempo limitado.

Para superar tais problemas, duas soluções holísticas foram investigadas e implementadas, denominadas:

- a) "agrivoltaics", ou seja, usar a mesma superfície do terreno de forma sinérgica tanto para produzir energia fotovoltaica quanto para a agricultura convencional (Lytle *et al.*).
- b) "aquavoltaics", que é o uso de PV acima ou abaixo da superfície da água (por exemplo, lagos, reservatórios, mar) para produzir energia elétrica através de plantas PV flutuantes (FPV) e para a aquicultura. A tecnologia FPV começou a se firmar em 2015 graças a vários projetos de usinas instalados em todo o mundo (J. Limpo, 2021).

3.5 IMPACTO AMBIENTAL – UFVF

A resolução Conama N°. 001/1986, artigo 1º, define impacto ambiental como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas” (BRASIL,1986).

Para Sánchez (2013), o conceito operacional de impacto ambiental culmina na diferença entre a provável situação futura de um indicador ambiental e sua situação presente. Resulta na necessidade de prevenir e preservar o meio ambiente de ações que o modifique direta ou indiretamente e afetem a qualidade de vida dos meios bióticos, abióticos e antrópicos.

Apesar das UFVF produzirem energia limpa e renovável, a implantação e operação podem provocar sérios impactos socioambientais (Bezerra *et al.* 2017). O processo de fabricação dos módulos FV e de todos os insumos que compõem o sistema requerem grandes quantidades de energia, alto consumo de água e emitem gases de efeito estufa (Clemons *et al.* 2021).

Quando os sistemas fotovoltaicos flutuantes estão na fase de operação, a tecnologia apresenta impactos positivos por não emitir poluição sonora; reduzir o crescimento de algas e, conseqüentemente, diminuir a eutrofização; produzir energia elétrica limpa e renovável; poupar os recursos hídricos em virtude da diminuição das taxas de evaporação e requerer menor quantidade de água para limpeza de módulos fotovoltaicos, pois como o sistema é posicionado longe do solo, os efeitos da poeira são minimizados (Cazzaniga et al. 2018).

Lira *et al* 2021, estudaram os impactos relativos a UFVF e concluíram que estes podem ser classificados de maneira resumida em 4 grupos: impactos sobre a flora e a fauna, toxicidade da água, índices de evaporação e estudos de impactos ambientais de forma geral, no Quadro 1 é possível verificar os grupos e os impactos causados pela UFVF encontrados por Lira *et al* (2021), em estudos.

Quadro 1- Implantação de uma UFVF as atividades relativas a ocorrência dos impactos causados.

GRUPOS	IMPACTOS
Impactos sobre a flora e a fauna (Haas et al. 2020) (Clemons et al. 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Redução da luz incidente no reservatório • Interferência no desenvolvimento de algas • Qualidade da água
Toxicidade da água (Mathijssen et al. 2020) (Ziar et al. 2020) (Liu et al. 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Toxicidade para ecossistemas aquáticos • Lixiviação de metais pesados • Variação de temperatura da água • Diminuição da biomassa das plantas aquáticas • Quantidade de oxigênio dissolvida • Contaminação de corpos d'água devido a elementos tóxicos em decorrência da degradação do material dos módulos
Índices de evaporação (Bontempo Scavo et al. 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Alteração nos índices de evaporação da bacia hidrográfica/reservatório
Estudos de impactos ambientais de forma geral (Gorjian et al. 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto Visual • Poluição sonora e atmosférica durante construção • Contaminação da água pelo uso de produtos químicos durante a manutenção

Fonte: Autoria própria

Segundo Tina et al (2021) os módulos fotovoltaicos instalados em superfícies de água têm um resfriamento natural devido ao microclima em que operam, o que reduz as perdas de energia térmica. Além disso, eles podem ser equipados com sistemas simples e eficazes de resfriamento de água ativo forçado que melhoram ainda mais o seu desempenho.

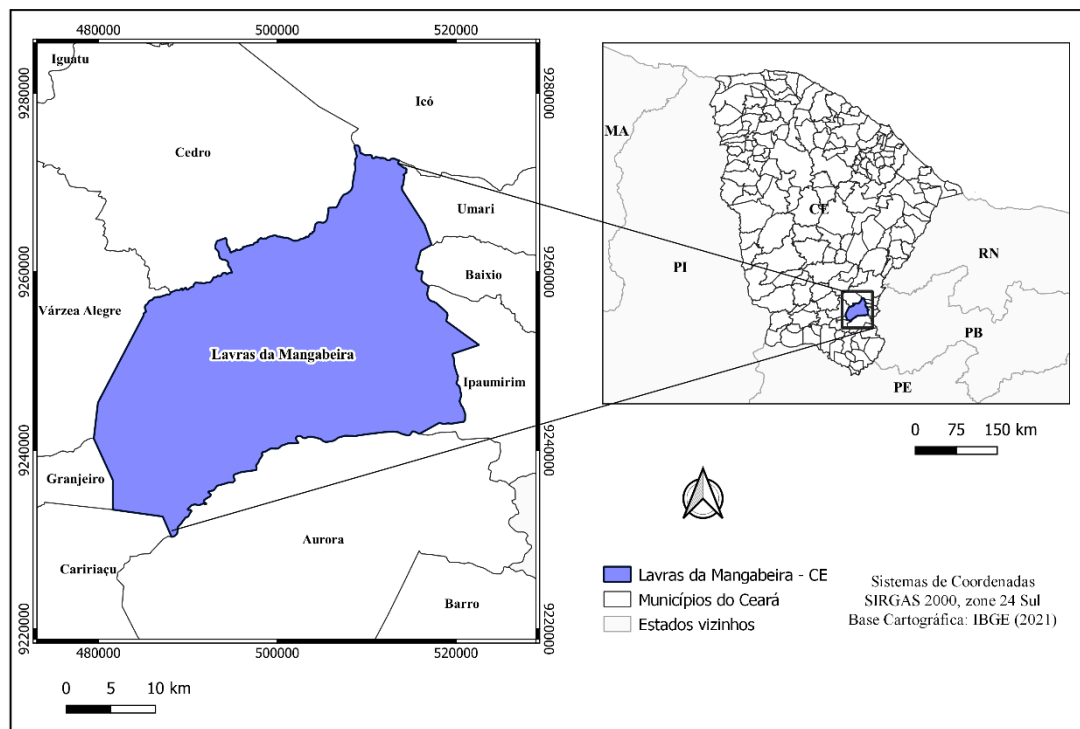
Outros benefícios potenciais da energia solar flutuante incluem: redução da evaporação em bacias hidrográficas, pois os painéis solares fornecem sombra e limitam os efeitos evaporativos; a melhoria da qualidade da água, graças à redução do crescimento de algas; a redução ou eliminação do sombreamento dos módulos fotovoltaicos; a eliminação da necessidade de grande preparação do local, como nivelamento ou colocação de fundações, que deve ser realizada para instalações no solo (TABOADA *et al*, 2017; SCAVO *et al*, 2020).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região Nordeste do Brasil, precisamente no Distrito de Quitaiús, Município de Lavras da Mangabeira no estado do Ceará, na qual faz parte da mesorregião Centro-Sul Cearense. Na figura 5, apresenta-se o mapa de localização da área de estudo.

Figura 4 - Mapa de localização do município de Lavras da Mangabeira – CE



Fonte: (Autor, 2022).

O município de Lavras da Mangabeira ($-6^{\circ} 45' 12''$ S e $-38^{\circ} 58' 18''$ W) dista 338 km da capital Fortaleza e possui, segundo a classificação de Köppen-Geiger, um clima Semiárido quente (BSh), caracterizado por forte insolação e escassez de chuvas com irregularidades em suas precipitações. O município possui temperaturas médias anuais por volta de 27°C com precipitação média de 250 a 750 mm por ano, de acordo com a EMBRAPA (1988). A vegetação predominante consiste na Caatinga Arbustiva Aberta, Caatinga Arbustiva Densa, Floresta Caducifolia Espinhosa e Floresta Mista Dicotilio-

Palmácea. No que se refere ao solo, as classes predominantes são os argissolos, luvisolos e planossolos (COGERH, 2011).

O açude Rosário (Figura 6), conhecido como açude do Quitaiús, possui um volume total de 47.200.000 m³ e faz parte da sub-Bacia do Salgado que integra a Bacia do rio Jaguaribe. A saber que são rios intermitentes, assim como a maior parte dos rios do semiárido brasileiro, possuem irregularidades na distribuição da precipitação e no escoamento de suas águas, para os municípios que compõe a sua bacia (COGERH, 2009).

Figura 5 - Registro do açude Rosário em Lavras da Mangabeira - CE



Fonte: Honório Barbosa (2022)

Esse açude teve sua barragem projetada no final da década dos anos 90 pela SRH/SOHIDRA sendo finalizado em 2001, tendo como finalidades o abastecimento urbano e a irrigação. A região possui mudanças de temperatura devido ao relevo acentuado, tendo em vista que os picos altimétricos variam em 277 a 767 metros de altura (COGERH, 2011).

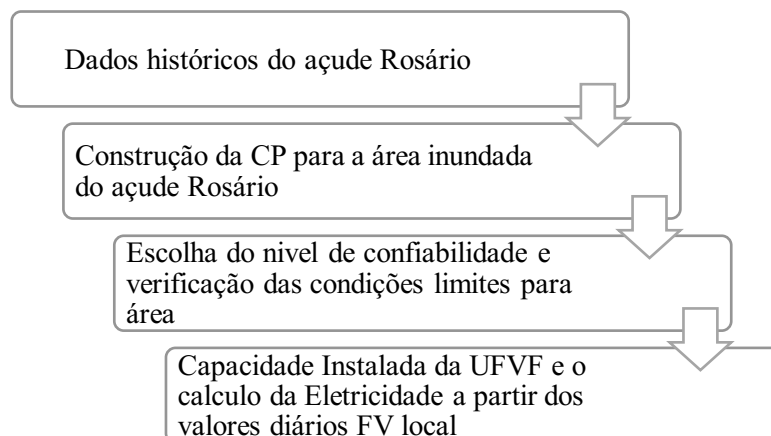
4.2 MAPEAMENTO DA ÁREA

O mapeamento do local de estudo foi realizado através da descrição da área em estudo que é composta pelo georreferenciamento da área. A elaboração do mapa do município de Lavras da Mangabeira – CE, realizou-se por meio do *Software livre QGIS*.

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DE DIMENSIONAMENTO DE PLANTAS FOTOVOLTAICAS DO AÇUDE DO ROSÁRIO

A proposta de dimensionamento para este estudo fundamenta-se na metodologia proposta por Reges (2022). O local de aplicação da metodologia foi um açude presente no estado do Ceará. Na Figura 7 é possível observar o fluxograma das etapas da metodologia para o dimensionamento, sendo divididas em quatro etapas: obtenção dos dados históricos dos açudes de estudo; construção da curva de permanência de acordo com a área inundada do açude; escolha dos níveis de confiabilidade e averiguação das condições limites para área da UFVF; cálculo da capacidade instalada da UFVF e produção diária de eletricidade a partir dos valores diários FV local.

Figura 6 - Fluxograma das etapas metodológicas do estudo.

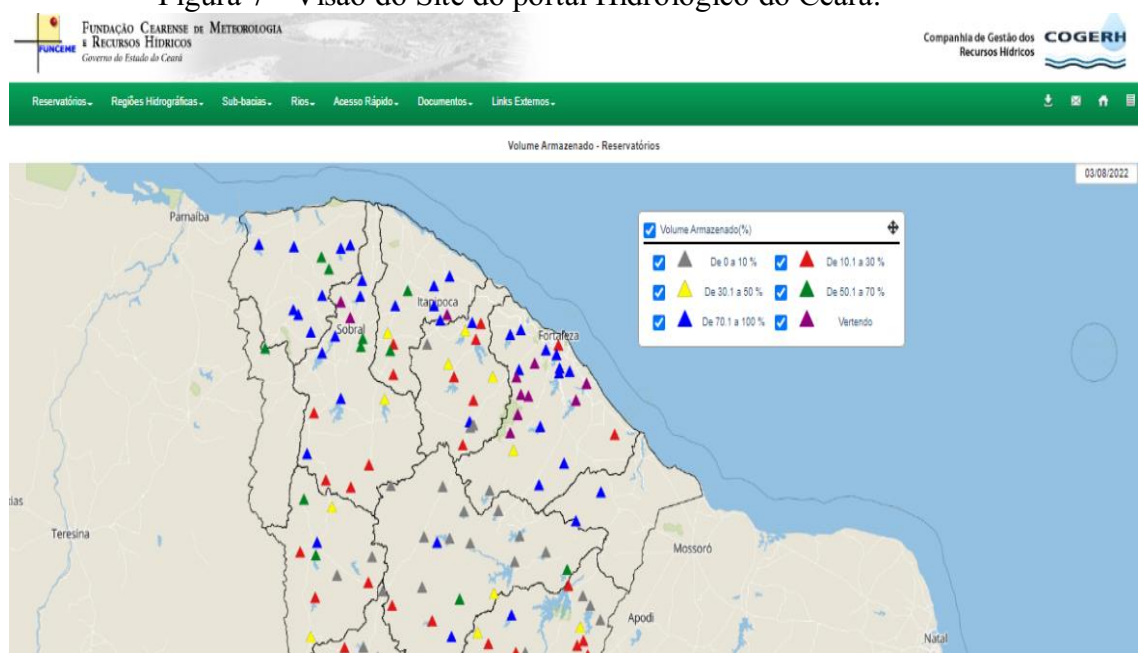


Fonte: (Autor, 2022).

4.3.1 Dados históricos do açude Rosário

Para o levantamento dos dados históricos do açude do estudo utilizou-se do portal hidrológico do Ceará, cujos dados são monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) e o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Na Figura 8 pode ser observado o mapa que indica os açudes do estado do Ceará acessado no mês de agosto de 2022, em que, cada triângulo corresponde a um respectivo açude e a cor do triângulo refere-se a faixa de valores, em percentual, do volume armazenado de cada açude.

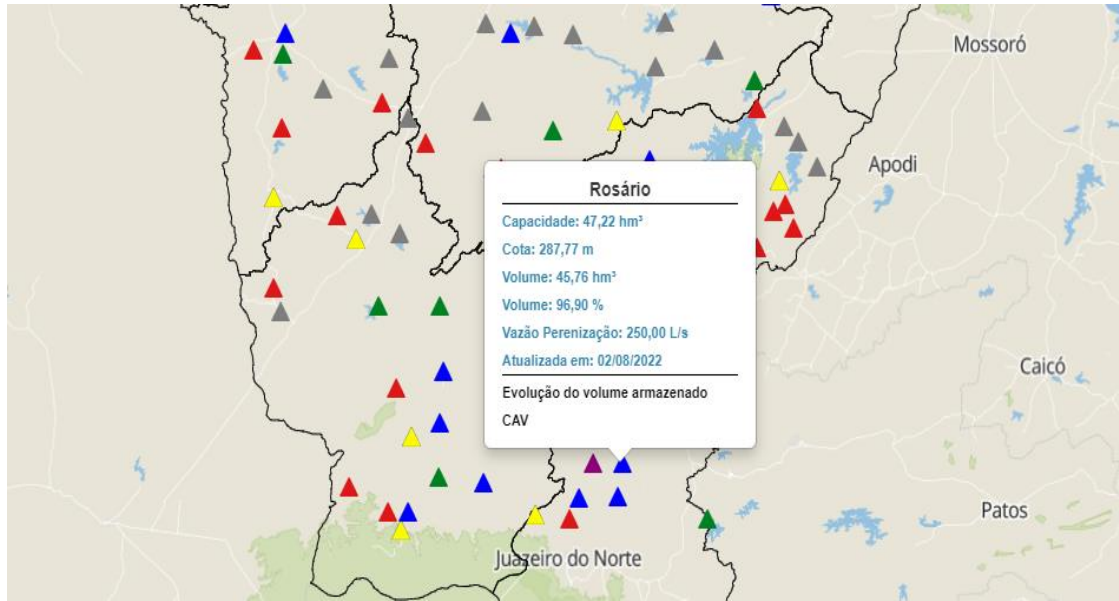
Figura 7 - Visão do Site do portal Hidrológico do Ceará.



Fonte: (CEARÁ, 2022).

Na Figura 9 é possível observar os valores referentes ao açude Rosário situado no município de Lavras da Mangabeira, em que se destacam as seguintes informações: capacidade máxima de 47,22 hm³, cota de 287,77 m, um volume de 45,76 hm³, uma vazão de 250,00 L/s. Além disso, é informado a data de atualização, a evolução do volume armazenado e a relação Cota-Área-Volume (CAV).

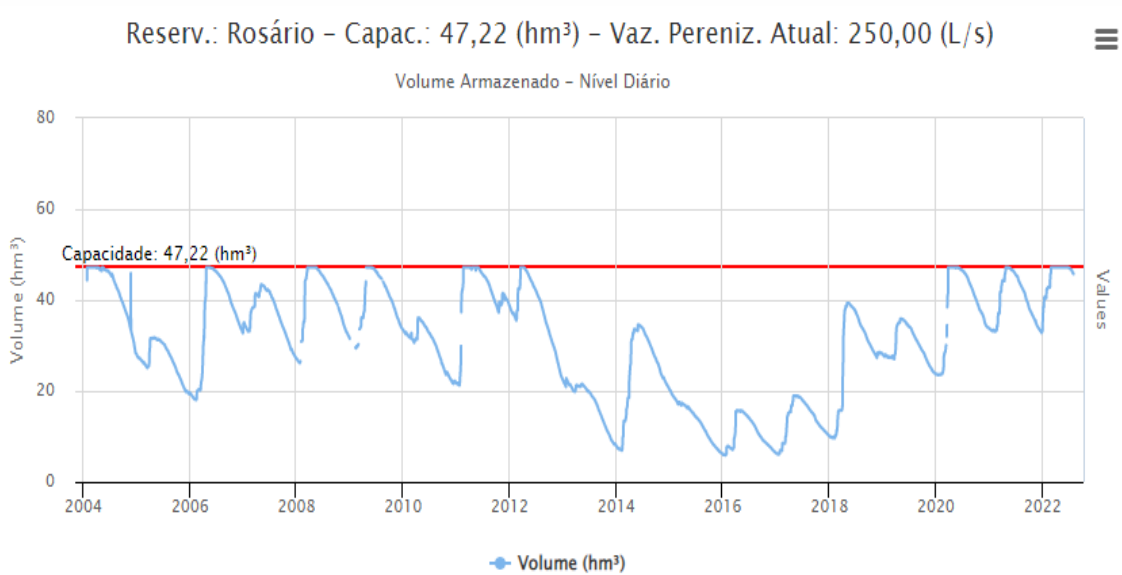
Figura 8 - Informações do Açude Rosário.



Fonte: (CEARÁ, 2022)

A evolução do volume armazenado apresenta-se em gráfico como consta na Figura 10. Os dados do volume e cota são expostos em tabela e medidos diariamente como pode ser visto na Figura 11.

Figura 9 - Evolução do volume armazenado do Açude do Rosário.



Fonte: (CEARÁ, 2022)

Figura 10 - Dados do Açude do Rosário

Mostrar registros por página Procurar

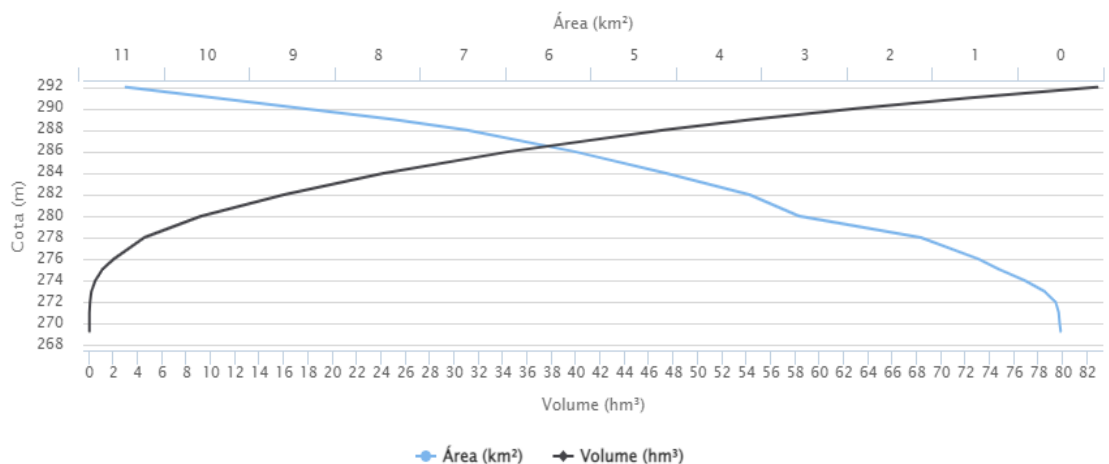
Data	Cota (m)	Volume (hm³)	Volume (%)
2022-08-02	287,77	45,76	96,90
2022-08-01	287,77	45,76	96,90
2022-07-31	287,78	45,82	97,04
2022-07-30	287,79	45,88	97,17
2022-07-29	287,79	45,88	97,17
2022-07-28	287,80	45,95	97,31
2022-07-27	287,81	46,01	97,44
2022-07-26	287,82	46,08	97,58
2022-07-25	287,83	46,14	97,71
2022-07-24	287,85	46,27	97,98

Exibindo de 1 a 10 de 6,777 registros

Fonte: (CEARÁ, 2022)

Os dados históricos de área inundada do açude do Rosário não constam no portal hidrológico, ou seja, não são disponibilizados. No entanto, Segundo Reges (2022), é possível através de uma regressão polinomial de segundo grau e da relação cota-área-volume - CAV correspondente ao açude obter os dados históricos da área inundada do reservatório Rosário. Desse modo, as curvas de CAV são uma representação gráfica do volume e da área inundada pelo barramento do açude em relação à cota. Assim, na Figura 12 é apresentado o CAV do açude Rosário, onde a linha preta refere-se ao volume-cota, enquanto a linha azul representa a relação da área-cota.

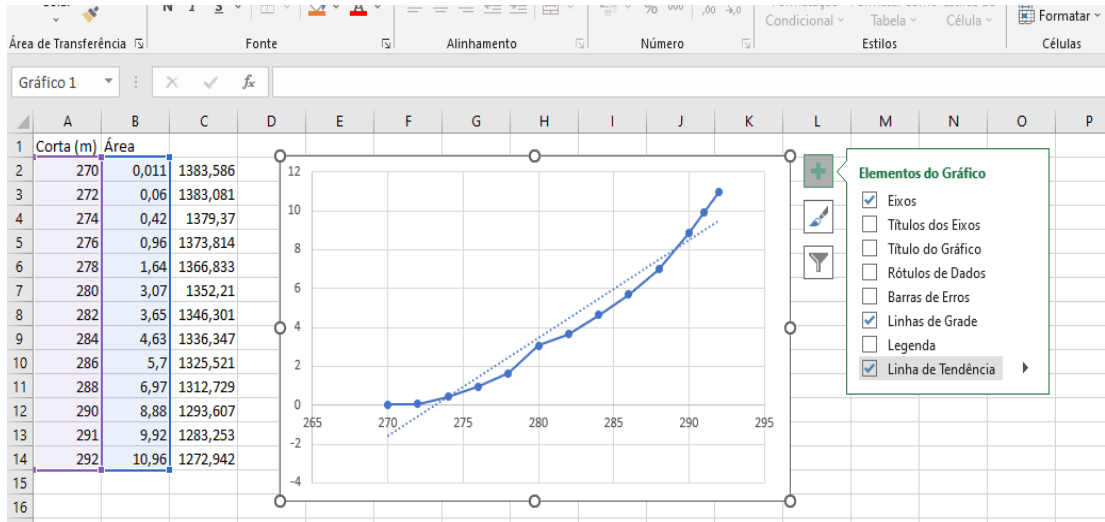
Figura 11 - CAV do açude Rosário.



Fonte: (CEARÁ, 2022).

Os pontos CAV que representam a relação Cota-Área foram coletados e posteriormente organizados em uma planilha do *Excel (pacote Office 2019)*. Em seguida, para obter a equação polinomial de segundo grau construiu-se um gráfico com os dados referentes a cota-área. Posteriormente, a linha de tendência pode ser inserida no gráfico a partir do ícone “mais” conforme indicado na Figura 13.

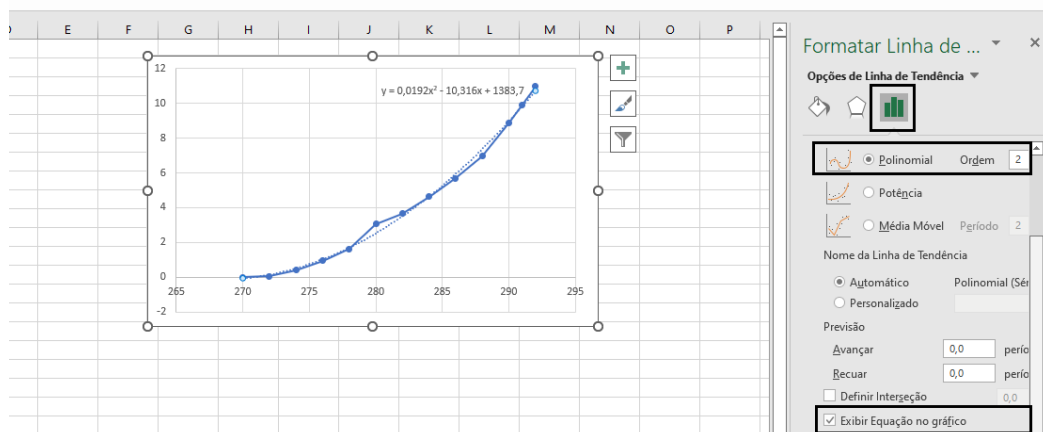
Figura 12 - Construção do Gráfico para realizar a regressão polinomial de segundo grau no Excel – Passo 1.



Fonte: (Autor, 2022).

Após inserir a linha de tendência, ela pode ser ajustada conforme a sua formatação, mediante os seguintes procedimentos: selecionar a opção de linha de tendência polinomial de segunda ordem, clicar no ícone "gráfico" e em seguida selecionar a opção “exibir equação no Gráfico”, como mostra a Figura 14.

Figura 13 - Construção do Gráfico para realizar a regressão polinomial de segundo grau no Excel – Passo 2.



Fonte: (Autor, 2022).

Sendo assim, aplicando a equação obtida através da regressão polinomial de segundo grau, ao histórico de cota, temos como resultado o histórico da área inundada. Portanto, a equação que representa a relação cota-área para o açude Rosário é representada na equação abaixo, onde a é o valor referente área inundada e b o valor da cota.

$$a \cong 1383 + 10 \times b + 0,019 \times b^2 \quad \text{Equação 1}$$

4.3.2 Construção da Curva de Permanência

Após a finalização da obtenção dos dados históricos, a próxima etapa da metodologia refere-se à construção da CP referente a área inundada do açude Rosário. Dessa forma, por meio da CP é possível analisar o comportamento hidrológico do açude quanto a sua variação ao longo do tempo (PINTO, 2022).

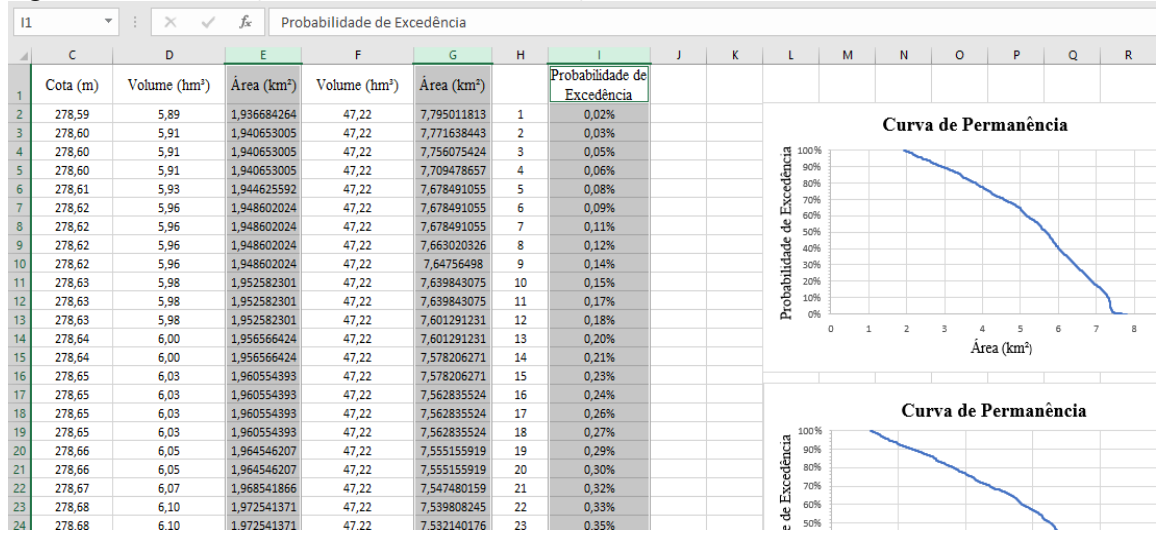
Reges (2022) afirma que em diversos estudos a CP é bastante associada à vazão, porém, pode ser elaborado as curvas de duração ou permanência para outras variáveis como volume e área, ou seja, de acordo com os dados diários, mensais e anuais. Assim, a CP é uma demonstração gráfica da distribuição ordenada de frequência de uma variável, ou seja, os dados são organizados da frequência de ocorrência maior para a menor.

Na Coluna I é calculado a frequência de ocorrência a partir da Equação 2, em que o F é a frequência de ocorrência em %, m a ordem e n é o total de dados, esse cálculo tem como propósito indicar percentualmente o número de vezes que uma dada área foi igual ou superior de acordo com o período analisado.

$$F = (m/n) \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Com base na metodologia proposta, na Figura 15 pode ser visto a construção da CP do açude Rosário uma vez que os dados de área inundada são calculados na Coluna E através da Equação 1, e são organizados na Coluna G em ordem decrescente.

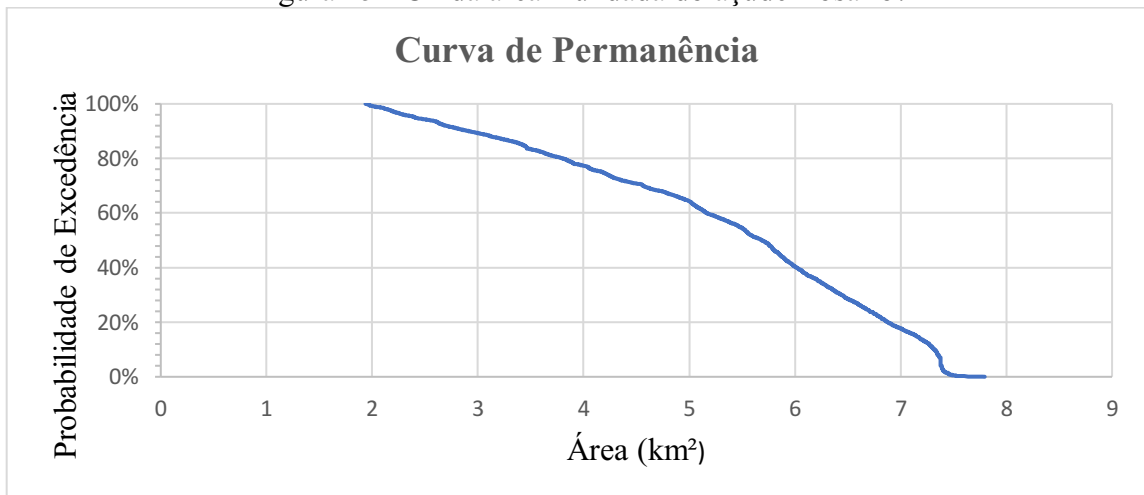
Figura 14 - Construção do CP no Excel do Açude do Rosário com dados diários.



Fonte: (Autor, 2022).

Na Figura 16 é mostrado a CP do açude Rosário, onde, o eixo horizontal indica o valor da área inundada e o eixo vertical indica a probabilidade de excedência ou nível de confiabilidade. Assim, o nível de confiabilidade determina, em porcentagem, o tempo que aquela área inundada permaneceu maior ou igual no período em que foi analisado.

Figura 15 - CP da área inundada do açude Rosário.



Fonte: (Autor, 2022).

4.3.3 Determinação dos níveis de confiabilidade

Uma vez determinada a CP do reservatório, a próxima etapa resulta na escolha dos níveis de confiabilidade. A escolha foi embasada no trabalho proposto por Reges (2022), que verificou através da CP a área inundada correspondente.

Nesse sentido, foi admitido uma faixa de valores da CP entre 90% e 80%, determinando um limite superior e inferior de confiabilidade. Além disso, é necessário a verificação das condições limites mínimo e máximo para a área da UFVF, de acordo com os seguintes parâmetros:

- a) Área da planta fotovoltaica flutuante é pelo menos 1% da área inundada da barragem;
- b) Área da planta fotovoltaica flutuante ocupa no máximo 50% do total da área inundada da barragem.

Depois disso é significativo evidenciar que a área inundada encontrada para a faixa de valores de 70%, ultrapassou um dos critérios estabelecido por Reges (2022), referente a condição limite de que a área disponível fornecida pela CP tem que ocupar no máximo 50% do total da área inundada do reservatório. Sendo assim, foi realizado a alteração de uma das faixas de valores para 80%.

4.3.4 Capacidade instalada da UFVF

Para o cálculo da capacidade instalada da UFVF de acordo com Reges (2022), foram calculados conforme os limites para a Área UFVF. Visto que segundo Strangueto (2016), é necessário para esse cálculo que 34% da área total deliberada para instalação da UFVF deve ser designada para o distanciamento entre os flutuadores.

Da mesma forma, para o cálculo da capacidade instalada da UFVF considera dois módulos FV de diferentes fabricantes: KD245GX-LPB (245 Wp, 1,65 m²) e YL275P-35b (275 Wp, 1,95 m²). No entanto, a produção de eletricidade é determinada usando os valores de produtividade FV diário. Os dados de produtividade FV do açude do Rosário (4.5 kWh/kWp), foram retirados do portal do atlas eólico e solar do estado do Ceará, Açude Rosário (ATLAS, 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESCOLHA DOS NÍVEIS DE CONFIABILIDADE

Após a construção da CP, foi realizado a escolha dos níveis de confiabilidade com valores de 90% para o limite superior e 80% para o limite inferior. Da mesma maneira, verificou-se as condições limites para a Área UFVF mínima e máxima correspondente aos níveis de confiabilidade máximo e mínimo, respectivamente, conforme mostra na Tabela 1. Os resultados obtidos através dos valores correspondentes da Área UFVF são primordiais para os cálculos de capacidade instalada e potência de cada módulo.

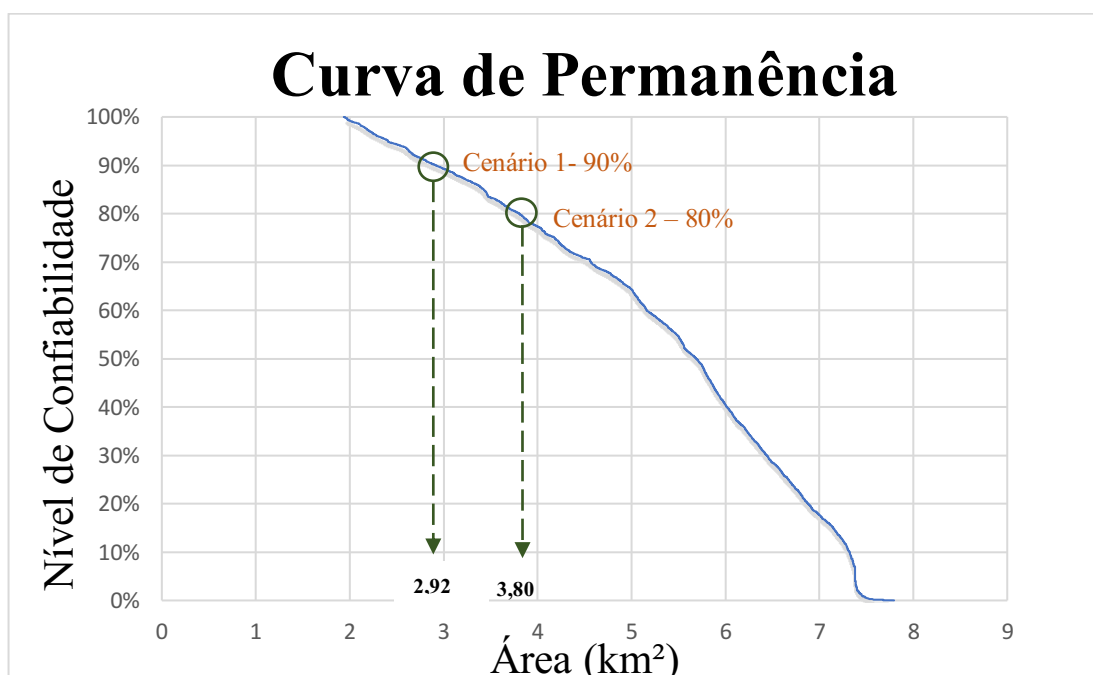
Tabela 2 - Distribuição das condições limites para a Área UFVF.

Cenário	Nível de Confiabilidade	Área (UFVF) km ²
1	90%	2,92
2	80%	3,80

Fonte: (Autor, 2022).

Na figura 17, pode-se observar a CP referente à área inundada do reservatório Rosário, os níveis de confiabilidade e as condições limites mínima e máxima estabelecidas da Área UFVF.

Figura 16 - CP da área inundada com as condições limites mínima e máxima.



Fonte: (Autor, 2022).

5.2 ANÁLISE DO CENÁRIO 1 E 2 E DA CAPACIDADE INSTALADA DA UFVF

Para os cenários propostos para a Área UFVF, os resultados se enquadram nos critérios de que para o cenário 1 a Área UFVF de 2,92 km² seja no mínimo 1% da área inundada do açude e para o cenário 2 a Área UFVF de 3,80 km² seja no máximo 50% da área inundada do açude. Vale ressaltar que o açude Rosário possui uma área inundada de 7,80 km².

Desta forma, após aplicar a recomendação de Strangueto (2016), temos que a área ocupada somente pelos módulos fotovoltaicos flutuantes para o cenário 1 é 1,92 km² e para o cenário 2 é 2,51 km². Nesse caso, o cálculo da Área UFVF deve ser verificada com atenção.

5.3 CÁLCULO DA CAPACIDADE INSTALADA E DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DA UFVF PARA A ÁREA DE ESTUDO

Da mesma maneira, foi aplicado os valores dos módulos apresentados por Reges (2022) para realizar o cálculo de capacidade instalada para os cenários propostos. Para o cenário 1, foram utilizados os módulos de 245 Wp e de 275 Wp e foi calculada uma potência total de 286,57 MWp com 1.169.696 módulos e 272,18 MWp com 989.743 módulos, nesta ordem. Para o cenário 2, levando em conta a UFVF com os módulos de 245 Wp e de 275 Wp foi obtido o cálculo da potência total de 372,69 MWp com 1.521.212 módulos e 353,97 MWp com 1.287.179 módulos, nesta ordem.

Com a intenção de calcular a produção de eletricidade foi utilizado o valor da produtividade FV anual de 4,5 kWh/kWp, correspondente a área de estudo (ATLAS, 2022). Para o cenário 1 e 2, foi calculada a geração anual com base nos valores de potência total, que fora calculada anteriormente. No cenário 1, as UFVF com módulos de 245 Wp e de 275 Wp possui uma geração anual de 470,70 GWh e 447,05 GWh, respectivamente. Para o cenário 2, a UFVF com os módulos 245 Wp e 275 Wp possui uma geração anual de 612,14 GWh e 581,40 GWh, respectivamente.

Os principais resultados dos cálculos de dimensionamento e potencial elétrico para cada cenário, são expressos na Tabela 2. Estes resultados consideram que as UFVFs com módulos de 245 Wp, apontam uma potência instalada e uma produção anual de energia elétrica superior em relação as UFVFs com módulos de 275 Wp. Certamente, isso acontece por causa da relação

entre a potência nominal do módulo FV e a área ocupada por ele (Wp/m^2). Através da relação potência-área com os módulos estudados, obtivemos os valores de 148 e 141 Wp/m^2 , respectivamente.

Tabela 2 - apresenta-se os principais valores referente aos cálculos realizado para o dimensionamento e o potencial elétrico de uma UFVF.

Cenário	Módulo FV (Wp)	Área UFVF (km^2)	Área UFVF (km^2) 66%	Percentual da área do reservatório (%)	Quantidade de módulos	Potência (MWp)	Produção anual de energia elétrica (GWh)
1º	245	2,92	1,92	37,4	1.169.696	286,57	470,70
	275				989.743	272,18	447,05
2º	245	3,80	2,51	48,7	1.521.212	372,1	612,14
	275				1.287.179	354	581,40

Fonte: (Autor, 2022).

Vale ressaltar outro fator analisado, a relação entre a produção anual de energia elétrica e a potência instalada. De acordo com Reges (2022) essa relação é conhecida como produtividade FV. Mediante essa relação é possível comparar as UFVF que possuem diferentes capacidades instaladas ou encontram-se em locais diferentes. No estudo de REGES (2022) as UFVF no Brasil apresentam uma produtividade de 1,59 GWh/MWp . Desta forma no referido estudo de caso demonstraram o valor de 1,65 GWh/MWp para a produtividade FV.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente implantação mundial da tecnologia FV cria oportunidades no setor de energia renovável. Além disso, a UFVF tem vantagens sociotécnicas significativas em comparação com as aplicações fotovoltaicas convencionais, como alta eficiência devido ao efeito de resfriamento da água.

No andamento da pesquisa foram encontrados alguns desafios. O principal deles foi a coleta de dados de reservatórios paraibanos, no qual, em primeiro momento, foi o foco da pesquisa. Após várias tentativas de utilização dos dados referente ao açude Coremas, no estado da Paraíba, não obtendo êxito, foi necessário a mudança de reservatório para um no estado do Ceará.

De acordo com os dados coletados foi elaborada a CP do açude Rosário. Em seguida foi feita a escolha dos níveis de confiabilidade e adotados dois cenários. Para o cenário 1 o nível de confiabilidade foi de 90% e para o cenário 2 o nível de confiabilidade foi de 80%, que auxiliaram na escolha da Área UFVF. A CP foi construída com os valores de área inundada do reservatório e frequência de ocorrência que indica em quanto tempo aquela área inundada permaneceu maior ou igual durante o período analisado.

Portanto, foi utilizado a potência nominal dos módulos FV 245 Wp e 275 Wp e realizado o cálculo da potência instalada e produção anual de energia elétrica da UFVF. Dessa forma para os cenários propostos a potência instalada variou entre 286,57 MWp e 272,18 MWp, para o cenário 1, já para o cenário 2 teve uma variação entre 372,69 MWp e 354 MWp. Para a produção anual de energia elétrica no cenário 1 os valores ficaram entre 470,70 GWh e 447,05 GWh, no mesmo caso para o cenário 2 os valores ficaram entre 612,14 GWh e 581,40 GWh.

A partir da obtenção dos dados, verificou-se que os módulos FV possuem uma relação potência-área maior e apresentaram uma potência instalada superior, e conseqüentemente, uma produção de energia elétrica maior quando comparadas a módulos FV de potência-área menor. Dessa forma, a perspectiva de rendimento ou eficiência mostrou que o módulo FV de 245 Wp se sobressaiu em relação ao módulo FV de 275 Wp. Nesse caso, o módulo FV de 245 Wp e 275 Wp apresentaram uma relação potência-área de 148 e 141 Wp/m², respectivamente. Vale salientar, que é necessário um estudo aprofundado de outros fatores, evidenciando o custo-benefício para realizar a escolha do módulo FV mais viável.

Do ponto de vista ambiental, é notório que existem impactos negativos e positivos, sendo possível a redução dos impactos negativos através de um estudo aprofundado dos principais grupos de impactos: impactos sobre a flora e fauna, toxicidade da água, índices de

evaporação e estudos de impactos ambientais de forma geral. Vale ressaltar que é necessário o estudo de caso da região para assim avaliar e medir os impactos possíveis a partir da instalação da UFVF.

Os resultados encontrados neste estudo, servirão de auxílio para que os futuros planos de instalação de UFVF sejam elaborados, com enfoque em reservatórios no semiárido nordestino. A implantação da UFVF vai contribuir na redução da evaporação de reservatório, como também no aumento da eficiência energética.

Uma vez que é necessário um estudo mais aprofundado para saber se é possível ou não (do ponto de vista econômico, social e ambiental) a construção da UFVF, como também um estudo de evaporação e uma investigação sobre os aspectos elétricos do sistema. Por fim, espera-se que o tema em questão sirva para incentivar novas pesquisas, como também, a elaboração de matrizes de avaliação de impacto ambiental correlacionados com a exploração dos recursos naturais do nosso país.

7 REFERÊNCIAS

ABSOLAR (org.). **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo**. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 16 ago. 2022.

AGUILAR, R. S. de; OLIVEIRA, L. C. de S.; ARCANJO, G. L. F. XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção Bento Gonçalves**, RS, Brasil, 2012. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_tn_stp_167_970_19670.pdf>. Acesso em: 07 de Out. 2021.

ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap5.pdf>. Acesso em: 05 out. de 2021.

ANINDITO, Yoga; HAAS, Jannik; OLIVARES, Marcelo; NOWAK, Wolfgang; KERN, Jordan. **A new solution to mitigate hydropeaking? Batteries versus re-regulation reservoirs**. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 210, p. 477-489, fev. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.040>.

ATLAS. **Atlas Eólico e Solar: Ceará**. Curitiba: Camargo-Schubert Associated Engineers, 2019. 1–196 p. Disponível em: <<Http://atlas.adece.ce.gov.br/>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

Bezerra MBC, Carvalho DB, Lopes WGR, Sousa TJS, Santos FCV, Guzzi A. 2017. **Percepção dos impactos socioambientais decorrentes da implantação do complexo eólico Delta do Parnaíba**. Gaia Scientia 11(1). DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2017v11n1.32496>.

BIZERRA, A. M. C.; QUEIROZ, J. L. A. de.; COUTINHO, D. A. M.; O impacto ambiental dos combustíveis fósseis e dos biocombustíveis: As concepções de estudantes do ensino médio sobre o tema. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (Revbea)**, São Paulo, V. 13, p. 299-315, 2018. DOI: <https://doi.org/10.34024/revbea.2018.v13.2502>.

BRASIL. Constituição (1986). **Resolução Conama N° 001, de 23 de Janeiro de 1986**. Brasil. ed. p. 2548-2549.

BRASIL. **Energia renovável chega a quase 50% da matriz energética brasileira**, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasileira-1>>. Acesso em: 05 Out. 2021.

BRASIL. **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME publica chamada pública sobre doação de bens remanescentes do PRODEEM**, 2017. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-publica-chamada-publica-sobredoacao-de-bens-remanescentes-do-prode-1>>. Acesso em: 05 out. de 2021.

C. C. Gonzalez Correa, D. L. Obando Saavedra, y C. L. Trujillo Rodríguez, «**Evaluación de la incorporación de plantas de generación solar fotovoltaica a gran escala al sistema interconectado nacional colombiano**», Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 8, n.º 2, pp. 213-232, nov. 2020.

C. Rahmann , C. Mayol , J. Haas,. **Estratégia de controle dinâmico em usinas fotovoltaicas parcialmente sombreadas para melhorar a frequência do sistema elétrico**. J Clean Prod , 202 (2018) , pp . 109-119

Ceará. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Salgado / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos**, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). – Fortaleza: INESP, 2009. Disponível em: <<https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Bacia-do-Salgado.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2022.

CEARÁ. **Portal Hidrológico do Ceará**. 2022. Disponível em: <<https://portal.cogerh.com.br/>>. Acesso em: 20 jul. de 2022.

Clemons SKC, Salloum CR, Herdegen KG, Kamens RM, Gheewala SH. 2021. **Life cycle assessment of a floating photovoltaic system and feasibility for application in Thailand**. *Renewable Energy* 168: 448–462. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.082>.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Clima**. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em: 29 Jul. 2022.

F. Bontempo Scavo , GM Tina , A. Gagliano , S. Nižetić. **Um estudo de avaliação de modelos de taxa de evaporação em uma bacia hidrográfica com usinas fotovoltaicas flutuantes**. *Int. J. Energia Res.* 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/er.5170>.

FERRER-GISBERT, Carlos; FERRÁN-GOZÁLVEZ, José J.; REDÓN-SANTAFÉ, Miguel; FERRER-GISBERT, Pablo; SÁNCHEZ-ROMERO, Francisco J.; TORREGROSA-SOLER, Juan Bautista. **Um novo sistema de cobertura flutuante fotovoltaica para reservatórios de água**. *Energia renovável*, [S.L.], v. 60, p. 63-70, dez. 2013. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.04.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148113002231?via%3Dihub>. Acesso em: 10 Jun 2022.

FORTALEZA-CE. COGERH. (org.). **INVENTÁRIO AMBIENTAL DO AÇUDE ROSÁRIO**. 2011. Disponível em: <<https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/pdf/inventarios/2011/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20Rosario%202011.pdf>>. Acesso em: 05 Ago. 2022.

G.M. Tina, F. Bontempo Scavo, L. Merlo et al. **Analysis of water environment on the performances of floating photovoltaic plants**. *Renewable Energy* 175, 2021.

Gamarra C, Ronk JJ. 2019. **Floating solar: an emerging opportunity at the energy-water nexus**. *Texas Water Journal*. 10(1):32-45. DOI: <https://doi.org/10.21423/twj.v10i1.7050>.

GORJIAN, S.; SHARON, H.; EBADI, H.; KANT, K.; SCAVO, F. B.; TINA, G. M.; Recent technical advancements, economics and environmental impacts of floating photovoltaic solar energy conversion systems. **Journal of Cleaner Production**. Volume 278, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124285>.

GOUVEIA LIRA, J.; DE BARROS SILVA, H. P.; LIMA JÚNIOR, C. Impactos relacionados à implantação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em corpos d'água. **Gaia Scientia**, [S. l.], v. 15, n. 3, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/59249>. Acesso em: 30 ago. 2022.

Haas, J., Khalighi, J., de la Fuente, A., Gerbersdorf, S. U., Nowak, W., & Chen, P.-J. **Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility**. *Energy Conversion and Management*. 2020.

- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/coremas/historico_2017>. Acesso em: 02 Ago. 2022.
- J. Farfan , C. Breyer,. **Combinando usinas solares fotovoltaicas flutuantes e reservatórios hidrelétricos: uma bateria virtual de grande potencial global**. Energia Procedia, p. 403-411, 2018.
- J. Haas , et al., **Pôr do sol ou nascer do sol? Entendendo as barreiras e opções para a implantação massiva de tecnologias solares no Chile**. Política Energética, p. 399-414. 2018.
- LIU, Luyao; WANG, Qinxing; LIN, Haiyang; LI, Hailong; SUN, Qie; WENNERSTEN, Ronald. Power Generation. **Efficiency and Prospects of Floating Photovoltaic Systems**. Energy Procedia, [S.L.], v. 105, p. 1136-1142, maio 2017. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.483>
- LYTLE, William; MEYER, Theresa K.; TANIKELLA, Nagendra G.; BURNHAM, Laurie; ENGEL, Julie; SCHELLY, Chelsea; PEARCE, Joshua M.. Conceptual Design and Rationale for a New Agrivoltaics Concept: pasture-raised rabbits and solar farming. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 282, p. 124476, fev. 2021. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124476>.
- Mathijssen D, Hof B, Spierenburg-Sack E, Vanasperen R, Vanderwal B, Vreeburg J, Ketelaars H. 2020. **Potential impact of floating solar panels on water quality in reservoirs; pathogens and leaching**. Water Practice and Technology 15(3): 807–811. DOI: <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.062>
- Ministério de Minas e Energia – MME. **Expansão da Geração Solar Fotovoltaica Flutuante: Aspectos Tecnológicos e Ambientais Relevantes ao Planejamento**, Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao466/NT%20Solar%20Fotovoltaica%20Flutuante.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2022.
- NORDESTE, Diário do. **Açude Rosário em Lavras da Mangabeira mantém nível acima de 50% e produção de pescado**. Disponível em: <<http://blogs.diariodonordeste.com.br/centrosul/cidades/acude-rosario-em-lavras-da-mangabeira-mantem-nivel-acima-de-50-e-producao-de-pescado/30571>>. Acesso em: 01 Ago. 2022.
- P. Ranjbaran , H. Yousefi , GB Gharehpetian , FR Astaraei,. **Uma revisão sobre unidades de geração de energia fotovoltaica flutuante (FPV)** Renovar Sustain Energy Rev, p. 332-347, 2019.
- PINTO, Nelson L. de Sousa; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Francisco Luiz Sibut. **HIDROLOGIA BÁSICA**. São Paulo: Editora Blucher, p.305, 1976. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/177677>>. Acesso em: 21 jul. 2022.
- PROGRAMA DE ASSISTÊNCIA À GESTÃO DO SETOR ENERGÉTICO; INSTITUTO DE PESQUISA DE ENERGIA SOLAR DE CINGAPURA. **Onde o Sol Encontra a Água: Manual Solar Flutuante para Profissionais**. Banco Mundial, 2019.
- R. Cazzaniga , M. Rosa-Clot , P. Rosa-Clot , GM Tina. **Integração de PV flutuante com usinas hidrelétricas**. Heliyon, 2019.

- R. M. da C.; NETO, J. S. P. Scenarios for use of floating photovoltaic plants in Brazilian reservoirs. **IET Renewable Power Generation**, IET, v. 9, n. 8, p. 1019–1024, 2015.
- REGES, Jonas Platini. **Metodologia de dimensionamento de plantas fotovoltaicas flutuantes em açudes do semiárido**. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.
- ROSA-CLOT, M.; TINA, G. M. **Plantas Flutuantes e Aspectos Ambientais**. Sistemas Fotovoltaicos Submersos e Flutuantes. Imprensa Acadêmica. Capítulo 8, p. 185-212, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012812149800009>>. Acesso em: 05 Out. 2021.
- RUSU, Liliana. **O potencial de energia das ondas e do vento no oeste do Mar Negro**. *Renovar Energia*, [S.L.], v. 139, p. 1146-1158, ago. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.017>
- S. Gorjian , H. Sharon , H. Ebadi , K. Kant , FB Scavo , GM Tina. **Avanços técnicos recentes, economia e impactos ambientais de sistemas flutuantes de conversão de energia solar fotovoltaica**, 2021.
- S. Ong , C. Campbell , P. Denholm , R. Margolis , G. Heath. **Requisitos de uso da terra para usinas de energia solar nos Estados Unidos**, 2013.
- SACRAMENTO, E. M.; CARVALHO, P. C.; ARAÚJO, J. C. de; RIFFEL, D. B.; CORRÊA, SAHU, A.; YADAV, N.; SUDHAKAR, K. **Floating photovoltaic power plant: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Volume 66, p. 815-824, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>.
- SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2013. 553 p.
- STRANGUETO, k. **Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas**. Tese (Planejamento de Sistemas Energéticos) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, , p. 147, 2016.
- TABOADA, M.e.; CÁCERES, L.; GRABER, T.A.; GALLEGUILLOS, H.R.; CABEZA, L.F.; ROJAS, R.. **Solar water heating system and photovoltaic floating cover to reduce evaporation: experimental results and modeling**. *Renewable Energy*, [S.L.], v. 105, p. 601-615, maio 2017. Elsevier BV. DOI; <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.094>.
- TINA, Giuseppe Marco; SCAVO, Fausto Bontempo; MERLO, Leonardo; BIZZARRI, Fabrizio. **Comparative analysis of monofacial and bifacial photovoltaic modules for floating power plants**. *Applied Energy*, [S.L.], v. 281, p. 116084, jan. 2021. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116084>.
- Y. Choi , N. Lee , A. Lee , K. Kim,. **Um estudo sobre os principais elementos de projeto de sistemas fotovoltaicos flutuantes do tipo rastreamento**. *Int J Smart Grid Clean Energy*, 2013, p. 70-74.
- YK Choi , WS Choi , JH Lee. **Pesquisa empírica sobre a eficiência de sistemas fotovoltaicos flutuantes**. *Sci. Av. Mater.* 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1166/sam.2016.2529>.

Ziar H, Prudon B, Lin FY, Roeffen B, Heijkoop D, Stark T, Teurlinx S, de Senerpont Domis L, Goma EG, Extebarria JG, Alavez IN, van Tilborg D, van Laar H, Santbergen R, Isabella O. 2020. **Innovative floating bifacial photovoltaic solutions for inland water areas**. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 1–19. DOI: <https://doi.org/10.1002/pip.3367>.