



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS



VALÉRIA VIEIRA DA SILVA

**ANÁLISE TÉCNICA, AMBIENTAL E ECONÔMICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO FLUTUANTE PARA O COMPLEXO COREMAS-MÃE
D'ÁGUA (PARAÍBA)**

JOÃO PESSOA - PB
2023

PPGER / MESTRADO ACADÊMICO / Nº XX

VALÉRIA VIEIRA DA SILVA

**ANÁLISE TÉCNICA, AMBIENTAL E ECONÔMICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO FLUTUANTE PARA O COMPLEXO COREMAS-MÃE
D'ÁGUA (PARAÍBA)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em energias renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Prof. Raphael Abrahão, PhD

**JOÃO PESSOA - PB
2023**



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

ATA nº 99 da Sessão de Defesa Dissertação do Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba.

Ao trigésimo primeiro dia do mês de janeiro de dois mil e vinte e três foi instalada a Banca de Defesa de Dissertação do Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas de forma ONLINE, as 09h00, via Google Meet (<https://meet.google.com/jcq-qsmr-ysj>) a que se submeteu a defesa pública de **VALÉRIA VIEIRA DA SILVA**, matrícula 20201022073, com o título “**ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO FLUTUANTE PARA O COMPLEXO COREMAS-MÃE D’ÁGUA (PARAÍBA)**”. A Comissão Examinadora esteve constituída pelos professores: LUIZ MOREIRA COELHO JUNIOR (UFPB), ROGERIO SANTANA PERUCHI (UFPB) e MARÇAL ROSAS F. LIMA FILHO (UFPB). Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, o(a) candidato(a) foi APROVADO pela Comissão Examinadora. E, para constar, foi lavrada a presente ata, assinada pelos membros da Comissão.

Observações: Atender as solicitações e sugestões da comissão julgadora.

Membros da Banca Examinadora:



Prof. Luiz M. Coelho Junior, Dr
DEER/CEAR/UFPB
SIAPE 1643037

Prof. Dr. LUIZ MOREIRA COELHO JUNIOR
Presidente da Banca

Rogério
Santana
Peruchi

Digitally signed by Rogério Santana Peruchi
DN: cn=Rogério Santana Peruchi, o=BR, ou=UFPB, ou=Depto Engenharia de Produção, email=rsp@academico.ufpb.br
Date: 2023.02.15 12:02:13 -03'00'

Prof. Dr. ROGERIO SANTANA PERUCHI
Examinador(a) Interno(a)



Prof. Marçal Rosas

Prof. Dr. MARÇAL ROSAS F. LIMA FILHO
Examinador(a) Externo(a)

PPGER/CEAR/UFPB - Campus I, Caixa Postal 5115, CEP: 58051-900, João Pessoa - PB, Brasil.

Obs.(1): O discente deverá encaminhar a coordenação do PPGER, no prazo máximo de 45 dias a contar da data da defesa, os exemplares definitivos da dissertação.

Obs.(2): O docente deverá encaminhar a coordenação do PPGER, no prazo máximo de 20 dias a contar da data da defesa, o relatório de orientação para avaliação do colegiado.

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586a Silva, Valeria Vieira da.

Análise técnica, ambiental e econômica de um sistema fotovoltaico flutuante para o complexo Coremas-Mãe D'água (Paraíba) / Valeria Vieira da Silva. - João Pessoa, 2023.

89 f. : il.

Orientação: Raphael Abrahão.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR.

1. Usina fotovoltaica - Evaporação. 2. Sistema fotovoltaico flutuante. 3. Sistema fotovoltaico - Controle ambiental. 4. Corpo hídrico. 5. Radiação solar. I. Abrahão, Raphael. II. Título.

UFPB/BC

CDU 621.311(043)

VALÉRIA VIEIRA DA SILVA

**ANÁLISE TÉCNICA, AMBIENTAL E ECONÔMICA DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO FLUTUANTE PARA O COMPLEXO COREMAS-MÃE
D'ÁGUA (PARAÍBA)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em energias renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

Banca examinadora:

Orientador

Prof. Raphael Abrahão, PhD

**JOÃO PESSOA – PB
2023**

“Seja forte e corajoso”
(Josué 1:9).

DEDICATÓRIA E AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer e dedicar esse trabalho e a conclusão desse curso as seguintes pessoas:

Primeiramente a Deus por ter me dado forças para passar por todas as dificuldades dos últimos dois anos e chegar até aqui, pois, sem a fé teria desistido no primeiro desafio dessa caminhada.

À minha família, minha mãe Gerlândia, meu Pai João, minhas irmãs Vanessa e Vivian que me apoiaram e me ajudaram em todas as etapas desse curso, mesmo estando distantes.

A meu orientador Raphael Abrahão por ter aceito minha ideia, por ter me guiado na execução do trabalho e por ser sempre paciente em me ajudar em cada etapa desse trabalho.

Um agradecimento especial aos meus amigos e colegas que em diversos momentos quando eu pensei em desistir devido a problemas de saúde ou dificuldades no meio do processo me deram apoio e me fizeram acreditar que faria tudo certo.

E a todos, que de alguma forma, contribuíram para elaboração deste trabalho.

Por fim, agradeço à CAPES, pelo auxílio financeiro que me foi concedido, e a todos os Brasileiros, que direta e indiretamente, me proporcionaram o acesso à Instituições de Ensino Superior públicas, gratuitas e de qualidade.

RESUMO

As mudanças climáticas e o aumento das temperaturas em algumas regiões do mundo vêm se tornando motivo de preocupação global. A necessidade dos cuidados com o meio ambiente e a mitigação de impactos ambientais negativos é algo extremamente necessário e que está sendo trabalhado em diversos lugares do mundo. Vários países analisam as melhores formas de implementar tecnologias que possam ser úteis para a geração de energia limpa. Esse é o caso dos sistemas fotovoltaicos flutuantes. Países com a necessidade de geração de energia limpa, mas com pouco espaço terrestre começaram a analisar a viabilidade de instalar painéis fotovoltaicos sobre corpos hídricos, mas com estudos a cerca desse sistema, foi possível perceber outras funcionalidades como a diminuição da evaporação que vem afetando diversos corpos hídricos de forma negativa, já que mesmo sendo um fenômeno natural, as altas temperaturas vêm intensificando a ocorrência do mesmo. Para o Brasil alguns estudos foram iniciados e as primeiras usinas fotovoltaicas flutuantes foram implementadas aproveitando as hidrelétricas do país. A cidade de Coremas está localizada no Nordeste do Brasil, mais precisamente na região intermediária de Patos, e é conhecida por possuir relevância social, econômica e ambiental por conter o maior complexo hídrico do estado, Coremas - Mãe D'água. O objetivo geral do trabalho foi analisar a viabilidade técnica, ambiental e econômica de um projeto fotovoltaico flutuante para o complexo hídrico Coremas - Mãe D'água, de forma que esse sistema possa contribuir com a geração de eletricidade, a diminuição do impacto na utilização de espaços terrestres para implementação de usinas fotovoltaicas e a diminuição da evaporação no complexo hídrico. Para possibilitar uma análise técnica, econômica e ambiental, o estudo foi dividido em capítulos, onde o primeiro traz a apresentação do sistema, considerações gerais e os pontos necessários para a realização da dissertação. No segundo capítulo foi realizada uma análise bibliométrica e revisão sistemática acerca do tema, conseguindo filtrar artigos que pudessem dar base às análises necessárias para concepção do estudo. No terceiro capítulo foi possível realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico flutuante de 5 MW, de forma que ele pudesse cobrir uma porcentagem do complexo, e com isso realizar a análise de quanto poderia ser reduzido de evaporação utilizando um sistema fotovoltaico flutuante do tipo suspenso. Para o quarto capítulo foi analisada a viabilidade financeira do sistema considerando geração distribuída e indicadores financeiros. Com os resultados encontrados foi possível perceber que o sistema tem possibilidade de ser implementado, já que pode trazer benefícios ambientais, seria tecnicamente funcional, e traria geração de energia renovável para a região com retorno financeiro.

Palavras-Chave: Evaporação, usina fotovoltaica, controle ambiental, corpo hídrico, radiação solar.

ABSTRACT

Climate change and rising temperatures in some regions of the world have become a matter of global concern. The need to care for the environment and mitigate negative environmental impacts is extremely necessary and is being worked on in different parts of the world. Several countries are analyzing the best ways to implement technologies that can be useful for the generation of clean energy. This is the case of floating photovoltaic systems. Countries with the need to generate clean energy, but with little land space, began to analyze the feasibility of installing photovoltaic panels over water bodies, but with studies about this system, it was possible to perceive other features such as the reduction of evaporation that has been affecting several water bodies in a negative way, since even though it is a natural phenomenon, high temperatures have been intensifying its occurrence. For Brazil, some studies were initiated and the first floating photovoltaic plants were implemented, taking advantage of the country's hydroelectric plants. The city of Coremas is located in the Northeast of Brazil, more precisely in the intermediate region of Patos, and is known for its social, economic and environmental relevance as it contains the largest hydro complex in the state, Coremas - Mãe D'água. The general objective of this work was to analyze the technical, environmental and economic viability of a floating photovoltaic project for the Coremas - Mãe D'água hydro complex, so that this system can contribute to the generation of electricity, the reduction of the impact on the use of terrestrial spaces for the implementation of photovoltaic plants and the reduction of evaporation in the hydro complex. To enable a technical, economic and environmental analysis, the study was divided into chapters, where the first brings the presentation of the system, general considerations and the necessary points for the completion of the dissertation. In the second chapter, a bibliometric analysis and systematic review on the subject were carried out, managing to filter articles that could provide the basis for the necessary analyzes for the study design. In the third chapter, it was possible to design a floating photovoltaic system of 5 MW, so that it could cover a percentage of the complex, and thus perform the analysis of how much evaporation could be reduced using a floating photovoltaic system of the suspended type. For the fourth chapter, the financial viability of the system was analyzed considering distributed generation and financial indicators. With the results found, it was possible to perceive that the system has the possibility of being implemented, since it can bring environmental benefits, would be technically functional, and would bring renewable energy generation to the region with financial return.

Keywords: Evaporation, photovoltaic plant, environmental control, water body, solar radiation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Precipitação média da cidade de Coremas, de acordo com o banco de dados BDMEP do INMET estação meteorológica de São Gonçalo e AESA, referente ao período de 1980 a 2020	24
Figura 1.2: Precipitação anual da cidade de Coremas, de acordo com o banco de dados BDMEP do INMET estação meteorológica de São Gonçalo e AESA, referente ao período de 1980 a 2020	24
Figura 1.3: Temperatura média compensada mensal da cidade de Coremas, de acordo com o banco de dados BDMEP do INMET estação meteorológica de São Gonçalo, referente ao período de 1980 a 2020	25
Figura 1.4: Esquema geral da composição de um sistema solar fotovoltaico flutuante	26
Figura 1.5: Modelos de sistemas fotovoltaicos flutuantes	27
Figura 2.1: Resumo descritivo das etapas da revisão sistemática aplicada.....	33
Figura 2.2: Fluxograma de condução da revisão, com as etapas necessárias para chegar amostra final, de trabalhos voltados ao estudo	36
Figura 2.3: Distribuição espacial dos países das publicações referentes a geração de energia fotovoltaica utilizando sistemas flutuantes, considerando publicações até dezembro de 2021	36
Figura 2.4: Evolução dos artigos publicados relacionados à temática até dezembro de 2021	38
Figura 2.5: Quantitativo das citações dos artigos publicados relacionados ao tema até dezembro de 2021	38
Figura 3.1: Localização do Município de Coremas no estado da Paraíba	47
Figura 3.2: Percurso das águas do complexo Coremas - Mãe D'água	48
Figura 3.3: Nível do açude Coremas durante os anos de 2011 a 2021 (Paraíba)	49
Figura 3.4: Nível do açude Mãe D'água durante os anos de 2011 a 2021 (Paraíba)	49
Figura 3.5: Localização da Subestação Coremas – CHESF	53
Figura 3.6: Distância entre o complexo Coremas – Mãe D'água da Subestação Coremas – CHESF	53
Figura 3.7: Evaporação para o corpo hídrico livre (mm/dia).	59
Figura 3.8: Taxa de evaporação considerando 100%, 70%, 50%, 30% e 0% do complexo Coremas - Mãe D'água cobertos, considerando os valores da evaporação em mm/dia..	61

Figura 3.9: Projeto de 5 MW posicionado no complexo Coremas – Mãe D’água	62
Figura 4.1: Mapa de localização do complexo Coremas - Mãe D’água	67
Figura 4.2: Fluxograma da metodologia para análise da viabilidade econômica.....	68
Figura 4.3: Valores de CAPEX, O&M, CVU, FC e vida útil para as diferentes tecnologias, considerados para o cálculo de LCOE	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Dados de precipitação de acordo com o banco de dados BDMEP do INMET estação meteorológica de São Gonçalo e AESA, referente ao período de 1980 a 2020....	23
Tabela 2.1: Classificação da amostra final de artigos.....	35
Tabela 3.1: Características técnicas do módulo solar fotovoltaico escolhido.....	50
Tabela 3.2: Características técnicas do inversor escolhido.....	51
Tabela 3.3: Tabela de irradiação média da cidade de Coremas - PB	58
Tabela 3.4: Análise comparativa relacionada a evaporação considerando diferentes porções do complexo Coremas Mãe - D'água coberto.....	60
Tabela 3.5: Redução em litros considerando 100%, 70%, 50%, 30% e 0% do complexo Coremas - Mãe D'água cobertos	61
Tabela 4.1: Valores de <i>Capital Expenditure</i> (CAPEX), para sistemas fotovoltaicos flutuantes.....	69
Tabela 4.2: Valores de fluxo de caixa, para sistemas fotovoltaicos flutuantes para o complexo Coremas – Mãe D'água.....	74
Tabela 4.3: Valores de fluxo de caixa, para sistemas fotovoltaicos flutuantes para o complexo Coremas – Mãe D'água.....	76
Tabela 4.4: Análise dos indicadores de viabilidade econômica de um projeto fotovoltaico flutuante de 5 MW para o complexo Coremas – Mãe D'água	77

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ACL** Ambiente De Contratação Livre
- ACR** Ambiente de Contratação Regulado
- AESA** Agência Executiva de Gestão das Águas
- ANA** Agência Nacional das Água
- BNDS** Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- CAPEX** Capital Expenditure
- CHESF** Companhia Hidrelétrica do São Francisco
- EPE** Empresa de Pesquisa Energética
- FER** Fontes de Energias Renováveis
- FV** Fotovoltaico
- FVF** Fotovoltaico Flutuante
- IBGE** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IL** Índice de Lucratividade
- INMET** Instituto Nacional de Meteorologia
- IPCC** painel intergovernamental de mudanças climáticas
- LW** (Long Wave) - ondas longas
- OPEX** Operational Expenditure
- RSL** Revisão Sistemática de Literatura
- SW** (Short Wave) - ondas curtas
- UFVF** Usinas Fotovoltaico Flutuante
- TIR** Método da Taxa Interna de Retorno
- VPL** Valor Presente Líquido
- (WOS)** *Web of Science*
- ZCIT** zona de convergência intertropical

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	14
1.2 INTRODUÇÃO	14
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
1.4.1 Tipos climáticos no Brasil, no Nordeste, na Paraíba e em Coremas	17
1.4.2 Descrição da tecnologia: características e tipos	21
1.4.3 Tipos de sistemas fotovoltaicos flutuantes	22
1.4.4 Principais características de um sistema fotovoltaico flutuante	24
1.4.5 Características de execução	26
2 ARTIGO: ANÁLISE DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLUTUANENTES: UMA REVISÃO	29
2.1 INTRODUÇÃO	29
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	30
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
2.4 CONCLUSÃO	39
3 MODELOS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES E SUA INFLUÊNCIA NA TAXA DE EVAPORAÇÃO DO COMPLEXO COREMAS-MÃE D'ÁGUA (PARAÍBA)	42
3.1 INTRODUÇÃO	42
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	44
3.2.1 Caracterização da área de estudo e identificação das estações meteorológicas	44
3.2.2 Irradiação solar total horizontal do complexo Coremas – Mãe D'água	47

	11
3.2.3 Modelo fotovoltaico flutuante com módulos ancorados.....	47
3.2.3 Dimensionamento técnico do sistema	48
3.2.4 Métodos de cálculo da evaporação.....	51
<i>3.2.4.1 Modelo de cálculo da evaporação para corpo hídrico livre</i>	<i>51</i>
<i>3.2.4.1 Modelo de cálculo da evaporação para corpo hídrico Coberto</i>	<i>53</i>
<i>3.2.4.2 Modelo de cálculo da evaporação para corpo hídrico Coberto (tipo suspenso)</i>	<i>53</i>
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
3.3.1 Irradiação solar total horizontal	55
3.3.2 Dimensionamento técnico de uma usina fotovoltaica flutuante de 5 MW.	55
3.3.3 Cálculo da evaporação média do corpo hídrico livre.....	56
3.3.4 Cálculo da evaporação média do corpo hídrico coberto.....	56
3.4 CONCLUSÃO.....	59
4 VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA USINA FOTVOLTAICA FLUTUANTE NO AÇUDE COREMAS MÃE D'ÁGUA.....	62
4.1 INTRODUÇÃO	62
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	63
4.2.1 Caracterização da área de estudo e Localidade.....	63
4.2.2 Descrição do sistema FVF.....	64
4.2.3 Análise financeira	65
4.2.3.1 Despesa de Capital.....	66
4.2.3.2 Despesa de Operacionais e manutenção (O&M) e serviços administrativos.	67
4.2.3.3 Projeção de receitas	67
4.2.3.4 Fluxo de caixa	67
4.2.4 Indicadores de avaliação econômica	68
4.2.4.1 Método do Valor Presente Líquido (VPL)	68
4.2.4.2 Índice de Lucratividade (IL)	68

4.2.4.3 Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)	69
4.2.4.4 Método do <i>payback</i> descontado	70
4.2.4.5 Análise dos Indicadores de viabilidade econômica.....	70
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4.3.5 Fluxo de Caixa	71
4.3.5.1 Cálculo do VPL.....	72
4.3.5.2 Cálculo do índice de lucratividade	72
4.3.5.4 <i>Payback</i> descontado	73
4.3.5.5 Análise dos indicadores de viabilidade econômica	74
4.4 CONCLUSÃO.....	75
CAPÍTULO 5	76
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TODA A DISSERTAÇÃO	79

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1.1 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Essa pesquisa de dissertação segue o formato de compêndio de artigos científicos. Os capítulos estão relacionados entre si e estão organizados com a seguinte estrutura:

- Capítulo 1: Apresenta a organização do trabalho, introdução, objetivos gerais e específicos, e fundamentação teórica, mostrando os aspectos necessários à realização da construção da dissertação.
- Capítulo 2: Apresenta o artigo de análise bibliométrica e revisão sistemática, trazendo assim o que foi necessário para o desenvolvimento da pesquisa, já que através da pesquisa bibliométrica e análise de cada um dos artigos encontrados foi possível desenvolver os demais capítulos aqui elaborados.
- Capítulo 3: Apresenta o artigo “Modelos fotovoltaicos flutuantes e sua influência na taxa de evaporação do complexo Coremas - Mãe D’água (Paraíba)”. Mostra todas as características técnicas de um sistema de placas fotovoltaicas flutuantes, como os tipos, o dimensionamento, o material utilizado na execução e a geração de eletricidade, além dos efeitos ambientais, incluindo principalmente os efeitos nos níveis de evaporação do corpo hídrico.
- Capítulo 4: O artigo presente neste capítulo apresenta o estudo sobre a viabilidade econômica da implantação do projeto no complexo Coremas - Mãe D’água, onde foi analisado se os custos compensam o investimento.
- Capítulo 5: Considerações finais referentes a toda a dissertação.

1.2 INTRODUÇÃO

Atualmente é considerável o aumento de avanços científicos voltados a temáticas como energias renováveis, utilização dos recursos naturais, mudanças climáticas, impactos ambientais e temas que mostram o quanto as ações humanas podem ter efeito sobre o meio ambiente. Esses avanços em pesquisa possibilitam que sejam criadas formas de mitigar os efeitos das ações humanas.

A região Nordeste do Brasil sempre foi conhecida por apresentar períodos de seca, onde mudanças nos padrões de precipitação e temperatura podem causar ou acentuar

problemas referentes a quantidade e qualidade da água (BENITO, 2013). Sendo assim, também é plausível esperar que as variações climáticas aumentem a vulnerabilidade da produtividade energética do estado da Paraíba (SIMS, 2004; LUCENA *et al.*, 2009; SCHAEFFER *et al.*, 2012; BENITO, 2013; EPE, 2014).

O semiárido brasileiro chega a ter aproximadamente 1.128.697km² (SUDENE, 2017), e chega a conter 15.354 corpos hídricos, segundo a Agência Nacional de Água (ANA, 2017). Mas infelizmente nem todos têm água propícia para consumo, apenas 9% é composto por açudes com água doce para consumo diário.

Um dado fornecido pelo painel intergovernamental de mudanças climáticas (IPCC) mostrou que até o final do século 21, a temperatura do semiárido brasileiro pode aumentar de 1° a 3° considerando um cenário otimista e de 2° a 4° de um cenário pessimista, e isso aumentará significativamente a evaporação e o desfite hídrico da região (MAJID *et al.*, 2014).

Boa parte da água dos reservatórios acaba evaporando ao longo do ano. E isso ocorre devido a um processo físico que depende de variáveis meteorológicas como: pressão atmosférica, a velocidade do vento, radiação solar, temperatura do ar, e a umidade relativa do ar (BRUTSAERT, 1982; CURTARELLI, *et al.*, 2013).

Assim muitas cidades acabam sofrendo com um fenômeno conhecido com vulnerabilidade hídrica, já que, o período de chuvas da área ocorre durante 3 a 4 meses no ano, e com isso nos meses sem chuva os níveis de água do reservatório reduz bastante devido a evaporação da água e consumo diário, o que pode afetar diretamente a salinidade da água e diminuindo também a qualidade da água (CIRILO; MONTENEGRO; CAMPOS, 2010).

São estudadas diariamente formas de mitigar a escassez de água, e uma dessas estratégias é a instalação de sistema fotovoltaicos flutuantes (FVF) para reduzir a taxa de evaporação de corpos hídricos (SAHU *et al.*, 2016). Os primeiros sistemas FV flutuantes foram instalados em Aichi, Japão, em 2007 (um sistema) e dois na Califórnia, Estados Unidos, em 2008, mas eram voltados a pesquisa e desenvolvimento, o que possibilitou o aprimoramento da tecnologia. Porém, os projetos obtiveram fins comerciais somente após 2014 (TRAPANI; SANTAFÉ, 2015; MITTAL *et al.*, 2017).

Vários sistemas fotovoltaicos flutuantes foram implementados pelo mundo e em cada um pode-se observar fatores diferentes, como por exemplo a redução da proliferação de algas (FERRER-GISBERT *et al.*, 2013; SHARMA *et al.*, 2015), aumento da eficiência de geração de energia (CHOI, 2014; MUSCAT, 2014; CAZZANIGA *et al.*,

2017), diminuição da ocupação de terras aproveitáveis, dando utilidade a áreas poluídas de minas abandonadas (CHOI E SONG, 2016; POURAN, 2018), aproveitando das linhas de transmissão de energia existentes nas proximidades de usinas hidrelétricas (SACRAMENTO *et al.*, 2015; HARTZELL, 2016; FARFAN E BREYER, 2018) redução do efeito de poeira em painéis (MITTAL *et al.*, 2017) e a evaporação de corpos d'água (AZAMI *et al.*, 2017; MITTAL *et al.*, 2017 ; TABOADA *et al.*, 2017).

No Brasil alguns dos sistemas foram instalados com o objetivo de pesquisa e desenvolvimento como: um da companhia de energia de São Paulo, com a capacidade de 50 kW na cidade de Rosana, em São Paulo (SECRETÁRIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO, 2016); outro foi instalado pela companhia hidroelétrica do São Francisco (CHESF), com a capacidade de 1 MW implementada no reservatório de Sobradinho, na Bahia, outro foi instalado no estado do Amazonas, no reservatório Balbina, que foi também instalado pela CHESF, com capacidade de 5 MW, mostrando assim a possibilidade de instalação das UFVF em diversos lugares do país (BRASIL-MME, 2016).

A cidade de Coremas é conhecida pela produção de energia, mais voltada à eletricidade gerada pela água devido ao açude Coremas - Mãe D'água. Porém, devido às secas intensas que vem enfrentando, essa geração de energia veio se tornando inviável, de forma que em 2016 o açude de Coremas chegou a ter 2,43% da sua capacidade (AESA, 2021), o que preocupa às cidades que dependem do abastecimento pelo açude.

O complexo Coremas - Mãe d'água é conhecido como mar do sertão, por sua amplitude e por beneficiar cerca de 112 cidades da microrregião do sertão paraibano, mas mesmo com toda sua extensão, sofre diariamente com as perdas devido a níveis altos de irradiação solar e o aumento da evaporação. Além de ter esse grande complexo hídrico, a cidade de Coremas está tendo visibilidade devido as 10 usinas fotovoltaicas que estão sendo implementadas pela Rio Alto.

Assim como em alguns países, será possível aproveitar a extensão do corpo hídrico Coremas – Mãe D'água e a subestação já instalada na cidade para o complexo fotovoltaico, para realizar a instalação de um sistema fotovoltaico flutuante, que irá colaborar com a geração de energia limpa e com a diminuição da evaporação.

Por isso, no presente estudo de dissertação foram analisados todos os aspectos necessários para a possibilidade de implementação de uma usina fotovoltaica flutuante no complexo Coremas - Mãe D'água, considerando aspectos construtivos, energéticos, ambientais e econômicos. De forma que o projeto escolhido seja viável em todos esses

aspectos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho foi analisar a viabilidade técnica, ambiental e econômica de um projeto fotovoltaico flutuante para o complexo hídrico Coremas - Mãe D'água.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para obter o objetivo geral, os objetivos específicos foram divididos da seguinte forma:

- Organizar a bibliometria e a revisão sistemática referente a sistemas fotovoltaicos flutuantes.
- Definir, analisar e dimensionar um sistema adequado para instalação no complexo Coremas - Mãe D'água.
- Estimar os efeitos da evaporação no Complexo Coremas – Mãe D'água, analisando os níveis de evaporação do açude parcialmente coberto e sem cobertura nenhuma.
- Analisar a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico flutuante de 5 MW instalado no complexo Coremas - Mãe D'água.

1.4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.4.1 Tipos climáticos no Brasil, no Nordeste, na Paraíba e em Coremas

O Brasil é um país com uma vasta variedade climática, mas majoritariamente tropical e com privilegiada incidência solar. Na maior parte do território brasileiro observa-se a predominância de climas quentes com baixa variabilidade térmica sob a ingerência do relevo e da dinâmica das massas de ar atuantes. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, 94% do território está inserido nas zonas climáticas equatorial e tropical, sendo que os regimes pluviométricos são bastante diversificados (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Como mostra Azevedo *et al.* (1998) e Ferreira e Mello (2005), pode-se considerar

a região nordeste como semiárida por apresentar variações substanciais em especial em relação a precipitação pluviométrica, além de elevadas temperaturas ao longo do ano. O Nordeste do Brasil é a segunda maior região do país, o que corresponde a aproximadamente 18% do território nacional (LIMA *et al.*, 2019). A região caracteriza-se por apresentar predominantemente o clima tropical, todavia, o clima semiárido também alcança todos os estados, com exceção do Maranhão (ALVARES *et al.*, 2013).

O Nordeste brasileiro é uma das áreas mais vulneráveis às mudanças climáticas e a periodicidade de eventos de secas e chuvas intensas afetam a agricultura de subsistência fortemente empregada, além de degradar ecossistemas e ocasionar problemas de migração em massa, deficiência e riscos para a segurança hídrica, alimentar e energética da região (PIMENTA; SANTOS; RODRIGUES, 1998; SILVA; CORREIA; COELHO, 1998; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; CAVALCANTI *et al.*, 2009; EAKIN *et al.*, 2014).

O estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, possui quatro regiões intermediárias: João Pessoa, Campina Grande, Souza-Cajazeiras e Patos, sendo esta última a área elegida para este estudo, a qual apresenta clima semiárido (IBGE, 2017).

Utilizando a classificação climática de Köppen, o clima do município de Coremas-PB é considerado Tropical Semiúmido o que se estende por toda a região intermediária. Além de que a zona de convergência intertropical (ZCIT) influencia a maior parte do estado da Paraíba, o que justifica poucas alterações climáticas durante todo o ano (FRANCISCO E SANTOS, 2018).

Coremas é uma das cidades da Paraíba onde há incertezas na reposição de água dos reservatórios, devido à grande variabilidade da precipitação e as secas prolongadas, prejudicando a oferta em quantidade e qualidade adequadas aos usos a que se pretende destiná-la (GOMES *et al.*, 2019).

Para uma análise mais detalhada foi feito um estudo utilizando a base de BDMEP do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Onde foi possível utilizar os dados coletados de forma mensal pela Estação Meteorológica de São Gonçalo, localizada no município de Souza, considerando o período de 01/01/1980 à 31/07/2020. Devido a problemas técnicos na estação alguns dados foram perdidos em relação a alguns períodos, por isso para que os dados ficassem mais precisos, foi unido ao banco de dados do sistema da AESA, considerando o período de 1994 à 2020, já que é o período em que se tem dados disponíveis chegando à Tabela 1.1

Tabela 1.1: Dados de precipitação de acordo com o banco de dados BDMEP do INMET estação meteorológica de São Gonçalo e AESA, referente ao período de 1980 a 2020.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1980	33,1	214,6	131,1	13,4	6,7	6,3	26,6	0,1	1,6	38,2	2,5	14,3
1981	48,7	167,0	356,5	40,5	1,2	5,2	0,0	2,1	0,0	0,0	0,1	33,0
1982					49,8	5,0	7,3	24,4	0,0	19,6	15,7	2,2
1983	47,5	252,6	158,3	29,2	3,0	2,0	0,7	16,4	0,0	3,5	0,0	23,0
1984	104,5	37,1	230,8	228,9	170,3	2,8	4,1	9,6	1,1	0,5	38,2	93,8
1985	179,9	317,0	224,3	442,6	144,8	124,9	57,0	4,6	22,6	0,6	2,0	155,1
1994	391,9	179,5	51,7	85,5	0,0	110,0	26,3	0,0	0,6	0,0	0,0	40,3
1995	179,9	107,8	224,3	184,9	276,3	43,1	41,1	0,4	0,0	6,6	45,5	0,0
1996	182,3	244,7	163,1	317,9	115,8	35,3	11,9	26,0	0,8	21,3	44,8	0,0
1997	196,1	91,4	262,2	124,6	100,4	0,6	6,3	0,4	0,0	6,9	19,2	0,0
1998	136,1	52,7	82,2	104,9	17,9	8,3	1,3	0,0	0,0	4,9	0,3	0,0
1999	80,2	16,4	186,0	31,1	219,2	5,6	2,2	0,0	0,7	34,8	53,4	98,2
2000	195,6	322,4	206,7	157,0	59,8	35,4	63,0	29,9	13,1	0,9	3,2	80,7
2001	12,9	35,3	358,7	63,3	5,3	28,9	3,5	7,3	0,0	17,1	0,0	107,2
2002	351,4	115,2	218,5	152,2	157,1	36,1	11,2	0,1	0,6	2,2	1,0	7,4
2003	101,2	266,1	210,9	234,7	10,9	10,7	27,6	7,3	0,9	0,0	5,2	0,0
2004	309,7	227,9	189,9	99,2	32,6	120,5	27,9	2,4	0,0	0,0	0,0	34,8
2005	42,8	17,6	561,5	112,7	103,8	24,9	0,6	7,2	2,8	0,0	0,0	0,0
2006	65,7	164,8	295,5	311,6	164,5	17,4	48,0	16,5	0,0	0,7	0,3	115,3
2007	59,9	428,1	127,8	175,2	83,7	156,2	8,5	0,0	0,0	28,0	1,1	25,5
2008	248,9	131,5	657,9	384,0	341,7	24,8	19,8	5,5	0,0	5,6	0,0	31,7
2009	156,8	200,1	203,2	348,2	310,1	27,4	38,9	29,7	3,2	16,0	0,0	77,4
2010	118,9	50,7	0,0	224,6	12,0	2,7	3,1	0,0	0,0	149,9	1,3	123,3
2011	341,6	404,2	126,4	168,2	73,3	51,1	23,1	3,7	0,0	124,4	15,1	15,7
2012	124,5	217,8	27,0	130,7	11,0	25,9	6,2	0,0	0,0	0,0	0,2	1,0
2013	55,4	77,8	164,6	115,3	106,3	50,8	16,3	8,6	1,7	40,8	8,8	85,2
2014	64,3	142,1	191,4	192,2	69,9	17,0	28,6	0,3	0,0	83,2	8,2	24,0
2015	55,5	160,7	396,5	36,3	8,4	45,0	59,3	4,9	0,0	5,6	0,0	9,8
2016	184,1	30,7	308,4	115,1	30,6	10,1	0,5	0,0	0,0	11,9	0,0	10,0
2017	104,1	191,4	139,4	68,9	55,6	50,4	73,1	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0
2018	62,4	322,9	89,5	267,8	19,1	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0	6,3	131,8
2019	109,2	157,8	244,0	139,6	152,6	7,5	22,7	6,0	0,7	0,2	0,9	4,7
2020	126,2	284,9	293,3	233,0	0,0	71,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fonte: INMET (2020) e AESA (2020).

Analisando caráter histórico pode-se perceber que o período chuvoso na região ocorre, geralmente, entre janeiro e maio, onde o mês de março contém o pico de chuvas, como mostram os valores registrados pela AESA.

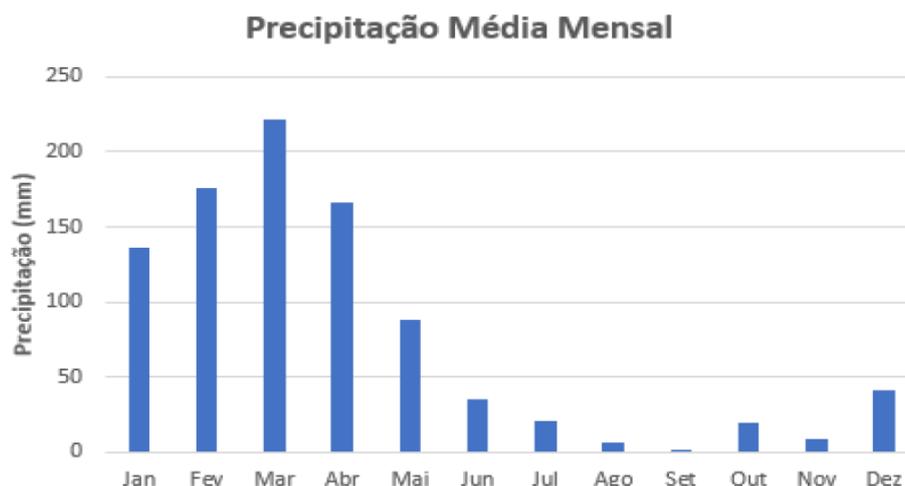


Figura 1.1: Precipitação média da cidade de Coremas, de acordo com o banco de dados BDMEP do INMET estação meteorológica de São Gonçalo e AESA, referente ao período de 1980 a 2020.

Fonte: INMET (2020) e AESA (2020).

Evidencia-se que a maior parte do ano o município sofre com o baixo nível de precipitação.

Analisando o parâmetro anual, podemos perceber na Figura 1.2, os registros feitos de 1980 até 2020, onde foi possível observar que em 1998 e 2008 ocorreram as maiores constantes e precipitação, com 1995 mm e 1851,4 mm, além das menores precipitações registradas que ocorreram em 1982 e 2010, de 124 mm e 300 mm, respectivamente. Esses dados mostram o quanto a cidade sofre com baixos índices pluviométricos.

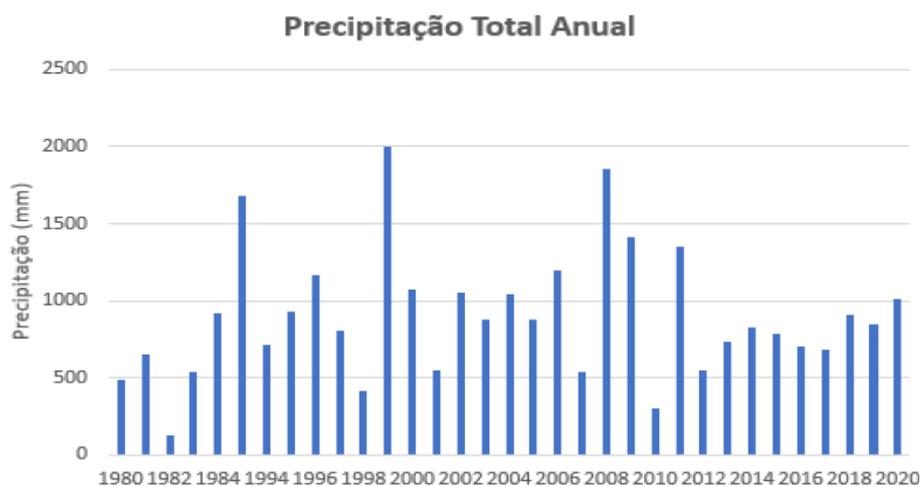


Figura 1.2: Precipitação anual da cidade de Coremas, de acordo com o banco de dados BDMEP do INMET estação meteorológica de São Gonçalo e AESA, referente ao período de 1980 a 2020.

Fonte: INMET (2020) e AESA (2020).

Esses resultados e demais dados climáticos só foram possíveis graças as análises feitas diariamente pela agência Executiva de Gestão das Água dos Estado da Paraíba (AESAs).

Além de analisar o clima e a precipitação, pode-se que a temperatura média mensal fica em torno de 27,8°C, mas analisando a Figura 1.3 pode-se perceber que mesmo em períodos com maior nível de precipitação não existe variação significativa e temperatura na região.

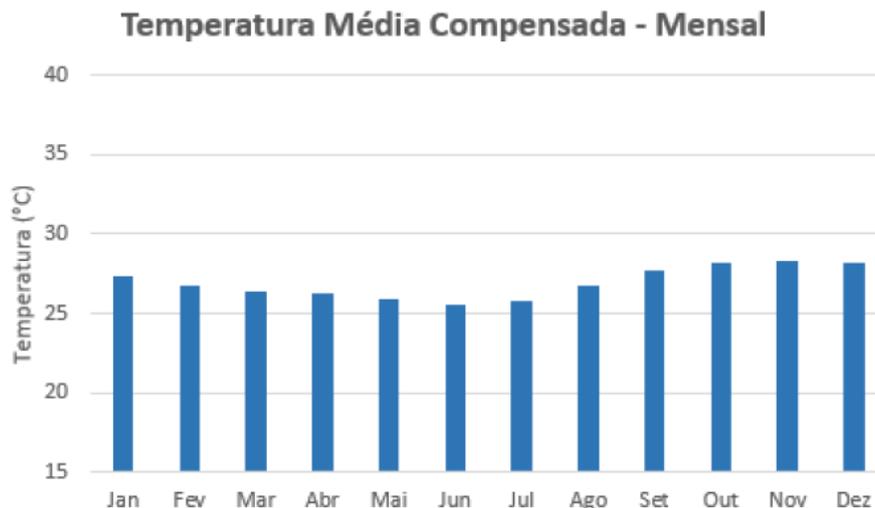


Figura 1.3: Temperatura média mensal compensada da cidade de Coremas, de acordo com o banco de dados BDMEP do INMET estação meteorológica de São Gonçalo, referente ao período de 1980 a 2020.

Fonte: INMET (2020).

Todos esses fatores influenciam diretamente na implementação de energia solar na cidade.

1.4.2 Descrição da tecnologia: características e tipos.

A principal característica que diferencia um sistema fotovoltaico flutuante do sistema convencional (terrestre) é a plataforma flutuante. Um sistema fotovoltaico flutuante é composto basicamente por Choi (2014) (Figura 1.4):

- A plataforma flutuante: eles garantem a flutuabilidade e a estabilidade da estrutura;
- O suporte dos painéis fotovoltaicos: deve ser uma estrutura capaz de suportar o peso dos painéis, além de suportar os efeitos do vento e esforços que podem afetar a estrutura.

- Acoplamentos articulados de metal: que permitem o deslocamento vertical e horizontal, possibilitando adaptação do sistema a superfícies irregulares dos reservatórios.
- Acopladores flexíveis: com material de borracha eles realizam um deslocamento máximo entre as peças do sistema, para que assim ele possa se adaptar a diferentes níveis de água do reservatório.
- Cordas e cabos náuticos: com material de poliéster e nylon que são usados para amarrar a estrutura ao fundo do reservatório.
- Sistema de ancoragem rígida: são estacas de concreto armado que são utilizadas para resistir as forças laterais e que possibilitam a ancoragem da plataforma e permitem que as forças sejam transmitidas para as bordas ou para o fundo do reservatório.

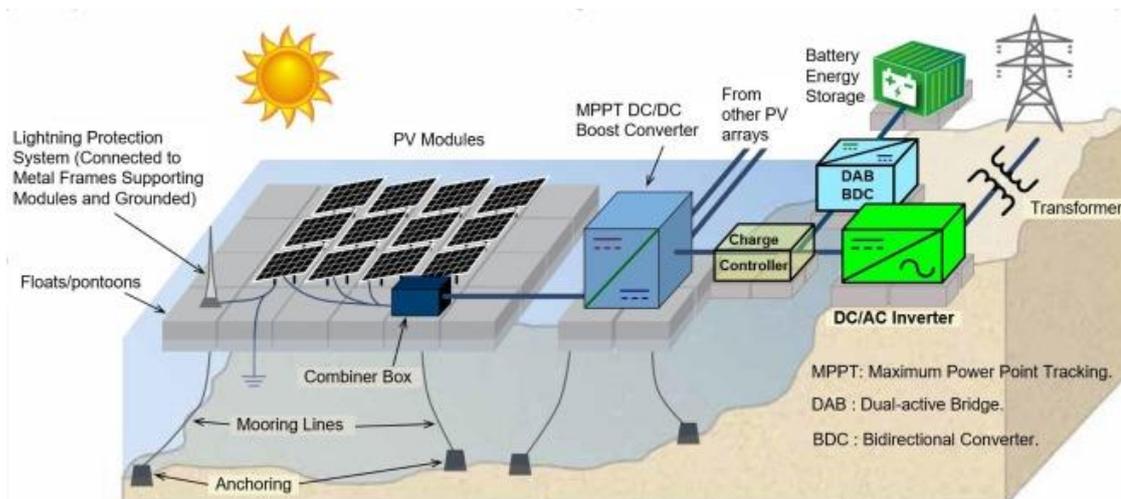


Figura 1.4: Esquema geral da composição de um sistema solar fotovoltaico flutuante.

Fonte: Choi (2014).

1.4.3 Tipos de sistemas fotovoltaicos flutuantes

Segundo Sahu *et al.* (2016), os diferentes modelos de sistemas fotovoltaicos em corpos hídricos podem ser divididos em quatro, sendo divididos também em dois grupos, o suspenso e os flutuantes:

Os sistemas suspensos podemos encontrar dois tipos: o sistema com estrutura flutuante tubular (Figura 1.5B), e o sistema instalados sobre canais (Figura 1.5C). Já os flutuantes são compostos pelo: sistema com flutuadores flexíveis (Figura 1.5D), e por sistemas com flutuadores rígidos com fixação direta dos módulos (Figura 1.5A) que

cobrem toda superfície abaixo do modelo.

Para melhor visualização a Figura 1.5 mostra de forma ilustrativa cada um desses modelos.

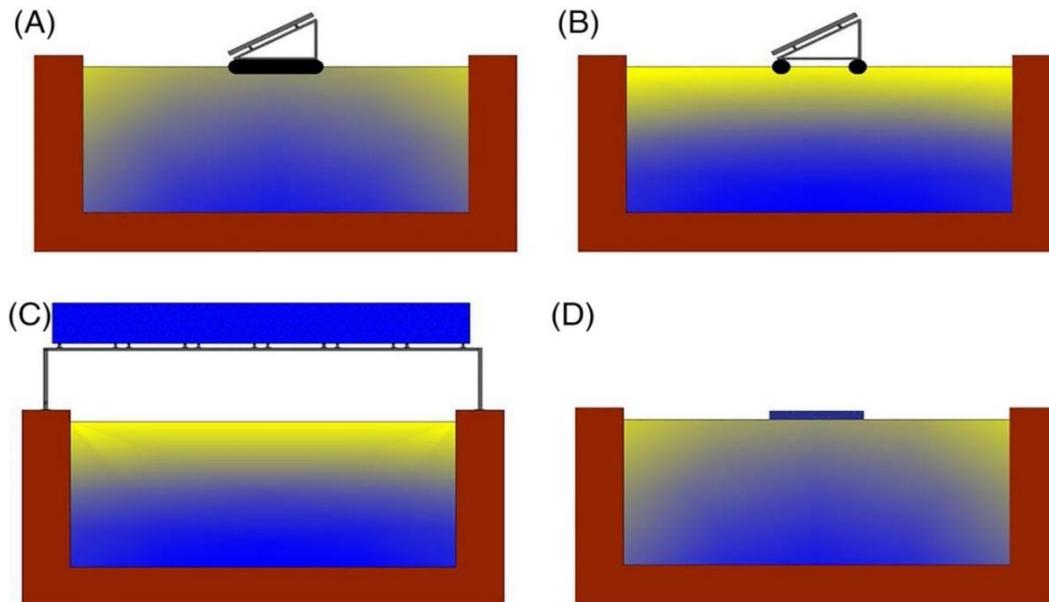


Figura 1.5: Modelos de sistemas fotovoltaicos flutuantes.

Fonte: Scavo *et al.* (2020).

- Sistemas flutuantes com flutuadores: Os mesmos cobrem toda a superfície abaixo do modelo, já que são plataformas de polietileno que são ancoradas ao solo por elastômeros. São muito utilizadas quando o objetivo é cobrir completamente a superfície adjacente, assim a radiação solar que atinge a plataforma, mas não chega a atravessá-la. Um ponto bastante positivo é a capacidade de adaptação ao nível da água (Figura 1.5 A).
- Sistemas flutuantes com módulos ancorados a um sistema de flutuabilidade tubular. Esse modelo é recomendado quando o objetivo é diminuir a temperatura dos modelos, já que permitem uma boa ventilação e resfriamento. Esse tipo funciona com temperaturas mais baixas e permite uma maior eficiência, mas esse tipo de sistema apenas diminui a transmissão da radiação solar já que os módulos ocupam parcialmente a superfície da água (Figura 1.5 B).
- Sistemas solares no topo do canal com estruturas ancoradas ao solo que são instaladas como coberturas de superfícies ou cursos d'água. São modelos muito utilizados em rios, canais e hidrovias. (Figura 1.5 C).
- Flutuadores flexíveis tem o contato direto com a água, o que permite o resfriamento do sistema, aumentando a eficiência. O sistema é conhecido como

flexível por ser construído com filme laminar delgado e também pela possibilidade de adaptação dos módulos, permitindo que suportem as ondas e por isso é um modelo bastante usado em instalações offshore (Figura 1.5 D).

O sistema deve ser adaptado de acordo com as necessidades do local, por isso é possível encontrar diversos projetos pelo mundo com várias características únicas dimensionadas para atingir da melhor forma possível a localidade.

1.4.4 Principais características de um sistema fotovoltaico flutuante

Uma UFVF possui diversas diferenças em relação aos sistemas fotovoltaicos instalados sobre o solo, inclusive muitas dessas diferenças são mais vantajosas em UFVF, dentre elas podemos encontrar:

- As plataformas flutuantes são dimensionadas e modeladas de forma que seja possível suportar diversas condições físicas do ambiente como tufão e grandes tempestades;
- Promovem a redução da evaporação da água no corpo hídrico onde é instalado.
- Por serem instaladas acima de corpos hídricos, não é necessário realizar preparação do solo, limpeza e terraplanagem, que é um dos maiores problemas enfrentados na execução de um sistema instalado no solo (CAZZANIGA *et al.*, 2017);
- As plataformas flutuantes são montadas utilizando polietileno de alta densidade e com isso podem ser 100% recicladas, além de resistirem à corrosão e aos raios ultravioletas.
- As UFVF podem ser instalados em reservatório que já contém hidrelétrica, assim podem aproveitar a infraestrutura de transmissão existente no local (TIANGCO, 2018).
- As UFVS são mais eficientes do que as plantas instaladas em solo, para geração de energia fotovoltaica o elemento essencial é a radiação solar, e grandes temperaturas geralmente contribuem muito com a radiação solar, mas as altas temperaturas diminuem a eficiência dos módulos fotovoltaicos, assim uma UFVF por estar próxima a água ocorre o resfriamento dos módulos, tornando-os mais eficientes.

- O sombreamento contribui para inibição do crescimento das algas (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016);
- Não necessita ocupar espaço terrestre, o que ajuda países com pouca margem territorial (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016);
- Pode ser instalado em qualquer corpo hídrico desde que ele tenha acesso a luz abundante;
- As UFVF têm período de execução e instalação mais rápido do que as que são instaladas sobre o solo.
- Podem ser usados em qualquer corpo hídrico até mesmo em lugares que contém águas contaminadas, como por exemplo minas desativas que não podem mais desenvolver outras atividades econômicas (POURAN, 2018);
- O custo da implementação e manutenção de um sistema fotovoltaico flutuante ainda é elevado o que pode inviabilizar financeiramente um projeto;
- A manutenção necessita de profissionais de mergulho extremamente qualificados para manter o bom funcionamento do projeto;
- A execução deve ser cuidadosa principalmente com a parte elétrica para evitar possíveis acidentes.

As características mais visadas das UFVF são: possibilidade de não ocupar muito espaço terrestre, os impactos ambientais positivos e a possibilidade de que seja instalado em qualquer corpo hídrico.

Diversos países não podem ceder suas faixas terrestres para geração de energia fotovoltaica, assim com projetos de UFVF possibilitam que essa área possa ser utilizada em construções, agricultura e outras aplicações (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016).

Além disso eles podem ser instalados em diversos tipos de corpos hídricos como: lagos, lagoas, rios, reservatórios, oceanos, lagos, estações de tratamentos, canais, represas, criatórios de peixes etc (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016).

Pimentel e Branco (2018) em seu estudo realizaram uma comparação entre os impactos ambientais de usina fotovoltaica flutuante (UFVF) em comparação com usina fotovoltaica em solo (UFVS). Eles destacam que que na fase de construção por não necessitar de retirada de vegetação e terraplanagem, apresentam menor impacto, principalmente pelo fato de que provocam menor risco de erosão do solo (LOVICH; ENNEN, 2011; HERNANDEZ *et al.*, 2014).

1.4.5 Características de execução

No estudo de ROSA-CLOT; TINA, (2018) foi apresentado as principais características para execução de uma UFVF:

- **Segurança:** Devido o contato com a água, o sistema deve ter extremo cuidado contra coques elétricos, principalmente pela necessidade de acesso pelas áreas técnicas para manutenção dos equipamentos;
- **Tamanho ideal:** os flutuadores devem ser dimensionados de forma que otimizem o seu transporte, facilitando assim a montagem na água;
- **Flexibilidade:** A estrutura deve permitir sistemas de resfriamento, rastreamento e espelhos refletores;
- **Simplicidade:** A estrutura flutuante deve dispensar o uso de guindastes e equipamento muito complexos para sua montagem;
- **Modularidade:** os componentes do sistema devem ser modulares de forma que seja possível move-los para terra quando necessário;
- **Robustez:** O sistema deve ser dimensionado e com materiais que possam suportar ondas e cargas de vento.

Além das características apresentadas anteriormente, alguns fatores devem ser analisados em um projeto fotovoltaico flutuante:

- **Custos:** UFVF ainda tem alto custo para serem implementadas, e isso acaba dificultando a expansão em alguns países (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016);
- **Durabilidade do sistema:** Por estarem em contato com a água, os equipamentos do sistema devem ser escolhidos com cautela, para evitar desgaste, suportar a umidade e ter resistência a corrosão (SHARMA; MUNI; SEN, 2015);
- **Material dos flutuadores:** uma das necessidades do sistema flutuante é que ele seja adaptável a situações diversas, como o nível da água, a qualidade da água, temperatura, correntes de vento, correntes de água e organismos vivos. Por isso, deve ser escolhido o material mais adequado para cada situação e que ele resista a possíveis eventos climáticos. (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016);
- **Localização:** Por mais que seja possível instalar em diversos locais e diferentes corpos hídricos, o cuidado com a localidade é importante, principalmente para escolher corpos hídricos com grande acesso à luz em abundância, e também que

seja um lugar com pouca possibilidade de ventos fortes e grandes ondas, pois por mais eu seja possível instalar em locais com essas condições, o material para por exemplo instalar um sistema fotovoltaico no mar, tem que ser bem mais reforçado que em lagos, ou corpos hídricos com pouco efeito do vento e de ondas.

CAPÍTULO 2

**ARTIGO: ANÁLISE DOS SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES: UMA
REVISÃO**

2 ARTIGO: ANÁLISE DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES: UMA REVISÃO

2.1 INTRODUÇÃO

As fontes de energia renovável são reconhecidas como medidas de melhoria das condições ambientais e de redução de emissões de gases de efeito estufa, responsáveis pelas mudanças climáticas (YOO, 2019). Por isso o aumento da procura mundial por eletricidade busca cada vez mais por fontes renováveis e de baixo impacto, e a energia solar é uma delas.

No final de 2018 a geração de energia fotovoltaica chegou a aproximadamente 500 GW em escala global, com grande crescimento principalmente em países como Alemanha, Itália, Inglaterra, França, China, Japão, Índia e EUA (RODRIGUES *et al.*, 2020).

O primeiro sistema de placas fotovoltaicas flutuantes implementado foi projetado pelo Instituto Nacional Japonês de Ciência e Tecnologia Industrial Avançada em 2007 (ZHOU *et al.*, 2020), e desde então vem-se aperfeiçoando o modelo, principalmente em países em que o território é escasso como o Japão. Esse tipo de projeto pode ser uma solução sustentável para países com pouca faixa territorial para produção de energia fotovoltaica, principalmente se for considerada a produção a nível comercial. Além da criação de protótipos a pesquisa científica relacionada ao tema também vem sendo expandida, de forma que se analisa os aspectos de viabilidade desse sistema em vários lugares do mundo, adaptando de acordo com as características de cada território (TRAPANI; SANTAFÉ, 2015; MITTAL *et al.*, 2017).

No Brasil, a maior usina fotovoltaica flutuante em operação encontra-se no reservatório da Usina Hidrelétrica de Sobradinho, na Bahia (FONTES, 2020). A primeira etapa do projeto conta com 1 MWp, e foi inaugurada em julho de 2019.

Strangueto (2016) estimou em seu estudo que a possibilidade de instalação de sistemas fotovoltaicos flutuantes nos reservatórios de hidrelétricas no Brasil, podem ter juntos uma capacidade de até 4.519 GWp aproximadamente, com uma geração de 4.443 TWh por ano, realizando assim projetos de geração híbrida e aproveitando as subestações já presentes nas hidrelétricas.

Utilizando artigos sobre a evolução de projetos fotovoltaicos flutuantes, foi possível avançar dentro da fronteira do conhecimento, e melhor entender os estudos

relacionados à renovação da matriz energética para fontes renováveis. Diante disso, esta pesquisa visou realizar a revisão sistemática da literatura, trazendo um pouco da evolução da pesquisa voltada a projetos fotovoltaicos flutuantes nos últimos anos, além de apurar as principais lacunas encontradas na literatura.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A revisão sistemática realizada foi dividida em três estágios: planejamento da revisão, sendo essa, a etapa de organização da pesquisa, em seguida a condução da revisão e por fim relatório e divulgação dos resultados (WHITE; MARSH, 2006; BARDIN, 2011). A Figura 2.1 mostra o processo metodológico de revisão sistemática.

Utilizou-se a *Web of Science* (WOS) e o *Scopus*, bases científicas de artigos internacionais, com um extenso acervo científico, que possibilitam uma ampla pesquisa sobre a temática escolhida, além da aplicação de filtros que possibilitam refinar a busca quando necessário (HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2016). No presente trabalho, a união dos dados obtidos nas duas bases de dados possibilitou complementação de conteúdo.

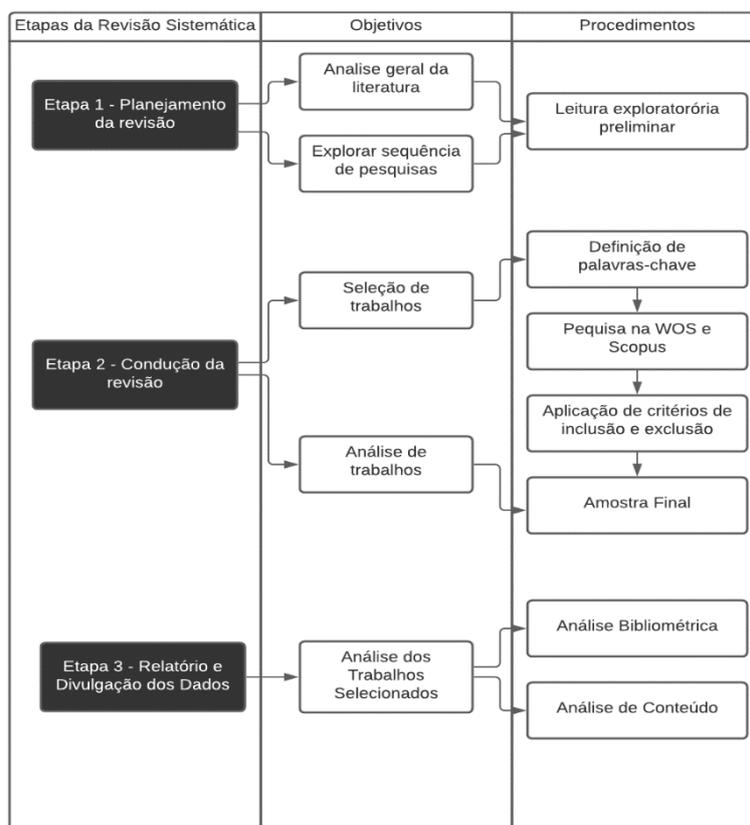


Figura 2.1: Resumo descritivo das etapas da revisão sistemática aplicada.

Fonte: Adaptado de Tranfield; Denyer; Smart (2003).

Estágio 1 – Planejamento da revisão

Para a realização do estudo bibliométrico o primeiro passo foi o planejamento da pesquisa. Desta forma, na primeira etapa foi necessária uma leitura prévia exploratória que possibilitou uma visão mais centrada da temática, percebendo assim os tópicos relacionados ao tema, possibilitando encontrar as palavras-chave que direcionaram a pesquisa, propiciando uma análise mais profunda e a execução de uma pesquisa mais detalhada sobre sistemas de placas fotovoltaicas flutuantes.

Tranfield *et al.* (2003) destacam a importância do estudo prévio na fase exploratória para avaliar as relevâncias do sujeito a ser pesquisado, bem como delimitar área de estudo e a plataforma de pesquisa a ser escolhida. Assim foi possível encontrar trabalhos com maior qualidade referentes ao tema. Esse estudo prévio mostrou que as principais palavras-chave que poderiam trazer resultados eram floating photovoltaics, viability, temperature e power generation.

Estágio 2 – Condução da revisão

Ao analisar a temática foi possível utilizar as palavras-chave sobre o tema criando duas linhas de pesquisa, na primeira linha usou-se: (“econom*” and “viability” or “viabilit*” or “feasibilit*” or “evalua*” or “assesment”) e (“float*” and “pv” or “fotovoltaic”), já na segunda linha de pesquisa usou-se (“float*”and “pv” or “fotovoltaic”) e (“climate change” or “temperat*” or “footprint”), utilizando os subcampos “título-título”, respectivamente. Esse processo foi o mesmo para as bases *Web of Science* e *Scopus*.

Mesmo efetuando a busca de acordo com os subcampos “título-título”, ainda foi necessário um refinamento do material encontrado, utilizando os critérios 1) Foram escritos no período até dezembro de 2021; 2) Tipo de documento, sendo mantido apenas artigos e artigos de revisão; 3) Categoria, considerando apenas os artigos que estavam enquadrados em categorias relevantes ao tema; 4) Leitura do resumo; 5) Exclusão dos artigos repetidos; 6) Leitura do artigo retirando aqueles que não tinham nenhuma relevância ao tema.

Tanto a *Web of Science* quanto a *Scopus* possibilitam a exportação de dados para o Excel, que foram mesclados manualmente facilitando a análise de conteúdo. A mescla desses dados contribuiu para a distribuição de informação gerando relatórios importantes e relevantes ao tema como métodos utilizados por cada pesquisa, benefícios e malefícios

da tecnologia, lacunas, objetivo da pesquisa e outros pontos.

Estágio 3 – Relatório de Divulgação

Para realização da pesquisa com os dados quantitativos e qualitativos, utilizou-se a análise de conteúdo indutiva como recurso para descrição dos fatos coletados. Esse método possibilita obter informações qualitativas que partem de uma observação ou fenômeno específico para questões mais amplas, assim auxiliando na construção de mapas conceituais, categorias, modelos ou sistemas conceituais (ELO; KYNGÄS, 2008).

O mapa de países onde os trabalhos foram elaborados foi criado utilizando o software gratuito de Sistema de Informação Geográfica QGIS VERSÃO 3.10.12 (QGIS,2020), com auxílio da ferramenta *Google Earth Pro* versão 7.3 (GOOGLE, 2021).

Por fim foi realizada uma análise de conteúdo, que pode classificar os trabalhos de acordo com o tipo de análise, sendo elas: técnica, ambiental e econômica (Tabela 2.1).

Tabela 2.1: Classificação da amostra final de artigos.

Classificação	Definição
Análise Técnica	Estudos que englobam dimensionamento e fatores que colaboram na execução do projeto.
Análises Ambientais	Englobam impactos ambientais sejam eles positivos ou negativos.
Análise Econômica	Estudo dos custos referentes às etapas de construção, e ao retorno a longo prazo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após todo o processo de busca foi possível filtrar os artigos referentes a temática e com isso chegar a uma amostra final de 111 pesquisas que envolvem sistemas fotovoltaicos flutuantes, Figura 2.2 é possível encontrar um fluxograma mostrando o caminho que foi seguido até chegar à amostra final.

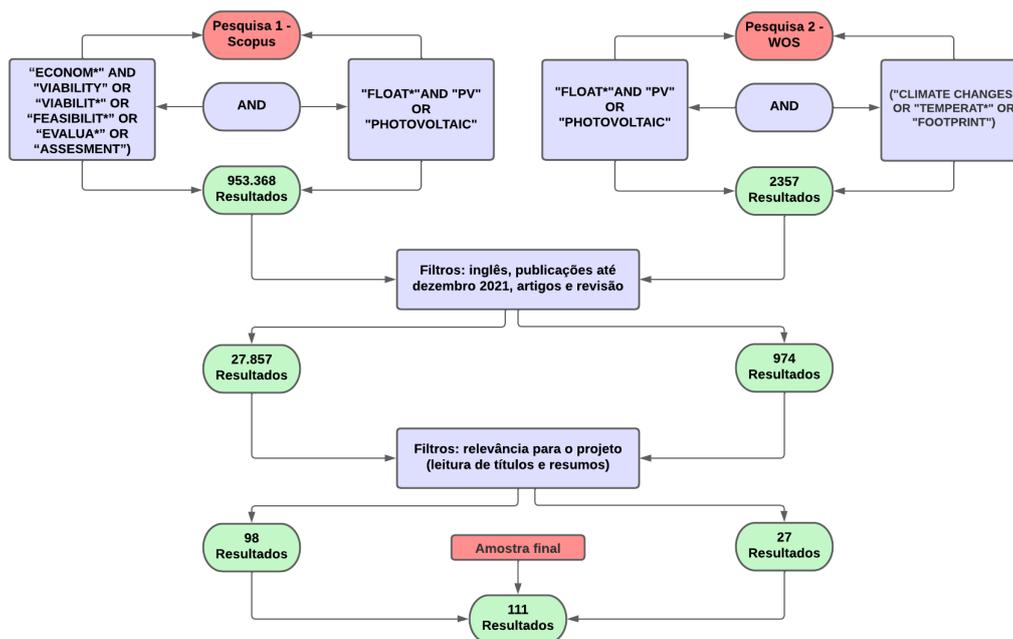


Figura 2.2: Fluxograma de condução da revisão, com as etapas necessárias para chegar amostra final, de trabalhos voltados ao estudo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A Figura 2.3 apresenta a distribuição dos países onde mais ocorreram publicações referentes à temática, de forma que eles foram separados em quartis. Os artigos foram publicados até dezembro de 2021, sendo eles 111 artigos distribuídos em 26 países.

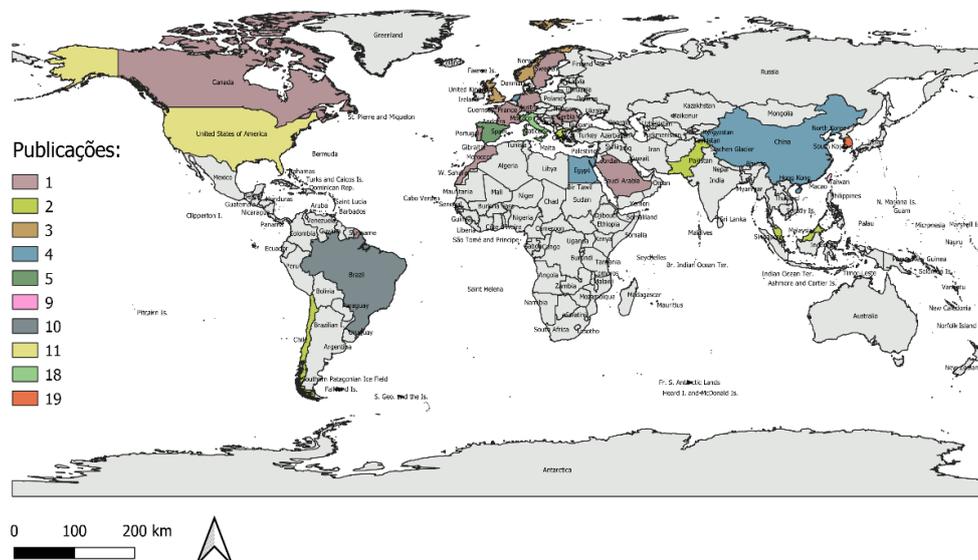


Figura 2.3: Distribuição espacial dos países das publicações referentes a geração de energia fotovoltaica utilizando sistemas flutuantes, considerando publicações até dezembro de 2021.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Para analisar melhor geograficamente as publicações os países foram divididos em estratos, de forma que fosse possível analisar os países de acordo com a quantidade de publicações, chegando assim a 10 estratos. O primeiro estrato é composto por países que tiveram apenas uma publicação (Alemanha, Arabia Saudita, Canada, França, Hong Kong, Marrocos, Portugal, Romênia, Sérvia e Suécia), o segundo estrato compreende países que tiveram apenas duas publicações (Chile, Cingapura e Paquistão), o terceiro estrato compreende em países que tiveram três publicações (Malásia, Noruega e Reino Unido), o quarto estrato países com quatro publicações (China, Egito e Holanda), o quinto estrato compreende países com cinco publicações (Espanha), o sexto compreende os países com nove publicações (Taiwan), o sétimo países com dez publicações (Brasil), o oitavo compreende países com onze publicações (EUA), o nono compreende países com dezoito publicações (Italia) e o décimo com dezenove publicações (Coreia do Sul).

Assim, a Coreia do Sul é o país que contém o maior número de publicações relacionadas a pesquisa e ele está enquadrado no fato de terem limitação territorial, então projetos envolvendo placas fotovoltaicas flutuantes foram uma das alternativas para geração de energia do país, ocasionando em um bom número de pesquisas. Segundo Kim *et al.* (2019), além dos danos à paisagem causados pela instalação de painéis solares, os moradores das áreas onde os painéis foram instalados têm sido incomodados pela luz refletida e pelo aumento da temperatura ambiente.

No Brasil também foram encontradas algumas publicações relevantes, mas diferente da Coreia do Sul, a extensão territorial do Brasil é maior. Ainda que o país tenha uma vasta área de terras, o Brasil também é um país conhecido por ter uma grande extensão de corpos hídricos, o que facilita a implementação desse sistema a nível comercial. Para Silva *et al.* (2018) deve ser levado em consideração, para geração de energia solar (seja ela terrestre ou flutuante), os impactos ambientais como o desmatamento, impactos na fauna e flora, uso e esgotamento dos recursos hídricos, poluição e risco de contaminação, além dos impactos positivos.

Na Figura 2.4 está a representação cronológica das publicações (artigos e artigos de revisão) referentes à temática, que envolvem o dimensionamento, os efeitos na evaporação de corpos hídricos, os impactos ambientais e os efeitos econômicos da implementação de sistemas fotovoltaicos flutuantes.

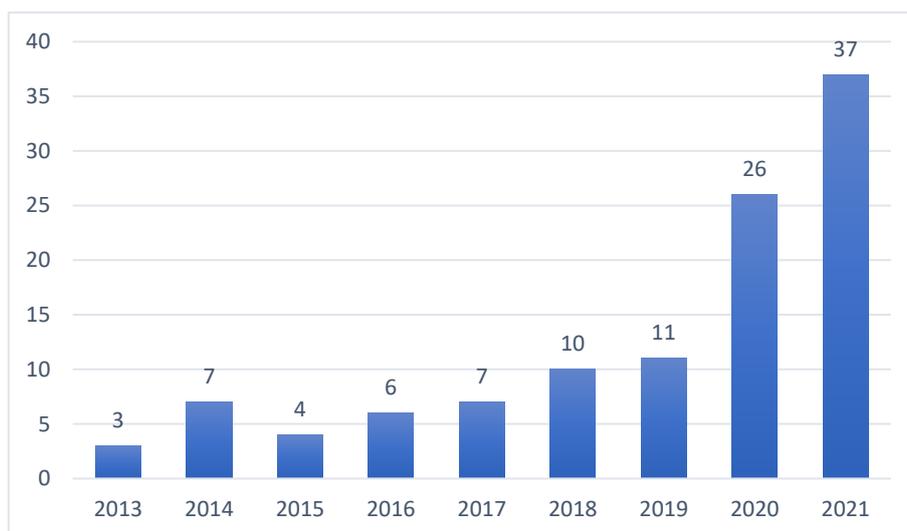


Figura 2.4: Evolução dos artigos publicados relacionados à temática até dezembro de 2021.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Pode-se perceber o avanço na pesquisa e que nos últimos 4 anos (2018-2021) o crescimento foi significativo, mostrando a relevância da temática. Isso deve-se à busca de soluções para a implementação de energias renováveis no mundo. Algo bastante relevante é que os artigos de 2021, mesmo sendo bastante recentes considerando a data de criação desse trabalho, tem um número considerável de citações como mostrado na Figura 2.5.

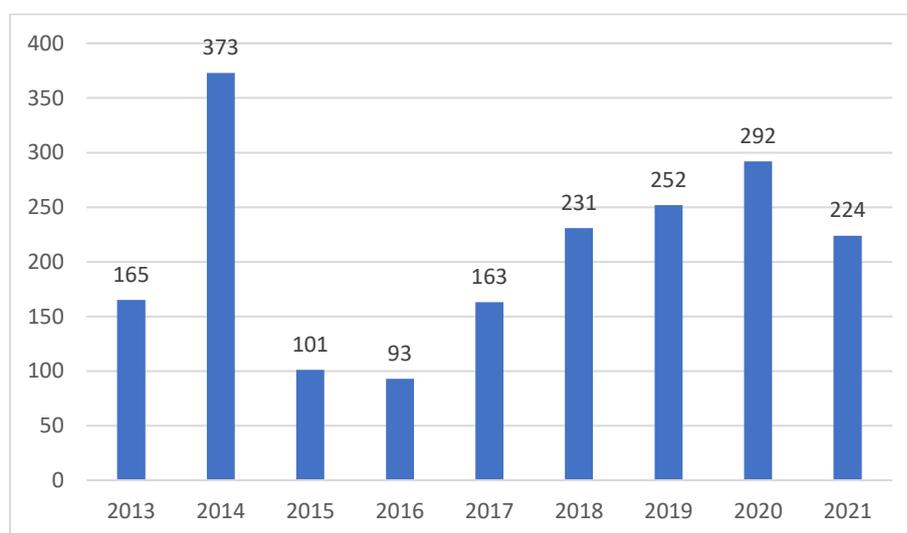


Figura 2.5: Quantitativo das citações dos artigos publicados relacionados ao tema até dezembro de 2021.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A partir de 2013 pode-se verificar um crescimento no número de citações. Que coincide com o período onde foram encontradas as primeiras publicações referentes ao tema.

Os artigos encontrados foram publicados em 37 periódicos diferentes. Esses periódicos têm como tópicos principais a geração de energia fotovoltaica usando módulos flutuantes, questões ambientais como a diminuição da evaporação em corpos hídricos que utilizam sistemas fotovoltaicos flutuantes e a diminuição do uso do espaço terrestre, o funcionamento de um sistema fotovoltaico flutuante, os aspectos econômicos e outros fatores que compilados podem mostrar a viabilidade ou inviabilidade do sistema.

Ao analisar as necessidades da pesquisa, pode-se perceber que para trabalhar com projetos fotovoltaicos flutuantes é necessário seguir três pilares importantes (técnico, ambiental e econômico), alguns dos trabalhos encontrados lidam apenas com um desses pilares ou mesclam mais de um para chegar ao resultado mais completo sobre a temática.

O foco ambiental concentra-se no estudo dos impactos ambientais associados a implementação das usinas de placas fotovoltaicas flutuantes, e como mostra Haas *et al.* (2019) e Silva, Branco (2018), os principais impactos são positivos: i) diminuição da evaporação, que pode chegar a 90% dependendo da porcentagem de ocupação do corpo hídrico, ii) diminuição de uso de espaço terrestre, iii) diminuição da necessidade de nivelamento e movimentação de terra, iv) redução da quantidade de algas, melhorando a qualidade da água, v) resfriamento dos módulos fotovoltaicos, que além de aumentar a eficiência ajuda a aumentar a vida útil dos materiais. Já os principais impactos negativos são: i) poluição sonora causada por ruídos, principalmente na fase de instalação, ii) limpeza e acesso para manutenção, iii) consumo de água, e iv) impactos na fauna local.

Como mostram Scavo *et al.* (2020), a estimativa da evaporação é importante para o estudo de problemas de hidrologia, agronomia, silvicultura, planejamento de recursos do solo, ou para o manejo ótimo da água para irrigação, para a previsão de vazões de água em rios, para o estudo do aspecto físico-químico fenômenos dos lagos, para a modelagem de ecossistemas, e também para o estudo da produção de energia (usinas hidrelétricas). Assim como mostra Haas *et al.* (2019), a redução da evaporação pode chegar a 90%. No estudo realizado por Sacramento *et al.* (2015), que mostra os testes feitos em 3 reservatórios nos Estados Unidos (Silver Lake, Folsom Lake e Lake Mead), os autores obtiveram um resultado de 70% de redução na evaporação. É importante observar que a diminuição da evaporação depende de vários fatores como a inclinação dos módulos, a porcentagem de faixa ocupada, a temperatura do ar e da água, a radiação e outros. Em

lugares áridos ou semiáridos, com pouca disponibilidade de água para seus diversos usos, a diminuição da evaporação com a implantação de usinas de placas fotovoltaicas flutuantes pode ajudar a manter o corpo hídrico cheio por mais tempo.

Haas *et al.* (2019) mostram que há outra questão ainda pouco explorada do FPV, que é seu efeito no ecossistema aquático, ou seja, como a implementação vai afetar toda a vida aquática presente naquele corpo hídrico. Uma variante importante é que o sistema pode possibilitar o controle da quantidade de luz que irá chegar à água, assim pode-se prevenir a proliferação de algas tóxicas. No entanto, muito sombreamento pode matar todos os produtores primários pelágicos, como microalgas, o que pode ter impactos prejudiciais na cadeia alimentar geral.

Por outro lado, o uso do terreno para usinas fotovoltaicas é um dos fatores que mais preocupam ambientalistas, pois pode ocasionar desmatamento e também a necessidade de terraplanagem no local para nivelar o terreno, o que trará um impacto negativo ao local. Em alguns países o problema é a pouca quantidade de espaço terrestre para instalação de parques fotovoltaicos. Países como Japão, Cingapura, Coreia, Filipinas e muitos outros, têm uma extensão territorial pequena em relação a população, então não podem perder espaço terrestre para a geração de energia solar. Mas esses países têm a possibilidade de instalar painéis solares flutuantes em corpos d'água como oceanos, lagos, lagoas, reservatórios, tanques de irrigação, estações de tratamento de águas residuais, vinícolas, fazendas de peixes, represas e canais. Esses projetos vêm ganhando espaço no mercado e possibilitando a geração de energia solar em países com pequenas faixas territoriais (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016).

Para muitos a vida útil do módulo fotovoltaico pode não ser percebido como impacto ambiental, mas com o tempo esses módulos terão que ser trocados e voltar para a natureza o que pode ocasionar um grande impacto ao ambiente.

A diminuição da temperatura das placas devido ao contato com a água diminui o desgaste e aumenta a eficiência. Em estudos feitos por Haas *et al.* (2019), foram realizadas simulações em três reservatórios dos Estados Unidos que mostram os seguintes resultados: os módulos fotovoltaicos de resfriamento aumentaram a eficiência em 10% em Silver Lake, 12% em Folsom Lake e 10% em Lake Mead, e isso traz um grande resultado positivo na produção.

O emprego gerado durante a construção pode ser considerado na maioria das vezes um impacto positivo do projeto. Mas o número de funcionários, no entanto, é difícil de prever dependendo da capacidade do projeto e geralmente ocorre apenas durante a fase

de instalação (SILVA; BRANCO, 2018). Os cargos permanentes em tempo integral variam de 12 a 30 pessoas de acordo com a capacidade do projeto, trabalhadores não qualificados também são necessários, para concluir a construção no curto prazo de trabalho, o número médio aumenta com a capacidade de energia do projeto e varia de 50 a 450 pessoas (ABRIL *et al.*, 2014). Concluindo que deve ser avaliado se a geração de emprego será benéfica ou não para a população local, dependendo do tamanho do empreendimento.

A geração de ruído durante a construção é considerada um impacto negativo temporário sobre o meio ambiente (SILVA; BRANCO, 2018), mas isso não torna o empreendimento inviável, pois durante a operação ele praticamente não tem ruídos, e dificilmente existirá uma obra que não gere ruídos em sua execução.

Na fase de operação, as usinas fotovoltaicas convencionais geralmente precisam aplicar uma grande quantidade de supressores de poeira e água para limpar os painéis (LOVICH; ENNEN, 2011). Esses supressores podem ser feitos de sais, misturas de fibras, lignina, aditivos de argila, petróleo, produtos orgânicos não petrolíferos, cobertura morta, salmouras, polímeros sintéticos e sulfonato. A contaminação com esses produtos pode trazer mortalidade a espécies nativas presentes na região (ETTINGER, 1987; LOVICH; ENNEN, 2011 ; GRIPPO *et al.*, 2014).

O fator técnico depende de uma análise do local instalado, a partir dele será possível ver o tipo de sistema já que segundo Scavo *et al.* (2020) existem 4 modelos: Sistemas flutuantes com flutuadores que cobrem toda a superfície abaixo do módulo, Sistemas flutuantes com módulos ancorados a um sistema de flutuabilidade tubular, Sistemas solares no topo do canal com estruturas ancoradas ao solo que são instaladas como coberturas de superfícies ou cursos d'água e por fim o flutuadores flexíveis em contato direto com a água. Todos eles dependem de uma análise do local antes de serem implementados.

Como todo projeto de engenharia, um sistema FVF precisa ter dados como o clima, a evaporação, o espaço, o cálculo de quanto do corpo hídrico deve ser ocupado e outros fatores que vão possibilitar a decisão sobre qual modelo usar, mas a principal diferença está na localização do sistema e em alguns projetos estruturais específicos no FVF. Em geral, as instalações solares fotovoltaicas exigem (TOBAR *et al.*, 2016 ; SAHU *et al.*, 2016 ; GUERIN, 2017): Painéis solares, inversores, transformador de tensão, estruturas de montagem (para sistemas solares no topo do canal com estruturas ancoradas ao solo que são instaladas como coberturas de superfícies ou cursos d'água), parafusos e

cabeamento, trincheiras e rastreadores.

Assim toda parte técnica deve ser dimensionada e escolhida de forma que atenda às necessidades da construção, mas que não traga efeitos negativos significativos ao meio ambiente. Infelizmente as fontes de energias renováveis tem uma grande barreira que é o alto custo da tecnologia, e cada país tem uma forma diferente de conseguir investidores para esse tipo de empreendimento (OLIVEIRA *et al.*, 2020). A maioria dos países investem em estratégias que podem ser consideradas como estratégias a longo prazo, que tem custo inicial alto, mas ao longo dos anos se tem um retorno considerável.

Segundo Aquila *et al.* (2017) destaca que é possível obter retorno com o projeto por meio de três estratégias: as tarifas feed-in que são contratos de longo prazo, que contém remuneração fixa, ou seja, uma porcentagem fixa é repassada a companhia de energia local e o restante é utilizado para consumo próprio do empreendimento, a estratégia dos leilões que é bastante utilizada, pois os projetos são selecionados por ter o menor custo pelo kW e assim são vendidos para fornecedores de eletricidade, e a estratégia net metering é baseado na compensação total ou parcial de cada unidade de energia fornecida à rede por um agente instalando um sistema de microgeração denominado prosumer.

No Brasil, bancos como o Banco nacional do Desenvolvimento (BNDES) começaram a investir em empréstimos voltados a geração de energia solar fotovoltaica, mas é necessário analisar antes de tudo se após a implementação será possível pagar o empréstimo, cobrir os juros e ainda obter retorno, o que acaba afastando muitos investidores que querem retorno rápido.

A análise de conteúdo realizada nesse estudo teve como objetivo unir várias lacunas referentes a temática, possibilitando que o autor tivesse uma dimensão do projeto estudado e de todas as variáveis referentes ao projeto, com isso, foi possível organizar as informações de forma que fosse possível enxergar em meio aos trabalhos tópicos, voltados a questões ambientais, técnicas e econômicas que envolvem o tema, deixando o trabalho mais robusto e com mais base de informações para o leitor, sobre uma visão geral em relação a sistemas fotovoltaicos flutuantes.

2.4 CONCLUSÃO

O estudo possibilitou uma síntese literária sobre projetos fotovoltaicos flutuantes em todo o mundo, mostrando uma visão ampla sobre a área e o que já foi desenvolvido para essa tecnologia. Os resultados encontrados mostram uma evolução ao longo dos anos

sobre as pesquisas voltadas a essa temática, o que contribui para se obter um projeto mais completo e desenvolver formas de suprir lacunas durante o aprofundamento das pesquisas.

Por se tratar de um tema recente, uma parcela significativa das pesquisas está concentrada entre os anos de 2017 a 2020, mostrando uma visão diferente de diversos países, pois iniciou-se em países como China, Coreia e Estados Unidos, que foram encantados pela possibilidade de geração de energia solar sem ocupar espaço terrestre e foi sendo aperfeiçoado, até se espalhar pelo mundo.

O Brasil viu esse tipo de projeto como forma de aproveitar ainda mais os corpos hídricos que estão espalhados pelo país, e principalmente aproveitar lugares já ocupados pela geração de energia hidrelétrica, aproveitando a mesma bacia para gerar energia solar e hidrelétrica. Os estudos encontrados puderam mostrar vários pontos que devem ser observados antes de se construir um projeto desse porte, para que o construtor tenha uma análise técnica, ambiental e econômica, antes de implementar um sistema fotovoltaico flutuante.

A análise de conteúdo proporciona uma pesquisa bastante flexível e amplamente utilizada para uma abordagem sistemática e rigorosa para analisar dados obtidos ou gerados durante o estudo e pode ter aplicações qualitativas e quantitativas, ou ambas.

Como as demais formas de energias renováveis, para se propagar em maior número deve existir investimento, seja ele em pesquisa para melhorar as tecnologias já existentes ou para implementação de sistemas já comprovados. Ainda há um caminho longo quando se trata de pensar a longo prazo e ter energia renovável, trazendo assim a possibilidade de idealização de uma sociedade menos nociva ao meio ambiente e para o desenvolvimento sustentável das próximas gerações.

CAPÍTULO 3

**ARTIGO: MODELOS FOTOVOLTAICOS
FLUTUANTES E SUA INFLUÊNCIA NA TAXA
DE EVAPORAÇÃO DO COMPLEXO
COREMAS-MÃE D'ÁGUA (PARAÍBA)**

3 MODELOS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES E SUA INFLUÊNCIA NA TAXA DE EVAPORAÇÃO DO COMPLEXO COREMAS-MÃE D' ÁGUA (PARAÍBA)

3.1 INTRODUÇÃO

As consequências da crescente demanda de energia, do esgotamento dos combustíveis fósseis, e da emissão de gases de efeito estufa exigem o desenvolvimento e a inclusão de Fontes de Energias Renováveis (FER) em todo o mundo (DAI *et al.*, 2020). O Brasil tem potencial para uso de energia solar muito maior do que a maioria dos países europeus, até maior que Alemanha que é um dos países que mais investe em energia solar (PEREIRA *et al.*, 2017; FERREIRA *et al.*, 2018).

Em agosto de 2022, a energia solar fotovoltaica chega a ser a 4^o maior fonte de energia centralizada no Brasil, representando cerca de 3% da nossa matriz energética, perdendo apenas para as usinas hidrelétricas que tem a maior capacidade instalada e representa 55,87% da matriz energética, para as usinas termelétricas que representam 24,54% e para as eólicas que representam cerca de 12% (ANEEL, 2022).

Um dos problemas encontrados por muitos países que podem gerar energia solar é a utilização do espaço terrestre, já que alguns países têm o espaço terrestre limitado. A implementação de parque fotovoltaico terrestre pode potencializar os impactos na região devido ao desmatamento da vegetação local, a movimentação de terra e até a retirada da fauna. Por isso, uma das soluções encontradas para locais com a faixa territorial limitada é a implementação de usinas fotovoltaicas flutuantes.

Além disso, um problema muito frequente em diversos países é a perda de água pela evaporação de superfícies livres, como lagos, reservatórios e lagos (CAZZANIGA *et al.*, 2018). Uma das soluções usadas geralmente é sombrear a água parcialmente, e isso pode ser realizado com a implementação de um sistema fotovoltaico flutuante. O sombreamento da água por um sistema desse porte irá reduzir a evaporação da superfície e também aumentará a eficiência do sistema, já que a água irá contribuir para a redução da temperatura dos módulos fotovoltaicos.

Os primeiros sistemas fotovoltaicos flutuantes foram instalados em Aichi, Japão, em 2007 (um sistema) e dois na Califórnia, Estados Unidos, em 2008. Esses sistemas eram voltados a pesquisa e desenvolvimento, o que possibilitou no aprimoramento da tecnologia. Porém, a maioria dos projetos do mundo instalados de forma comercial foram

instalados após 2014 (MITTAL *et al.*, 2017; TRAPANI; SANTAFÉ, 2015).

No Brasil, os primeiros testes com projetos de plantas fotovoltaicas flutuantes iniciaram em 2015, e foram realizados nos lagos das usinas hidrelétricas de Sobradinho (BA) e Balbina (AM) (GALDINO; OLIVIERI, 2017). A primeira usina fotovoltaica flutuante com plena operação no Brasil fica localizada na cidade de Rosana, São Paulo. Ela utiliza placas flexíveis e rígidas e chega a gerar 101.522 kWh mensalmente (SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO – SÃO PAULO, 2016). Atualmente visa-se a energia híbrida, aproveitando as hidrelétricas do país e implementando também sistemas flutuantes, para o aumento da geração de energia, principalmente quando os corpos hídricos estão com os níveis baixos.

O complexo hídrico Coremas - Mãe D'água é uma junção de dois açudes, onde o açude de Coremas tem capacidade máxima de 744.144.694 m³ de água e o de Mãe D'água tem capacidade de 545.017.499 m³. Os dois açudes se encontram no município de Coremas-PB, e juntos são responsáveis pelo abastecimento de 13 municípios. Esses dois açudes vêm sofrendo com as grandes secas que ocorreram nos últimos anos (AESA, 2021).

Nos registros feitos pela AESA foi possível encontrar dados que explicitam níveis críticos já alcançados nos volumes dos açudes Coremas e Mãe D'água. O Coremas chegou a 2,43% da sua capacidade em 31/01/2017, já o Mãe D'água chegou a 2,75% da sua capacidade em 31/01/2018. Em níveis como esse o abastecimento pelos açudes é comprometido e pode prejudicar as cidades que depende das águas do complexo (AESA, 2021).

Ampliar o pensamento para implementação de um sistema fotovoltaico flutuante pode afetar dois pontos importantes, a energia solar que já tem uma visibilidade na região, e a diminuição da evaporação, que afeta bastante os níveis dos açudes principalmente em períodos de baixos índices pluviométricos. A cidade de Coremas é uma das cidades do Nordeste que já contém parques de produção solar fotovoltaica. Atualmente estão sendo instaladas 10 usinas com potência outorgada de 27.000,00 (kW) cada, mas uma das preocupações ambientais é a proporção de terra ocupada pelas usinas (RIO ALTO, 2020). Um sistema fotovoltaico flutuante poderia auxiliar na expansão das usinas fotovoltaicas e além disso possibilitar a redução da evaporação no complexo Coremas – Mãe D'água.

Sistemas fotovoltaicos flutuantes têm se tornado interessantes devido a algumas vantagens. Para a instalação não é necessário a preparação do terreno (o nivelamento do terreno muitas vezes é necessário no sistema tradicional). O projeto fotovoltaico flutuante

possibilita também a redução da evaporação, limita o crescimento de algas, e aumenta a eficiência dos painéis, já que o contato com a água diminui a temperatura. Porém, existem as dificuldades de limpeza, manutenção e custo de instalação, já que é considerado um investimento de mais alto custo (HAAS, 2020).

Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade técnica e os efeitos na evaporação do complexo Coremas - Mãe D'água da implementação de um sistema de placas fotovoltaicas flutuantes.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da área de estudo e identificação das estações meteorológicas

O estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, possui quatro regiões geográficas intermediárias: João Pessoa, Campina Grande, Souza-Cajazeiras e Patos, sendo esta última a área elegida para este estudo, a qual apresenta clima semiárido (IBGE, 2017).

Segundo dados apresentados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2020, o estado da Paraíba possui área de 56.469 km², composto por 223 municípios e população estimada de 4.039.277 pessoas (IBGE, 2020).

O complexo Coremas - Mãe D'água se localiza nas coordenadas: 7°01'S e 37°59'W, e faz parte da bacia hidrográfica do Rio Piancó. Segundo dados do Google Earth (2022) em dezembro de 2022, o açude Mãe - D'água possui aproximadamente a área de 16 km², já Coremas 24 km². Esses valores são aproximados já que podem variar de acordo com os níveis dos açudes (Figura 3.1).

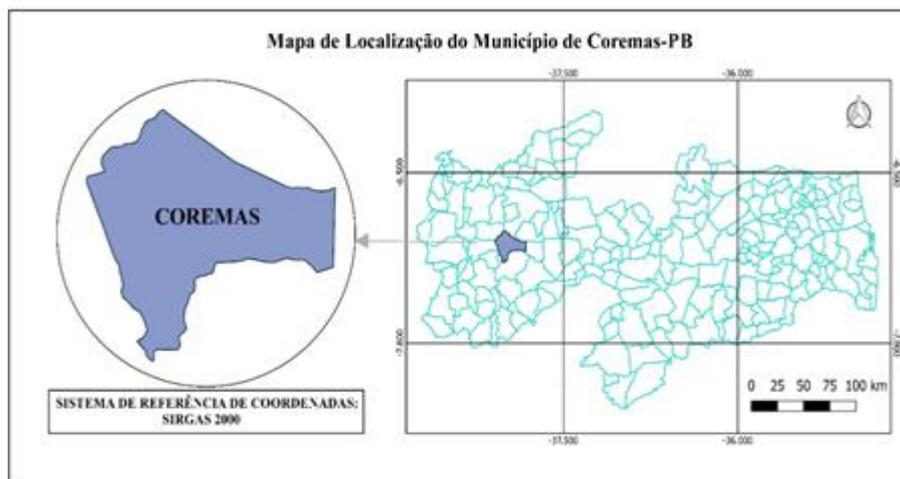


Figura 3.1: Localização do Município de Coremas no estado da Paraíba.

Fonte: PEREIRA *et al.* (2020).

O complexo Coremas Mãe D'água também abastece outras localidades além da cidade de Coremas, com um percurso que vai da Paraíba ao Rio Grande do Norte sendo parte desse trecho estadual e parte dele nacional na Figura 3.2.

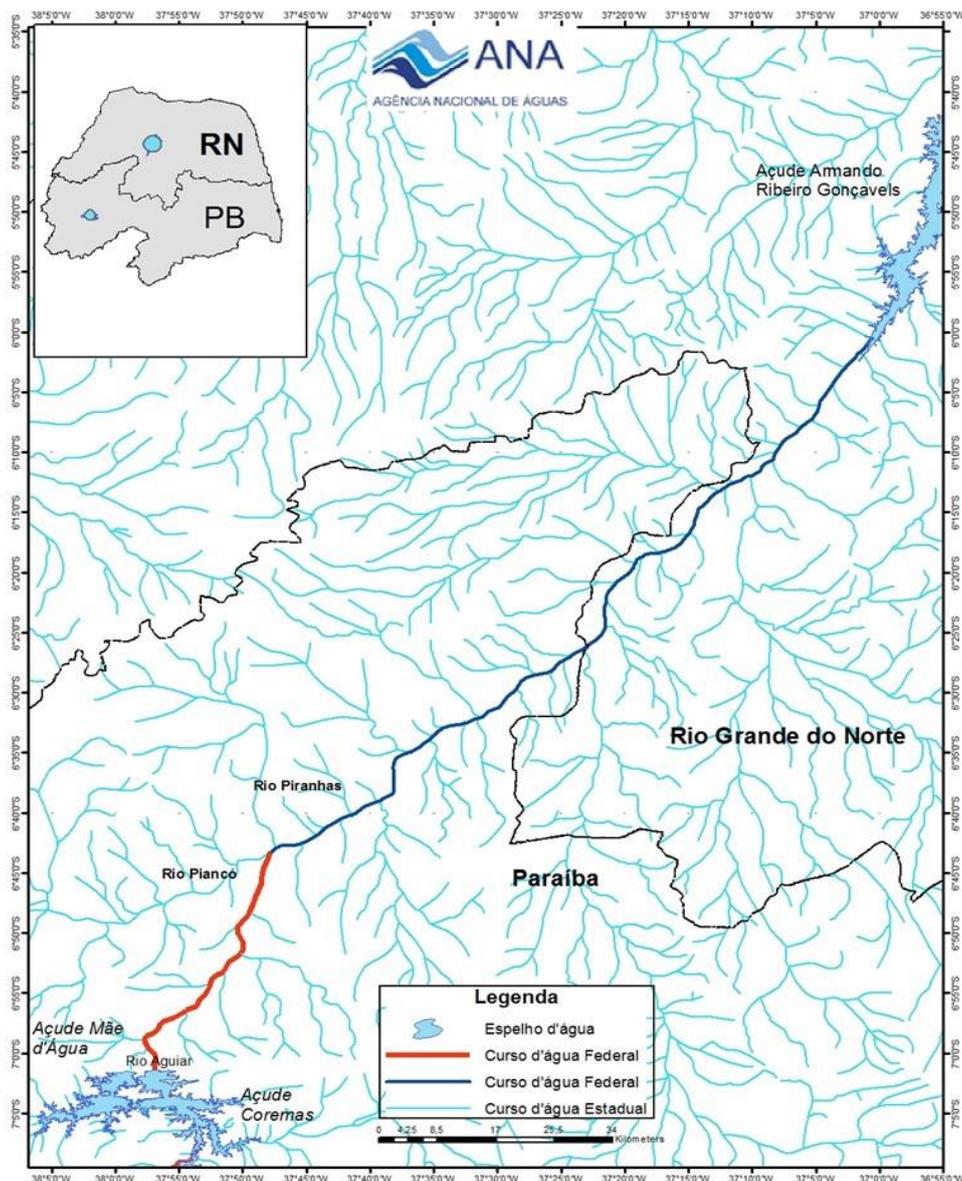


Figura 3.2: Percurso das águas do complexo Coremas - Mãe D'água

Fonte: ANA (2022).

Para encontrar os índices pluviométricos da região foram utilizados também os dados pluviométricos obtidos por meio dos arquivos digitais da Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba (AESA - PB), dos municípios de Pombal, São José da Lagoa Tapada e Coremas, durante os anos de 2011 a 2021, para obter uma amostra de 10 anos, tendo uma visão mais recente dos níveis de precipitação referentes a cidade.

Nas Figuras 3.3 e 3.4 pode-se analisar a variação dos níveis da água dos açudes

Coremas e Mãe D'água nos últimos 10 anos (2011 a 2021). É possível ver que em 10 anos os açudes passaram por longos períodos de estiagem que afetaram diretamente a população de Coremas e cidades circunvizinhas.

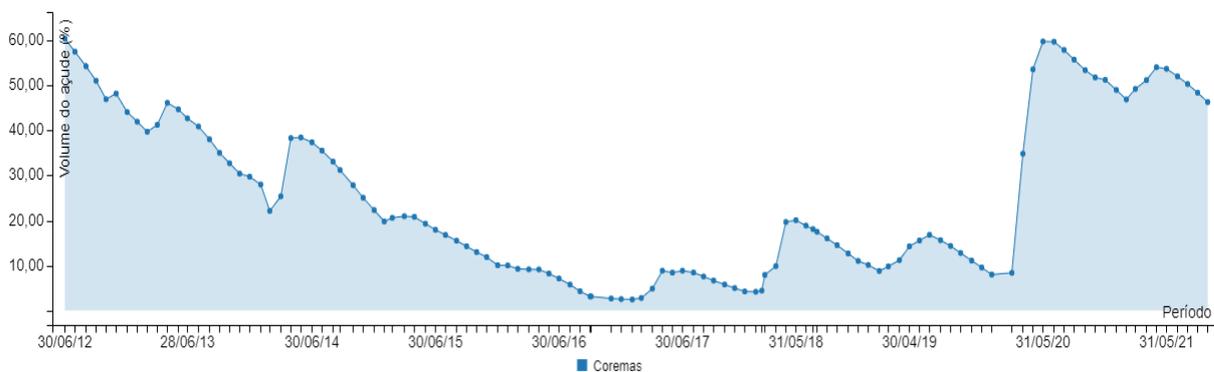


Figura 3.3: Nível do açude Coremas durante os anos de 2011 a 2021 (Paraíba).

Fonte: AESA (2021).

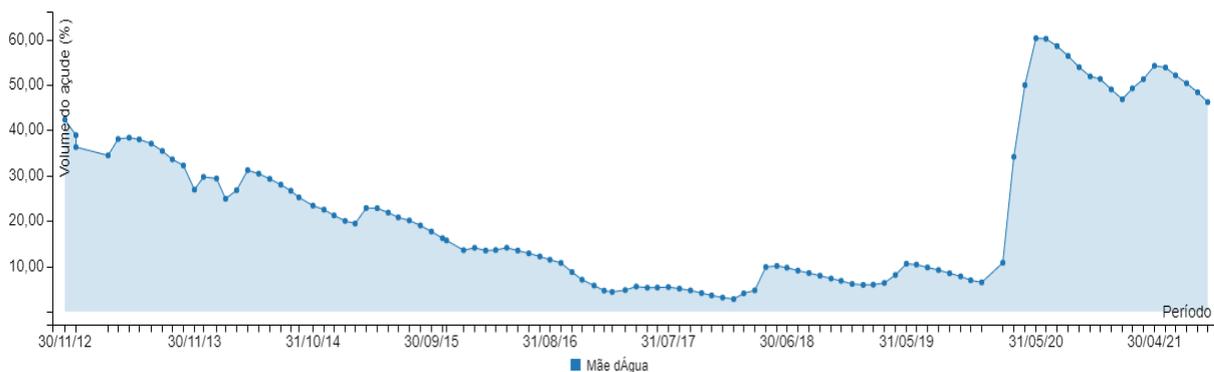


Figura 3.4: Nível do açude Mãe D'água durante os anos de 2011 a 2021 (Paraíba).

Fonte: AESA (2021).

Os registros mostram que entre 2014 e 2019 os dois açudes sofreram com baixos níveis, o que afetou bastante as cidades circunvizinhas, já que mesmo a cidade de Coremas sendo a maior beneficiada com as águas provenientes do complexo, ainda 13 municípios recebem a água do complexo e necessitam desse abastecimento para uso diário.

A área de estudo apresenta clima tropical semiárido, que se caracteriza por paisagens secas, elevadas temperaturas, acompanhadas por baixa variabilidade térmica anual e irregularidades pluviométricas, além de ser uma região marcada por longos períodos de estiagem (CAVALCANTI *et al.*, 2009; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A rede de postos de monitoramento pluviométrico na Paraíba é relativamente

antiga, datando do início da década de 1910 e bastante densa cobrindo todos os seus 223 municípios. Entretanto, sucessivas crises e o sucateamento da rede fizeram com que alguns postos tivessem suas coletas de dados interrompidas (BECKER *et al.*, 2011).

Para o cálculo da irradiação solar foram utilizados os dados disponibilizados pelo software SunData, que se destina ao cálculo da irradiação solar diária média mensal utilizando dados da 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017 (CRESESB, 2018).

3.2.2 Irradiação solar total horizontal do complexo Coremas – Mãe D'água

Um dos principais pontos no cálculo da evaporação é a análise da radiação solar para isso usando o programa SunData software destinado ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional é uma iniciativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. O SunData utiliza a 2ª Edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar em 2017.

3.2.3 Modelo fotovoltaico flutuante com módulos ancorados

Para esse estudo foi simulado o sistema flutuante com módulos ancorados a um sistema de flutuabilidade tubular. Esse modelo foi escolhido por diminuir a temperatura dos modelos, já que permitem uma boa ventilação e resfriamento. O módulo solar fotovoltaico para que ele tivesse uma boa porcentagem de eficiência e fosse facilmente encontrado no mercado suprindo assim as necessidades do projeto, por isso foi escolhido o MFV HO-MO-156-600W que é fabricado pela Belenus LTDA (Módulo Monocristalino Half Cell – 600 W). Suas características podem ser vistas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Características técnicas do módulo solar fotovoltaico escolhido.

Potência Nominal Máxima. Pmax (W)	600	Potência Nominal Máxima (Wp)	442
Tensão Operacional Ideal Vmp (V)	45,2	Tensão Operacional Ideal Vmpp (V)	42,2
Corrente Operacional Ideal Imp (A)	13,27	Corrente Operacional Ideal Impp(A)	10,5
Tensão de Circuito Aberto Voc (V)	54,1	Tensão de Circuito aberto Voc (V)	50,6
Corrente de Curto-circuito Isc (A)	14,08	Corrente de Curto-circuito Isc(A)	11,33
Eficiência do Módulo	21,5	Dimensões	2465×1134×35 mm
Peso	21,5 kg	Temperatura Operacional	-40°C~+85°C

Fonte: Adaptado de Belenus (2022).

Com a escolha do modulo também se faz necessário a escolha de inversor que atenda as necessidades do projeto e que seja facilmente encontrado no mercado, por isso, foi selecionando assim o inversor da marca Sungrow modelo SG125HV com 1500VDC e suas características podem ser vistas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Características técnicas do inversor escolhido.

Tensão Máxima de Entrada FV	1500 V	Tensão Mínima de Entrada FV/Tensão de Entrada de Inicialização	860 V / 920 V
Tensão Nominal de Entrada FV	1050 V	Intervalo de Tensão MPP	860 – 1450 V
Intervalo de Tensão MPP para Potência Nominal	860 – 1250 V	Nº de Entradas MPP Independentes	1
Nº de Entradas CC	1	Corrente de Entrada Máxima FV	148 A
Corrente Máxima de CC de Curto-Circuito	240 A	Potência de Saída CA	125000 VA a 50° C
Corrente de Saída CA Máxima	120 A	Eficiência Máxima/ Eficiência europeia/ Eficiência CEC	98.9 % / 98.7 % / 98.5 %

Fonte: Adaptado de Sungrow (2018).

3.2.3 Dimensionamento técnico do sistema

Para ter uma noção real do projeto, dimensionou-se um projeto em que fosse injetado no sistema 5 MW.

Assim foi definida uma sequência de etapas que possibilitaram o dimensionamento de todo o sistema de forma que fosse possível definir todas as peças, quantidades e angulações necessárias para um sistema eficiente, assim foram utilizadas as seguintes equações Villalva (2012).

Etapa 1 - Cálculo da potência da usina equação 3.1.

$$P_{FV} = \frac{E \times G}{H_{TOT} \times PR} \quad (3.1)$$

Onde:

E = Energia a ser gerada (kWh/dia)

G = Irradiância na condição STC (Standard Testing Conditions) (W/m²)

H_{tot} = Irradiação solar incidente no plano dos módulos (kWh/m²/dia)

PR = Performance Ratio

Etapa 2 - Número de módulos fotovoltaicos equação 3.2.

$$Np = \frac{E_{USINA}}{E_{MÓDULO}} \quad (3.2)$$

Onde:

E_{USINA} = Potência produzida pelo módulo escolhido

$E_{MÓDULO}$ = Potência total da usina

Etapa 3 - Módulos em série equação 3.3.

$$\text{Módulos em série} = \frac{\text{máxima tensão de entrada do inversor}}{V_{oc} + 10\%} \quad (3.3)$$

Onde:

V_{oc} = Tensão de circuito aberto dos módulos

Etapa 4 - Módulos em cada série equação 3.4.

$$\text{strings} = \frac{\text{número de módulos}}{\text{módulos em série}} \quad (3.4)$$

Etapa 5 - Número total de módulos equação 3.5.

$$\text{Total de módulos} = \text{Módulos em serie} \times \text{Strings} \quad (3.5)$$

Etapa 6 - Valor de potência da usina equação 3.6.

$$P = \text{Total de módulos} \times \text{Potência do módulo} \quad (3.6)$$

Etapa 7 - Número de inversores equação 3.7.

$$\text{Número de inversores} = \frac{\text{Potência total necessária para usina}}{\text{Potência de saída}} \quad (3.7)$$

Etapa 8 – Estimativa da área equação 3.8.

Para estimar a área real utilizou-se o software de modelagem AUTOCAD 2020 (Autodesk), assim pode-se visualizar a disposição da estrutura com a quantidade de módulos necessária para chegar a 5 MW.

Etapa 9 – Escolha de uma subestação

Para tornar o projeto viável será necessária uma subestação que efetue a proteção, controle, transmissão e distribuição de energia de alta potência do sistema fotovoltaico flutuante até a unidade consumidora.

Como o investimento em energia fotovoltaica aumentou muito durante os últimos anos, a empresa especialista em geração de energia com foco em usinas fotovoltaicas o grupo Rio Alto, fez um investimento em uma subestação, que podem ser utilizadas também para coletar e distribuir os 5 MW analisados neste projeto, assim evita a necessidade de dimensionamento e execução de uma subestação abrigada, que fosse construída exclusivamente para esse projeto, diminuindo assim o custo da obra.

A subestação já existente contém 34,5/230 kV – 1x120MVA, além do Bay de Conexão 230 kV (Chesf) na SE Coremas 230 kV e das Linhas de Transmissão de Energia 230 kV da Usina Fotovoltaica Coremas, que são de propriedade da Rio Alto Energia, a Figura 3.5 mostra a localização da subestação na cidade de Coremas, Paraíba, Linha de Ferro, *Coremas* - PB, 58770-000, Brasil.



Figura 3.5: Localização da Subestação Coremas – CHESF.

Fonte: Google Earth (2022).

Para melhor visualização a Figura 3.6 mostra a distância em linha reta entre a subestação presente na região e o acesso ao complexo Coremas – Mãe D’água pela cidade de Coremas.

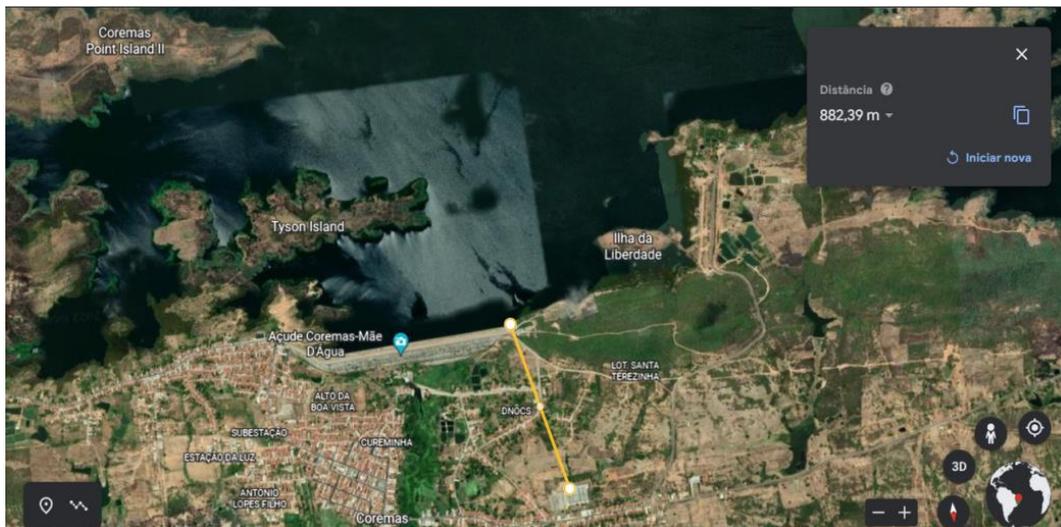


Figura 3.6: Distância entre o complexo Coremas – Mãe D’água da Subestação Coremas – CHESF.

Fonte: Google Earth (2022).

Considerando a distância em linha reta, da subestação da COREMAS - CHESF para o açude de Coremas, chega-se a 882,39 m. Essa distância pode permitir a viabilidade da utilização dessa sustação no projeto aqui analisado.

3.2.4 Métodos de cálculo da evaporação

A evaporação em corpos hídricos é um fenômeno físico natural no qual a água líquida muda seu estado para o gasoso. Para que esse fenômeno possa ocorrer são necessárias variáveis meteorológicas como irradiação solar, temperatura do ar e da água, velocidade do vento, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e variáveis físicas como a área da superfície do corpo hídrico (BRUTSAERT, 1982; CURTARELLI *et al.*, 2013; MELVIN, 2015).

3.2.4.1 Modelo de cálculo da evaporação para corpo hídrico livre

No presente estudo, foi utilizado como base o modelo de Penman (1948), que mesmo após tantos anos de sua criação ainda é bastante utilizado. Para chegar a um resultado o método utiliza dados da radiação solar, temperatura mínima e máxima, velocidade do vento e umidade relativa do ar com isso conseguimos chegar na equação 3.8.

$$E_L = 86,4 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n - G}{\lambda \rho} + \frac{\gamma}{\Delta + \lambda} 0,26(0,5 + 0,54\mu_2)(e_s - e_a) \quad (3.8)$$

Onde,

- EL - evaporação no reservatório, mm/d;
 Δ - inclinação da curva de pressão de vapor de saturação versus temperatura, Pa/°C;
 γ - coeficiente psicrométrico, Pa/°C;
 Rn - radiação líquida, W/m²;
 G – Calor armazenado no curso d'água, W/m²;
 λ – Calor latente de vaporização, MJ/kg;
 ρ - densidade da água, kg/m³;
 u_2 - velocidade do vento medida 2m acima da superfície, m/s;
 e_s - pressão de saturação de vapor para a temperatura do ar, mbar e
 e_a - pressão de vapor atual, mbar.

A pressão de saturação de vapor para a temperatura do ar e_s , é dada pela Equação de Tetens

$$e_s = 6,108e^{\left(\frac{17,27T_a}{T_a+237,3}\right)} \quad (3.9)$$

Onde,

T_a – Temperatura média do ar, °C;

A pressão de vapor atual e_a é calculada pela equação 3.10.

$$e_a = \frac{RHe_s}{100} \quad (3.10)$$

Onde,

RH – Umidade relativa, %;

A declividade da curva de pressão de saturação de vapor Δ é calculada pela equação 3.11.

$$\Delta = \frac{4,098 \times 10^5 \times e_s}{(T_a + 237,3)^2} \quad (3.11)$$

O calor latente de vaporização é definido pela equação 3.12.

$$\lambda = 2,501 - 0,002361T_a \quad (3.12)$$

O coeficiente psicrométrico é definido pela equação 3.13.

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P_{atm}}{\lambda} \quad (3.13)$$

Onde,

Patm – pressão atmosférica em mbar;

A velocidade do vento a 2m de altura pode ser definida a partir da velocidade em qualquer altura pela equação 3.14.

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{(\ln 67,8z - 5,42)} \quad (3.14)$$

Onde,

uz – velocidade do vento na altura z, m/s;

z – altura da medida de velocidade, m;

Assim foi possível chegar a valores referente aos níveis de evaporação do complexo Coremas – Mãe D’água, levando em consideração os dados climáticos da região.

3.2.4.1 Modelo de cálculo da evaporação para corpo hídrico Coberto

Para estimar a evaporação do reservatório coberto com sistemas FVF, a base utilizada foi o estudo de Bomtempo *et al.* (2020). No estudo são avaliados os diferentes tipos de instalações em corpos hídricos e o quanto é possível diminuir de evaporação nos corpos hídricos de acordo com cada modelo.

O estudo utiliza como base diversos modelos matemáticos como o de Penman Monteith que usam como base modelos de evaporação para superfície livres, determinando a temperatura do reservatório por meio do balanço hídrico.

O que basicamente difere os dois modelos evaporação do corpo hídrico livre (E_{Livre}) e evaporação do corpo hídrico parcialmente coberto ($E_{Coberto}$), é a quantidade de radiação que chega a atingir a superfície da água, e isso está inteiramente ligada ao tipo de instalação FVF e de sua área.

Utilizando como base os tipos de sistemas fotovoltaicos flutuantes apresentados na seção 1.4.3, cada tipo de sistema utiliza uma equação diferente, essa equação de balanço de energia será definida de acordo com a quantidade de radiação que irá atuar no reservatório contendo uma instalação FVF (BOMTEMPO *et al.*,2020).

3.2.4.2 Modelo de cálculo da evaporação para corpo hídrico Coberto (tipo suspenso)

Para sistemas suspensos (Figura 1.5) para chegar à equação utilizada, foi necessário considerar que a componente difusa da radiação solar, pode atingir o corpo

hídrico abaixo do módulo pelo espaçamento entre as series dos modelos. Assim, o saldo de radiação líquida é dada pela componente difusa, que considera as ondas curtas e ondas longas, e que terá $C=0,3$, que corresponde à condição de nublado completo. Assim foi possível chegar as equações 3.15 e 3.16.

$$SW_{nB,C} = R_{dif} - \alpha R_{dif} \quad (3.15)$$

Onde:

SW (do Inglês *Short Wave*) ou ondas curtas;

R_{dif} Radiação difusa;

α Albedo ou coeficiente de reflexão.

$$LW_{nB,C} = \sigma T_W^4 (0,56 - 0,0092\sqrt{e_a})(0,1 + 0,9 \times 0,3) \quad (3.16)$$

Onde:

LW (do Inglês *Long Wave*) ondas longas

σ Constante de Stefan–Boltzmann

T_w Temperatura da água

e_a - pressão de vapor atual.

A taxa de evaporação total dos reservatórios parcialmente cobertos por sistemas fotovoltaicos flutuantes E_{FVF} (Evaporação com sistema fotovoltaico flutuante) é dado pela soma da evaporação na fração livre e a fração do reservatório coberto. Como mostra a equação 3.17.

$$E_{FVF} = (1 - x)E_{Livre} + xE_{Coberto} \quad (3.17)$$

Onde:

x é a porcentagem coberta do reservatório.

Utilizando da Equação 3.6, foi possível analisar a evaporação para 100% do corpo hídrico coberto, 70%, 50% e 30%, podendo assim ter mais visões de análise, já o sistema foi pensado para 5 MW, mas pode ser readequado as condições de execução do empreendimento.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Irradiação solar total horizontal

Um dos principais pontos no cálculo da evaporação é a análise da radiação solar, utilizando os dados do sundata foi possível encontrar que a variação da radiação está entre 4,91 kWh/m². dia e 6,73 kWh/m². dia.]. A Tabela 3.3, mostra um pouco da variação na radiação mensal e é perceptível que nos meses de abril, maio e junho os níveis de radiação são menores, mas que no geral, a variação durante o ano é baixa trazendo um valor médio de 6,01 [kWh/m².dia].

Tabela 3.3: Tabela de irradiação média da cidade de Coremas - PB.

Estação	Município	Latitude [°]	Longitude [°]
Coremas	Coremas	7,001° S	37,949° O
Irradiação solar diária média [kWh/m². dia]			
Jan		6,24	
Fev		6,23	
Mar		6,23	
Abri		5,92	
Mai		5,33	
Jun		4,91	
Jul		5,18	
Ago		5,99	
Set		6,44	
Out		6,58	
Nov		6,73	
Dez		6,39	
Média		6,01	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.3.2 Dimensionamento técnico de uma usina fotovoltaica flutuante de 5 MW.

Nesse projeto foi pensado uma usina de 5 MW para que fosse possível cobrir uma porção considerável do corpo hídrico. Para isso, foram utilizados 8340 módulos, dispostos em 26 séries de 321 módulos, além de 40 inversores com potência de saída de 125 kW.

De acordo com Villalva (2012), não é recomendada a instalação dos módulos com ângulo de inclinação inferior a 10° para evitar o acúmulo de poeira excessivo sobre os módulos. Como a cidade de Coremas possui latitude: 6° 59' 57" Sul, longitude: 37° 56' 7" Oeste, os módulos serão instalados com inclinação de $\alpha = 10^\circ$.

Além disso, para garantir a circulação e a facilidade de manutenção, foi pensada um espaçamento entre as séries, de forma que seja de aproximadamente 60cm, possibilitando que um técnico possa caminhar pela plataforma e fazer a manutenção e limpeza sempre que necessário.

Com isso, chegamos a um sistema que ocupará 29.180,00 m² que ocuparia aproximadamente 0,75% do corpo hídrico, sendo dividido entre o açude de Coremas e Mãe D'água.

3.3.3 Cálculo da evaporação média do corpo hídrico livre

Utilizando a Equação 3.8 foi possível valores médios mensais de evaporação do corpo hídrico livre, a Figura 3.7, mostra os níveis de evaporação em mm/dia de cada mês.

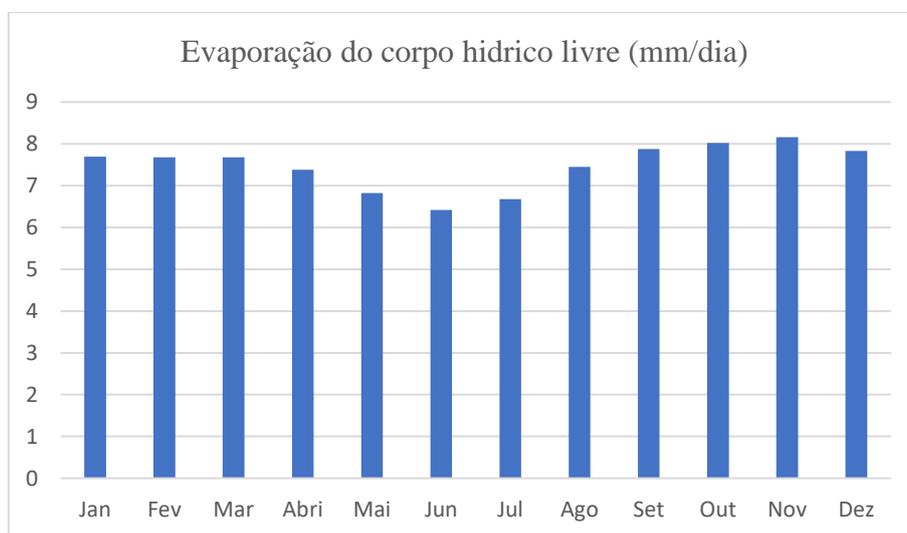


Figura 3.7: Evaporação para o corpo hídrico livre (mm/dia).

Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Podemos observar que o menor resultado de evaporação ocorre no mês de junho contendo uma evaporação de 6,42 mm/dia, já o mês com o maior nível de evaporação ocorre no mês de novembro, chegando a 8,16 mm/dia coincidindo com a temporada de temperaturas mais elevadas na região. Analisando a evaporação ao longo do ano pode-se observar uma evaporação média de 7,47 mm/dia.

3.3.4 Cálculo da evaporação média do corpo hídrico coberto

Utilizando o modelo escolhido do tipo suspenso, pode-se perceber que a redução da evaporação ficou entre 60,4% e 73,4%, com um valor médio de 67,95%. Isso mostra que cobrindo o complexo Coremas – Mãe D'água com o sistema fotovoltaico suspenso

os valores passariam a ser de 1,71 mm/dia no mês com o menor resultado de evaporação, já no mês com maior evaporação chegaria a 3,23 mm/dia, e isso traria uma média de 2,41 mm/dia.

A diminuição da evaporação é proporcional a parte coberta, assim considerando que o corpo hídrico fosse coberto de forma parcial, cobrindo 70% do complexo Coremas Mãe D'água, no mês com menor índice de evaporação chegaria a 3,12 mm/dia, já no mês com maior índice de evaporação, chegaria a cerca de 4,77 mm/dia, e considerando a evaporação média dos meses chegaria a um valor médio de evaporação de 3,93 mm/dia. Comparando com a média de evaporação para o corpo hídrico livre, cobrindo com 70% a redução seria de aproximadamente 3,54 mm/dia.

Para 50% no mês com o menor índice de evaporação, chegaria a aproximadamente 4,06 mm/dia, já no mês com maior evaporação 5,74 mm/dia, além de uma média de 4,94 mm/dia, isso ocasionaria uma redução de aproximadamente 2,53 mm/dia. Já com 30% os valores no mês com menor índice de evaporação chegaria a 5,0 mm/dia, já no mês com maior evaporação chegaria 6,7 mm/dia, considerando o valor médio de evaporação mensal, chegaria a aproximadamente 5,95 mm/dia, de forma que ocorreria uma redução de 1,52 mm/dia.

De forma simplificada é possível analisar na Tabela 3.4, os valores da evaporação em mm/dia considerando as diferentes porcentagens de cobertura por sistemas fotovoltaicos flutuantes.

Tabela 3.4: Análise comparativa relacionada a evaporação considerando diferentes porções do complexo Coremas Mãe D'água coberto.

Porcentagem Coberta	100 %	70 %	50%	30%	0%
Mês com menor evaporação	1,71 mm/dia	3,12 mm/dia	4,06 mm/dia	5,0 mm/dia	6,42 mm/dia
Mês com maior taxa de evaporação	3,32 mm/dia	4,77 mm/dia	5,74 mm/dia	6,70 mm/dia	8,16 mm/dia
Valor médio de evaporação	2,41 mm/dia	3,93 mm/dia	4,94 mm/dia	5,95 mm/dia	7,47 mm/dia

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A Figura 3.8 possibilita ver a evolução da evaporação de acordo com o nível coberto, deixando perceptível de que quanto maior a porcentagem coberta menor será a taxa de evaporação diária do corpo hídrico.

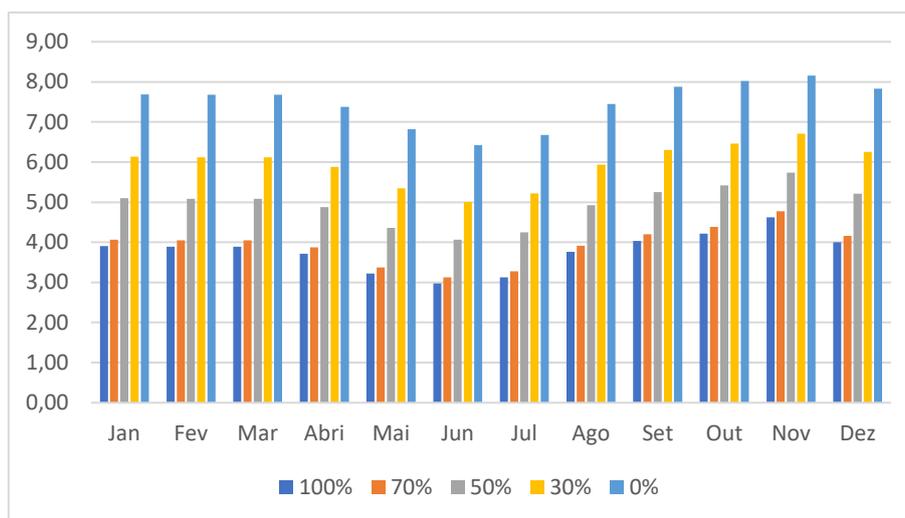


Figura 3.8: Taxa de evaporação considerando 100%, 70%, 50%, 30% e 0% do complexo Coremas - Mãe D'água cobertos, considerando os valores da evaporação em mm/dia.

Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Segundo dados do IBGE a população da cidade de Coremas até o ano de 2021 seria de aproximadamente 15441 habitantes, e levando como base a NBR 5626 de 2022, considera-se que em residências o consumo é de 150 litros/hab./dia, assim seria possível, obter o resultado de que se fosse coberto 100 % do complexo Coremas – Mãe D'água seria possível reduzir a evaporação em 72.864.000,00 litros por ano o que seria equivalente ao abastecimento de aproximadamente 31 dias, cobrindo 70% seria possível reduzir 50.976.000,00 litros por ano o que seria equivalente ao abastecimento de 22 dias, para um sistema que cubra 50% do corpo hídrico seria possível reduzir aproximadamente 36.432.000,00 litros por ano o que seria equivalente ao abastecimento de 15 dias, com um projeto para 30% do corpo hídrico seria possível reduzir aproximadamente 31.888.000,00 litros por ano. É possível ver essa redução em litros de forma resumida na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Redução em litros considerando 100%, 70%, 50%, 30% e 0% do complexo Coremas - Mãe D'água cobertos.

Porcentagem Coberta (%)	Redução Média Da Evaporação (mm/dia)	Quantidade De Redução Em Litros (L)	População da Cidade de Coremas	Consumo Diário (L/P/DIA)	Dias de Abastecimento (DIAS)
100 %	5,06 mm/dia	72.864.000,00 L	15.441	150	31,46
70 %	3,54 mm/dia	50.976.000,00 L	15.441	150	22,01
50 %	2,53 mm/dia	36.432.000,00 L	15.441	150	15,73
30 %	1,52 mm/dia	21.888.000,00 L	15.441	150	9,45

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Considerando um modelo real, com 5 MW para o complexo Coremas – Mãe D’água seria possível cobrir aproximadamente 0,75% do complexo, de forma que no mês com o menor índice de evaporação, chegaria a aproximadamente 6,38 mm/dia, no mês com maior evaporação 8,12 mm/dia, além de uma média de 7,44 mm/dia.

Na Figura 3.9 é possível ver o projeto posicionado no Açude de Coremas, de forma que fique próximo as margens, facilitando a chegada para instalação e manutenção do sistema.



Figura 3.9: Projeto de 5 MW posicionado no complexo Coremas – Mãe D’água.

Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Levando em consideração a extensão do projeto em relação ao complexo, seria possível reduzir aproximadamente 432.000,00 litros por ano.

3.4 CONCLUSÃO

Foi possível observar que a região onde encontra-se a cidade de Coremas tem níveis de irradiação solar que podem possibilitar a implementação de sistemas fotovoltaicos. Contudo, na mesma proporção essa radiação afeta os corpos hídricos da região em relação a evaporação, como é o caso do corpo hídrico Coremas – Mãe D’água.

Por isso ao analisar a possibilidade de implementação de um sistema fotovoltaico flutuante para o complexo Coremas – Mãe D’água foi possível concluir que cobrindo parcialmente o complexo, seria possível reduzir perdas pela evaporação de forma significativa, utilizando assim essa água para manter o abastecimento por maiores períodos nas cidades que dependem do complexo Coremas – Mãe D’água de forma direta ou indireta.

Além de que a quantidade de redução da evaporação está inteiramente ligada ao tipo de sistema implementado, e a porcentagem que será coberta já que ele que vai mostrar a quantidade de irradiação que chegará ao corpo hídrico. Para esse estudo vendo um sistema real, e exequível para investimento, foi possível perceber que cobrindo com um sistema fotovoltaico flutuante de 5 MW seria possível cobrir aproximadamente 0,75 % do complexo, o que ocasionaria em uma redução considerada irrisória. Mas que reduziria anualmente uma quantidade de aproximadamente 432.000,00 litros por ano.

Assim para que seja ainda mais significativa a redução seria necessário implementar um projeto que fosse possível cobrir uma porcentagem maior do Complexo Coremas – Mãe D'água, mas deve ser levado em consideração outros parâmetros que podem inviabilizar o projeto, como a questão da viabilidade financeira, já que por mais que um projeto possa contribuir em caráter ambiental, se for inviável financeiramente, será muito difícil de ser considerado para implementação, a não ser que seja uma iniciativa pública com a visão apenas de geração de energia renovável e diminuição dos impactos da evaporação.

Embora o uso de usinas fotovoltaicas flutuantes ainda seja algo considerado novo, essa pode ser uma alternativa para redução da evaporação em diversos corpos hídricos em diversas regiões do Brasil que sofrem com secas intensas em algumas épocas do ano. O complexo Coremas – Mãe D'água pode servir de exemplo para outras importantes fontes de abastecimento e contribuir para que eles possam manter diversos reservatórios abastecidos por mais tempo, diminuindo assim as dificuldades passadas pela população em períodos de grandes secas. Além de gerar energia renovável.

CAPÍTULO 4

VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE NO AÇUDE COREMAS MÃE D'ÁGUA

4 VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE NO AÇUDE COREMAS MÃE D'ÁGUA

4.1 INTRODUÇÃO

Ao analisar aspectos globais podemos perceber que o crescimento da população, a economia em expansão e a urbanização levam a um rápido aumento na demanda por água, alimentos e energia (ZHOU *et al.*, 2020). Nesse sentido, diversos estudos vêm sendo realizados para melhorar as tecnologias de geração de energia renovável, mas procuram-se formas de torná-las viáveis para a utilização diária, um exemplo disso é o crescimento da geração de energia solar. Uma amostra clara desses estudos foi apontada por Rosa-Clot *et al.* (2010); Bahaidarah *et al.* (2013); Choi (2014); Majid *et al.* (2014); Abdulgafar, Sacramento *et al.* (2015), que mostram um pouco da evolução de projetos fotovoltaicos, o funcionamento dessa tecnologia voltada a geração de energia renovável.

A geração de energia solar é considerada promissora na maior parte do mundo, mas a instalação de painéis solares no solo pode causar alguns problemas, especialmente em países onde não há espaço suficiente para a instalação (KIM *et al.*, 2019). Muitos locais acabam tendo que ser desmatados para implementação de um campo fotovoltaico, o que pode ocasionar um grande impacto ambiental. Uma das soluções encontradas para esse problema é a utilização de módulos fotovoltaicos flutuantes. Isso oferece uma vantagem, especialmente em regiões com espaço limitado (HAAS *et al.*, 2020).

Os módulos flutuantes trazem outros benefícios em relação às usinas solares convencionais, como reduzir as perdas por evaporação do corpo d'água e operar com maior eficiência, pois a água reduz a temperatura de operação dos módulos (HAAS *et al.*, 2020). Mas, assim como a maior parcela das tecnologias criadas para a geração de energia renovável, o alto custo às vezes pode inviabilizar o projeto e assim como qualquer projeto comercial, deve ser feita uma análise econômica.

Vários países têm utilizado as chamadas estratégias de retorno a longo prazo, onde mesmo com o alto custo inicial, visa-se o retorno do capital e bons lucros à medida que os anos vão passando. Uma estratégia utilizada por muitos investidores é buscar formas de isenção de algumas taxas para geração de energia elétrica que podem variar de acordo com o país (AYOUB; YUJI, 2012).

No Brasil, é possível notar também um crescimento da aplicação de energia solar fotovoltaica. Como exemplo disso em 2015 já existiam 25 empreendimentos que juntos tinham a capacidade de 21.233 kW de potência (ANEEL, 2015). Os estudos da utilização

de sistema fotovoltaicos, principalmente com o pensamento de aproveitar os corpos hídricos das usinas hidrelétricas já existentes no país.

Estudos mostraram que além dos benefícios em relação a redução na evaporação, sistemas fotovoltaicos instalados acima de corpos hídricos podem provocar maior rendimento elétrico do sistema, ocasionados pelo contato com a água que reduzem a temperatura dos módulos, assim observado por (Bahaidarah *et al.*, 2013), quando simulou testando um painel em contato direto com a água.

Mesmo com todos os benefícios de instalação de um sistema fotovoltaico flutuante é necessário analisar um fator muito importante que é a viabilidade financeira. Os investidores necessitam visualizar retorno de um projeto, para que coloquem seu dinheiro em um projeto com este, por isso ao investir em um projeto fotovoltaico é necessário um estudo prévio e análise de indicadores que poderão mostrar a viabilidade ou inviabilidade do mesmo, considerando fatores como: quantidade de energia gerada, a taxa de retorno, os custos de mão de obra, manutenção e outros fatores que podem afetar diretamente tomada de decisão.

Na cidade de Coremas (Paraíba) já existe um empreendimento voltado à geração de energia fotovoltaica, são 10 projetos sendo implementados pela empresa Rio Alto, sendo que ocupam um espaço territorial enorme, e isso preocupa os ambientalistas. Para realizar a instalação fez-se necessário o nivelamento e retirada de vegetação da localidade, e uma das soluções para esse problema é a utilização do complexo Coremas - Mãe D'água, que é um corpo hídrico bastante extenso e que pode permitir a geração de energia a nível comercial. O objetivo desse estudo foi analisar a viabilidade econômica de implementar um sistema fotovoltaico flutuante no complexo Coremas - Mãe D'água, com 5 MW.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da área de estudo e Localidade

O complexo Coremas - Mãe D'água é composto por dois açudes: Coremas com a capacidade de cerca de máxima de 744.144.694 m³ de água e o açude Mãe D'água com a capacidade de capacidade de 545.017.499 m³ (AESAs, 2021). Coremas é uma das principais cidades beneficiadas pelo abastecimento dos açudes, mas o complexo possibilita o abastecimento direto e indireto de várias cidades próximas.

Na Figura 4.1 é possível ter uma dimensão dos dois açudes, os dois são conectados

por um canal adutor. Mesmo com essa extensão e a capacidade o complexo Coremas - Mãe D'água está localizado região intermediária de Patos, apresentando o clima tropical semiárido caracterizado por elevadas temperaturas, irregularidade pluviométricas, e é marcada por grandes períodos de estiagem (CAVALCANTI *et al.*, 2009). Essas características acabam prejudicando os níveis de água dos açudes, que são acompanhados diariamente pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA).

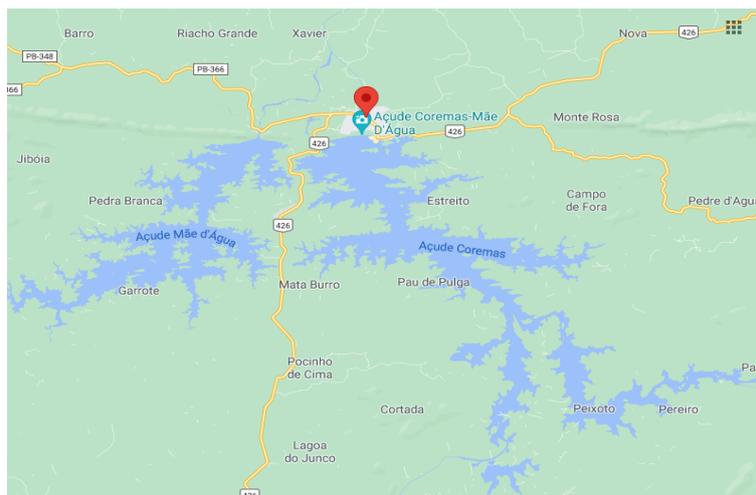


Figura 4.1: Mapa de localização do complexo Coremas - Mãe D'água.

Fonte: Google Maps (2021)

As características climáticas da região possibilitam a implementação de sistemas fotovoltaicos, tanto que existe a implementação de 10 usinas pelo grupo Rio Alto. Mas a implementação de um sistema fotovoltaico flutuante no complexo Coremas - Mãe D'água irá possibilitar na ampliação da geração de energia solar fotovoltaica e contribuiria para o abastecimento já que diminui a evaporação da porção coberta.

A duração do dia na cidade de Coremas não varia muito durante o ano, o dia tem em média 12 horas de sol, variando pouco, o dia mais curto de 2022 chegou a 11h e 43 minutos de luz solar, o que será considerado para conseguir definir a energia produzida pelo sistema (WEATHERPARK, 2022).

4.2.2 Descrição do sistema FVF

Um sistema fotovoltaico flutuante tem como principal diferença do tradicional (terrestre) a instalação em corpos hídricos e a necessidade de uma estrutura flutuante, que possibilitam adaptação ao nível do corpo hídrico.

Um sistema fotovoltaico flutuante é composto basicamente por módulos

flutuantes que possibilitam a sustentação de todo o sistema e a manutenção, painéis solares, inversores e subestação. Para esse projeto foi definido uma produção do sistema de 5 MW, o que possibilitou um dimensionamento do sistema.

Para isso, foram utilizados 8340 módulos, dispostos em 26 séries de 321 módulos, além de 40 inversores com potência de saída de 125 kW.

4.2.3 Análise financeira

A avaliação de viabilidade econômica serve de auxílio na tomada de decisão quanto a exequibilidade de um investimento. Para melhor acompanhamento das etapas utilizadas, a Figura 4.2 resume o processo de análise.

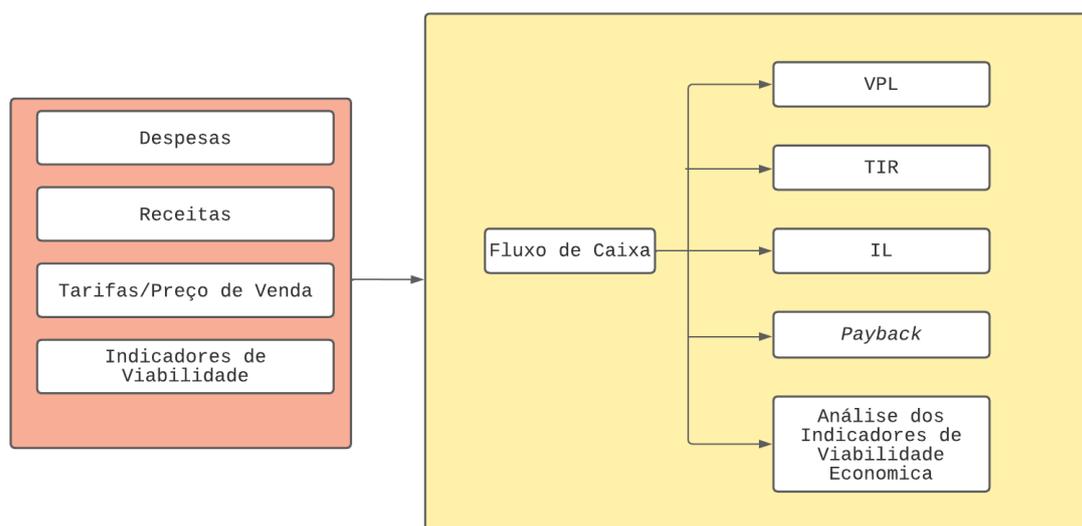


Figura 4.2: Fluxograma da metodologia para análise da viabilidade econômica.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Primeiramente, para que fosse possível avaliar a viabilidade da adoção do sistema FVF por consumidores residenciais, foi necessário levar em consideração dois aspectos principais: o custo da energia produzida por esse sistema e o custo da energia fornecida pela concessionária no local em questão.

Será considerado também que a vida útil do projeto será de 25 anos, já que é o período que a maioria dos fabricantes de módulos fotovoltaicos costuma garantir. Assim com esses dados é possível realizar um estudo para que será possível definir a viabilidade ou inviabilidade do projeto.

4.2.3.1 Despesa de Capital

As despesas de capital, também descritas como capital inicial, custo da usina ou *Capital Expenditure* (CAPEX) são os custos necessários para que o projeto possa ser colocado em funcionamento, como compra de todos os componentes, aluguel do local quando necessário, instalação, construção da usina e uso da subestação. Esse investimento ocorre sempre no período zero do fluxo de caixa (EPE, 2021).

Para definir o valor do CAPEX foram considerados dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE que tem por finalidade prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas destinadas a projetos de geração de energia. A Figura 4.3, mostra o CAPEX em R\$/kW de diversas fontes de geração de energia utilizadas no Brasil.

Fontes	CAPEX (R\$/kW)		O&M (R\$/kW.ano)	CVU (R\$/MWh)		Fator de Capacidade	Vida Útil
	Mín	Máx		Mín	Máx		
Biogás:	7.500	23.000	500	-	-	80%	20
Biomassa:	3.000	8.000	90	-	-	30%	20
Carvão:	8.000	13.500	160	120	300	80%	25
Eólica (<i>onshore</i>):	3.800	5.500	90	-	-	50%	20
Eólica <i>Offshore</i> :	9.800	18.600	490	-	-	60%	20
Fotovoltaica:	2.800	4.500	50	-	-	30%	25
Fotovoltaica Flutuante:	3.500	5.625	65	-	-	25%	25
Gás Natural (Ciclo Simples):	2.900	4.700	80	250	500	30%	25
Gás Natural (Ciclo Combinado):	3.600	6.100	80	120	300	70%	25
Nuclear:	22.000	29.400	490	30	50	80%	30
PCH:	6.000	11.000	90	-	-	50%	30

Figura 4.3: Valores de CAPEX, O&M, CVU, FC e vida útil para as diferentes tecnologias, considerados para o cálculo de LCOE.

Fonte: EPE (2021).

Para o estudo foi utilizado o valor médio do CAPEX para um sistema fotovoltaico flutuante, como mostrado na Tabela 4.1, calculando assim o custo do sistema.

Tabela 4.1: Valores de *Capital Expenditure* (CAPEX), para sistemas fotovoltaicos flutuantes.

CAPEX SISTEMA FLUTUANTE (R\$MM/MWp)	
Média	4,56
EPE Mín	3,50
EPE Max	5,63

Fonte: EPE (2021).

4.2.3.2 Despesa de Operacionais e manutenção (O&M) e serviços administrativos.

As despesas operacionais, também chamadas de custos de operação e manutenção (O&M), ou conhecidas como OPEX (*Operational Expenditure*), são aquelas que acontecem durante todo tempo de funcionamento da usina, a cada período de capitalização, e incluem principalmente o pagamento de mão de obra para operação da usina e custos de manutenção dos componentes, como limpeza dos módulos fotovoltaicos (EPE, 2021).

Além das despesas operacionais, foram consideradas despesas administrativas de forma que sempre existam profissionais acompanhando e garantindo o bom funcionamento do sistema durante toda vida útil do projeto, para isso foi considerado 3% do custo do investimento. Esse valor de 3% foi retirado de dados compilados pela (EPE, 2021), de forma que eles chegaram a uma porcentagem média de custos de operação e manutenção, tendo como base projetos reais já executados.

4.2.3.3 Projeção de receitas

As formas mais utilizadas para venda de energia são a venda em ambiente de contratação regulado (ACR) – Consumidor Cativo, onde o consumidor final compra diretamente a concessionária local, onde o consumidor paga a fatura mensal de energia elétrica de forma que já inclua os serviços de distribuição e geração de energia, e em ambiente de contratação livre (ACL) – Consumidor Livre, onde o consumidor compra diretamente dos agentes comercializadores, de forma que os valores são negociados por meio de contratos, nesses contratos são definidos valores, prazos, taxas, além do quantidade de consumo.

Para projeção das receitas foi considerado que a geração será distribuída considerando um ambiente de contratação regulada, que são projetos de pequeno porte, até 5 MW, e que será vendido a concessionária local para distribuição, no caso do projeto utilizou-se os dados da ENERGISA, considerando o valor em R\$ 356,60 por MW/h (ENERGISA, 2022).

4.2.3.4 Fluxo de caixa

Assim para montar o fluxo de caixa foi considerado as receitas e despesas do empreendimento. Onde as receitas foram calculadas considerando a capacidade instalada mensal, o fator de capacidade do sistema e o valor que será vendido concessionária local.

Já as despesas foram consideradas impostos diretos, custos administrativos, depreciação ao longo dos anos e custos de produção, de forma que o projeto tivesse o panorama mais realista possível. Além de considerar que os primeiros anos do empreendimento não se tem valores de entrada, já que é o tempo médio para execução de uma obra de um modelo solar flutuante (EPE, 2022).

4.2.4 Indicadores de avaliação econômica

4.2.4.1 Método do Valor Presente Líquido (VPL)

O método do valor presente líquido (VPL) calcula o impacto de ações futuras no momento atual de um investimento, ou seja, tenta prever eventos futuros que possibilitam entender o quanto um projeto pode agregar valor durante a vida útil.

Gitman (2001, p.302) define o VPL como: “uma técnica de orçamento de capital sofisticada, encontrada ao se subtrair o investimento inicial de um projeto de valor presente de seus fluxos de entrada de caixa, descontados a uma taxa igual ao custo de capital da empresa”.

Desta forma, o VPL pode ser calculado utilizando-se a equação 4.1.

$$VPL = \sum_t^n 1 \frac{FC_t}{(1+r)^t} - FC_0 \quad (4.1)$$

Onde,

VPL = valor presente líquido;

FC_0 = investimento inicial;

FC_t = fluxo de caixa no t-ésimo período;

r = custo do capital.

Para critério de decisão do VPL, caso o valor calculado seja maior que zero, o projeto pode ser considerado economicamente viável, caso contrário pode ser considerado inviável.

4.2.4.2 Índice de Lucratividade (IL)

O índice de lucratividade está ligado ao método VPL, onde para que ele possa ser definido deve ocorrer a divisão do valor presente líquido dos desembolsos de capital segundo Assaf Nero (2008). Definindo assim a equação 4.2.

$$IL = \frac{PV \text{ dos benefícios líquidos de caixa}}{PV \text{ dos desembolsos de caixa}} \quad (4.2)$$

A equação possibilita perceber o quanto o projeto oferece de reembolso para cada unidade monetária investida. Com isso ele contribui na tomada de decisão de forma que: se o IL for maior que zero, o projeto deve ser aceito, caso o IL seja igual a zero o investimento é considerado atraente, pois remunera o investidor em sua taxa mínima de atratividade, mas caso o IL seja menor que zero o projeto deve ser rejeito, pois implica que não irá remunerar de forma suficiente o investidor.

4.2.4.3 Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)

Como mostrado por Gitman (2010), a taxa interna de retorno, TIR, representa a rentabilidade de um investimento após o término do período de inversão, definido pela equação 4.3.

$$FC_0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} \quad (4.3)$$

VPL = valor presente líquido;

FC₀ = investimento inicial;

FC_t = fluxo de caixa no t-ésimo período;

TIR = Taxa interna de retorno;

Como critério de decisão uma proposta de investimento tem que ter a taxa interna de retorno maior que o custo de capital, assim ele deve ser aceito, caso a taxa interna de retorno seja menor que o custo de capital o projeto é construído o projeto de deve ser rejeitado.

Lapponi (2007) destaca em relação ao uso da TIR para investimentos que:

- A TIR possibilita informar se o projeto cria ou destrói valor;
- Considera o fluxo de caixa completo do projeto, além do valor do capital no tempo;
- É uma medida relativa, considerada uma taxa de juro, diferente do VPL que é uma medida absoluta.

Lapponi (2007) ainda relata que é TIR pode ser compreendido com mais facilidade por muitos. Já Kassai (2005) relata que alguns cuidados devem ser tomados em relação a interpretação do TIR, onde relata que no cálculo do TIR de um investimento há

o pressuposto de que todos os valores caminham no tempo, ou seja, por serem valores relativos, podem ocasionar em valores muito diferentes das taxas do mercado, e assim trazer uma interpretação errada para o investimento.

4.2.4.4 Método do *payback* descontado

Para os investidores um dos principais indicadores de tomada de decisão é o método do *payback* descontado, já que ele possibilita determinar o tempo de recuperação do dinheiro investido, ou seja, o período necessário para que o projeto pague sua implementação.

Bruni (2008) mostra que a principal vantagem do *payback* descontado é considerar o dinheiro no tempo, já sua desvantagem é que não é considerado todos os fluxos de caixa, assim não se mede rentabilidade, mas sim o prazo de retorno. Assaf Neto (2008) relata em seu estudo que são desconsiderados os períodos anteriores ao período de *payback*, além de desconsiderar também o período após o *payback*.

O *payback* descontado pode ser definido pela equação 4.4.

$$VP = \frac{VF}{(1 + k)^n} \quad (4.4)$$

Onde,

VP = investimento inicial;

VF = fluxo de caixa no t-ésimo período;

k = custo do capital.

N= número de períodos

Assim, com essa equação é possível chegar ao momento em que o investimento irá começar a trazer retorno à empresa.

4.2.4.5 Análise dos Indicadores de viabilidade econômica

A análise dos indicadores de viabilidade econômica é basicamente unir o resultado de todos os indicadores econômicos e com os resultados de cada um deles considerar todos os dados calculados e contribuir com a visão de viabilidade ou inviabilidade do projeto.

Para esse estudo como mostrado anteriormente os indicadores escolhidos foram: VPL, *payback* e TIR e IL, a junção do resultado desses indicadores, será utilizado na tomada de decisão, mostrando se o projeto é viável financeiramente.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.5 Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa foi considerado para os 27 anos do projeto, onde o ano 0 e 1 são anos sem receita positiva já que são os anos de execução, após o ano 2 foram consideradas as receitas positivas além de considerar o dinheiro no tempo. Além disso foi considerada a moeda brasileira o real. Assim foi possível calcular o fluxo de caixa e o fluxo de caixa descontado, considerando o dinheiro no tempo. E dessa forma o fluxo de caixa simplificado pode ser representado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Valores de fluxo de caixa, para sistemas fotovoltaicos flutuantes para o complexo Coremas – Mãe D'água.

Índice	Ano	Fluxo de Caixa (Receitas mensal – R\$/Milhões)	Fluxo de Caixa (Descontado - R\$/Milhões)
0	2023	-22,813	-22,813
1	2024	0	0
2	2025	3,485	2,988
3	2026	3,485	2,766
4	2027	3,485	2,562
5	2028	3,495	2,379
6	2029	3,485	2,196
7	2030	3,485	2,033
8	2031	3,485	1,883
9	2032	3,495	1,749
10	2033	3,485	1,614
11	2034	3,485	1,495
12	2035	3,485	1,384
13	2036	3,495	1,285
14	2037	3,485	1,186
15	2038	3,485	1,099
16	2039	3,485	1,017
17	2040	3,495	0,945
18	2041	3,485	0,872
19	2042	3,485	0,807
20	2043	3,485	0,748
21	2044	3,495	0,694
22	2045	3,485	0,641
23	2046	3,485	0,594
24	2047	3,485	0,550
25	2048	3,495	0,510
26	2049	3,485	0,471

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O fluxo de caixa completo está disponível no Apêndice A deste trabalho, para melhor visualização dos parâmetros utilizados, todos os dados foram com base na realidade do projeto, utilizando dados da concessionária local e da empresa de pesquisa energética, para que o projeto tivesse características de um projeto possível de ser implementado e com viabilidade de investimento.

Com o fluxo de caixa foi possível utilizar os indicadores escolhidos para esse sistema e analisar a viabilidade do sistema.

4.3.5.1 Cálculo do VPL

Para calcular o VPL considera-se o valor do fluxo de caixa pelos 25 anos de vida útil, onde é necessário trazer esse fluxo para o valor presente, considerando os juros e a inflação durante esse período.

Assim foi possível observar que o valor presente líquido desse projeto é de R\$ 11.654.906,00, ou seja, esse será o valor que o projeto irá agregar a empresa em sua vida útil.

Para critério de decisão do VPL, caso o valor calculado seja maior que zero, o projeto pode ser considerado economicamente viável, o que é o caso do projeto em questão.

4.3.5.2 Cálculo do índice de lucratividade

Geralmente quando o valor presente líquido é um valor positivo, o índice de lucratividade também chega a ser acima de 1, já que se utiliza do somatório das receitas sendo elas com valor presente que referente a esse projeto o valor foi de R\$ 34.467.405,00 dividido pelo valor do custo do projeto R\$ 22.812.500,00, chegando a um índice de lucratividade de 1,51.

Para melhor interpretação podemos dizer que a cada real gasto, se tem o retorno de 1,51, assim como o IL é maior que um o projeto de ser considerado viável, e dará lucro a empresa.

4.3.5.3 Taxa interna de retorno

Como critério de decisão uma proposta de investimento tem que ter a taxa interna de retorno maior que o custo de capital, no caso do projeto em questão o valor do TIR chegou a 12,89%, o que é uma taxa maior que a do custo capital.

4.3.5.4 Payback descontado

O payback é um dos indicadores mais atrativos para os investidores, já que ele mostra com quanto tempo após o início da operação do sistema, o sistema terá retorno, no caso do projeto em questão podemos analisar na Tabela 4.5, mostrando que após os 12 anos de projeto o investimento terá sido pago e começará a dar apenas lucro.

Tabela 4.3: Payback de caixa, para sistemas fotovoltaicos flutuantes para o complexo Coremas – Mãe D'água.

Índice	Ano	Payback Simples (R\$/Milhões)	Payback Descontado (R\$/Milhões)
0	2023	-22,813	-22,813
1	2024	-22,813	-22,813
2	2025	-19,328	-19,825
3	2026	-15,843	-17,058
4	2027	-12,358	-14,497
5	2028	-8,863	-12,118
6	2029	-5,378	-9,922
7	2030	-1,893	-7,889
8	2031	1,592	-6,006
9	2032	5,087	-4,257
10	2033	8,572	-2,643
11	2034	12,057	-1,148
12	2035	15,542	2,35
13	2036	19,037	1,521
14	2037	22,522	2,707
15	2038	26,007	3,806
16	2039	29,492	4,823
17	2040	32,987	5,768
18	2041	36,472	6,640
19	2042	39,957	7,447
20	2043	43,442	8,195
21	2044	46,937	8,889
22	2045	50,422	9,530
23	2046	53,907	10,124
24	2047	57,392	10,673
25	2048	60,887	11,184
26	2049	64,372	11,655

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Para os investidores saberem quando será possível ter retorno do projeto é algo extremamente necessário, pois todo investimento é visto como algo que trará retorno em um momento breve. Considerando também os 2 anos para execução da obra e 25 anos de

vida útil, será possível ter retorno em 12 anos, tendo assim aproximadamente 15 anos de lucro no projeto.

4.3.5.5 Análise dos indicadores de viabilidade econômica

Após o resultado dos 5 indicadores escolhidos foi possível analisar que o projeto é viável financeiramente, e para possíveis investidores pode ser considerado um projeto atrativo e que trará retorno. Na Figura 4.4 é possível ver de forma resumida os resultados da análise financeira do projeto fotovoltaico flutuante para o complexo Coremas - Mãe D'água.

Tabela 4.4: Análise dos indicadores de viabilidade econômica de um projeto fotovoltaico flutuante de 5 MW para o complexo Coremas – Mãe D'água.

Resumo da análise financeira	
Investimento Inicial	R\$ 22.812.500,00
VPL (R\$)	R\$ 11.654.906,00
IL	1,51 > 1
Payback (anos)	12
TIR (%)	12,89
Resultado	Viável

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Vendo de acordo com os parâmetros anteriores, é possível notar a viabilidade financeira do projeto, mas para que ele seja executado depende de investidores que tenham disposição de arriscar o seu capital em busca de retornos futuros.

Mesmo com os últimos incentivos a geração de energias renováveis, um ponto bastante significativo para implementação de qualquer projeto é a viabilidade financeira, dificilmente um investidor terá a iniciativa de implementar um projeto que não tenha retorno, por isso é um parâmetro que deve ser analisado e considerado ao pensar em um projeto fotovoltaico flutuante.

Para esse estudo foi pensado um projeto de 5 MW, e que ele tivesse retorno ao investidor, assim a melhor solução para obter um resultado positivo foi enquadrar o projeto em um sistema de geração distribuída com um ambiente de contratação regulado, e assim após 12 anos teria apenas lucro para os investidores, o que tornaria o projeto atrativo.

4.4 CONCLUSÃO

A energia fotovoltaica é vista internacionalmente como uma alternativa sustentável para mitigação das mudanças climáticas. Por isso os estudos de soluções como sistema fotovoltaicos flutuantes vem sendo cada vez mais estudados e implementados nos últimos anos.

Mas são projetos que necessitam de um planejamento estratégico, de forma que, além de alcançar os objetivos já citados nos demais capítulos desse estudo, proporcione um retorno financeiro favorável para o investidor.

A partir desse estudo foi possível analisar que o sistema fotovoltaico flutuante de 5 WM para o corpo hídrico Coremas – Mãe D'água é sim viável financeiramente e atrativo para investidores.

De forma que todos os índices analisados trouxeram resultado positivo, além de que mostrou será um projeto com lucro para os investidores de R\$ 11.654.906,00 no final da sua vida útil.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos estudos desenvolvidos no âmbito desta dissertação foi possível chegar às seguintes considerações finais:

Por se tratar de um sistema novo e ainda com uma tecnologia cara, o sistema fotovoltaico flutuante deve ser bem analisado antes de ser implementado, pois vários fatores podem deixar o projeto inviável para execução.

A ideia do estudo foi pensar em um sistema que pudesse ser viável tecnicamente, mas que trouxesse impactos ambientais positivos e também que trouxesse viabilidade financeira para que fosse possível de ser executado. Assim foi pensado um sistema fotovoltaico flutuante de 5 MW e que fosse enquadrado na geração distribuída possibilitando execução. Esse objetivo foi alcançado, mas dentro do processo foi possível perceber outros fatores importantes e resultados relevantes.

Considerando o ponto de vista ambiental e com o foco na evaporação, para que o complexo Coremas – Mãe D'água tenha uma redução realmente significativa, seria necessário um projeto maior, com uma capacidade de geração em que fossem necessários uma quantidade significativa de módulos para cobrir uma porcentagem que traga realmente uma redução que contribua para manter o abastecimento das cidades afetadas em períodos de grandes secas, mas para isso seria necessário um investimento maior e conseqüentemente não seria possível enquadrar o projeto em geração distribuída, assim o retorno do projeto poderia ficar prejudicado.

Outro ponto que pode ser visto é a possibilidade de um projeto público voltado apenas para a diminuição da evaporação, sem pensar nos lucros, e com o pensamento no abastecimento das cidades que dependem do complexo.

Ao analisar a viabilidade financeira o projeto de 5 MW tornou-se viável por ser enquadrado em um sistema de geração distribuída, onde a energia seria vendida diretamente à concessionária local. Assim o retorno seria o suficiente para gerar lucro aos investidores, mas caso o projeto seja redimensionado e pensado para uma maior porcentagem de cobertura do corpo hídrico, ele teria que ser enquadrado em consumo livre e diminuiria o retorno, o que possivelmente traria prejuízo ao investidor. Mas o mesmo projeto de 5 MW poderia ser aplicado a corpos hídricos com menor dimensão e que tem condições climáticas parecidas com as da cidade de Coremas. Isso possibilitaria que o investidor tivesse retorno e pudesse auxiliar corpos hídricos de dimensão menor aos de Coremas – Mãe D'água, ajudar no abastecimento ou até em atividades como irrigação e cuidado de animais.

Os resultados encontrados mostram uma das maiores dificuldades da

implementação de energias renováveis, que é o alto custo da tecnologia, além do alto custo de implementação e manutenção, onde por mais que os efeitos ambientais positivos sejam significativos, sua implementação deve ser cautelosa. Por mais que o projeto traga grandes impactos positivos, sem atratividade financeira dificilmente ele será implementado.

Assim, por mais que tenha sido encontrada viabilidade no projeto de 5 MW em todos os fatores aqui apresentados, não devem ser descartadas outras possibilidades de executar projetos fotovoltaicos flutuantes, onde o projeto deve ser adaptado para maior necessidade encontrada no momento, seja ela a evaporação, a geração de energia renovável, a diminuição da ocupação territorial ou outros pontos que podem ser benéficos pelo uso de sistemas fotovoltaicos flutuantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE TODA A DISSERTAÇÃO

AYOUB, Nasser; YUJI, Naka. Governmental intervention approaches to promote renewable energies - Special emphasis on Japanese feed-in tariff. **Energy Policy**, p. 191-201, 28 jan. 2012.

ABRIL, Ghosh; R, Jain; S, Aggarwal; P, Choudhury; UM, Jaiswal; H, Connolly; B, Deol; N, Kaun; M, Holden. Empregos em energia solar: explorando o potencial de empregos no mercado de energia solar conectado à rede da Índia. **Nova York (NY): Conselho de Energia, Meio Ambiente e Água; Conselho de Defesa dos Recursos Naturais**, 2004.

ABDULGAFAR, SA; OS OMAR; KM YOUSIF. “Melhorando a eficiência do painel solar policristalino por meio do método de imersão em água.” **Jornal Internacional de Pesquisa Inovadora em Ciência, Engenharia e Tecnologia** 3: 1 – 19, 2014.

AESA - **Agência Executiva de Gestão das Águas**. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/dados-tabulados/>. Acesso em: 07 dez. 2020.

AESA - **Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba: VOLUME DO AÇUDE COREMAS**. 2021. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id_acude=5261. Acesso em: 22 jun. 2021.

AESA – **Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba. Plano Estadual de Recursos Hídricos – Relatório final**. João Pessoa, 2009. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/perh/> Acesso em: 23 março. 2021.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES. J. L DE. M.; SPAROVEK, G. **Köppen’s climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. e SMITH, M. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 297pp. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ANA - **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. 6 dez. 2022. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/acudessemiarido/MAPACOREMAS_MAE_DAGUA.jpg. Acesso em: 7 nov. 2022.

ANEEL - **Brasil ultrapassa os 185 GW de potência instalada**. 6 set. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/brasil-ultrapassa-os-185-gw-de-potencia-instalada>. Acesso em: 12 dez. 2022.

AZAMI, S.; VAHDATY, M.; TORABI, F. Theoretical analysis of reservoir-based floating photovoltaic plant for 15-khordad dam in Delijan. **Energy Equipment and Systems**, v. 5, n. 2, p. 211–218, 2017.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. D.; RODRIGUES, M. F. G. **Previsão Estatística das Chuvas de Outono no Estado do Ceará**. *Rev. Bras. de Meteor*, v. 13, n. 1, p. 19-30, 1998.

BARDIN, L. (2011). **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70.

BAHAIDARAH, H.; A. SUBHAN; P. GANDHIDASAN; S. REHMAN. " **Avaliação de desempenho de um módulo fotovoltaico (fotovoltaico) por resfriamento de água de superfície posterior para condições climáticas quentes.**" *Energia* 59: 445 - 453. doi: 10.1016 / j. energy.2013.07.050, 2013.

BECKER, C. T.; MELO, M. M. M. S; COSTA, M. N. M.; RIBEIRO, R. E. P. Caracterização Climática das Regiões Pluviometricamente Homogêneas do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 01, p. 286- 299, 2011.

BELENUS - MODULO FOTOVOLTAICO MONOCRISTALINO 156 CELULAS 600W **BELENERGY**. 2022. Disponível em: <https://belenus.com.br/produto/3/energia%20solar/painel%20fotovoltaico/null/null/2431/Painel%20Fotovoltaico/11/MFVHO-MO-156-600W>. Acesso em: 15 dez. 2022.

BENITO, Y. Energy and Climate Change. **Capacity Building Programmed on Renewable Energy. Observatory for Renewable Energy in Latin Amezrica and the Caribbean**. 2013.

BRUTSAERT, W. H. Evaporation into the atmosphere: theory, history and applications. **Dordrecht: D. Reidel**, p. 299, 1982.

BRASIL-MME. **Hidrelétrica Balbina inicia projeto com flutuadores para gerar energia solar**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/hidreletrica-balbina-inicia-projeto-com-flutuadores-para-gerar-energia-solar>. Acesso em: 2 abr. 2019.

BRUNI, ADRIANO LEAL; FAMA, RUBENS. **AS DECISÕES DE INVESTIMENTOS**. 3. ed. 2012.

BONTEMPO Scavo F, Tina GM, Gagliano A, Nižeti c S. **An assessment study of evaporation rate models on a water basin with floating photovoltaic plants**. *Int J Energy Res*. 2020;1–22. <https://doi.org/10.1002/er.5170>.

CASARIN, Ricardo. Desenvolvida pela WEG, terceira usina do complexo solar Coremas é inaugurada. **Portal Solar**, 25 set. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/desenvolvida-pela-weg-terceira-usina-do-complexo-solar-coremas-e-inaugurada.html>. Acesso em: 20 maio 2021.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

CAZZANIGA, R. et al. Floating photovoltaic plants: Performance analysis and design solutions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, p. 12, 2017.

CHOI, Y. K. A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact. **International Journal of Software Engineering and Its Applications**, v. 8, n. 1, p. 75-84, 2014.

CHOI, Y.; SONG, J. **Sustainable development of abandoned mine areas using renewable energy systems: A case study of the photovoltaic potential assessment at**

the tailings dam of abandoned Sangdong mine, Korea. Sustainability, v. 8, n. 1320, p. 12, 2016.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. A questão da água no semiárido brasileiro. In: BICUDO, C.E. DE M; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Ed.). **Águas do Brasil análises estratégicas**. 1. ed. São Paulo: [s.n.]. p. 81–91.

CRESESB: Potencial Solar - SunData v 3.0. 25 jan. 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 17 jun. 2021.

CURTARELLI, M. P. et al. **Estimativa da taxa de evaporação em um reservatório tropical a partir de dados orbitais obtidos pelo sensor MODIS**. (INPE, Ed.) XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais**. Foz do Iguaçu: 2013 Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>

DA SILVA, G. D. P. **Large-scale solar photovoltaic impact assessment in the context of the Brazilian environmental and energy planning**. Rio de Janeiro. 2019.

DAI, Jian; ZHANG, Chi; LIM, Han Vincent; ANG, Kok Keng; QIAN, Xudong; WONG, Johnny Liang Heng; TAN, Sze Tiong; WANG, Chien Looi. Projeto e construção de sistema fotovoltaico modular flutuante para reservatórios de água. **Energy**, 15 jan. 2020.

EAKIN, H.C.; LEMOS, M. C.; NELSON, D. R. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. **Global Environmental Change**, v. 27, p. 1-8, 2014.

ELO, S.; KYNGÄS, H.; O processo qualitativo de análise de conteúdo. **Jornal de Enfermagem Avançada**, v. 62, n. 1, p. 107-115, 2008.

ENERGISA - CONSULTA DE TARIFAS. 2022. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>. Acesso em: 12 dez. 2022.

EPE - **Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014** – ano base 2013. 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/20130909_1.pdf>. Acesso em: 02 março. 2021.

EPE - Caderno de Preços da Geração 2021. 18 ago. 2021. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublishingImages/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/caderno-de-precos-da-geracao/CadernodePre% c3% a7osdeGera% c3% a7% c3% a3o_r0.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublishingImages/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/caderno-de-precos-da-geracao/CadernodePre%c3%a7osdeGera%c3%a7%c3%a3o_r0.pdf). Acesso em: 19 dez. 2022.

ETTINGER, William S. Impactos de um supressor químico de poeira / estabilizador de solo nas características físicas e biológicas de um riacho. **Journal of soil and water conservation society**, p. 111-114, 1987.

FAMÁ, Rubens; Adriano Leal, BRUNI. **As decisões de Investimentos**. São Paulo: Atlas (2008).

FARFAN, J.; BREYER, C. Combining floating solar photovoltaic power plants and hydropower reservoirs: a virtual battery of great global potential. **Energy Procedia**, 2018. 403-411. 12th International Renewable Energy Storage Conference, IRES 2018.

FERREIRA, A.; KUNH, S. S.; FAGNANI, K. C.; DE SOUZA, T. A.; TONEZER, C.; DOS SANTOS, G. R.; COIMBRA-ARAÚJO, C. H. Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, Part 1, p. 181-191, ISSN 1364-0321, 2018.

FERREIRA, A.; MELLO, N. **PRINCIPAIS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS ATUANTES SOBRE A REGIÃO NORDESTE DO BRASIL E A INFLUÊNCIA DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NO CLIMA DA REGIÃO**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n. 1, p. 15-28, dezembro 2005.

FERRER-GISBERT, C. et al. A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs. **Renewable Energy**, v. 60, p. 63–70, 2013.

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D. **Aptidão Climática do Estado da Paraíba para as Principais Culturas Agrícolas**. ISBN: 978-85-60307-37-1. ed. Areia: UFPB, 2018.

FONTES, Ruy. Usina Solar Flutuante: Conheça a Tecnologia e os Projetos Instalados no Brasil. **Bluesol**, 16 jul. 2020. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/usina-solar-flutuante-tecnologia-e-projetos-no-brasil/>. Acesso em: 12 jan. 2021.

GALDINO, M. A.; OLIVIERI, M. M. A. Some Remarks about the Deployment of Floating PV Systems in Brazil. **Journal of Electrical Engineering**, p. 10-19, 2017.

GALDINO, M. A.; OLIVIERI, M. M. A. Considerações sobre a Implantação de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes no Brasil. In: VI CBENS – **Congresso Brasileiro de Energia Solar**, Belo Horizonte. Anais do VI CBENS, 2016.

G. Aquila, EO Pamplona, AR Queiroz, P. Rotela, MN Fonseca **Uma visão geral das políticas de incentivo à expansão da geração de energia renovável em sistemas de energia elétrica e a experiência brasileira**, renovar sustentar a energia Rev., 70 (2017), pp. 1090 – 1098.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de administração Financeira / Lawrence J. Gitman; tradução Allan Vidigal Hastings; revisão técnica Jean Jacques Salim**. – 12. Ed. – São Paulo: Person Prentice Hall, 2010.

GOMES, Filipe Tawã; PEREIRA, José Diogenes Alves; ROCHA, Daniel Sousa; SOUZA, César Lincoln Oliveira de; NOGUEIRA, Virgínia de Fátima Bezerra. USO DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA MONITORAMENTO DA REDUÇÃO DAS ÁGUAS DO COMPLEXO CUREMA-MÃE D'ÁGUA. **I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade**, 2019.

GOOGLE Earth. 2021. Disponível em: <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

GRIPPO, Mark; HAYSE, John W.; O'CONNOR, Ben L. Solar energy development and aquatic ecosystems in the southwestern United States: potential impacts, mitigation, and research needs. **Environ Assess**, p. 244 – 256, 21 out. 2014.

GUERIN T. Um estudo de caso identificando e mitigando os impactos ambientais e comunitários da construção de uma usina solar fotovoltaica em escala de serviço público no leste da Austrália. **Sol Energy**. 146: 94 - 104. 2017.

HARTZELL, T. S. **Evaluating Potential for Floating Solar Installations on Arizona Water Management Infrastructure**. [s.l.] University of Arizona, 2016.

HAAS, J.; KHALIGHI, J.; FUENTE, A. de la; GERBERSDORF, S.U.; NOWAK, W.; CHEN, Po-Jung. Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. **Energy Conversion and Management**, 15 jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112414>. Acesso em: 16 jan. 2021.

HERNANDEZ GONZALEZ, V; SANS ROSELL, N; JOVE DELTELL, M. C y REVERTER-MASIA, J. **Comparación entre Web of Science y Scopus, Estudio Bibliométrico de las Revistas de Anatomía y Morfología**. Int. J. Morphol. [online]. 2016, vol.34, n.4, pp.1369-1377. ISSN 0717-9502. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022016000400032>.

HERNANDEZ, R. R. et al. Environmental impacts of utility-scale solar energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 766–779, 2014.

IBGE: Regiões Geográficas. 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/. Acesso em: 15 jun. 2021.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/PrecAcumulada>. Acesso em: 7 dez. 2020.

JENSEN, M. E. e ALLEN, R. G. Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements. **American Society of Civil Engineers**, 2ª ed., 2016, 744 p.

JUNIOR, Antônio Barbosa Lemes; CHEROBIM, Ana Paula; RIGO, Cláudio Miessa. Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras. **Elsevier**, 2002.

KASSAI, José Roberto *et al.* **Retorno de investimento**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

KIM SM, OH M, PARK HD. **Análise e priorização do potencial do sistema fotovoltaico flutuante para reservatórios na Coreia**. *Ciências Aplicadas*. 2019; Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app9030395> Acesso em: 02 maio de 2020.

LAPPONI, Juan Carlos. **Projetos de investimento na empresa**. Elsevier, 2007.

LIMA, F. J. L DE.; MARTINS, F. R.; COSTA, R. S.; GONÇALVES, A. R.; SANTOS, A. P. P DOS.; PEREIRA, E. B. The seasonal variability and trends for the surface solar irradiation in northeastern region of Brazil. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 35, n. August, p. 335–346, 2019.

LOVICH, Jeffrey e.; ENNEN, Joshua R. Wildlife Conservation and Solar Energy Development in the Desert Southwest, United States. **Bioscience**, p. 982 - 992, 1 dez.

2011.

LUCENA, A. F. P.; SZKLO, A. S.; SCHAEFFER, R.; SOUZA, R. R.; BORBA, B. S. M. C.; COSTA, I. V. L.; AMARO JÚNIOR, O. P.; CUNHA, S. H. F. The vulnerability of renewable energy to climate change in Brazil. **Energy Policy**, v. 37, p. 879–889, 2009.

MAJID, Z. A. A. et al. Study on Performance of 80 Watt Floating Photovoltaic Panel. 112 **Journal of Mechanical Engineering and Sciences**, v. 7, p. 1150–1156, 2014.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MITTAL, D.; SAXENA, B. K.; RAO, K. V. S. Floating solar photovoltaic systems: An overview and their feasibility at Kota in Rajasthan. **International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)**, Kollam, p. 1-7, 2017.

MUSCAT, M. **A Study of Floating PV Module Efficiency**. [s.l.] University of Malta, 2014.

OLIVEIRA, Lucas Guedes de; AQUILA, Giancarlo; BALESTRASSI, Pedro Paulo; PAIVA, Anderson Paulo de; QUEIROZ, Anderson Rodrigo de; PAMPLONA, Edson de Oliveira; CAMATTA, Ulisses Pessin. Evaluating economic feasibility and maximization of social welfare of photovoltaic projects developed for the Brazilian northeastern coast: An attribute agreement analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2020.

ORIVE, José Ignacio Granda; ARROYO, Adolfo Alonso; RÍO, Francisco García; REINA, Segismundo Solano; RUIZ, Carlos Andrés Jiménez; BENAVENT, Rafael Aleixandre. Ciertas ventajas de Scopus sobre Web of Science en un análisis bibliométrico sobre tabaquismo. **Revista Española de Documentación Científica**, 2013.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>.

PEREIRA, José Diogenes Alves; NOGUEIRA, Virgínia de Fátima Bezerra; SOUZA, César Lincoln Oliveira de; NOGUEIRA, Valner da Silva; GOMES, Filipe Tawã; ROCHA, Daniel Sousa. Use of remote sensing for monitoring water reduction in the curema-mother d'água complex. **Brazilian Journal of Development**, 20 mar. 2020. DOI:10.34117/bjdv6n3-312.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A. e SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração. Piracicaba: Fealq**, 1997.

PIMENTA, M. T.; SANTOS, M. J.; RODRIGUES, R. A susceptibilidade à desertificação. **Revista Florestal**, v. 11, n. 1, p. 27-33, 1998.

POURAN, H. M. From collapsed coal mines to floating solar farms, why China's new

power stations matter. **Energy Policy**, v. 123, n. July, p. 414–420, 2018.

RENNÓ, C. D.; BORMA, L. S. **Processos Hidrológicos: Evapotranspiração**. 2017 Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/aulas.html>>. Acesso em 28 mar. 2022.

RIO ALTO - EIA - ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL. **USINAS FOTOVOLTAICAS IV, V, VI, VII, VIII, IX e X.**, out. 2020. Disponível em: <https://www.gruporioalto.com.br/projetos/>. Acesso em: 4 jan. 2023.

RODRIGUES, Ítalo Sampaio; RAMALHO, Geraldo Luis Bezerra; MEDEIROS, Pedro Henrique Augusto. Potencial de usina fotovoltaica flutuante em um reservatório tropical no Brasil. **Jornal de Planejamento e Gestão Ambiental**, 19 fev. 2020. Disponível em: <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1080/09640568.2020.1719824>. Acesso em: 2 dez. 2020.

ROSA CLOT, M.; P. ROSA CLOT; GM TINA E PF SCANDURA. “Painel solar fotovoltaico submerso: SP2.” **Energia renovável 35 (8)**: 1862 - 1865. doi: 10.1016 / j. renene.2009.10.023, 2010.

ROSA-CLOT, M. et al. Chapter 8: Floating Plants and Environmental Aspects. In: **Submerged and Floating Photovoltaic Systems**. [s.l: s.n.]. p. 185–212.

SACRAMENTO, E. M. DO et al. Cenários de uso de usinas fotovoltaicas flutuantes em reservatórios brasileiros. **IET Renewable Power Generation**, 1 nov. 2015. Disponível em: <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1049/iet-rpg.2015.0120>. Acesso em: 12 jan. 2021.

SACRAMENTO, E. M. DO et al. Scenarios for use of floating photovoltaic plants in Brazilian reservoirs. **IET Renewable Power Generation**, v. 9, n. 8, p. 1019–1024, 2015.

SAHU, A.; YADAV, N.; SUDHAKAR, K. Floating photovoltaic power plant: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 66, p. 815-824, 2016.

SCHAEFFER, R.; SZKLO, A. S., DE LUCENA, A. F. P.; BORBA, B. S. M. C.; NOGUEIRA, L. P. P.; FLEMING, F. P.; TROCCOLI, A.; HARRISON, M.; BOULAHYA, M. S. Energy sector vulnerability to climate change: a review. **Energy**, v. 38, n. 1, p.1-12, 2012.

SHARMA, P.; MUNI, B.; SEN, D. Design parameters of 10kW floating solar plant. **International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology**, v. 2, n. 1, p. 85–89, 2015.

SCAVO, Fausto Bontempo; TINA, Giuseppe Marco; GAGLIANO, Antonio; NIŽETIĆ, Sandro. Um estudo de avaliação de modelos de taxa de evaporação em uma bacia hidrográfica com usinas fotovoltaicas flutuantes. **Energy Research**, 5 fev. 2020. Disponível em: <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1002/er.5170>. Acesso em: 14 jan. 2021.

SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO – SÃO PAULO. **São Paulo coloca em operação a primeira usina solar flutuante do Brasil**, 2016. Disponível em:

<<http://www.energia.sp.gov.br/2016/09/sao-paulo-coloca-emoperacao-primeira-usina-solar-flutuante-do-brasil/>> Acesso em 23 maio 2020.

SHARMA, P.; MUNI, B.; SEN, D. Design parameters of 10kW floating solar plant. **International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology**, v. 2, n. 1, p. 85–89, 2015.

SILVA, V. P. R.; CORREIA, A. A.; COELHO, M. S. Análise de tendência das séries de precipitação pluvial do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.111-114, 1998.

SILVA, Gardenio Diogo Pimentel Da; BRANCO, David Alves Castelo. A fotovoltaica flutuante é melhor do que a fotovoltaica convencional? Avaliação de impactos ambientais. **Avaliação de impacto e avaliação do projeto**, 28 maio 2018.

SIMS, R. E. H. Renewable energy: a response to climate change. **Solar energy**, v. 76, n. 1, p. 09-17, 2004.

STRANGUETO, K. M. **Estimativa do Potencial Brasileiro de Produção de Energia Elétrica através de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Hidroelétricas**. Universidade Estadual de Campinas. 2016.

SUDENE. **Nova delimitação Semiárido**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/Relação_de_Municípios_Semiárido.pdf>.

SUNGROW - SG125HV Inversor string para sistema de 1.500 Vcc. 2018. Disponível em: <https://sicessolar.com.br/wp-content/uploads/2019/10/ficha-tecnica-sg125hv.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2021.

TABOADA, M. E. et al. Solar water heating system and photovoltaic floating cover to reduce evaporation: Experimental results and modeling. **Renewable Energy**, v. 105, p. 601–615, 2017.

TIANGCO, C. C. **Innovating Solar Energy Development through Floating Photovoltaic Technology Regional Knowledge and Support Technical Assistance Afghanistan, Azerbaijan, Kyrgyz Republic**. 27th CAREC ESCC Meeting. Anais...Ashgabat, Turkmenistan: 2018bDisponível em: <<http://www.3tier.com/static/ttcms/us/documents/publications/vali>>. Acesso em: 4 jan. 2022.

TOBAR, Cabrera; MASSAGUÉ E, Bullich; PEÑALBA H, Aragüés; BELLMUNT Ó, Gomis. Topologias para usinas fotovoltaicas de grande porte. **Renove Sustain Rev. Energia**, p. 309-319, 2016.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Rumo a uma metodologia para desenvolver conhecimento de gestão baseado em evidências por meio de revisão sistemática. **Jornal britânico de administração**, v. 14, n. 3, pág. 207-222, 2003.

TRAPANI, K.; SANTAFÉ, M. R. **A review of floating photovoltaic installations: 2007-2013Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, 2015.

TRAPANI, K.; SANTAFÉ, M. R. A review of floating photovoltaic installations: 2007–2013. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 23, n. 4, p. 524–532, 2014.

VILLALVA, Marcelo Gradella. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. 1. Ed. São Paulo. Editora Érica, 2012.

WHITE, M; MARSH, E. **Análise de conteúdo: uma metodologia flexível**. pp. 22 - 45, 2006.

WEATHERPARK - **Clima e condições meteorológicas médias em Coremas no ano todo**. 2022. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/31200/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Coremas-Brasil-durante-o-ano#:~:text=A%20dura%C3%A7%C3%A3o%20do%20dia%20em,43%20minutos%20de%20luz%20solar>. Acesso em: 4 dez. 2022.

ZHOU, Yanlai; CHANG, Fi-John; CHANG, Li-Chiu; LEE, Wei-De; HUANG, Angela; XU, Chong-Yu; GUO, Shenglian. An advanced complementary scheme of floating photovoltaic and hydropower generation flourishing water-food-energy nexus synergies. **Applied Energy**, 2020.

YOO, S. Optimization of a BIPV system to mitigate greenhouse gas and indoor environment. **Solar Energy**, v. 188, p. 875-882, ago. 2019.

ZUPIC, T. ČATER. Bibliometric methods in management and organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.