



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

KARINNE MARTINS BATISTA

**MÉTODOS PARA MITIGAÇÃO DA EVAPORAÇÃO: Um estudo de caso em
reservatórios de água na região do Semiárido brasileiro**

Caruaru-PE
2025

KARINNE MARTINS BATISTA

MÉTODOS PARA MITIGAÇÃO DA EVAPORAÇÃO: Um estudo de caso em reservatórios de água na região do Semiárido brasileiro

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Recursos Naturais e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Caruaru-PE
2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Batista, Karinne Martins.

Métodos para mitigação da evaporação: um estudo de caso em reservatórios de água na região do semiárido brasileiro / Karinne Martins Batista. - Caruaru, 2025.

119f.: il.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva.

1. Escassez hídrica; 2. Gestão das águas; 3. Perdas evaporativas; 4. Supressão; 5. Barreiras físicas. I. Paiva, Anderson Luiz Ribeiro de. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

KARINNE MARTINS BATISTA

MÉTODOS PARA MITIGAÇÃO DA EVAPORAÇÃO: Um estudo de caso em reservatórios de água na região do Semiárido brasileiro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.
Área de concentração: Recursos Naturais e Meio Ambiente.

Aprovado em: 11/11/2025,

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra (Presidente)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Leidjane Maria Maciel de Oliveira (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão (Examinador Externo)
Universidade Federal de Campina Grande

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por me conceder sustento e saúde para a conclusão de mais uma etapa em minha vida e por sempre estar ao meu lado, me guiando em todas as idas à Caruaru e em todos os momentos. Sem ti, senhor, esta dissertação não seria possível. À Nossa Senhora, por sempre me cobrir com seu manto sagrado.

Aos meus pais, Kalinne Martins e Ernaldo Batista por todo amor e cuidado. Por sempre me incentivarem e proporcionarem os meios para que eu pudesse chegar até aqui e concluir o meu mestrado, estando comigo em todas as fases, desde apoio nas disciplinas até auxiliando no meu traslado, limpeza e manutenção dos reservatórios de água desta dissertação. Por nunca medirem esforços para me garantir uma educação de qualidade e por serem a minha base, o meu refúgio diário. À vocês, o meu muito obrigada. Sou grata a Deus pela existência dos senhores em minha vida.

Ao meu prezado orientador, Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva pela dedicação, incentivo e orientação durante toda essa jornada. Um exemplo de professor e profissional, que levarei todos os ensinamentos e aprendizados de aulas para minha caminhada acadêmica. Muita obrigada por ter auxiliado em todos os problemas deste trabalho comigo. Agradeço também aos membros da banca, pelos direcionamentos e todos os professores que contribuíram para a minha formação profissional e pessoal.

Agradeço aos meus colegas de mestrado que contribuíram para o desenvolvimento dessa pesquisa e por me darem suporte em Caruaru e na caminhada, especialmente à Cássia Gisele, Mário Araújo e Álvaro Cordeiro. E a todos os meus amigos, pelas colaborações preciosas nos momentos profícuos e, principalmente, as orações nos mais difíceis; em especial a Sinthya Kelly, Geraldo Júnior, Alcina Moreira, Alynne Santana, Luiza Noêmia, Daniel Queiroga e Larissa Oliveira.

A Ivan Oliveira e a toda equipe de funcionários do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), por toda atenção e auxílio na manutenção dos reservatórios e concedimento de dados climáticos e à equipe do Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), especialmente Manu e Simeia, por todos os ensinamentos e paciência na realização dos ensaios.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão de mais uma etapa em minha vida, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

É notório que a evaporação se apresenta como um dos processos preponderantes para o balanço hídrico e energético em reservatórios, principalmente em regiões com acentuada escassez hídrica, como é o caso do Semiárido brasileiro. Nesta região, o balanço hídrico é deficitário, onde as taxas evaporativas superam os índices pluviométricos, sendo resultantes das suas condições climáticas. Logo, compreender os mecanismos de recarga e retirada da água e o processo evaporativo é primordial para subsídios eficazes na gestão dos recursos hídricos. Desse modo, objetivou-se avaliar métodos de coberturas físicas que atuem como fins de proteção em reservatórios de água no município de Caruaru-PE, para que dessa forma, se minimizem os efeitos da evaporação. Para tanto, foram instalados quatro reservatórios de polietileno, com capacidade de 550 L e profundidade de 58 cm, no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), para que fosse possível mensurar o quanto de água foi perdida para o meio atmosférico. Com isso, foram empregados nos reservatórios barreiras suspensas (telas de polietileno na cor preta, promovendo 50% de espaçamento das malhas e embalagens aluminizadas, nomeadas TetraPak) e flutuantes (garrafas de polietileno tereftalato (PET) incolores com 250 mL), assim como um reservatório de referência. Além disso, foram analisados parâmetros do comportamento climatológico da região em estudo (como precipitação total, temperatura média, umidade relativa do ar e velocidade do vento média, temperatura do ponto de orvalho e radiação global), além de comparações estatísticas entre as evaporações medidas em campo com equações teóricas de Thornthwaite (1948), Linacre (1993) e Kohler *et al.* (1955), analisando a que mais se aproxima das condições reais de evaporação no município. Ademais, observou-se a qualidade da água em todos os reservatórios com os materiais em estudo. Foram realizadas medições quinzenais para o comparativo entre a evaporação dos reservatórios cobertos e o de referência, sendo exposto às condições atmosféricas locais. Nota-se que a cobertura com TetraPak é a mais eficiente tanto na mitigação da evaporação, com percentual de redução em 57,13%, tanto nas análises de qualidade da água, dispondo de menores resultados em parâmetros físico-químicos e biológicos. A barreira com as garrafas PET demonstraram desempenhos intermediários na mitigação da evaporação, com eficácia de 53,97% e na qualidade da água, com valores excedentes do normativo em parâmetros de pH e coliformes termotolerantes.

O reservatório com tela de polietileno foi o que mais se aproximou das condições reais de evaporação, com supressão do processo evaporativo em 50,86%. Na análise de qualidade da água, assim como na cobertura flutuante, apresentou resultados superiores ao limiar de referência em análises de pH e coliformes termotolerantes. No geral, percebe-se que todos os materiais apresentaram reduções significativas nas taxas evaporativas. Dentre os modelos de estimativas, o mais representativo para o município foi o de Kohler *et al.* (1955), com a menor variação (425,68 mm) entre a evaporação medida em campo e a estimada. O método de Thornthwaite (1948) subestimou a evaporação, com uma diferença resultante em 693,43 mm e o de Linacre (1993) superestimou as taxas, sendo superior ao verificado diretamente no local em 998,72 mm.

Palavras-chaves: escassez hídrica, gestão das águas, perdas evaporativas, supressão, barreiras físicas.

ABSTRACT

It is notorious that evaporation is one of the preponderant processes for the water and energy balance in reservoirs, especially in regions with severe water scarcity, as is the case of the Brazilian semi-arid region. In this region, the water balance is deficient, where evaporative rates exceed rainfall, resulting from its climatic conditions. Therefore, understanding the mechanisms of water recharge and withdrawal and the evaporative process is essential for effective subsidies in the management of water resources. Thus, the objective of this study was to evaluate methods of physical roofing that act as protection purposes in water reservoirs in the municipality of Caruaru-PE, so that the effects of evaporation are minimized. To this end, four polyethylene reservoirs, with a capacity of 550 L and a depth of 58 cm, were installed at the Agronomist Institute of Pernambuco (IPA), so that it was possible to measure how much water was lost to the atmospheric environment. Thus, suspended barriers (black polyethylene screens, promoting 50% spacing of aluminized meshes and packages, named TetraPak) and floating barriers (colorless polyethylene terephthalate (PET) bottles with 250 mL) were used in the reservoirs, as well as a reference reservoir. In addition, parameters of the climatological behavior of the region under study (such as total precipitation, average temperature, relative humidity and average wind speed, dew point temperature and global radiation) were analyzed, as well as statistical comparisons between evaporations measured in the field with theoretical equations by Thornthwaite (1948), Linacre (1993) and Kohler *et al.* (1955), analyzing the one that is closest to the real evaporation conditions in the municipality. In addition, the water quality in all reservoirs with the materials under study was observed. Biweekly measurements were carried out to compare the evaporation of the covered reservoirs and the reference reservoir, being exposed to local atmospheric conditions. It is noted that the coverage with TetraPak is the most efficient both in mitigating evaporation, with a reduction percentage of 57.13%, and in water quality analyses, with lower results in physical-chemical and biological parameters. The barrier with the PET bottles demonstrated intermediate performances in the mitigation of evaporation, with an effectiveness of 53.97% and in the quality of the water, with values exceeding the normative in pH parameters and thermotolerant coliforms. The reservoir with polyethylene mesh was the one that came closest to the real evaporation conditions, with suppression of the evaporative process in 50.86%. In the water quality analysis,

as well as in the floating cover, it presented results above the reference threshold in pH and thermotolerant coliform analyses. In general, it is noticed that all materials showed significant reductions in evaporative rates. Among the estimation models, the most representative for the municipality was that of Kohler et al. (1955), with the smallest variation (425.68 mm) between the evaporation measured in the field and the estimated evaporation. Thornthwaite's (1948) method underestimated evaporation, with a resulting difference of 693.43 mm, and Linacre's (1993) overestimated the rates, being higher than the one verified directly on site by 998.72 mm.

Keywords: water scarcity, water management, evaporative losses, suppression, physical barriers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Relação entre a evaporação e altitude.....	23
Figura 2 -	Delimitação do semiárido brasileiro.....	28
Figura 3 -	Representação do tanque Classe A e seus respectivos acessórios.....	37
Figura 4 -	Evaporímetro de Piche.....	38
Figura 5 -	Métodos de coberturas utilizadas para mitigação da evaporação na superfície da água.....	39
Figura 6 -	Fluxograma esquemático das etapas estudadas.....	62
Figura 7 -	Localização do município de Caruaru, e posicionamento da área do experimento.....	63
Figura 8 -	Reservatório utilizado no experimento.....	66
Figura 9 -	Posicionamento do experimento em relação ao IPA-Caruaru.	67
Figura 10 -	Representação da instalação dos reservatórios no IPA- Caruaru.....	68
Figura 11 -	Distribuição dos reservatórios na área do IPA-Caruaru.....	69
Figura 12 -	Reservatórios cheios, com suas devidas coberturas.....	70
Figura 13 -	Exemplificação da medição da lâmina d'água no reservatório.	71
Figura 14 -	Precipitação anual total, Posto Experimental-IPA, de 1960 a 2023.....	79
Figura 15 -	Gráfico boxplot da precipitação total mensal e anual, Caruaru-IPA, de 1960 a 2023.....	80
Figura 16 -	Temperatura mensal média, Posto Caruaru, de 2013 a 2023.	81
Figura 17 -	Pressão atmosférica mensal média, Posto Caruaru, de 2013 a 2023.....	82
Figura 18 -	Umidade relativa do ar mensal média, Posto Caruaru, entre os anos de 2010 a 2023.....	83
Figura 19 -	Velocidade do vento mensal média, Posto Caruaru, entre os anos de 2010 a 2023.....	85
Figura 20 -	Temperatura do ponto de orvalho mensal média, Posto Caruaru, entre os anos de 2010 a 2023.....	86

Figura 21 -	Radiação global mensal média, Posto Caruaru, entre o período de 2010 a 2023.....	87
Figura 22 -	Evaporação quinzenal (mm) nos reservatórios, jul/2024 a ago/2025.....	88
Figura 23 -	Evaporação acumulada (mm) nos reservatórios, jul/2024 a ago/2025.....	89
Figura 24 -	Análise de cor (uH).....	92
Figura 25 -	Análise de turbidez (NTU).....	93
Figura 26 -	Análise de pH.....	94
Figura 27 -	Análise de condutividade elétrica (uS/cm).....	95
Figura 28 -	Análise de oxigênio dissolvido (mg/L).....	96
Figura 29 -	Análise de sólidos totais dissolvidos (mg/L).....	97
Figura 30 -	Principais aspectos visuais dos reservatórios em estudo.....	98
Figura 31 -	Análise comparativa dos métodos teóricos para estimativas da evaporação.....	99
Figura 32 -	Taxas acumuladas da evaporação teórica e medida em campo.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Modelos de tanques evaporimétricos.....	36
Tabela 2 -	Estudo da arte referentes aos métodos biológicos para redução da evaporação.....	42
Tabela 3 -	Estudo da arte sobre os diferentes tipos de monocamadas químicas para redução da evaporação.....	47
Tabela 4 -	Estudo da arte acerca dos variados métodos físicos para redução da evaporação.....	55
Tabela 5 -	Síntese da aquisição de dados meteorológicos.....	66
Tabela 6 -	Evaporação total e eficácia na redução da evaporação, nas diferentes coberturas.....	89
Tabela 7 -	Evaporação quinzenal média e desvio padrão da evaporação dos reservatórios.....	91
Tabela 8 -	Análises de coliformes termotolerantes nos distintos reservatórios.....	98
Tabela 9 -	Resultados da evaporação total coletada em campo e as teóricas.....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Suprassumo do delineamento dos métodos estimativos indiretos da evaporação.....	31
Quadro 2 -	Metodologias e equações para estimativas da evaporação em pesquisas.....	34
Quadro 3 -	Determinações dos parâmetros de qualidade da água, conforme a Resolução nº 357/2005.....	60
Quadro 4 -	Procedimentos laboratoriais para a determinação da qualidade da água.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPA	Instituto Agrônomo de Pernambuco
LEA	Laboratório de Engenharia Ambiental
OD	Oxigênio Dissolvido
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	OBJETIVOS.....	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
3.1	EVAPORAÇÃO.....	19
3.2	FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO DA EVAPORAÇÃO.....	20
3.2.1	Radiação solar.....	20
3.2.2	Temperatura do ar.....	21
3.2.3	Umidade relativa do ar.....	21
3.2.4	Vento.....	22
3.2.5	Pressão atmosférica.....	23
3.2.6	Área da superfície evaporante.....	23
3.3	EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS.....	24
3.4	EVAPORAÇÃO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CORPOS HÍDRICOS.....	25
3.5	EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	27
3.6	MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO.....	30
3.7	MEDIDAS DIRETAS DA EVAPORAÇÃO.....	35
3.8	TÉCNICAS DE REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO.....	38
3.8.1	Métodos biológicos.....	39
3.8.2	Métodos químicos.....	44
3.8.3	Métodos físicos.....	50
3.9	PADRÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA EM CORPOS HÍDRICOS.....	59
4	METODOLOGIA.....	61
4.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	61
4.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	61
4.2.1	Seleção da área de estudo.....	63

4.2.2	Análise do comportamento climatológico.....	65
4.2.3	Mensuração da evaporação.....	66
4.2.3.1	Evaporação em experimento de campo.....	66
4.2.3.1.1	<i>Testes com coberturas físicas.....</i>	<i>69</i>
4.2.3.1.2	<i>Medição da evaporação dos reservatórios.....</i>	<i>71</i>
4.2.3.1.3	<i>Avaliação da qualidade da água.....</i>	<i>72</i>
4.2.3.2	Evaporação teórica.....	73
4.2.3.2.1	<i>Método de Thornthwaite (1948).....</i>	<i>74</i>
4.2.3.2.2	<i>Método de Kohler et al. (1955).....</i>	<i>75</i>
4.2.3.2.3	<i>Método de Linacre (1993).....</i>	<i>76</i>
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
5.1	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO CLIMATOLÓGICO.....	78
5.1.1	Precipitação mensal e anual total.....	78
5.1.2	Temperatura mensal média.....	81
5.1.3	Pressão atmosférica mensal média.....	82
5.1.4	Umidade relativa do ar mensal média.....	83
5.1.5	Velocidade do vento média.....	84
5.1.6	Temperatura do ponto de orvalho média.....	85
5.1.7	Radiação global média	86
5.2	MENSURAÇÃO DA EVAPORAÇÃO.....	87
5.2.1	Evaporação em experimento de campo.....	87
5.2.1.1	Testes com coberturas físicas.....	87
5.2.1.2	Análise da qualidade da água.....	92
5.2.2	Modelagem da evaporação.....	99
6	CONCLUSÕES.....	103
	REFERÊNCIAS.....	105

1 INTRODUÇÃO

A evaporação constitui-se como um dos principais processos que estão intimamente ligados ao balanço hídrico e energético em reservatórios de água para usos múltiplos, sendo responsável por transferir grandes quantidades de água e energia, cujo último faz-se por meio do calor latente, para a atmosfera (Feitosa, 2020).

Nos reservatórios, o processo da evaporação refere-se a uma perda significativa do volume de água, onde impactam substancialmente em sua disponibilidade e estabilidade ao decorrer do tempo; afetando assim, seu suprimento das demandas. Tal situação é agravada em regiões que apresentam elevada escassez de tais recursos, cujo vivenciam conflitos com suas pluralidades de uso, sendo passível citar pontos como abastecimento, dessedentação de animais, irrigação, indústria e hidroelétricas (Zhang *et al.*, 2017).

Assim, o conhecimento dos processos de estimativa da evaporação é primordial para a gestão desses reservatórios, principalmente no que tange as questões relacionadas a quantidade de água, englobando desde sua concepção, dimensionamento, operação e utilização destes, até as políticas de manejo dos recursos hídricos, de modo a garantir o perfeito funcionamento e atendimento das solicitações hídricas. Outrossim, tem-se também o impacto na qualidade da água, assim como na avaliação dos impactos climáticos para com a sociedade (Padrón *et al.*, 2020).

Diante disso, os reservatórios são utilizados para o armazenamento de grandes volumes de água, essencialmente em regiões com climas quentes e chuvas irregulares ao longo do ano, como é o caso do Semiárido brasileiro, constituindo assim, um recurso elementar para o desenvolvimento econômico e social desta região (Silva, 2019).

A região Semiárida do Nordeste Brasileiro se configura com crises hídricas constantes, resultando em um balanço hídrico deficitário, onde os valores de evaporação superam seu índice pluviométrico anual. Assim, salienta-se que o elevado potencial de evaporação é resultante de suas altas temperaturas. Ademais, segundo Reis *et al.* (2025), as precipitações irregulares e concentradas e os solos rasos corroboram para tal escassez.

Além disso, possui uma considerável vulnerabilidade hídrica às mudanças climáticas, sendo resultantes de fatores interdependentes e interligados entre si, como desertificação e degradação do solo, intercorrências chuvosas, baixa capacidade de armazenamento de água (CAD), bem como fatores socioeconômicos e ambientais (Moraes; Wanderley; Delgado, 2024).

À vista disso, grande parte da água armazenada nos reservatórios do Semiárido brasileiro são evaporadas ao longo do tempo, visto que características meteorológicas como incidências de radiação solar e maiores temperaturas, velocidade do vento e menores umidades relativas são encontradas nessa região e são variáveis incidentes para a ocorrência desse processo (Barros *et al.*, 2024).

Assim sendo, tal assunto deve ser minuciosamente estudado, em razão de aperfeiçoar o emprego das águas reservadas. Destarte, o gerenciamento adequado dos recursos hídricos auxilia no âmbito econômico e suprimento das carências humanas e animais sem que haja deficiências ou perdas prescindíveis (Santos, 2019).

Entretanto, no Brasil, pesquisas e estudos experimentais concernentes à evaporação em reservatórios são escassas e limitadas, em razão das incertezas no que diz respeito aos cálculos de balanço hídrico e da carência de dados e estações climatológicas (Estácio *et al.*, 2024). No entanto, tais estimativas podem ser realizadas através de métodos validados direta ou indiretamente.

Em termos práticos, as medidas diretas da evaporação em reservatórios vêm sendo efetuadas através de aferições no próprio âmbito de estudo, com o subsídio de instrumentos meteorológicos, como evaporímetros, e as estimativas indiretas são pautadas em equações baseadas em dados climatológicos, onde em muitos casos, se reduzem a meros valores de referência e podem não corresponder à situação real da taxa de evaporação no reservatório (Rodrigues, 2009; Vieira *et al.*, 2016).

Perante o mencionado, destaca-se a relevância de técnicas que visem a supressão de perdas evaporativas em reservatórios de pequeno, médio e grande porte nas regiões semiáridas (Oliveira *et al.*, 2019). Assim, estudos científicos como o de Nascimento *et al.* (2023) que utilizaram telas de polietileno, garrafas PET e embalagens do tipo Tetrapak na mitigação da evaporação em pequenos reservatórios e Shalaby, Nassar e Abdallah (2024) que fez emprego de um sistema antievaporante com garrafas PET e discos de isopor, exibem a adoção e importância de algumas técnicas baseadas em métodos com barreiras físicas, químicas e biológicas na redução do processo evaporativo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a redução da evaporação em reservatórios rurais do Semiárido nordestino brasileiro, por meio de coberturas utilizadas como barreira física, assim como o estudo da qualidade de água desses reservatórios.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A) Verificar fatores climatológicos que incidem na evaporação, sendo os dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
- B) Avaliar a redução da evaporação em reservatórios de água mediante experimento em campo com testes utilizando diferentes coberturas;
- C) Analisar o padrão de qualidade de água nos reservatórios com as distintas coberturas projetadas;
- D) Correlacionar dados das medições da evaporação *in situ* com equações teóricas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 EVAPORAÇÃO

Define-se evaporação como o processo em que as moléculas da água passam do estado líquido para o estado de vapor do ar. Tal fato ocorre devido aos processos físicos que se sucedem na superfície líquida e na atmosfera, essencialmente próximos a esta. Desse modo, quando a quantidade de moléculas que saem da superfície é superior às que retornam para essa, ocorre a evaporação (Mesquita; Lima Neto, 2020).

Ademais, Collischonn e Tassi (2011), conceituam evaporação como um episódio de natureza física, onde as moléculas de água, sejam na superfície líquida ou na umidade de solo, obtém energia superficial (decorrente da radiação solar ou outros fatores climáticos), transitando do estado líquido para o gasoso.

Rodrigues (2017) retrata a evaporação como sendo o processo de transição da água do estado líquido para o vapor, sendo a qualquer temperatura inferior ao ponto de ebulição. Os autores ainda abordam que esta transição acontece, essencialmente, na superfície terrestre, mediante oceanos, mares interiores, lagos, rios e solos.

Silva (2015) ainda aborda que o processo evaporativo é determinado por duas maneiras, sendo a evaporação potencial e real. A evaporação potencial delinea-se como a quantidade de água transferida para a atmosfera quando não há limitação de água superficial (Rodrigues, 2017). Já a evaporação em experimento de campo é guiada pelas condições reais de disponibilidade em que se encontram os corpos hídricos (Silva, 2015).

Nesse contexto, ressalta-se que a evaporação é um dos principais componentes do ciclo hidrológico, visto que a água se perpetua da atmosfera até a superfície terrestre por meio da precipitação e regressa à atmosfera pela evaporação (Feitosa, 2020).

Em termos gerais, pode-se mencionar que a evaporação é um fator essencial para o balanço hídrico, pois o fluxo de calor latente é capaz de transferir consideráveis quantidades de água e energia para a atmosfera. Nos reservatórios, por exemplo, esse procedimento acarretaria perdas de água em seu funcionalismo primário, visto que configuram um volume significativo que estaria disponível para o suprimento de demandas (Feitosa, 2020).

Além da importância desse processo no ciclo hidrológico e balanço hídrico, enfatiza-se também seu desempenho nos cálculos das estimativas de operação em reservatórios de abastecimento, geração de energia elétrica e modelagens numéricas referentes à quantidade de água fundamentais para a irrigação agrícola (Tucci, 2004). Além disso, sabe-se que temperatura, pressão atmosférica e de vapor, umidade relativa, radiação solar e natureza da superfície são fatores que influenciam no processo evaporativo (Paiva; Paiva, 2001).

Com base nesse viés, o conhecimento dos valores da evaporação se integra na análise e planejamento dos corpos hídricos, principalmente nas regiões Semiáridas, sendo possível subsidiar investigações e aferições de perdas e ganhos de água, bem como auxiliar no manejo de tais recursos, buscando sempre um melhor aproveitamento das águas reservadas (Rodrigues, 2023).

3.2 FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO DA EVAPORAÇÃO

Para Brutsaert (2023), a quantidade de água evaporada está estritamente relacionada com fatores meteorológicos, como radiação solar incidente, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar, pressão atmosférica. Subsidiariamente, cita também os parâmetros de qualidade da água e características físicas do reservatório. No entanto, sabe-se que o efeito de cada fator é individual e variável, dificultando assim, as pesquisas de estimativas de perdas em grandes corpos de água.

Pereira, Villa Nova e Sediyaama (2013) acrescentam que apesar das condições atmosféricas serem os principais fatores para se determinar a evaporação de uma superfície livre, essa ainda decorre de uma série de outros fatores, tais como: geometria da superfície, grau de pureza e profundidade do corpo de água, condições de armazenamento de calor e estratificação térmica da água. Para tanto, coeficientes empíricos são empregados em ajustes finais.

3.2.1 Radiação solar

A radiação solar exerce o papel de força motriz no processo da evaporação, visto que consente a energia básica necessária para a ocorrência da mudança de estado físico da matéria. Assim, esta energia incidente está regularmente concedendo

uma parte de sua massa através de ondas irradiantes de energia eletromagnética e partículas de alto poder energético para o âmbito (Barry; Chorley, 2013).

Nas regiões áridas e semiáridas, o transporte de calor sensível originárias destas áreas secas são condicionantes principais durante o processo evaporativo, onde podem dispor de uma energia maior do que àquela disponível na lâmina d'água proveniente da radiação solar. Então, esta relaciona-se com outros fatores intervenientes, como a ação do vento e umidade relativa do ar (Dantas, 2017).

Acrescenta-se ainda que a radiação solar líquida é fundamental para as estimativas da evaporação. Esta é designada como a radiação de ondas curtas absorvidas pela superfície menos a radiação de ondas longas emitidas pela superfície (Collischonn; Dornelles, 2015).

3.2.2 Temperatura do ar

A temperatura do ar está intimamente relacionada com a radiação solar, assim como atua em conjunto com a umidade relativa do ar no processo evaporativo. Dessa maneira, a temperatura é resultante da energia solar e, se analisarmos, com o aumento desta, espera-se um maior valor da pressão de saturação de vapor e, por consequência, uma menor umidade relativa do ar (Abreu; Lyra, 2013).

Além disso, Ward e Trimble (2004) mencionam que quanto maior é a temperatura do ar, mais elevada é a tensão de vapor de saturação e, consequentemente, mais vapor de água a contém. Ou seja, o aumento da temperatura do ar faz com que se aumente a tensão de saturação de vapor à superfície, diminuindo assim a umidade relativa do ar, sendo um efeito indireto (Varejão; Silva, 2006).

Outrossim, Dantas (2017) afirma que por ação da variação constante da intensidade da radiação solar perante à superfície, esta ocasiona também uma alteração da temperatura no entorno, transvertendo a energia cinética das moléculas.

3.2.3 Umidade relativa do ar

Segundo Varejão-Silva (2006), a umidade relativa do ar é expressa pela razão entre a quantidade de vapor de água e a quantidade de volume de ar, caso fosse saturado de umidade, onde sua unidade de medida é em percentual, conforme Equação 1.

$$UR = \frac{e_a}{e_s} \cdot 100 \quad (1)$$

Sendo, UR é umidade relativa (%), e_a corresponde à pressão de vapor atual (kPa) e e_s é a pressão de vapor na saturação (kPa).

Dantas (2017) exemplifica que um comportamento característico da umidade é ser baixa ao meio-dia e alta no período noturno. Isso se explica em decorrência da temperatura, onde possui elevação durante o dia, diminuindo a umidade relativa do ar e baixa durante a noite, ocasionando em maiores taxas de umidade. Ou seja, a umidade relativa do ar é comumente relacionada com a temperatura do ar.

Tratando acerca da condição de ocorrência no processo evaporativo, o número de moléculas que se vão do líquido advém da sua tensão de vapor, ao passo que tal número que retorna ao líquido depende da tensão de vapor do ar. Em vista disso, quanto maior for o déficit de saturação, maior é o número de moléculas que são liberadas e, portanto, maior a veemência da evaporação. Ressalta-se que quanto mais seco for o entorno, maior será a sua capacidade de absorção de água (Rodrigues, 2009).

3.2.4 Vento

No processo evaporativo, o vento é um fator primordial para o aumento da velocidade da evaporação, pois realizam o arraste do ar para próximo da superfície evaporante.

Com efeito, a evaporação concebe que a umidade do entorno à superfície aumente até que alcance a saturação do ar. Com isso, o vento desloca tal camada, de modo a criar condições que venham a beneficiar a ocorrência de gradientes de tensão vapor e, dessa forma, aumentar a intensidade da superfície evaporante. Logo, ao cooperar com a eliminação do ar saturado, o vento atua para que este fenômeno continue acontecendo (Dantas, 2017).

De natureza igual, quanto mais intenso for o fluxo de ar, maior será o potencial evaporativo do âmbito. Assim, a junção dos fatores climáticos, sendo interdependentes ligados entre si, colaboram para a intensidade da evaporação (Dantas, 2017). Vale ressaltar que o efeito do vento em superfícies maiores pode ser menos expressivo do que em áreas menores (Ward; Trimble, 2004). Portanto, quanto

mais próximo da superfície em estudo se coletam os dados, mais próximo do valor real será a taxa de evaporação.

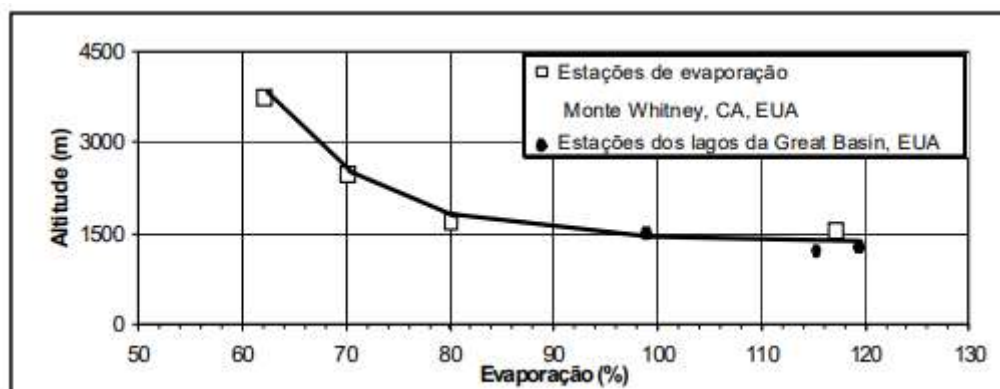
Dessa forma, os fatores fisiográficos de um local evaporante podem determinar o modo e a intensidade como o vento se traduz na evaporação. Assim, a evaporação possui predisposição de diminuir no interior da superfície em direção dos ventos dominantes até onde o balanço superficial de energia se transforma em predominante (Rodrigues, 2009).

3.2.5 Pressão atmosférica

Similar aos demais fatores, quando se tem a diminuição da pressão atmosférica, a tendência é que se tenha um aumento da evaporação, em conformidade com explicitações de Villela e Mattos (1975).

Pode-se citar também a relação da pressão atmosférica com a altitude, onde pôde ser exemplificada em estudos no monte Whitney, na Califórnia e outro na parte oeste de Great Basin, nos Estados Unidos realizado por Llamas (1993), conforme observado na Figura 1. Tal relação é expressa em termos percentuais do valor de referência aos 1500 m e a altitude e vê-se que quanto menor a altitude, menores são as taxas evaporativas, resultantes de maiores pressões atmosféricas.

Figura 1 - Relação entre a evaporação e altitude



Fonte: Llamas (1993).

3.2.6 Área da superfície evaporante

O processo evaporante de uma superfície livre é distinto ao que ocorre sobre o solo. Quando o solo se encontra saturado, sob os mesmos fatores climáticos, não

existem problemas em suas estimativas das taxas evaporativas de um corpo hídrico fronteiro ao local, tendo como base os dados acerca da superfície do solo, como uma bacia experimental. Entretanto, quando a água contida neste solo começa a secar, a intensidade com que ocorre a evaporação começa a ter uma redução (Dantas, 2017).

Bezerra (2014) aborda ainda que o processo evaporativo será mais rápido para uma maior área de superfície evaporante, distinguindo-se do que ocorre com o vento. Nesse contexto, este fato ocorre porque em uma grande lâmina de água, a quantidade de moléculas em contato com a atmosfera é maior, sendo desprendidas com facilidade.

Nas regiões áridas e semiáridas, a consideração e o estudo da superfície evaporante têm ainda mais relevância, visto que possuem grandes perdas no processo da evaporação. Assim sendo, é fundamental o conhecimento de tais perdas sobre a própria superfície líquida.

3.3 EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS

Os reservatórios possuem como principais funções garantir o fornecimento de água em quantidade suficiente para a população e agropecuária, assim como reduzir inundações e na geração de energia elétrica, sendo um regulador crítico para regiões áridas e semiáridas, principalmente (Friedrich *et al.*, 2018).

Nesse contexto, o fenômeno da evaporação em reservatórios pode ocasionar impactos na disponibilidade e estabilidade temporal na reservação de água, bem como corroborar para a elevada escassez hídrica. Portanto, o entendimento das estimativas desse fenômeno é fundamental para o manejo de atividades oriundas à agricultura, assuntos hidrológicos e demandas de reservatórios (Jawad; Tanyimboh, 2017).

Assim, conhecer as taxas de evaporação nos reservatórios são primordiais para o manejo, planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Porém, tal idealização é extremamente complicada, não possuindo uma vasta pesquisa neste campo. Sabendo-se disto, como esta variável é difícil de ser medida diretamente, têm-se alguns modelos de estimativas indiretos, como é caso de métodos de balanço hídrico e energético, aerodinâmicos, modelos combinados, empíricos e correspondência de e vórtices turbulentos (Brutsaert, 2023).

Tradicionalmente, utilizam-se em tais métodos dados mensurados regularmente, sem levar em consideração a variabilidade espacial e temporal das taxas evaporativas. Esta conjuntura se espelha em estimativas com confiabilidade limitada quando se referem a grandes corpos hídricos. Aliás, os altos custos e logísticas envolvidas também inviabilizam o controle periódico e com demasiada frequência temporal dos dados meteorológicos e hidrológicos envolvidos no processo da evaporação (Stech *et al.*, 2006).

3.4 EVAPORAÇÃO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CORPOS HÍDRICOS

Ultimamente, a sociedade, o meio científico e a mídia têm abordado discussões acerca das mudanças climáticas e suas implicações para com o meio ambiente. Tal preocupação pode ser justificada dado que estas mudanças vêm ocorrendo frequentemente e, com isso, traz consequências como eventos críticos, maiores ocorrências de doenças, alterações em corpos hídricos, perdas na biodiversidade, entre outras (Moreira *et al.*, 2022). Diante disso, conhecer sobre os efeitos frequentes dos eventos climáticos ante aos recursos hídricos, é fundamental para uma gestão integrada e eficiente desses.

Arelado a isso, sabe-se que superfícies úmidas como lagos, rios e reservatórios são eminentemente sensíveis às mudanças climáticas, em virtude de serem geridas por condições atmosféricas (McMahon; Finlayson; Peel, 2016). Nesse contexto, deverá ser dada atenção especial para esses.

Comprovando tal afirmativa, tem-se o estudo de Cysne, Studart e Luna (2012), onde observaram que rios com alto coeficiente de variação dos deflúvios anuais, casos característicos de regiões semiáridas, são mais sensíveis às alterações que possam vir a ocorrer na precipitação e/ou evaporação.

As implicações das mudanças climáticas nos reservatórios estão estritamente relacionadas com a radiação solar e umidade do ar (Roderick; Farquhar, 2002; Linacre, 2004; Wild *et al.*, 2005). Além do mais, abordagens como o de Callendar (1938), Willett (1950) e Mitchell (1961), consideraram a temperatura como o fator principal de alteração dessas mudanças a nível mundial. Investigações posteriores aos estudos supracitados ainda analisaram outros parâmetros para as estimativas das mudanças climáticas, como é o caso da irradiação (Ohmura, 1989), velocidade do

vento e umidade do ar (Flohn *et al.*, 1990), assim como a precipitação (Karl *et al.*, 1996).

Em contexto nacional, muitos estudos estão voltados para a aplicação de modelos climáticos com o intuito de se analisar o impacto dessas mudanças nos ciclos hidrológicos e nas dinâmicas hídricas (Oliveira *et al.*, 2017; Cruz *et al.*, 2017; Calado *et al.*, 2018; De Jong *et al.*, 2018; Gondim *et al.*, 2018). À vista disso, estes indicam o aumento da temperatura do ar e redução das precipitações, principalmente em regiões áridas e semiáridas com longos períodos de estiagem e o aumento da evaporação.

Ainda no que tange a evaporação ante às mudanças climáticas em reservatórios, estudos abordam principalmente os potenciais impactos na operação de grandes reservatórios, como é o caso de Hanak e Lund (2012) e Zhou e Guo (2013). Entretanto, pesquisas em pequenos reservatórios ainda são escassas (Williamson *et al.*, 2009; Krol *et al.*, 2011).

Tian *et al.* (2021) fizeram uma análise representativa das perdas evaporativas em 916 grandes reservatórios na China, entre os anos de 1985 a 2018. Os resultados apontaram que as perdas totais aumentaram substancialmente neste período em decorrência dos acréscimos constantes na taxa de evaporação e na área de superfície do reservatório. A título de exemplo, no ano de 2018, as perdas totais por evaporação presentes no reservatório foram de $140,2 \times 10^8 \text{ m}^3$, sendo este número equivalente a aproximadamente 1,1 vezes a quantidade de água transferida na rota média do Projeto de Transferência de Água Sul-Norte, no país.

Trevisan, Souza e Mediondo (2021) estudaram as alterações climáticas considerando seus impactos para grandes reservatórios na Região Metropolitana de São Paulo e previu que há a probabilidade do aumento da taxa média da evaporação em períodos futuros, tendo um incremento de 10% se comparado com as médias analisadas nos últimos 20 anos, resultando assim, em uma maior perda de água nesses reservatórios. Uma adição mais acentuada na evaporação máxima nestes corpos hídricos pode chegar até 35% a mais do que em anos anteriores, reafirmando que estas alterações no clima podem afetar negativamente a segurança hídrica destes locais.

Em contrapartida, Althoff, Rodrigues e Silva (2020) estudaram os impactos das mudanças no clima em pequenos reservatórios no cerrado brasileiro. Nesta pesquisa foram utilizados modelos climáticos regionais como o Eta-HadGEM2-ES e Eta-

MIROC5. Dessa maneira, obteve-se como resultados que a água armazenada em tais corpos irá diminuir substancialmente no futuro, assim como aumentos na evaporação de 7,3% a 18,4%, sob rotas de concentração de 4.5 a 8.5, respectivamente.

Ainda utilizando os métodos supraditos, Rodrigues (2023) constatou que para cenários do modelo Eta-HadGEM2-ES houve um acréscimo na taxa de evaporação na estação seca de 2% e 2% para rotas de concentração representativas de 4.5 e 8.5, respectivamente. Diferenciando-se do anterior, o modelo Eta-MIROC5 mostrou uma diminuição na taxa no período seco de 2% em ambas as rotas.

Detendo-se de Modelos de Circulação Geral (GCMs), Gorguner e Kavvas (2020) simularam as taxas de evaporação em reservatórios na região do Mediterrâneo para os anos de 2017 a 2100. Os estudos apontaram, em todas as oito projeções de alterações modeladas, tendências de aditamentos estatísticos significativos para as taxas evaporativas ao longo dos anos.

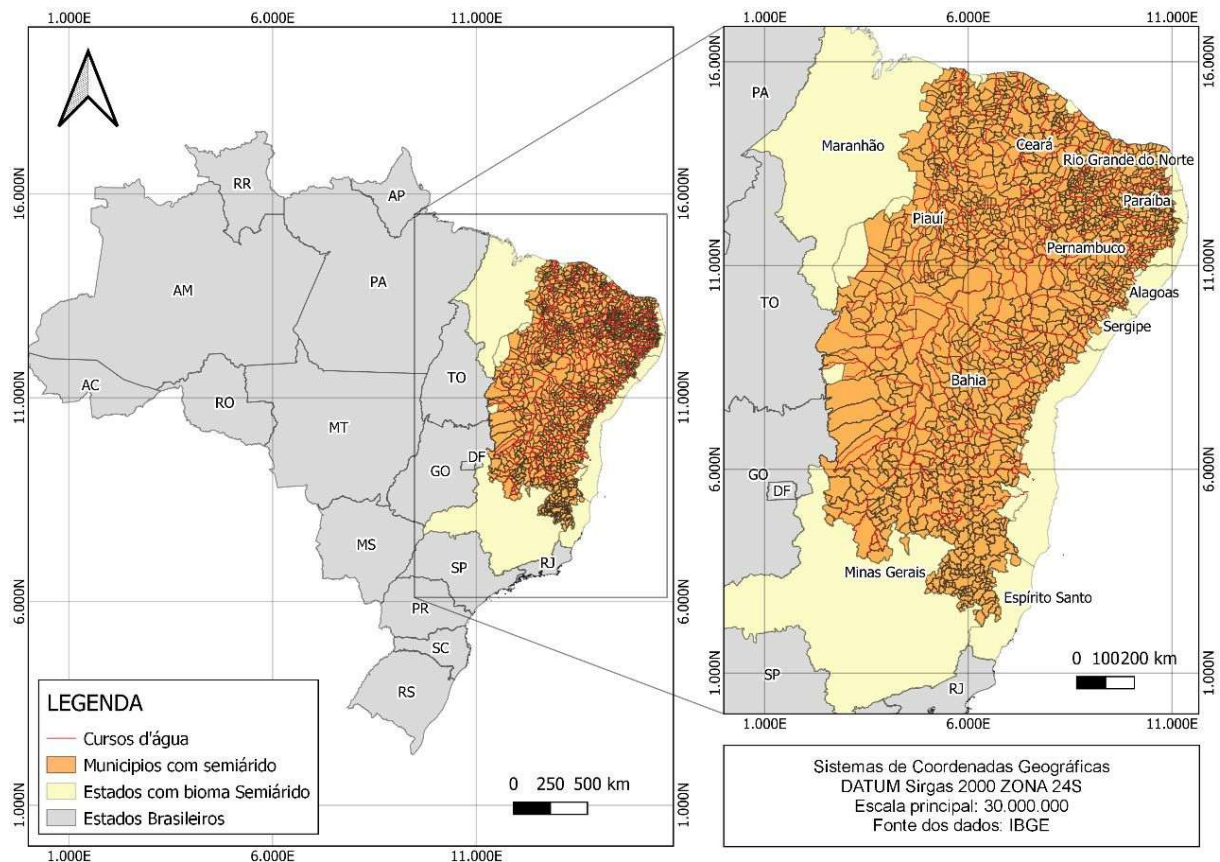
Isto posto, torna-se essencial estudos que visem quantificar os impactos provenientes das mudanças climáticas para o sistema hídrico com base no fenômeno da evaporação, principalmente em reservatórios ou barragens, visto que estes são primordiais para o desenvolvimento econômico de uma determinada região.

3.5 EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O Semiárido brasileiro possui uma extensão territorial de mais 1,1 milhão de km², abrangendo 1.477 municípios, concernentes a estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). Na Figura 2 está disposta a delimitação territorial da região do semiárido brasileiro.

O delineamento do semiárido, segundo elucidações do IBGE (2022), segue especificações técnicas definidas por resoluções do Conselho Deliberativo da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), através da prepositiva de nº 115, de 06 de dezembro de 2021. Com base nesse viés, integram regiões com determinantes climáticas de semiaridez, sob aspectos de balanço hídrico negativo e baixa pluviosidade (média anual igual ou inferior a 800 mm), índice de aridez de Thornthwaite (igual ou inferior a 0,50) e com o percentual diário de déficit hídrico (igual ou superior a 60%, levando em conta todos os dias do ano) (SUDENE, 2021).

Figura 2 - Delimitação do semiárido brasileiro



Fonte: A Autora, adaptado de IBGE (2022).

A região destaca-se por baixos índices pluviométricos, irregularidades em seu regime de chuvas, sendo este congruente à grande intensidade luminosa que a acomete, fomentando assim, elevadas temperaturas ao longo de todo o ano. É válido destacar também as baixas amplitudes térmicas, intensas insolações, altas taxas de evaporação e evapotranspiração, que em muitas vezes superam os índices pluviométricos totais, traduzindo em taxas negativas de balanço hídrico (ANA, 2020).

Moura *et al.* (2019) pontuam que a demasiada variabilidade interanual no regime pluviométrico da região ocorre devido às transições nos parâmetros de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, acometendo desse modo a posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o oceano Atlântico, tais quais às anomalias identificadas no Oceano Pacífico, cujo se dão em fenômenos como La Niña/El Niño.

Segundo o mesmo autor, o Semiárido apresenta temperaturas médias anuais entre 23°C a 27°C, com umidade relativa do ar à volta de 50%, insolações médias de

2.800 h.ano⁻¹, precipitações médias inferiores a 800 mm ao ano e taxas evaporativas de 2.000 mm. ano⁻¹ (Moura *et al.*, 2019).

No que tange as redes hidrográficas, a sua eficiência hidrológica em corpos hídricos no entorno é aproximadamente um quinto do volume reservado, sendo este oriundo por suas elevadas taxas evaporativas, o que potencializam a salinização dos recursos hídricos, principalmente em pequenos açudes (Bezerra, 2002).

Diante disso, as intensas variabilidades climáticas associadas as elevadas taxas evaporativas cooperam significativamente para as crises hídricas constantes em tal região. À vista disso, afetam circunstancialmente a qualidade e a quantidade de água disponível para suprimento de demandas da população, afetando o abastecimento humano, dessedentação de animais, irrigação e atividades agrícolas, dentre outras.

A população residente no semiárido brasileiro enfrenta longos períodos de secas prolongadas, necessitando obrigatoriamente de fontes de armazenamento das águas, substancialmente das escassas provenientes das chuvas. Com isso, a construção de infraestruturas físicas, como açudes, barragens e reservatórios artificiais, torna-se uma fonte mitigadora para enfrentar a escassez, provindas da alta variabilidade temporal do regime pluvial (Carvalho Junior; Novais; Oliveira, 2022).

Diante disso, a açudagem se constitui como uma das principais alternativas políticas de armazenamento de água e mitigação dos efeitos ocasionados pelo fenômeno da seca. Refere-se a um dos mais antigos sistemas de engenharia implementados para o suprimento das necessidades básicas humanas e dessedentação de animais, bem como para o desenvolvimento de atividades econômicas e núcleos de concentração social (Pereira Neto, 2017).

Mediante Cirilo (2008), os açudes podem ser classificados em duas categorias principais: os de médio e grande porte, que possuem capacidade de acumulação de bilhões de metros cúbicos e os de pequeno porte, também nomeados como barreiros e amplamente recorrentes no território nordestino, com capacidades que podem a centenas de milhares de metros cúbicos.

Os barreiros são pequenos reservatórios com capacidade em cerca de 3.000 m³, cujos são designados para o armazenamento de águas pluviais. Nestes, sua utilização tem como fins viabilizar a irrigação em períodos críticos de escassez, assim como para o fornecimento de água para a criação animal em áreas de pastagens (BNB, 2021). Geralmente, são rasos, e não apresentam cobertura, onde são expostos

às condições climáticas, promovendo assim altas taxas evaporativas e condições desfavoráveis de qualidade da água (Lima; Silva; Sampaio, 2011).

No âmbito dos açudes de pequeno (barreiros) e médio porte, estima-se que que em um açude com 100.000 m³ de água armazenada, por exemplo, este perde até 15.000 m³ de sua lâmina de água por evaporação no início de seu período de estiagem, fato este que compromete a funcionalidade do açude no que se refere à disponibilidade de água em épocas de seca (Dantas, 2020).

De modo geral, conhecer o mecanismo de recarga e retirada de água e o processo evaporativo é fundamental para o subsídio da gestão. Perante o exposto, pesquisadores como Marinho *et al.* (2015) vêm desenvolvendo técnicas para mitigar o efeito da evaporação nos reservatórios em regiões áridas e semiáridas. No entanto, salienta-se que suas aferições com precisão são um grande empecilho para estas pesquisas, detendo-se da utilização de modelos hidrológicos para auxiliar-vos (Rodrigues, 2020).

Além das medições precisas, é passível também se atentar na utilização de métodos que se enquadrem ao contexto da pesquisa e da superfície utilizada, para que assim, não haja submedições. É válido ressaltar ainda que o processo evaporativo não irá se extinguir por completo, mas seu entendimento e gerenciamento podem levar a mitigação da menor taxa possível (Dantas, 2017).

3.6 MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO

As estimativas da evaporação são um procedimento técnico amplamente difundido e pleiteado entre pesquisadores, substancialmente aos que trabalham em áreas correlatas à prospecção e reservação de recursos hídricos. Assim, o conhecimento dessas perdas em corpos hídricos contribui para a gestão e facilitam o entendimento da dinâmica hidroclimática do território, principalmente no que tange ao semiárido (Rodrigues, 2023).

Posto isto, os modelos que visam estimar a evaporação são fundamentados em métodos como transferência de calor e massa, balanço hídrico e energético e os combinados, onde unem formulações empíricas e semi-empíricas, conforme abordagem de Leão *et al.* (2013).

Perante o mencionado, o Quadro 1 retrata tais métodos indiretos como suas devidas conceituações.

Quadro 1 - Suprassumo do delineamento dos métodos estimativos indiretos da evaporação

Métodos estimativos	Delineamento
Balanço de massa	Método fundamentado no preceito da conservação de massa, onde realiza um balanço de massa em um determinado corpo hídrico, abordando o volume de água evaporado em um certo período de tempo, ou seja, a diferença de entradas e saídas de água, sendo essa a função de todas as outras variáveis no balanço.
Balanço energético	Método baseado no princípio da conservação de energia, cujo equacionam as interações dos fluxos energéticos, como radiação solar, condução e convecção, no processo evaporativo. A equação da conservação de energia leva em consideração a superfície evaporante como parâmetro.
Aerodinâmico	Método embasado em que a transferência turbulenta de massa, calor e montantes de movimentos são análogos à difusão molecular. Isto é, o fenômeno da evaporação é correspondente às diferenças de tensão vapor rentes à superfície, sendo estritamente dependentes da velocidade do vento.
Térmico	Método firmado no seccionamento energético entre o fluxo de calor sensível e o latente, tendo em vista que estes são proporcionais aos gradientes verticais de temperatura e umidade. Ademais, considera-se que a taxa de transporte é constante.
Combinado	Método apoiado na junção de modelos teóricos de balanço energético e aerodinâmicos, corroborando para um agrupamento duas equações tendo a evaporação e temperaturas como incógnitas.

Fonte: A Autora, adaptado de Rodrigues (2009).

De acordo com Oliveira (2009), os métodos referentes a balanços de energia, aerodinâmicos e combinados são bastante utilizados, à qual muitos deles são originários de um método ou equação, servindo de base, como é o caso das equações de Dalton ou Penman. Por outro lado, as formulações empíricas e semi-empíricas são as mais comuns quando se trata de estabelecer os coeficientes para os modelos teóricos e na parametrização dos modelos evaporimétricos.

Tais aplicações das metodologias se tornam complexas em virtude da carência de dados meteorológicos em muitos locais de aplicação, assim como ausência do monitoramento da água na superfície do corpo hídrico e de medições da temperatura da água em seu interior (Fontes, 2005).

Assim, a maior parte dos métodos estimam a evaporação através de variáveis como radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, vento e pressão atmosférica, sendo estes os métodos indiretos ou na utilização das medições em

tanques evaporímetros situados em estações meteorológicas, constituindo as medidas diretas da evaporação.

Adentrando nesse contexto, é perceptível que a primeira estimativa das taxas de evaporação fora realizada por Dalton, no ano de 1802, onde mesmo correlacionou a evaporação com a pressão vapor, ou seja, concebeu a lei que posteriormente seria parâmetro para o método de transferência de massa. É válido mencionar que a idealização de Dalton não inclui o fator energético inerente ao processo da evaporação (Fontes, 2005).

Na opinião de Dalton, a evaporação de qualquer líquido é diretamente proporcional à tensão de vapor do mesmo em detrimento da sua temperatura, reduzida da tensão parcial já presente na atmosfera, cujos outros fatores existentes no processo se mantêm sem nenhuma alteração (Dalton, 1802), conforme é expresso pela Equação 2.

$$E = C.(e_s - e_a) \quad (2)$$

No qual, E corresponde a velocidade da evaporação da lâmina de água, representada em altura por unidade de tempo, e_a como sendo a tensão vapor atual do ambiente, e_s a pressão de vapor na saturação à temperatura do corpo evaporante e C o coeficiente empírico dependente da pressão atmosférica e velocidade de vento do entorno.

Sucessivamente, Daubrée, no ano de 1847, estudou os impactos da radiação solar no processo da evaporação, afirmando que esta consome um terço da radiação solar que chega ao planeta Terra (McKie; Heathcote, 1935).

Posteriormente, Maury, em 1861, incluiu o conceito de balanço energético à evaporação, diferenciando-se do modelo elaborado por Dalton e trazendo diretrizes importantes para estes estudos até os dias atuais (Rodrigues, 2009).

Em 1874, Reynolds atualizou as equações já existentes no processo de transferência de calor, sendo um significativo passo para estudos evaporativos. Com isso, expôs que este fenômeno era resultante de fluxos turbulentos e que o gradiente vertical do vento sobre a superfície é uma das motivações da transferência de momento.

Seguindo a mesma linha de raciocínio de Dalton, Weilenmann, em 1877, considerou a evaporação como sendo uma expressão linear à velocidade do vento e também equivalente ao déficit de saturação do ar, já sendo um modelo mais atualizado

e incrementado que o anterior. A taxa evaporativa idealizada pelo autor é expressa em conformidade com a Equação 3.

$$E = (a + bu).(e_{a'} - e_a) \quad (3)$$

onde, a e b se referem a constantes empíricas alusivas à velocidade média do vento, $e_{a'}$ como a tensão de vapor saturado à temperatura média do ar e e_a a tensão vapor do ambiente.

Similarmente a Maury, Stefan e Boltzman, em 1879, estudaram o desempenho da radiação na evaporação, aprimorando para uma melhor versão da quantificação e estimava da evaporação.

No ano de 1892, Stelling fez uma atualização unindo as duas equações anteriores, de Dalton e Weilmann, retratada pela notação 4.

$$E = (a + bu).(e_s - e_a) \quad (4)$$

Destaca-se as equações que se utilizam das constantes atinentes à velocidade média do vento são as mais utilizadas nas pesquisas das taxas evaporativas.

Na década de 90, muitos estudos levaram em consideração os autores supracitados. O primeiro deles foi o Bowen, em 1926, correlacionando o fluxo de calor e vapor, adotando que os coeficientes de transportes entre os mesmos são similares (Villela; Mattos, 1975).

Em 1948, Penman fez a junção de modelos teóricos e empíricos. Este combina os efeitos do balanço energético, em menção a energia líquida existente da superfície e o aerodinâmico, levando em consideração a velocidade média do vento e o déficit de saturação do vapor (Penman, 1948).

No mesmo ano, diferente de Penman, Thornthwaite (1948) analisou simplifadamente e apenas a relação entre a pressão de vapor e a evaporação, sendo baseada no método aerodinâmico, seguindo os padrões supracitados. Tal método foi posteriormente atualizado por F. Paquill, no ano de 1950.

Em 1955, Kohler *et al.* (1955) efetuaram uma nova adaptação ao modelo de Penman, incrementando correções positivas e mais igualitárias ao coeficiente psicométrico, estritamente relacionados com a temperatura do ar e a da superfície, além da derivação do saldo da radiação na superfície (Pereira; Villa Nova; Sediya, 2013). Linacre (1977) também fez uma simplificação e atualização do método de Penman. Nesta, o autor citou que para se alcançar a taxa média evaporativa de um local, será necessário apenas os valores médios de suas respectivas temperaturas e coordenadas geográficas. Entretanto, o mesmo autor em 1993 fez um novo

incremento para tais estimativas, incluindo que variáveis como precipitação e velocidade de vento também precisam ser consideradas.

Por fim, corroborando com tais informações, fez-se o Quadro 2 com a elaboração das principais equações acerca dos métodos de alguns autores em suas pesquisas sobre as estimativas das taxas evaporativas.

Quadro 2 - Metodologias e equações para estimativas da evaporação em pesquisas

Metodologia	Referência original e/ou citada	Equação idealizada
Dalton	Dalton (1802)	$E_L = C. (e_s - e_a)$
Penman-Monteith-FAO56	Allen <i>et al.</i> (1998)	$E_L = \frac{0,408 s (R_N - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} U_2 \frac{(e_s - e_a)}{10}}{s + \gamma(1 + 0,34U_2)}$
Penman-Original	Penman (1948)	$E_L = 86,4 \frac{s}{s + \gamma} - \frac{R_N - G}{\lambda \rho} + \frac{\gamma}{s + \lambda} 0,26(0,5 + 0,54U_2) (e_s - e_a)$
Thornthwaite	Thornthwaite (1948)	$E_L = \frac{16}{30} \left(10 \frac{t_i}{I} \right)^a \frac{N}{12}$
Thornthwaite-Modificad	Camargo <i>et al.</i> (1999)	$E_L = \frac{16}{30} \left(10 \frac{0,36(3t_{\max} - t_{\min})}{I} \right)^a \frac{N}{12}$
Priestley-Taylor	Priestley-Taylor (1972)	$E_L = 0,5143 \frac{s}{s + \gamma} (R_N - G)$
Jensen-Haise	Jensen-Haise (1963)	$E_L = R_{Gmm/dia} (0,025t + 0,08)$
Camargo	Camargo (1971)	$E_L = 0,01 R_{0mm/dia} t$
Linacre	Linacre (1977)	$E_L = \frac{\frac{500(t + 0,006z)}{100 - \phi} + 15(t - t_d)}{80 - t}$
Linacre	Linacre (1993)	$E_L = (0,015 + 0,00042 t + 10^{-6}z) \cdot (0,08R_N - 40 + 2,5 \cdot U_2(t_i - t_d))$
Kohler	Kohler <i>et al.</i> (1955)	$E_L = 0,7 \left(\frac{sR_N}{s + \gamma} + \frac{\gamma e_a}{s + \gamma} \right)$

E_L = evaporação (mm); s = declividade da curva de pressão de saturação vapor ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$); R_N = saldo de radiação ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$); G = fluxo de calor armazenado ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$); γ = coeficiente psicrométrico ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$); t = temperatura média ($^\circ\text{C}$); U_2 = velocidade do vento ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); e_s = pressão de saturação de vapor (hPa); e_a = pressão de vapor (hPa); c = coeficiente de ajuste (adm); ρ = massa específica da água ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); $R_{G \text{ mm/dia}}$ = radiação global ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); $R_{0\text{mm/dia}}$ = radiação extraterrestre ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); t_{\max} = temperatura máxima ($^\circ\text{C}$); t_{\min} = temperatura mínima ($^\circ\text{C}$); λ = calor latente de vaporização ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$); z = altitude do local (m); ϕ = latitude do local (graus); t_d = temperatura do ponto de orvalho ($^\circ\text{C}$); N = fotoperíodo (h); R_G = radiação global ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$); R_0 = radiação extraterrestre ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$); P = pressão atmosférica (hPa); a = constante do local (adm); I = índice térmico anual (adm) e t_i = temperatura mensal ($^\circ\text{C}$).

Fonte: A Autora (2025).

3.7 MEDIDAS DIRETAS DA EVAPORAÇÃO

As medidas diretas da evaporação são efetuadas por equipamentos específicos, sendo os evaporímetros o principal deles. A utilização destes instrumentos permite medir o nível da água com precisão, no entanto, estão passíveis aos efeitos diretos da temperatura, velocidade do vento, umidade e radiação (Pereira; Villa Nova; Sedyama, 2013).

Ademais, dentre os evaporímetros, destacam-se os tanques evaporimétricos e os atmômetros. Estes realizam as medidas diretas da evaporação através da diferença de nível da superfície evaporante e as condições naturais do ambiente (Varejão; Silva, 2006).

Tucci e Beltrame (2001) afirmam que os tanques evaporimétricos possuem uma vasta diversidade e aplicabilidade, sendo enterrados, superficiais, fixos e flutuantes, de diferentes tamanhos. O mais difundido e utilizado em diversos países e pesquisas é o Tanque Classe A.

Segundo Varejão-Silva (2006), os tanques de evaporação são superfícies cobertas de água, à qual são empregues na mensuração da evaporação na superfície líquida da superfície que o delimitam. Em termos práticos, se apresenta como um instrumento que consiste em determinar a variação do nível da água, em milímetros, que a superfície evaporante apresentou em um determinado intervalo de tempo.

Outrossim, a variação do nível de água na superfície evaporante pode ser fomentada por três causas principais, sendo a evaporação, incidência de precipitação e mudança de temperatura. Como forma de minimizar os efeitos da temperatura, pode-se realizar as observações nos tanques sempre ao mesmo horário. A precipitação é o melhor fator de se determinar, visto que se pode contar com o auxílio de pluviômetros. Dessa forma, se não houver transbordamento, a lâmina será o total de precipitação aferido no período acrescido do nível da leitura anterior. Ademais, é fato que se houver transbordamento na superfície do tanque, fica impossibilitado de estabelecer a evaporação no momento (Varejão-Silva, 2006).

Vale destacar que, conforme o autor supracitado, cada país vem utilizando seu próprio modelo de tanque de evaporação, desenvolvido com distintos materiais e dimensões, acumulando assim, diferentes volumes de águas. A Tabela 1 retrata os principais modelos de tanques evaporimétricos.

Tabela 1 - Modelos de tanques evaporimétricos

Nome e origem	Dimensões	Material utilizado	Requisitos de exposição
Classe-A U. S. Weather Bureau	Diâmetro: 120,7 cm Profundidade: 25,5 cm	Ferro Galvanizado	Acima do solo, sobre estrado de madeira. Cheio até 5 cm da borda.
BPI U. S. Bureau of Plant Industry	Diâmetro: 182,9 cm Profundidade: 61,0 cm	Ferro Galvanizado	Enterrado. Sua borda é mantida a 10 cm acima do solo. O nível da água não deve oscilar mais que 1 cm em relação ao do solo.
Colorado EUA	Diâmetro: 59,6 cm Profundidade: 46,0 a 91,0 cm	Ferro Galvanizado	Enterrado até 5 cm da borda. O nível da água é mantido um pouco abaixo do nível do solo.
GGI- 3000 Rússia	Com fundo cônico diâmetro: 59,8 cm; Profundidade central: 68,5 cm; Profundidade lateral: 60,0 cm	Ferro Galvanizado	Enterrado. A borda é mantida a 7,5 cm acima da superfície do solo.
Tanque de 20m ² Rússia	Diâmetro: 500,0 cm Profundidade: 200,0 cm	Ferro	Enterrado. A borda é mantida a 7,5 cm acima da superfície do solo.
Tanque Telado (Young) EUA	Diâmetro: 61,0 cm Profundidade: 92,0 cm	Ferro Galvanizado	Enterrado. A borda fica a 5 cm acima do solo. Uma tela de ferro com 0,6 cm de malha é instalada entre a borda e o nível de água.

Fonte: Varejão-Silva (2006).

Dentre os modelos de tanques evaporimétricos, os mais utilizados são o Classe A, projetado pelo Serviço Meteorológico Norte Americano (USWB) e posto à superfície, o Tanque de 20 m², idealizado pela antiga União Soviética e atualmente a Rússia e o Colorado, desenvolvido pelos Estados Unidos. Cabe mencionar que os dois últimos modelos citados são enterrados (Pereira; Villa Nova; Sediya, 2013).

Segundo Oliveira (2009), a World Meteorological Organization (WMO), em 1965, preconizou o tanque de 20 m² como referência a ser empregado em pesquisas que visem a medida direta da evaporação com evaporímetros, sendo este um instrumento de aceite universal. Entretanto, no Brasil, o modelo comumente utilizado para estimativas diretas da evaporação é o Classe A.

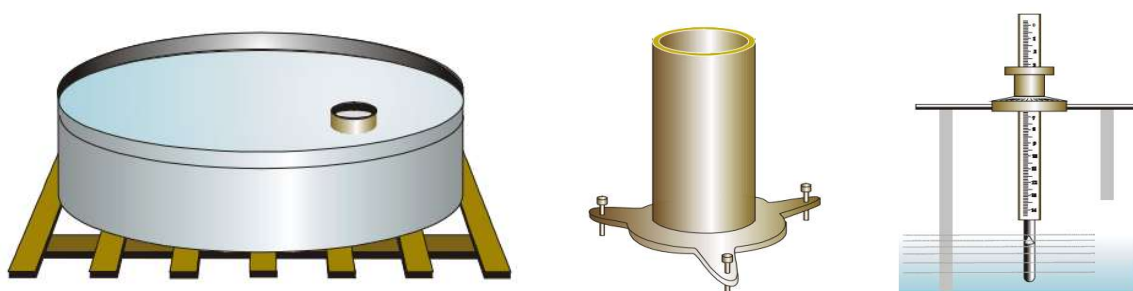
O emprego do tanque Classe A se fundamenta na multiplicação da evaporação aferida no mesmo em decorrência do coeficiente de tanque, onde este foi concebido em virtude de ao utilizar o tanque sobre o solo, suas laterais por serem de alumínio

são aquecidas rapidamente, transferindo calor para a água e acarretando uma evaporação superior àquela verificada em sua realidade. Então, em lagos naturais, esse incremento de energia não acontece, por isso é primordial o ajuste com este coeficiente (Rodrigues, 2020).

Conforme considerações de Oliveira, Silva e Ramos (2020), o tanque Classe A é comumente adotado em razão do seu baixo custo de implantação e da sua facilidade de operação, à qual possibilita a medição da evaporação através das variações no nível da água. Tal tanque é padronizado com 120,7 cm de diâmetro e 25,5 cm de profundidade, conforme exposto na Tabela 1.

O tanque Classe A dispõe de três acessórios, assim como todos os outros tanques evaporimétricos, sendo um poço tranquilizador (com fins de impedir a formação de ondulações ou qualquer outro fator que venha a interferir na leitura), um micrômetro (utilizado na medição do nível da água no reservatório, onde é apoiado na borda superior do poço tranquilizador) e o anemômetro totalizador (posicionado a 50 cm de altura em relação à superfície do solo e fixado no estrado onde o tanque está apoiado, de modo a não receber influência direta da temperatura do solo (Tucci; Beltrame, 2001). O tanque Classe A em conjunto com seus acessórios podem ser evidenciados na Figura 3.

Figura 3 - Representação do tanque Classe A e seus respectivos acessórios

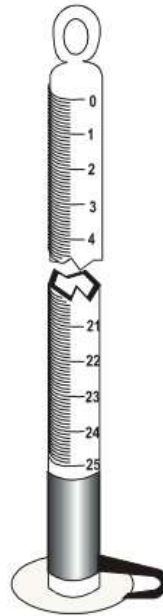


Fonte: Varejão-Silva (2006).

Por fim, Varejão-Silva (2006) exprime que os atmômetros são instrumentos que detêm de um recipiente de água acoplado a uma placa porosa, na qual acontece a evaporação. Desse modo, são tubos de vidros transparentes, com 30 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro, cujo suas extremidades são fechadas. Na parte superior, tem um anel para dependurá-lo e na inferior, é fixado através de uma presilha

unida à um disco de papel poroso. O mais conhecido é o de Piche e a evaporação acontece nas duas faces do papel de filtro (Figura 4).

Figura 4 - Evaporímetro de Piche



Fonte: Varejão-Silva (2006).

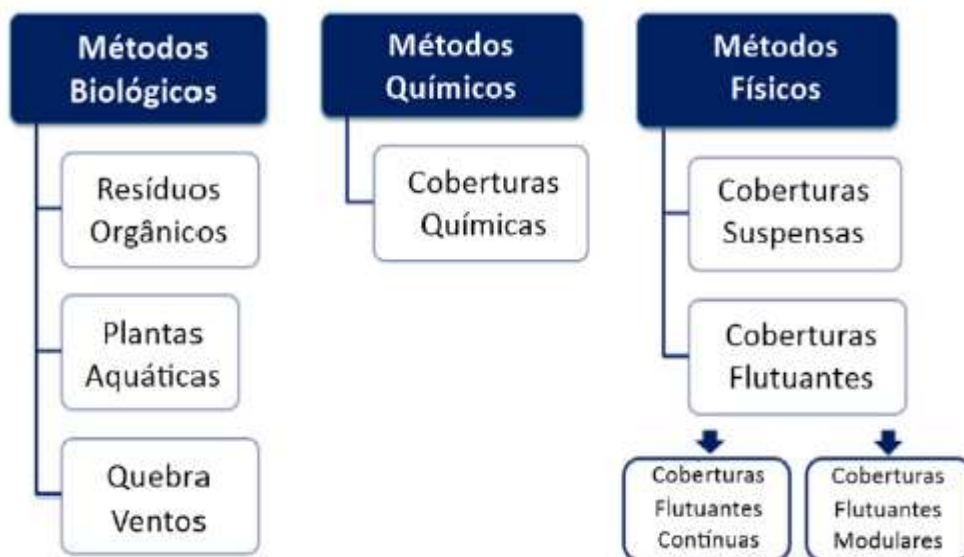
3.8 TÉCNICAS DE REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO

A evaporação em corpos hídricos afeta principalmente as regiões áridas e semiáridas em todo o mundo. Assim, técnicas que visem reduzir esse processo são comumente utilizadas para minimizar os impactos ocasionados pela evaporação e, consequentemente, pela escassez hídrica. No Brasil, por exemplo, em razão das particularidades das regiões semiáridas, que sofrem com as secas na maior parte do ano, identifica-se a elevada necessidade em implementar estes mecanismos mitigadores da evaporação, primordialmente para a gestão dos recursos hídricos (Geraldo, 2020).

Dessa maneira, Abdallah *et al.* (2021) abordam que as técnicas de supressão da evaporação se fundamentam em métodos químicos, físicos e biológicos (Figura 5) e se diferenciam no modo como interferem na dinâmica da evaporação, às quais podem reduzir a velocidade do vento, refletir a energia solar incidente ou até mesmo promover o aumento da tensão superficial, onde alteram a interação água-atmosfera

e, por conseguinte, sintetizam as trocas de energia entre a superfície evaporante e a atmosfera (Oliveira *et al.*, 2019).

Figura 5 - Métodos de coberturas utilizadas para mitigação da evaporação na superfície da água



Fonte: Abdallah *et al.* (2021).

3.8.1 Métodos biológicos

Os métodos biológicos para supressão da evaporação são subdivididos em resíduos orgânicos, plantas aquáticas e quebra-ventos. Assim, os resíduos orgânicos e as plantas aquáticas são métodos que flutuam e sombreiam à superfície da água, minimizando as trocas de calor entre a superfície-atmosfera. Já os quebra-ventos diminuem a velocidade do vento acima da superfície, contribuindo assim, para a redução da evaporação (Abdallah *et al.*, 2021).

A maior parte dos estudos acerca das coberturas biológicas com matérias orgânicas são em função do emprego de folhas de palmeiras (Al-Hassoun; Mohammah; Nurdin, 2009; AlHassoun *et al.*, 2011; Alam; AlShaikh, 2013; Elsebaie *et al.*, 2017) e palhas de milho (Jat *et al.*, 2010).

A utilização de coberturas com folhas de palmeiras flutuantes reduziu a evaporação em cerca de 63% em piscinas totalmente cobertas e aproximadamente 26% em piscinas cobertas parcialmente. Concernente à qualidade da água, o estudo mostrou que não afetam seriamente a sua qualidade (Al-Hassoun; Mohammad; Nurdin, 2009).

Em anos posteriores à sua primeira pesquisa, AlHassoun (2011) ainda estudou o emprego de folhas de palmeiras na Arábia Saudita, onde obteve uma redução da evaporação em torno de 55% para piscinas totalmente cobertas e cerca de 26% em piscinas cobertas parcialmente. Nesta pesquisa, este afirmou que o uso dessas folhas não causa efeitos à qualidade da água.

Alam e AlShaikh (2013) realizaram experimentos com duas formas de utilização das folhas de palmeiras em tanques evaporimétricos na Arábia Saudita. Inicialmente, estes empregaram uma única camada de cobertura sombreada no tanque e obtiveram 47% de supressão da evaporação. Contudo, quando o recipiente foi coberto em sua totalidade com duas camadas de folhas, a redução média foi de aproximadamente 58%.

Referentes ao uso das palhas de milho como coberturas, Jat *et al.* (2010) analisaram que estas diminuíram em média 58 a 59% das taxas de evaporação, comprovando assim, ser um método eficaz para redução dos processos evaporativos em superfícies livres.

Oliveira *et al.* (2019) destacam que outra técnica de cobertura biológica é a utilização de plantas aquáticas com folhas flutuantes sobre a superfície de água do reservatório. As espécies comumente empregadas são: *Nymphaea alba*, *Nymphaeoides indica* e *Jussieuia* (*Ludwigia Natanssp*). A espécie *Jussieuia*, por exemplo, vem mitigando a evaporação entre 11% e 18%, segundo os resultados encontrados por Silans e Eid (1988). Além disso, Silans *et al.* (1989) evidenciam uma supressão de 6% da evaporação, cobrindo por volta de 80% da área de tanques Classe A.

Nesse aspecto, Silans (2003) expõe que estas espécies exibem caráter positivo para a redução da evaporação, pois possuem aspectos brilhantes, que contribuem para a reflexão dos raios solares, além do seu baixo custo, pois são conhecidas e resistentes nas mais variadas circunstâncias climáticas. Por outro lado, apresentam como desvantagem a alteração da qualidade da água e sua baixa eficiência, que giram em torno de 18% (Silans, 2003; Marinho *et al.*, 2015).

Outra barreira biológica a ser utilizada para a mitigação da evaporação são os denominados quebra-ventos, onde visam reduzir a velocidade do vento do ambiente. A implementação desta técnica pode se dar pela instalação de barreiras no montante do corpo hídrico, perpendicular à direção principal dos ventos do local e/ou pela instalação de faixas da evaporação no entorno do corpo. Com isso, sua maior eficácia

se constitui quando há interferência em ventos mais intensos e constantes (Silans, 2003).

De acordo com Schoffel (2009) e Helfer, Lemckert e Zhang (2012) os quebra-ventos possuem uma boa eficiência, cerca de 35% na supressão da evaporação, e baixa manutenção. Contudo, sua implantação exige um alto desprendimento financeiro, bem como um conhecimento elevado no que se refere às espécies biológicas, para que assim, sejam escolhidas as que se adaptem às condições climáticas do local.

Por mais que alguns estudos relatam a significativa economia financeira e hídrica, a utilização de coberturas biológicas flutuantes está subordinada à degradação, afetando a qualidade da água e pondo em questionamento a sua durabilidade. Além do mais, são inerentes das plantas aquáticas a sua transpiração, portanto; nem todas estas podem diminuir a evaporação. Um estudo que comprova essa menção foi realizado por Marinho *et al.* (2015), onde a folha de alface-d'água aumentou substancialmente a evaporação no semiárido paraibano.

Na Tabela 2 é perceptível algumas das pesquisas que aplicaram os métodos biológicos como técnicas para redução da evaporação.

Tabela 2 - Estudo da arte referentes aos métodos biológicos para redução da evaporação

Referências	Local	Clima/condições	Material empregado	Tipo de reservação utilizado	Duração do experimento	Eficiência de supressão da evaporação
Silans <i>et al.</i> (1989)	Nordeste brasileiro	Clima semiárido	Plantas aquáticas (Jussieua) com folhas flutuantes	Tanque Classe A	2 anos	Redução média de 6%
Khan e Issac (1990)	Índia	Clima árido	Espécie de bambu	Tanques cimentados externos (2 × 2 × 1 m)	19 meses	Redução média de 54% com cobertura parcial de 80%
Hipsey e Sivapalan (2003)	Sul da Austrália Ocidental	Clima semiárido	Quebra-ventos arbóreos, com a utilização da espécie Eucalipto	Reservatórios agrícolas (60 6 ×4–6 m)	Foram realizados dois experimentos. Um com 76 dias e outro com 46 dias	Redução média em torno de 20 a 30%
Al- Hassoun, Mohammad e Nurdin (2009)	Arábia Saudita	Clima árido	Folhas de palmeiras	Piscinas externas (10x5x1,5m) de fibra de vidro	42 dias	Redução média de 63% quando totalmente cobertas (100%) e 26% com cobertura parcial (50%)
Jat <i>et al.</i> (2010)	Arija-Rajastão, Índia	Clima árido	Palha de milho (6kg/m ²)	Tubos plásticos (0,40x0,70m) postos a um nível fixo.	1 ano	Redução média de 58 a 59%
AlHassoun <i>et al.</i> (2011)	Arábia Saudita	Clima árido	Folhas de palmeiras	Piscinas externas (10x5x1,5m) de fibra de vidro	8 meses	Redução média de 55% para piscinas recobertas em 95% e 26% para parcialmente cobertas (50%)
Alam e AlShaikh (2013)	Arábia Saudita	Clima árido	Folhas de palmeiras	Tanque evaporímetro externo, com 1,21 m de diâmetro interno e 0,25 de profundidade, de aço galvanizado	9 meses	Redução média de 47% com uma única cobertura de folhas e de 58% para cobertura com folhagem dupla. Ambos foram totalmente cobertos

Referências	Local	Clima/condições	Material empregado	Tipo de reservação utilizado	Duração do experimento	Eficiência de supressão da evaporação
Elsebaie <i>et al.</i> (2017)	Arábia Saudita	Clima árido	Tiras de folhas de palmeiras (0,25x0,70x0,05m) e folhagem única	Tanque quadrado (0,71x0,71 x0,5 m) e tanque retangular (0,67x1,5x0,5 m)	Entre 21 e 41 dias	Redução média de 66% para ambos os tanques e folhagens
Monfared, Rezapour e Zhian (2019)	Região de Chahnimeh, Irã	Clima árido subtropical	Quebra-ventos sólidos	Reservatório de Chahnimeh, com área de 47 km ² e capacidade máxima de quase 630 milhões de m ³	3 meses	Redução média de 74,1% para a colocação de 161 quebra-ventos sólidos (altura de 2m e distância de 48m). Já em caixilhamento, redução média de 50,67% para 117 fileiras de quebra-ventos (altura de 2m e distância de 66m)
Oribi e Abdulkareem (2020)	Iraque	Clima árido	Quebra-ventos arbóreos, na espécie <i>Conocarpus</i> , com altura de 1m e espaçamento das três fileiras com 0,15x0,15m	Tanque Classe A	-	Redução média de 35%

Fonte: A Autora (2025).

3.8.2 Métodos químicos

Os métodos químicos são conceituados como barreiras de monocamadas insolúveis ou pouco solúveis, com espessura aproximada em 2 milionésimos de mm, à qual formam um filme invisível, onde mitigam o processo evaporativo em decorrência da redução da tensão superficial da água e o contato da superfície com o ar, em virtude da criação de uma camada de álcool graxo com moléculas menores que a da água (Babu *et al.*, 2010).

Ademais, Gaines (1966) ainda aborda que as barreiras químicas são moléculas anfifílicas de cadeia longa, contendo tanto extremidades hidrofílicas quanto hidrofóbicas. Desse modo, com esta composição, as monocamadas se posicionam sobre a superfície evaporante e se dispersam, reduzindo, portanto, a evaporação.

No mais, Mozafari, Mansouri e Chini (2019) abordam que as monocamadas podem ser subdivididas em ácidos, ésteres, éteres e álcoois. Entretanto, Hedestrand (1924) afirma que embora os ácidos graxos possam diminuir a evaporação, estes não são ecologicamente corretos (Smith, 1984). Além disso, ácidos e ésteres não se espalham na água, assim como são extremamente sensíveis ao seu pH e alteram a sua qualidade (Binks, 1991). Pittaway e Van den Ancker (2010) ainda concluíram que além dos éteres e álcoois suprimirem a evaporação, estes não afetam os habitats naturais aquáticos.

O desenvolvimento de tecnologias com monocamadas químicas aconteceu em meados da década de 20. Com isso, o primeiro estudo na aplicação das monocamadas para supressão da evaporação foi de Rideal (1925), aplicando ácidos gordurosos para isso. Posteriormente, outras pesquisas científicas utilizaram o hexadecanol (álcool cetílico, $C_{16}H_{33}OH$), o octadecanol (álcool estearílico, $C_{18}H_{37}OH$) ou ainda a mistura de ambos como técnicas eficazes para diminuição da evaporação.

Outrossim, Helfer, Lemckert e Zhang (2012) citaram que o primeiro experimento prático com a utilização de monocamadas foi na década de 50, na Austrália, onde obtiveram como resultados a diminuição das taxas evaporativas em 30%.

Nos últimos decenários, diversos filmes e monocamadas químicas foram elaborados e comercializados. Assim, países como Índia (Panjabi; Rudra; Goel, 2016), Singapura (Babu *et al.*, 2010), Turquia (Sophiane; Djamel, 2012) e EUA (Wixson,

1967; Roberts, 1957) detiveram-se de monocamadas para supressão da evaporação em seus corpos hídricos.

Em sua pesquisa, Roberts (1957) realizou um experimento em Illinois, nos Estados Unidos, com tanques evaporimétricos Classe A, onde concluíram que, em condições naturais, a perda por evaporação pode ser mitigada em até 33% para períodos mais quentes e 11% para períodos mais frios e sem geadas, com o uso de filmes de hexadecanol.

No presente momento, produtos como WaterSavr, Aquatain e o Waterguard são comercialmente vendidos para o atenuamento da evaporação. O WaterSavr, por exemplo, tem capacidade de redução entre 20 a 50%, podendo ficar ativo de 48 a 72 horas, onde são biodegradáveis e não ocasionam impactos ambientais negativos. Salienta-se que este produto é composto de hidróxido de cálcio e octadecanol e hexadecanol (Youssef; Khodzinskaya, 2019).

Corroborando com a afirmativa exposta, Babu *et al.* (2010) utilizaram o WaterSavr em sua experimentação. Foram utilizados quatro aplicadores automatizados (do tipo M60R), com capacidade de 50 a 60 kg cada, sendo utilizados para cobrir 20 hectares cada. Com isso, os dosadores funcionavam com energia fotovoltaica, à qual suas unidades podem ser configuradas para dosar o produto químico a qualquer momento. No experimento, foram seguidas as recomendações do fabricante, aplicando uma dosagem diária de 350 gramas por hectare por dia. Como resultados, obtiveram a redução em torno de 30% da evaporação e nenhum efeito negativo na qualidade da água.

Visando à redução da evaporação em zonas áridas, Sophiane e Djamel (2012) produziram um estudo na Turquia, com filmes monomoleculares. Para isso, foram instalados três tanques do tipo Colocado, em uma estação experimental do ITDAS, cobertos parcialmente. Dessa forma, o primeiro tanque foi coberto por uma película de hexadecanol, o segundo com a junção do hexadecanol e octadecanol, na proporção 1:1 e o terceiro apenas com água, servindo de referência. Diante de suas observações diárias em 15 dias de experimento, os autores conseguiram reduzir as taxas evaporativas em mais de 30%.

Panjabi, Rudra e Goel (2016) conceberam uma pesquisa no reservatório de Aji, na Índia, que é a principal fonte de abastecimento de água da cidade de Rajkot. Então, diante das altas taxas de evaporação, os pesquisadores resolveram utilizar barreiras químicas compostas por uma mistura de álcool cetílico e estearílico, na proporção de

1:1 para mitigar esse problema. Assim, em observações realizadas durante um período de 6 meses, estes conseguiram um decréscimo de 19,26% na perda por evaporação. Afirma-se ainda que o presente estudo foi parcialmente instrumental para salvar Rajkot da árdua experiência de evacuação.

Karimzadeh, Zahiri e Nobakht (2023) investigaram diferentes métodos químicos, em tanques Classe A, com três emulsões de octadecanol/Brij-35 (4:1), hexadecanol/Brij-35 (4:1), e uma combinação dos álcoois com Brij-35, octadecanol/hexadecanol/Brij-35 (2: 2:1), na cidade de Ahvaz. Dentre os métodos empregados, a emulsão de octadecanol/Brij-35 teve o melhor desempenho, reduzindo em torno de 36% de redução da evaporação. As outras duas emulsões, hexadecanol/Brij-35 e a octadecanol/hexadecanol/Brij-35 decaiu as taxas evaporativas em 25 e 21%, respectivamente.

Mozafari, Mansouri e Chini (2019) utilizaram em seus 9 dias de experimentação em Teerã, no Texas, monocamadas de álcool cetílico e álcool estearílico, na proporção de 1:9 e de álcool cetílico e álcool estearílico com adição de hidróxido de cálcio (proporção 1:9:90). Para tanto, obtiveram como resultados a diminuição da evaporação em 41 e 59% para ambos os experimentos, conforme ordem supracitada. Os autores ainda retratam que tais monocamadas suprimem apenas o escape das moléculas de água, mas não amortecem as ondas geradas pelos ventos, nem refletem a radiação solar.

Ainda é passível de menção que, apesar dos filmes monomoleculares serem insolúveis, permitirem a passagem de oxigênio e dióxido de carbono, baixa toxicidade e não afetam a qualidade da água (Gugliotti, 2015), estes necessitam de reaplicações constantes das substâncias químicas, desprendendo tempo e custo, sendo assim, a maior desvantagem desse método.

As principais pesquisas concernentes às técnicas de supressão da evaporação por diferentes monocamadas químicas são abordadas conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Estudo da arte sobre os diferentes tipos de monocamadas químicas para redução da evaporação

Referências	Local	Clima/condições	Material empregado	Tipo de reservação utilizado	Duração do experimento	Eficiência de supressão da evaporação
Roberts (1957)	Illinois, EUA	Clima continental úmido	Filmes de hexadecanol	Tanques Classe A	1 ano	Redução média de 33% para períodos mais quentes e 11% para períodos mais frios e sem geadas
Babu <i>et al.</i> (2010)	Singapura, Malásia	Clima temperado	WaterSavr, com aplicação diária de 350 gramas por hectare	Reservatório Bedok, com área de 84 hectares e capacidade de 12,8 milhões de m ³	3 meses	Redução média de 30%
Jat <i>et al.</i> (2010)	Arija-Rajastão, Índia	Clima árido	Álcool cetílico (2,2kg/ha)	Tubos plásticos (0,40x0,70m) postos a um nível fixo.	1 ano	Redução média de 31,3%
Sophiane e Djamel (2012)	Turquia	Clima árido	Hexadecanol e uma mistura de Hexadecanol e Octadecanol em proporções iguais (1:1)	Tanques tipo Colorado	15 dias	Redução superior a 30%
Gallego-Elvira <i>et al.</i> (2013)	Sudeste da Espanha	Condições climáticas monitoradas, cujas velocidades do vento foram de 0; 1,5 e 3 m/s.	Monocamadas de álcool estearílico, éter monooctadecílico de etilenoglicol e o produto comercial WaterSavr.	Tanques Classe A	3 semanas	Considerando as ordens de redução médias para velocidades de 0, 1,5 e 3 m/s, têm-se: 13, 58 e 32% para as monocamadas de álcool estearílico, 41, 68 e 20% com o uso do produto WaterSavr, e de 40,71 e 58% para as misturas de éter monooctadecílico de etilenoglicol

Referências	Local	Clima/condições	Material empregado	Tipo de reservação utilizado	Duração do experimento	Eficiência de supressão da evaporação
Sovocool (2014)	Las Vegas	Clima desértico	Monocamada da mistura de esteril e álcoois cetílicos com Monocamadas de esteril e álcoois cetílicos com hidróxido de cálcio	5 galões de 11,75 polegadas diâmetro × 14,5 polegadas de profundidade inseridos em um lago artificial (Lago Sahara) e 2 tanques evaporimétricos do tipo Classe- A.	3 meses	Redução média de 31% para a pesquisa no lago artificial e 29% nos tanques evaporimétricos
Panjabi, Rudra e Goel (2016)	Índia	Clima semiárido	Mistura de álcool cetílico e estearílico, na proporção de 1:1	Reservatório de Aji	6 meses	Redução média de 19,26%
Saggaï, Boutoutaou e Bachi (2018)	Touggourt, Argélia	Clima desértico	Emulsão de hexadecanol (0,15g/m²), Hexadecanol/Octadecanol (0,075g Hexa: 0,075g Octa) e octadecanol (0,15g/m²)	Tanques tipo Colorado	33 dias	Redução média de 22,2% para a emulsão de hexadecanol, 22,5% para a mistura de hexadecanol e octadecanol e 16,2% para apenas octadecanol.
Mozafari, Mansouri e Chini (2019)	Teerã, Irã	Clima desértico	Monocamada de Álcool cetílico e álcool estearílico (proporção 1:9); e de Álcool cetílico e álcool estearílico com hidróxido de cálcio (proporção 1:9:90)	Reservatórios externos (0,25x0,15x0,08m)	9 dias	Redução média de 41% para a monocamada de álcool cetílico e álcool estearílico e 59% para a monocamada de álcool cetílico e álcool estearílico com hidróxido de cálcio

Referências	Local	Clima/condições	Material empregado	Tipo de reservação utilizado	Duração do experimento	Eficiência de supressão da evaporação
Karimzadeh, Zahiri e Nobakht (2023)	Ahvaz, Irã	Clima semiárido	Três emulsões de octadecanol/Brij-35 (4:1), hexadecanol/Brij-35 (4:1), e uma combinação dos álcoois com Brij-35, octadecanol/hexadecanol/Brij-35 (2: 2:1)	Tanques Classe A	35 dias	Redução média de 36, 25 e 21% para as emulsões de octadecanol/Brij-35, hexadecanol/Brij-35 e octadecanol/hexadecanol/Brij-35, respectivamente

Fonte: A Autora (2025).

3.8.3 Métodos físicos

As coberturas físicas são estruturadas em materiais que sobreiam parcial ou totalmente a superfície da água, de modo a refletir apenas uma parte da radiação solar incidente no local e exercer a função de barreiras físicas à fuga de vapor de água para a atmosfera (Assouline; Narkis; Or, 2011; Gallego-Elvira *et al.*, 2013; Han *et al.*, 2019). Dessa forma, estas coberturas reduzem a troca de energia entre superfície-atmosfera, suprimindo a evaporação.

Assim, encobrir a cobertura da superfície da água com barreiras físicas fazem um reservatório ter temperaturas mais amenas, em razão da interceptação do fluxo radiativo de entrada (Aminzadeh; Lehmann; Or, 2018; Shalaby; Nassar; Abdallah, 2021). As coberturas físicas podem ser suspensas ou flutuantes na superfície da água.

Em linhas gerais, as coberturas suspensas são apoiadas externamente por cabos ou materiais de madeiras (essencialmente), ao passo que nas flutuantes, a própria água que exerce o papel de sustentação (Yao *et al.*, 2010; Gallego-Elvira *et al.*, 2013).

De acordo com a literatura, as coberturas de sombreamento suspensas podem ser feitas de telas porosas, ou seja, tela de polietileno ou plásticos aluminizados, comumente conhecidos como Tetrapak. Tais coberturas restringem a evaporação, pois bloqueiam a radiação solar incidente sobre a superfície da água e, desse modo, reduzem a entrada de energia térmica no reservatório (Yao *et al.*, 2010).

Ademais, auxiliam também no decréscimo da velocidade do vento, reduzindo o gradiente da pressão vapor de ar sobre a água, que aumenta assim, o nível de umidade (Martinez-Alvarez *et al.*, 2010). Vale destacar que estas telas são frequentemente utilizadas em reservatórios com áreas menores que 10 hectares (Youssef; Khodzinskaya, 2019).

Em uma experimentação realizada em East Gippsland, na Austrália, com reservatórios de água bruta e água tratada com coberturas suspensas por telas de sombreamento comercial 95, Hunter, Finn e Barnes (2007) mostraram que em 2 anos de estudos, a eficiência da redução na evaporação nos reservatórios totalmente cobertos fora de 90%. Além disso, conseguiram um melhoramento na qualidade da

água e redução da proliferação de algas e outras contaminações fornecidas pelas coberturas.

Na pesquisa desenvolvida no semiárido pernambucano, utilizando telas de polietileno de diversas cores sobre os tanques evaporimétricos, Santos (2012) concluiu que a maior eficiência para supressão da evaporação foi a utilização de telas brancas, com redução de 64,6%, para uma menor área coberta. Em sua segunda fase de experimentação, utilizando apenas telas pretas com malhas distintas, a redução da evaporação atingiu um valor de 66%, para porcentagens de sombreamento entre 70 e 80%.

Em seus estudos, Alvarez *et al.* (2006) compararam duas barreiras físicas, sendo telas de polietileno, em suas variadas colorações e quantidades de camadas, e telas aluminizadas. Com coberturas de sombreamento mono e dupla camadas, a pesquisa chegou à resultados de diminuição da evaporação em 50% para a cobertura aluminizada, e de 80% para a de polietileno colorido.

Posteriormente, também utilizando telas de polietileno, mas agora apenas na cor preta em reservatórios agrícolas no sudeste da Espanha, Martinez-Alvarez *et al.* (2010) alcançaram um decréscimo nas taxas evaporativas próximas à 85%. Com isso, os autores afirmam ser o método mais eficaz para supressão da evaporação em meses contidos entre o verão e a primavera.

Diante de tais resultados, é passível de observação os custos para a implementação dessas coberturas de sombreamento. Martinez-Alvarez *et al.* (2010) concluiu que o desprendimento financeiro é de € 7,80 por metro quadrado, onde € 5,30/m² equivale à estrutura e € 2,50/m² à tela. Este ainda expõe que os custos de manutenção e operação são relativamente baixos, surgindo apenas em casos extraordinários.

Detendo-se da mesma ideia de Martinez-Alvarez *et al.* (2010), Gallego-Elvira *et al.* (2012) realizaram um estudo no sudeste da Espanha utilizando camadas duplas de polietileno preto em reservatórios agrícolas e, com isto, obtiveram um atenuamento anual da evaporação em 85% para as 11 semanas analisadas.

Em pesquisas práticas no reservatório de Logan, na Austrália, Helfer *et al.* (2019) verificaram em 195 dias, detendo-se do emprego coberturas porosas simples de polietileno, uma alta eficácia para essa técnica na redução evaporativa, atingindo o valor de 88%. Dessa forma, o autor fez uma excelente contribuição para a perda de água em zonas áridas e semiáridas, principalmente para os âmbitos rurais.

Além das coberturas suspensas, como citado, têm-se também a mitigação das taxas evaporativas por coberturas flutuantes. Estas criam uma barreira que cobrem a superfície da água, sintetizando a incidência da radiação solar na superfície, assim como a ação dos ventos. No entanto, a eficiência dessa técnica está intimamente interligada à área coberta (Yao *et al.*, 2010).

Na literatura, os estudos e aplicações voltadas às barreiras hídricas flutuantes são oriundas de diversos materiais, tais como: bolas de polietileno, placas de isopor, garrafas PET, hexágonos de plástico e painéis fotovoltaicos. Salienta-se que este último é uma excelente opção a ser utilizada, visto que além de reduzir as taxas evaporativas, estes ainda também convertem energia solar em elétrica em métodos não poluentes (Oliveira *et al.*, 2019).

É fundamental pontuar que a eficácia das coberturas flutuantes é restringida quando a superfície reduz o seu poder reflexivo, como é o caso de sujeitas nos corpos artificiais, da mesma forma que se houver aumentos na turbulência do ar acima das partes descobertas. Este fato ocorre em virtude das descontinuidades nas coberturas e/ou movimentos de rotação dos materiais flutuantes (Silans, 2003).

As bolas de polietileno flutuantes, também conhecidas como *Shade Balls* (Bolas de Sombra), são formadas por Polietileno de Alta Densidade (PEAD), revestidas por uma camada de carbono quimicamente estável e resistentes aos raios ultravioletas (Geraldo, 2020). O PEAD existente nas bolas de polietileno podem ser reciclados após o fim da vida útil dessas.

Fernandes e Souza (2021) estudaram a aplicação das bolas de polietileno na região de Montes Claros/MG, em tanques evaporimétricos Classe A. O método apresentou uma eficácia média de 30% na redução da evaporação, à qual os autores puderam aferir que o resultado foi satisfatório para a região, podendo economizar cerca de 1 bilhão de litros por ano utilizado.

Shalaby, Nassar e Abdallah (2021) efetuaram uma pesquisa em Aswan, no norte do Egito, onde empregaram bolas de polietileno em suas variadas cores (brancas, pretas, multicoloridas), formas e dimensões. Como detalhamento do estudo, pode-se citar que teve uma duração de nove meses, detendo-se de bolas com enchimento de alta densidade (50g por bola) e diâmetro de 90 mm. Para tanto, os resultados encontrados foram a contenção média da evaporação em 48, 42,5 e 41,6% para esferas brancas, multicoloridas e pretas, reciprocamente.

Além disso, durante o mesmo período, os autores aludidos ainda conduziram um experimento utilizando-se dos mesmos materiais mencionados no sul do Egito, em Damanhour, e obtiveram melhores resultados que o teste anterior. Com isso, a supressão da evaporação se deu em 63,38% para esferas brancas, 58,13% em esferas multicoloridas e, por fim, para 54,8% em esferas de cor preta. Concluíram ainda que, para ambos os testes, as cores das esferas não ocasionaram efeitos prejudiciais no crescimento de microalgas, acarretando penetração da luz e trocas gasosas fundamentais mediante os espaços entre as esferas.

As placas de isopor também são um método bastante utilizado no cenário nacional e internacional. No Brasil, Marinho *et al.* (2015) produziram uma pesquisa manuseando tal material sobreposto a pequeno açude de uma propriedade rural no semiárido Paraibano, assim como em tanques com capacidade para 50 litros, de modo que pudessem simular condições reais evaporantes. Assim, atingiu resultados de eficácia em 33 e 37% na minimização da evaporação nos tanques e açude, respectivamente.

Em âmbitos internacionais, Shalaby, Nassar e Abdallah (2024) procederam com dois experimentos na mitigação da evaporação. O primeiro deles avaliou a eficiência de três tampas flutuantes modulares, sendo discos de isopor, garrafas plásticas parcialmente cheias de água e garrafas plásticas cheias de ar. No segundo experimento, investigaram a influência das esferas brancas de isopor em comparação com outros três tipos de coberturas flutuantes contínuas, como folha de isopor, folha plástica branca e folha plástica preta, para três percentuais distintos de coberturas (90%, 95% e 100%).

Como resultados dos experimentos para as coberturas flutuantes modulares, têm-se que diminuíram a taxa de evaporação em 53,3, 44,6 e 43% para discos de isopor, plásticas parcialmente cheias de água e garrafas plásticas cheias de ar, nesta ordem. Na segunda etapa da pesquisa, a menor taxa de evaporação foi conseguida na utilização de coberturas flutuantes totalmente cobertas, com o percentual de redução em 94,6, 93,6 e 93,5% para discos de isopor, folha plástica branca e folha plástica preta. Entretanto, quando se diminui o percentual de cobertura para 95%, a eficiência se reduz drasticamente, obtendo valores de 73,2, 68,2 e 72,8% para folhas de isopor, folha plástica branca e preta respectivamente. Além disso, com cobertura de 90%, a eficiência de supressão de evaporação variou de 53,3% (discos de isopor) a 68,18% para folhas plásticas brancas e pretas (Shalaby; Nassar; Abdallah, 2024).

Uma pesquisa concebida em Pune, na Índia, avaliou a eficácia do emprego de garrafas de tereftalato de polietileno (PET), com capacidade para 500ml na diminuição da evaporação em tanques evaporimétricos. Assim, estes atingiram uma retenção em 40% da água que até então seria evaporada, sendo uma excelente alternativa para pequenos produtores rurais. Em termos financeiros, geraram uma economia média de 0,09 US\$ por metro cúbico. Vale enfatizar que, para tal pesquisa, foram adicionados 10g de solo dentro das garrafas, de modo a impedir a rotação dessas (Simon; Shanbhag; Slocum, 2016).

Como coberturas flutuantes, têm-se também o emprego de placas fotovoltaicas. Dessa maneira, com o propósito de minimizar a evaporação da água, duas lagoas no norte do Chile foram cobertas por tais materiais ao longo de oito meses de experimentações contínuas. Os resultados desse estudo apontaram que o decréscimo da evaporação com coberturas fotovoltaicas foi superior a 90% em relação a uma lagoa descoberta de referência. Aliás, estas ainda geraram até 68 Wp/m² de energia elétrica (Taboada *et al.*, 2017).

No que tange aos impactos do uso das placas fotovoltaicas flutuantes, Abdelal (2021) monitorou os principais parâmetros da qualidade da água em uma lagoa coberta por estes materiais. Dessa forma, foram testados vários ângulos de inclinação dos painéis. Os resultados abordaram que não houve nenhum impacto adverso na qualidade da água da lagoa, além de possuírem evidências de melhoria, principalmente em concentrações de nitratos e clorofilas. No mais, a redução média da taxa evaporativa foi em torno de 60%.

Outrossim, têm-se o decréscimo das taxas evaporativas com o uso de esferas contrapesadas. Han *et al.* (2019) observaram que o uso desses materiais em reservatórios e represa situado em Xinjiang (China), mitigou a evaporação em média de 69,71 a 75,42%, sendo para coberturas de 1m² e 4m², respectivamente. Estes autores ainda analisaram a qualidade da água dessa técnica, à qual afirmam que é improvável que estes materiais ocasionam problemas ligados à lixiviação progressiva dos produtos químicos, visto que são formados por polietileno de alta densidade. No entanto, tal opção torna-se inviável quanto à produção agrícola, já que sua instalação necessita de um alto desprendimento financeiro

Na Tabela 4 é perceptível o estudo da arte dos diversos métodos físicos (suspensos e/ou flutuantes) a fim de suprimir as taxas evaporativas.

Tabela 4 - Estudo da arte acerca dos variados métodos físicos para redução da evaporação

Referências	Local	Clima/condições	Material empregado	Tipo de reservação utilizado	Duração do experimento	Eficiência de supressão da evaporação
Khan e Issac (1990)	Índia	Clima árido	Folhas de polietileno, de espuma de borracha e de poliestireno	Tanques cimentados externos (2 × 2 × 1 m)	19 meses	Redução de 82% para folhas de poliestireno, 74% para folhas de espuma de borracha e 66% para as de polietileno
Alvarez <i>et al.</i> (2006)	Espanha	Clima semiárido	Telas de polietileno e telas aluminizadas	Tanques Classe A	4 meses	Redução média de 50% para as telas aluminizadas e cerca de 80% para as telas de polietileno
Hunter, Finn e Barnes (2007)	East Gippsland, Austrália	Clima temperado	Tela de sombreamento Comercial 95	Reservatórios externos	2 anos	Redução média da evaporação em 90%, para os tanques totalmente cobertos
Martinez-Alvarez <i>et al.</i> (2010)	Espanha	Clima semiárido mediterrâneo	Telas de polietileno	Reservatórios Agrícolas (55×44×5m)	2 anos	Redução média anual de 84,1%
Gallego-Elvira <i>et al.</i> (2012)	Espanha	Clima semiárido mediterrâneo	Telas de polietileno	Reservatório Agrícola com área de 2500m ² e profundidade de 5m	11 semanas	Redução anual de 85%
Marinho <i>et al.</i> (2015)	Paraíba	Clima semiárido	Placas de poliestireno expandido (EPS)	Tanque com capacidade de 50 litros de água, diâmetro de 0,87m e altura de 0,88m e um açude local	100 dias	Redução média de 33% para o tanque livre e 37% no açude
Hassan <i>et al.</i> (2015)	Austrália	Clima árido	Garrafas de tereftalato de polietileno (PET), de 65mm de diâmetro	Três tanques evaporimétricos de 240L e 1,05 m de profundidade	6 meses	Redução média de 43% em locais costeiros e 37% em locais de zona árida
Simon, Shanbhag e Slocum (2016)	Pune, Índia	Clima tropical úmido	Garrafas de tereftalato de polietileno (PET) de 500ml	Oito tanques evaporimétricos de 400 mm de altura e 1,5 m de diâmetro	2 meses	Redução média de 40%

Referências	Local	Clima/condições	Material empregado	Tipo de reservação utilizado	Duração do experimento	Eficiência de supressão da evaporação
Taboada <i>et al.</i> (2017)	Chile	Clima árido	Painéis fotovoltaicos	Lagoas retangulares (2,51x1,12x0,40m)	8 meses	Redução média de 90% em relação a lagoa de referência
Helfer <i>et al.</i> (2018)	Queensland, Austrália	Clima tropical	Plumas de Bolhas de Ar	Represa Logan's, com capacidade de armazenamento de 0,7hm³, área de superfície total de 17ha e profundidade máxima de 6,5m	2 anos	Redução média de 2,9% para lagos profundos (16,5m)
Aminzadeh, Lehmann e Or (2018)	Switzerland	Clima moderadamente continental	Discos de isopor, com diâmetro de 0,2m e espessura de 0,02m nas cores brancas e pretas	Reservatórios de água com formato quadrado, com 1,44m² de área e 0,16m de profundidade	2 dias	Redução média da evaporação em 80% para percentual de 91% de cobertura
Helfer <i>et al.</i> (2019)	Austrália	Clima subtropical	Telas de polietileno	Reservatório de Logan (480x350x6,5m)	195 dias	Redução média no período total de 88%
Han <i>et al.</i> (2019)	Xinjiang, China	Clima árido	Esferas contrapesadas com diâmetros de 100mm	Tanques com áreas de 1m² e uma represa	1 ano	Redução média de 69,71% a 75,42% para cobertura da represa em 1m² e 4m², respectivamente
Haas <i>et al.</i> (2020)	Chile	Clima árido	Painéis fotovoltaicos	Reservatório Rapel, com capacidade de 400 mm³ de armazenamento	2 anos e meio	Redução de até 16% quando totalmente coberto
Rezazadeh, Akbarzadeh e Aminzadeh (2020)	Irã	Clima árido	Esferas contrapesadas de 70 mm de diâmetro (127g)	Reservatório de laboratório (1,06x1,07x0,5 m)	6 horas	Redução média de 58,2% para esferas brancas e 56,5% para as pretas, ambas cobertas com percentual de 77%
Abdelal (2021)	Jordânia	Clima árido mediterrâneo	Painéis fotovoltaicos	Dois tanques evaporimétricos (2x 2x1m cada)	9 meses	Redução média em torno de 60%

Referências	Local	Clima/condições	Material empregado	Tipo de reservação utilizado	Duração do experimento	Eficiência de supressão da evaporação
Shalaby, Nassar e Abdallah (2021)	Damanhour, sul do Egito	Clima árido mediterrâneo	Bolas de polietileno (brancas, pretas e multicoloridas), com enchimento de ar de alta densidade (50 g por bola), diâmetro de 90 mm e espessura de parede de 4 mm.	Tanques Classe A	9 meses	Redução média da evaporação em 63,38, 58,13 e 54,8% para esferas brancas, multicoloridas e pretas, reciprocamente
Shalaby, Nassar e Abdallah (2021)	Aswan, norte do Egito	Clima árido mediterrâneo	Bolas de polietileno (brancas, pretas e multicoloridas), com enchimento de ar de alta densidade (50 g por bola), diâmetro de 90 mm e espessura de parede de 4 mm.	Tanques Classe A	9 meses	Redução média da evaporação em 48, 42,5 e 41,6% para esferas brancas, multicoloridas e pretas, reciprocamente.
Nascimento <i>et al.</i> (2023)	Caruaru, Pernambuco	Clima semiárido	Telas de polietileno na cor verde e branca, preta, com sombreamentos de 50% e 80%, Garrafas de tereftalato de polietileno (PET) incolor (250mL) e verde (200mL) e telas aluminizadas	Masseiras plásticas (0,60×0,37×0,14 m)	1 ano	Redução média de 40,64% para as garrafas PET na cor verde, 37,72% para as incolores, 39,36% para telas aluminizadas, 16,80% para as telas de polietileno da cor verde, 16,71% na cor branca, 24,57% na cor preta com 80% de sombreamento e 14,43% na cor preta com 50% de sombreamento
Melo (2023)	Caruaru, Pernambuco	Clima semiárido	Tela de polietileno na cor preta, Garrafas de tereftalato de polietileno (PET) incolor (250 mL) e tela aluminizada	Reservatórios de água com capacidade para 500 L	3 meses	Redução média de 50,50% para as garrafas PET, 0,99% para a tela de polietileno e 1,98% para a tela aluminizada

Referências	Local	Clima/condições	Material empregado	Tipo de reservação utilizado	Duração do experimento	Eficiência de supressão da evaporação
Melo (2023)	Caruaru, Pernambuco	Clima semiárido	Telas de polietileno na cor verde e branca, preta, com sombreamentos de 50% e 80%, Garrafas de tereftalato de polietileno (PET) incolor (250mL) e verde (200mL) e tela aluminizada	Masseiras plásticas (0,60×0,37×0,14 m)	1 ano	Redução média de 22,04% para as garrafas PET na cor verde, 27,44% para as incolores, 48,92% para telas aluminizadas, 3,27% para as telas de polietileno da cor verde, 9,71% na cor branca, 25,35% na cor preta com 80% de sombreamento e 14,84% na cor preta com 50% de sombreamento
Shalaby, Nassar e Abdallah (2024)	Damanhour, sul do Egito	Clima árido mediterrâneo	Garrafas plásticas parcialmente cheias de água (até 1/3 de sua capacidade) e ar, discos circulares de isopor (9 cm de diâmetro e 1 cm de espessura)	Tanques Classe A	2 meses	Redução média de 53,3, 44,6 e 43% para discos de isopor, plásticas parcialmente cheias de água e garrafas plásticas cheias de ar.
Shalaby, Nassar e Abdallah (2024)	Damanhour, sul do Egito	Clima árido mediterrâneo	Folha de isopor branca (espessura de 1 cm), Folha de plástico branco (espessura de 0,1 cm) e Folha de plástico preto (espessura de 0,1 cm).	Tanques Classe A	3 meses	Para índice de cobertura total, redução média da evaporação de 94,6, 93,6 e 93,5% para discos de isopor, folha plástica branca e folha plástica preta. Quando de reduz para parcialmente coberta (95 e 90%), redução média de 73,2 e 53,3% para discos de isopor, de 68,2 e 68,18% para folha plástica branca e 72,8 e 68,18% para folhas plásticas pretas, respectivamente

Fonte: A Autora (2025).

3.9 PADRÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA EM CORPOS HÍDRICOS

A água é um elemento essencial para a sobrevivência e suprimento de demandas de vários organismos vivos. Assim, gerir a qualidade desse recurso é crucial para a manutenção da vida humana e conservação dos ecossistemas (Mitrovic *et al.*, 2019). No entanto, atividades antrópicas como uso e ocupação do solo, descarte indevido de resíduos, manuseio de insumos agrícolas e lançamento de efluentes em corpos hídricos sem tratamento prévio são alguns fatores que influenciam para a degradação da qualidade da água, assim como na disponibilidade hídrica (Pan *et al.*, 2022).

Com base nesse viés, é imprescindível o entendimento da sistemática dos corpos hídricos, envolvendo questões pertinentes à gestão, controle e monitoramento dos recursos hídricos, de modo a fornecer água em quantidade e qualidade suficiente para a população, atendendo assim suas pluralidades de uso e sem comprometer a integridade ambiental, conforme diretrizes postas na Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/1997 (Brasil, 1997).

O monitoramento da qualidade da água está estritamente correlacionado com as análises químicas, físicas e microbiológicas, sob aspectos de padrões de qualidade, dado que tais parâmetros propiciam a identificação dos impactos suscitados sobre a qualidade desses recursos (Picolotto; Von Mühlen; Herber, 2022).

À vista disso, tem-se a Resolução CONAMA 357/2005, que estabelece os padrões de qualidade da água dos corpos hídricos, enquadrando-os em classes perante seus usos e determinando limites máximos aceitáveis mediante parâmetros químicos, físicos e biológicos (Brasil, 2005), conforme detalhado no Quadro 3.

Ressalta-se que mediante os valores especificados, é possível aferir os possíveis desvios no que diz respeito aos padrões de qualidade de água preestabelecidos, tal como viabilizar subvenções para o gerenciamento e tomada de decisões dos órgãos responsáveis quanto à preservação e melhoramento dos recursos hídricos (Falsarella; Silva; Mariosa, 2022).

Quadro 3 - Determinações dos parâmetros de qualidade da água, conforme a Resolução nº 357/2005

Classe da água	Parâmetros	Determinações
Classe 1 - Águas doces	Coliformes Termotolerantes	Não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 ml em 80% ou mais de 6 amostras coletadas em um período de 1 ano
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Até 3 mg/L O ₂
	Oxigênio Dissolvido (OD)	Não inferior a 6 mg/L O ₂
	Turbidez	Até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT)
	PH	6,0 a 9,0
	Clorofila a	Valor máximo de 10 µg/L
	Sólidos dissolvidos totais	Valor máximo de 500 mg/L
Classe 2 - Águas doces	Coliformes Termotolerantes	Não deverá ser excedido um limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 ml em 80% ou mais de 6 amostras coletadas em um período de 1 ano
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Até 5 mg/L O ₂
	Oxigênio Dissolvido (OD)	Não inferior a 5 mg/L O ₂
	Turbidez	Até 100 UNT
	PH	6,0 a 9,0
	Clorofila a	Até 30 µg/L
	Sólidos dissolvidos totais	Valor máximo de 500 mg/L
Classe 3 - Águas doces	Coliformes Termotolerantes	Não deverá ser excedido um limite de 1000 coliformes termotolerantes por 100 ml em 80% ou mais de 6 amostras coletadas em um período de 1 ano
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Até 10 mg/L O ₂
	Oxigênio Dissolvido (OD)	Não inferior a 4 mg/L O ₂
	Turbidez	Até 100 UNT
	PH	6,0 a 9,0
	Clorofila a	Valor máximo de 60 µg/L
	Sólidos dissolvidos totais	Valor máximo de 500 mg/L
Classe 1 - Águas salobras	Coliformes Termotolerantes	Não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 ml em 80% ou mais de 6 amostras coletadas em um período de 1 ano
	Carbono orgânico total	Até 3 mg/L
	Oxigênio Dissolvido (OD)	Não inferior a 5 mg/L O ₂
	PH	6,5 a 8,5
	Sólidos dissolvidos totais	Valor máximo de 500 mg/L

Fonte: A Autora (2025), adaptado de Brasil (2005).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo será abordado o caminho metodológico utilizado para a realização do presente estudo, mostrando o delineamento do método de pesquisa e os procedimentos e critérios empregados, assim como o levantamento e a análise de dados, a fim de que todos os objetivos anteriormente propostos sejam atingidos.

4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A estruturação da pesquisa constitui-se como uma análise descritiva e exploratória, reportada em um estudo de caso. Quanto à sua abordagem, classifica-se como qualitativa e quantitativa.

Pautados aos objetivos traçados, entende-se como descritiva em decorrência de descrever características que facilitem o entendimento de um determinado fenômeno, analisando, registrando e interpretando os fatos intrínsecos à pesquisa, e exploratória em virtude de ocasionar uma maior familiaridade com o tema proposto, tornando-o mais explícito a constituir hipóteses, aperfeiçoando assim, suas concepções (Gil, 2017).

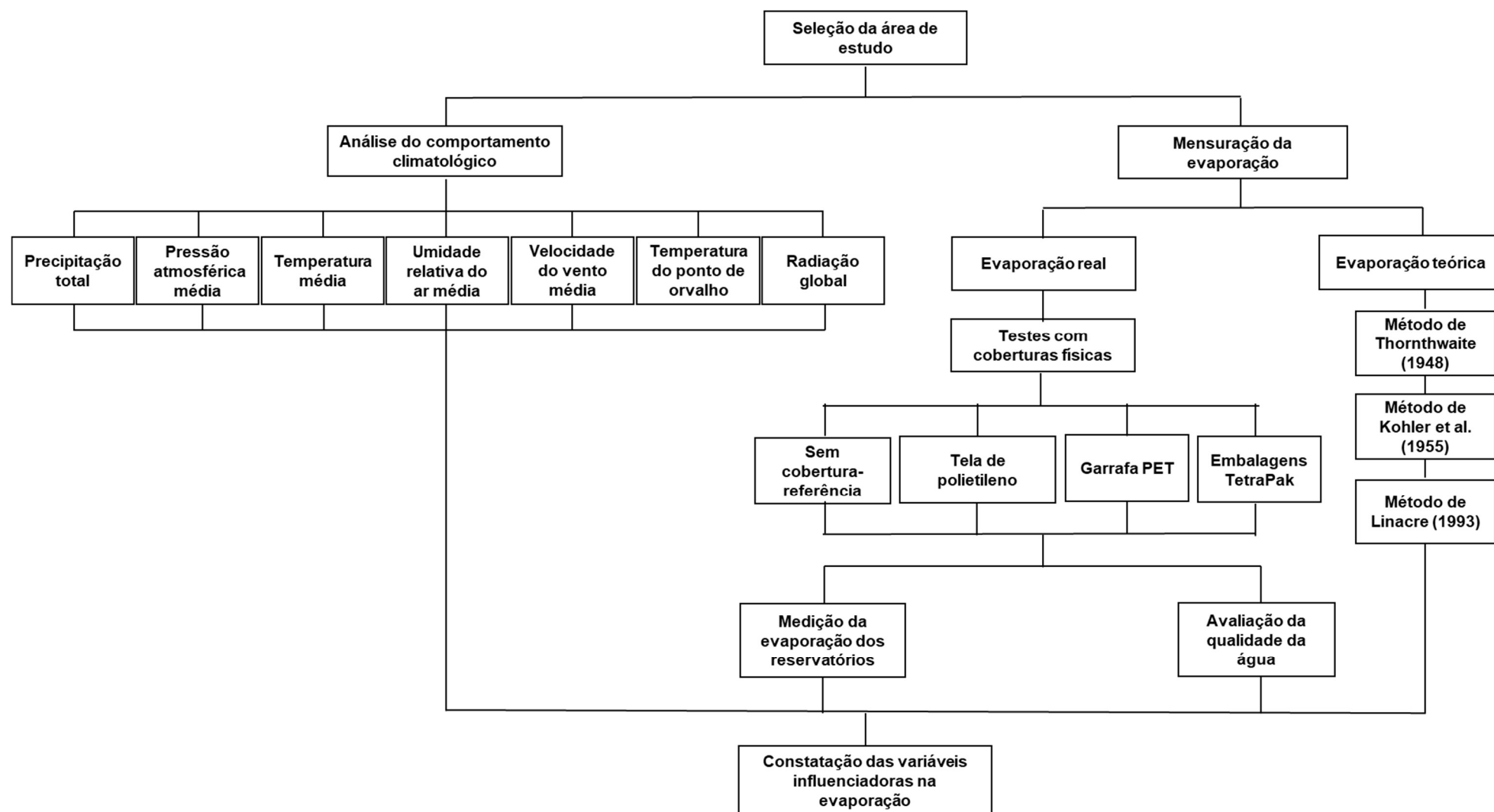
Tanto quanto aos mecanismos técnicos, a pesquisa é proveniente de um estudo de caso, que busca uma averiguação de um fenômeno em seu contexto real (Yin, 2016). Outrossim, é evidente que esta procura um aprofundamento da pesquisa e análise, pormenorizando seus empregos e conhecimentos diante da realidade vivenciada.

Além disso, no que concerne a abordagem, o trabalho é qualitativo por ser um instrumento de pesquisa que se interessa pela análise e investigação de aspectos qualitativos de um determinado assunto e quantitativa em razão de possuir como intuito principal a averiguação estatística de uma hipótese com base em dados concretos e mensuráveis, ou seja, por meio de dados numéricos (Köche, 2016; Cooper; Schindler, 2016).

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As etapas sequenciais para o desenvolvimento da metodologia foram dispostas de modo esquemático, por forma de facilitar a compreensão dos passos adotados, conforme Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma esquemático das etapas estudadas



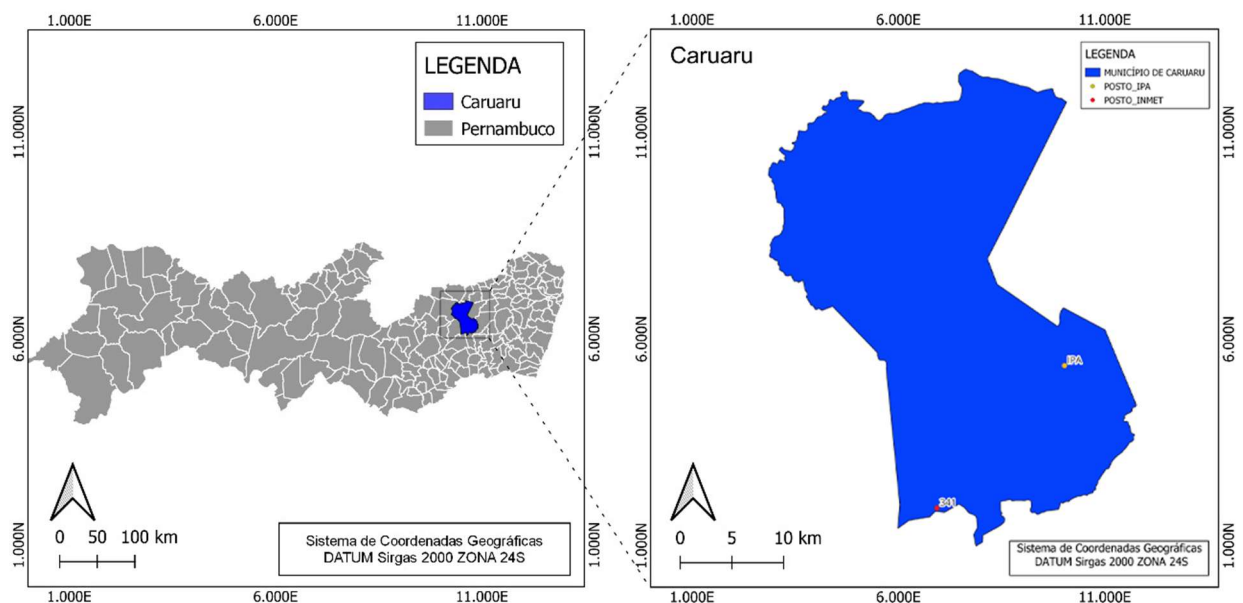
Fonte: A Autora (2025).

4.2.1 Seleção da área de estudo

Diante do desenvolvimento do referencial teórico, notou-se a crescente necessidade em se implementar técnicas que visem corroborar para a mitigação da evaporação em regiões semiáridas. Dessa forma, procedeu-se com a realização do estudo no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), que está situado no município de Caruaru, no Estado do Pernambuco.

Caruaru se localiza à oeste no Estado do Pernambuco (Figura 7), situado na mesorregião do Agreste e na microrregião do Vale do Ipojuca. Com relação aos limítrofes, pode-se mencionar que se limita ao norte com os municípios de Toritama, Vertentes, Frei Miguel e Taquaritinga do Norte, a leste com Bezerros e Riacho das Almas, a oeste com Brejo da Madre de Deus e São Caetano e ao sul com o município de Altinho e Agrestina.

Figura 7 - Localização do município de Caruaru e posicionamento da área do experimento



Fonte: A Autora (2025).

Possui uma área territorial de 923,150 km² (IBGE,2022), com sede situada a 136 km da capital do Estado, Recife, contendo latitude de 08°14'19" S e longitude 35°55'17" W, estando a uma altitude de 550 metros. Ademais, é uma cidade de porte

médio, com 378.048 habitantes, segundo o último censo realizado pelo IBGE e densidade demográfica de 409,52 hab./km² (IBGE, 2022).

Ademais, a referida cidade é conhecida em âmbito nacional, como um dos mais importantes centros econômicos do Nordeste, em virtude da Feira de Caruaru. Nesta, são comercializados produtos e artefatos de diferentes ramos, indo desde à artesanatos até produtos alimentícios e eletrônicos, sendo a base da economia local (Valença, 2020). No mais, a agricultura e pecuária também se constituem como importantes segmentos econômicos, principalmente no que diz respeito a comunidades rurais (IBGE, 2022). Os biomas pertencentes à região são a Caatinga e Mata Atlântica (IBGE, 2022).

O clima de Caruaru, em conformidade com a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo semiárido (BSh), com verões quentes e secos e invernos mais amenos e chuvosos (Alvares *et al.*, 2013). A temperatura média anual é em torno de 22,5°C (INMET, 2024). Acerca de dados dispostos pelo Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC, 2007), em um recorte temporal de 105 anos de registros (1913 a 2016), a precipitação média anual do município foi de 573,5 mm.

A quadra chuvosa de Caruaru é composta, inicialmente, por chuvas oriundas de uma pré-estação, onde se inicia no mês de fevereiro e tem término no final do mês de agosto, podendo se estender até a primeira quinzena de setembro. Assim, o trimestre chuvoso do município se concentra entre os meses de maio, junho e julho. Em contrapartida, os meses mais secos consistem entre outubro, novembro e dezembro (Medeiros *et al.*, 2021).

Diante disso, Medeiros (2021) ainda aborda que as chuvas que constam na cidade são provocadas por aporte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), formação de linhas de instabilidades, orografia e formação dos vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAS), onde ocorrem quando seu centro se instala sobre o oceano e a partir disso, influencia a formação dos ventos alísios de nordeste, transportando vapor e umidade, que se condensam e dão origem às nuvens, suscitando assim em chuvas moderadas a fortes.

Além disso, menciona-se também que, em condições sazonais, o município pode receber influência da umidade da bacia amazônica, onde em períodos que a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) se localiza mais ao norte e os ventos advindos do Oeste se intensificam, as massas de ar úmido provenientes da Amazônia

podem ser transportadas para o interior do Nordeste, contribuindo para a formação de nebulosidade e precipitações no local (Silva; Reboita; Escobar, 2019).

Desse modo, conforme supracitado, o experimento foi realizado no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizando-se a uma latitude $-8,240112^\circ$, longitude de $-35,920826^\circ$ e altitude de 565 metros. A Figura 7 dispõe o posicionamento exato onde o IPA está situado em relação ao município de Caruaru.

Vale salientar que a escolha do local experimental se sucedeu em virtude da proximidade com a estação automática, instrumento que recolhe todos os dados meteorológicos e por ser um local plano, sem edificações ou vegetações robustas que viessem a proporcionar sombras ou barreiras naturais para contrapor a propagação do vento. Essa menção corrobora com o especificado no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), onde aborda que o município possui bioma Caatinga arbustiva-arbórea, com vegetações menos densas e relevos suaves (APAC, 2022).

4.2.2 Análise do comportamento climatológico

Os dados meteorológicos para as estimativas teóricas da evaporação e análise climatológica, foram obtidos a partir do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do Instituto Nacional de Meteorologia (BDMEP/INMET). A estação utilizada para o fornecimento das variáveis refere-se a uma estação automática, situada no município de Caruaru, sendo o seu código A341, com latitude: $-8,36527777^\circ$, longitude: $-36,02833332^\circ$ e altitude de 852 metros (Figura 7).

Para a precipitação total foram utilizados apenas dados da Estação Experimental José Nelson Melo, localizada no IPA, em Caruaru, com latitude de $-8,23838889^\circ$ e longitude de $-35,91586111^\circ$, segundo Figura 7. Tal decisão se sucedeu devido o local não possuir influência do processo de urbanização e, consequentemente, ações antrópicas que viessem a interferir nos dados.

Destaca-se que tanto os dados meteorológicos para as estimativas da evaporação teórica como a evaporação em experimento de campo foram oriundos de um recorte temporal de julho de 2024 a agosto de 2025. Em contrapartida, os dados para a análise climatológica foram utilizados a partir de uma série histórica de treze anos, entre 2010 a 2023 e a precipitação total em um recorte de sessenta e três anos (1960 a 2023).

Na Tabela 5 tem-se um resumo das estações utilizadas para as mensurações das taxas evaporativas, com os referidos dados obtidos e seu devido caráter de análise.

Tabela 5 - Síntese da aquisição de dados meteorológicos

Estação	Fonte	Variáveis climatológicas utilizadas	Unidade	Frequência
Estação automática A341	INMET	Temperatura média	°C	Diária
		Pressão atmosférica média	mBar	Diária
		Umidade relativa do ar média	%	Diária
		Velocidade do vento média	m/s	Diária
		Temperatura do ponto de orvalho	°C	Diária
		Radiação global	KJ/m²	Horária
Estação Experimental José Nelson Melo	IPA	Precipitação total	mm	Diária/Mensal

Fonte: A Autora (2025).

4.2.3 Mensuração da evaporação

4.2.3.1 Evaporação em experimento de campo

A mensuração desta evaporação é realizada diretamente no próprio âmbito de estudo, onde se tem por objetivação a aferição do quanto de água foi perdida para o meio atmosférico. Dessa forma, esta é estritamente influenciada por fatores climatológicos, em decorrência de sua devida exposição.

Para tanto, foram instalados quatro reservatórios de polietileno, ambos com capacidade de 550 L, diâmetro de borda de 122 cm, diâmetro de base de 95 cm e profundidade de 58 cm, conforme Figura 8, no Instituto Agrônomo de Pernambuco, em Caruaru, onde sua localização em relação a este local é perceptível acerca da imagem aérea sistematizada na Figura 9, em continuidade ao estudo de Melo (2023).

Figura 8 - Reservatório utilizado no experimento



Fonte: FORLEV (2024).

Figura 9 - Posicionamento do experimento em relação ao IPA-Caruaru



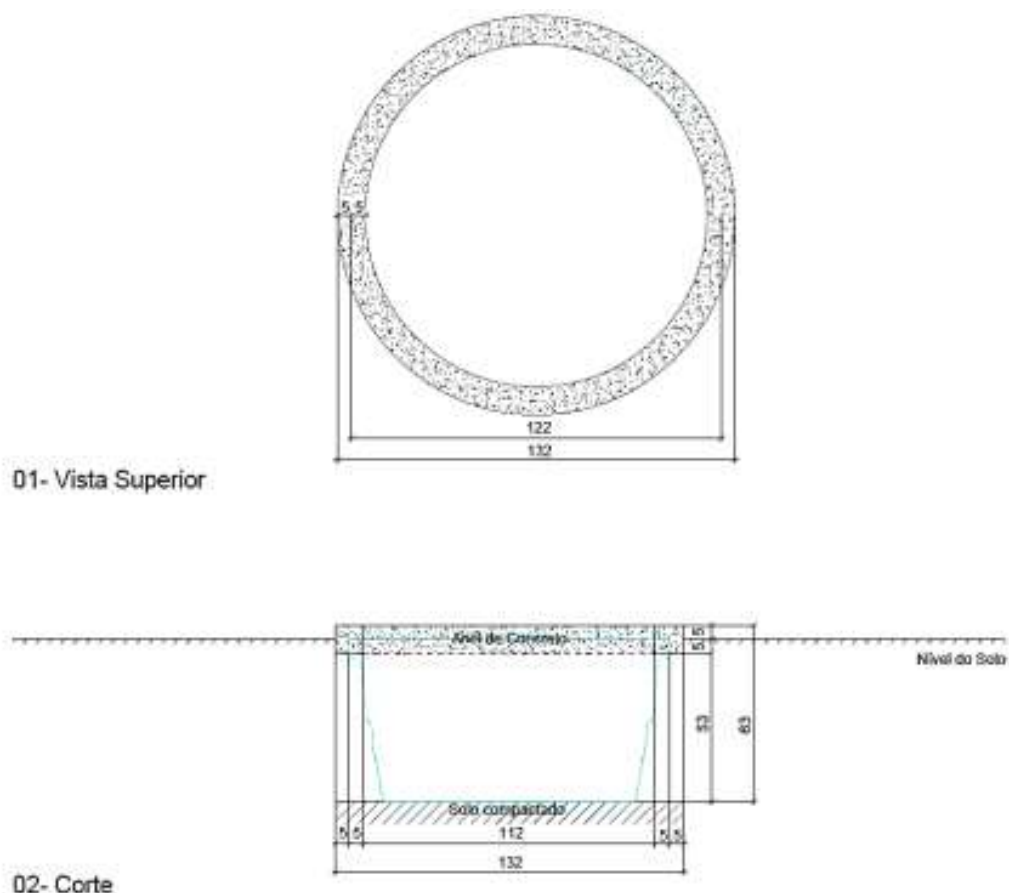
Fonte: Imagem extraída do Google Earth Pro® em 06 de ago. 2024.

Detendo-se desta metodologia, os reservatórios foram alocados de maneira enterrada no solo (Figura 10), onde nas bordas foram realizados anéis de concreto, com a finalidade de inibir furtos dos reservatórios, visto que no início do experimento foi constatada uma tentativa de furtos desses.

Além disso, é notório que os anéis de concreto necessitariam de uma inclinação lateral para diminuir o impacto do vento sobre a superfície líquida, no entanto, como não fora realizado este ajuste, haverá uma pequena mudança no padrão do vento, sendo desconsiderada, em virtude dos quatro reservatórios possuírem as mesmas condições.

Reporta-se ainda que, como supracitado, o estudo é continuação do experimento desenvolvido por Melo (2023), que em sua segunda fase de experimentação, utilizou dos mesmos reservatórios e materiais de cobertura, diferenciando-se deste estudo a volumetria do líquido e, como constatado, os reservatórios não estavam nivelados. Assim, evitando retrabalhos e gastos significativos, estes foram mantidos conforme encontravam-se.

Figura 10 - Representação da instalação dos reservatórios no IPA-Caruaru



Fonte: Melo (2023).

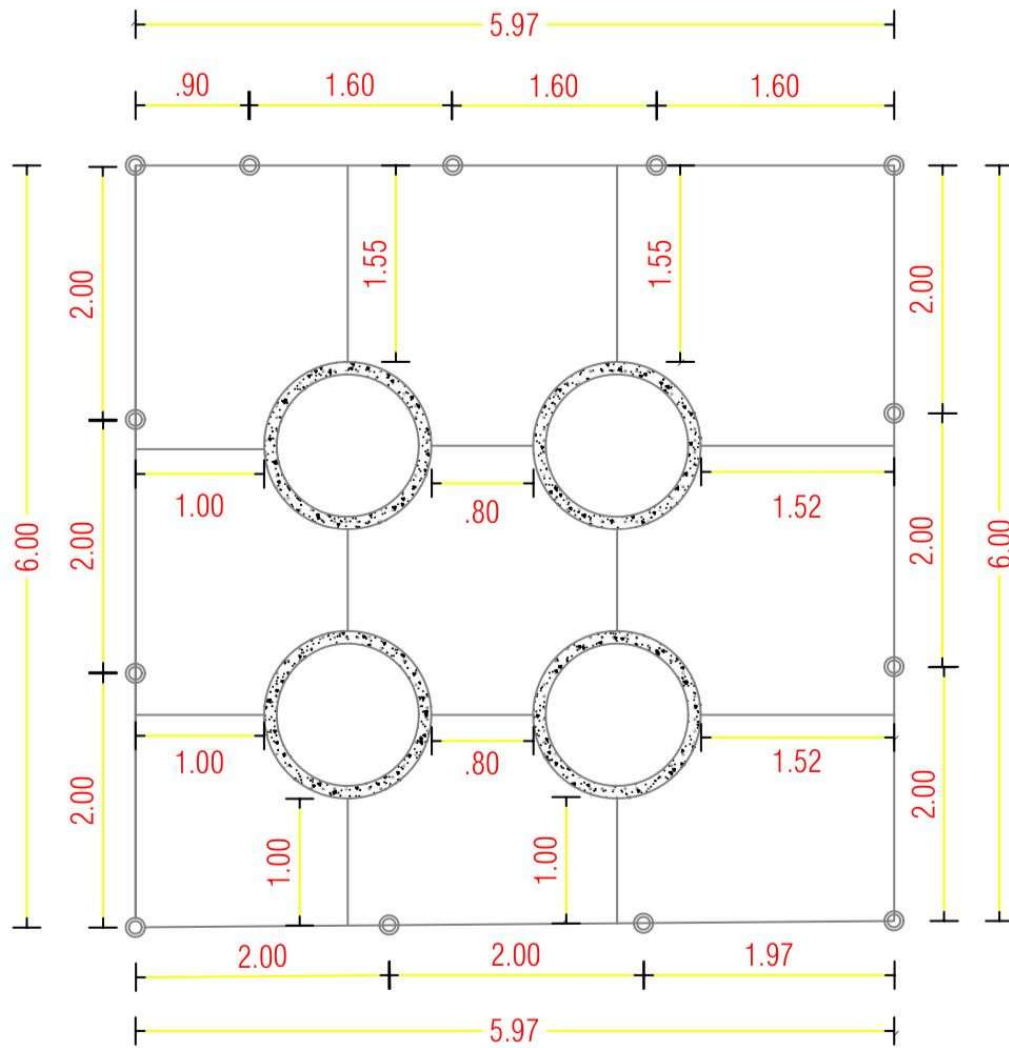
Assim, os reservatórios foram dispostos mediante demonstrado na Figura 11. Para se aproximar às condições mais realistas de reservação e utilizar a maior parte da profundidade dos reservatórios disponíveis, os furos onde geralmente são utilizados para a passagem das instalações foram preenchidos com resina epóxi.

Pontua-se que para a realização deste preenchimento, foram feitos testes, em reservatório de igual dimensão, e constatou-se que este material não afetava significativamente a qualidade da água, visto que é resistente à essa. É válido destacar que, após o preenchimento, diminuíram a entrada de animais, principalmente de rãs, nos reservatórios.

Conforme ilustrado, nota-se que todo o perímetro em estudo foi devidamente cercado com estacas de espessura equivalente à 10 mm e altura de aproximadamente 2 metros e arames farpados, a fim de evitar à entrada de animais de grande porte e circulação de indivíduos, de modo a não ocorrer interferências e manter a integridade do experimento. Além disso, para se impedir a entrada de animais de pequeno porte,

foram acrescentadas telas galvanizadas, fio 23, com altura de aproximadamente 0,80 metros.

Figura 11 - Distribuição dos reservatórios na área do IPA-Caruaru



Fonte: A Autora (2025).

4.2.3.1.1 Testes com coberturas físicas

Na presente pesquisa, foram utilizadas barreiras físicas suspensas e flutuantes, assim como um reservatório sem estas, servindo de referência. Na Figura 12 dispõe-

se a representação dos materiais empregues como coberturas nos recipientes abordados neste estudo.

Figura 12 - Reservatórios cheios, com suas devidas coberturas



Fonte: A Autora (2025).

No que tange as coberturas suspensas, foram aplicadas a tela de polietileno, na cor preta, com um maior espaçamento das malhas, garantindo um sombreamento de 50% da superfície líquida, bloqueando em partes, a energia solar incidente, e embalagens do tipo TetraPak, à qual foram estruturadas com o lado reflexivo, ou seja, a superfície aluminizada, voltada para a face oposta ao reservatório.

Já a proteção física flutuante ocorreu com a utilização de garrafas de tereftalato de polietileno (PET), transparente, de 250 mL. Conforme perceptível na Figura 12, as garrafas foram unidas umas às outras, de modo a manter a superfície líquida mais coberta possível, impedindo que o vento as arraste e possibilite sua descoberta, reduzindo assim, a eficácia da barreira. Ademais, adicionou-se 150 mL de água nas garrafas, com o intuito também de inibir a ação do vento. É necessário acrescentar

que a água inserida é apenas para aumentar o peso da cobertura, então, como forma de economizar e não desperdiçar recurso hídrico, foram postas águas reutilizadas do local.

Todas as coberturas utilizadas foram idealizadas para a aplicação prática nos reservatórios oriundos da região, onde foram preferíveis soluções de baixo investimento financeiro, tanto na implementação quanto na manutenção e com materiais que podem ser reutilizáveis, auxiliando na conservação do meio ambiente.

4.2.3.1.2 Medição da evaporação dos reservatórios

As medições para determinação das perdas evaporativas se deram com o auxílio de um nível graduado, em consonância com a Figura 13. O equipamento é posicionado no centro dos reservatórios, tomando todos os cuidados necessários para verificação do nivelamento, a fim de se identificar a altura da lâmina de água. Nos reservatórios com coberturas, torna-se primordial abrir parte destas (um pouco mais que o centro) para que a medição possa ser efetuada.

Figura 13 - Exemplificação da medição da lâmina d'água no reservatório



Fonte: A Autora (2025).

É imprescindível pontuar que, após a primeira medição, caso seja necessário, realiza-se a reposição do volume de água àquela já existente nos reservatórios. Dessa forma, este mecanismo visa a compensação do volume perdido por taxas evaporativas, mantendo-se sempre o nível de referência. Além disso, em todos os reservatórios foram adicionadas água até 5 cm antes de sua borda. Como não se possui referências de enchimento para estes reservatórios, considerou-se o especificado para Tanques Classe A, em conformidade com a Tabela 1.

As medições foram efetuadas quinzenalmente, essencialmente no período matutino, tendo início em 30 de julho de 2024. Destaca-se que, como estas são realizadas de modo manual, são passíveis de erros (humano ou manuseio errôneo), mesmo com todos os cuidados sendo tomados. Pontua-se que a automação não foi realizada em decorrências de inseguranças com o local da pesquisa.

A partir desse enfoque, a lâmina evaporada é a diferença entre a medição anterior e a atual, sendo expressa pela Equação 5.

$$E_{líquida} = E_{anterior} - E_{atual} - P \quad (5)$$

Em que, $E_{líquida}$ = evaporação lâmina de água cedida para o meio atmosférico (mm), $E_{anterior}$ = lâmina de água do último dia com aferição (mm) e E_{atual} = lâmina de água medida no dia atual (mm), P = Precipitação (mm).

Evidencia-se que, pelo fato de a área ser elevada e isolada e não possuir interferências de animais de grande porte e grande concentração de indivíduos, em decorrência do seu cercamento, são consideradas apenas perdas por evaporação. E, nas situações em que ocorre precipitação entre uma medição e outra, é plausível que o valor da evaporação líquida no reservatório seja negativo, configurando mais ganho que perda de água. Com base nesse viés, esta ocorrência resultará na adoção da evaporação como sendo nula.

4.2.3.1.3 Avaliação da qualidade da água

As análises de qualidade da água foram realizadas mensalmente, para todos os reservatórios em questão. Assim, as amostras foram coletadas em frascos de polipropileno de 2000 mL, previamente esterilizadas em autoclave, para a avaliação das variáveis físico-químicas e microbiológicas. Após a coleta, todas as amostras foram previamente identificadas e armazenadas sob refrigeração (caixa térmica contendo gelo) e, em seguida, conduzidas para o Laboratório de Engenharia

Ambiental (LEA) – UFPE/CAA. Este método de acondicionamento é comumente empregado em função da facilidade de aplicação, baixo custo e por sua insignificante interferência na maior parte das determinações.

Cuidados cabíveis foram exercidos na coleta, preservação e preparação das amostras, como:

- a) Antes de cada coleta, procedeu-se com a esterilização de todos os recipientes a serem utilizados;
- b) Optou-se por não coletar na superfície do reservatório, uma vez que poderia facilitar a contaminação;
- c) Utilizou-se de luvas descartáveis para evitar contaminação e manter integridade das amostras, assim como recipientes com volumes suficientes para atender a uma possível repetição do experimento;
- d) As informações referentes à coleta em campo foram devidamente anotadas, como a identificação da amostra, data e hora da coleta e características visuais e olfativas destas;
- e) Todas as amostras foram preservadas e os ensaios foram realizados em prazo recomendável (24 horas).

As variáveis analisadas de cada parâmetro e os métodos utilizados para a quantificação da qualidade da água estão relacionados no Quadro 4.

Quadro 4 - Procedimentos laboratoriais para a determinação da qualidade da água

Parâmetro	Variável	Método/equipamento aplicado
Físico	Cor	Método espectrofotométrico
	Turbidez	Método nefelométrico
Químico	PH	Método potenciométrico
	Condutividade elétrica (CE)	Medidor multiparâmetro AK88
	Oxigênio Dissolvido (OD)	Método eletrodo de membrana
	Sólidos dissolvidos totais (SDT)	Medidor multiparâmetro AK88
Biológico	Coliformes Termotolerantes	Método da membrana filtrante

Fonte: A Autora (2025).

4.2.3.2 Evaporação teórica

Nessa pesquisa, para as estimativas teóricas da evaporação em superfícies livres serão abordados três modelos com base em adaptações do método de Penman *et al.* (1948) onde são: Thornthwaite (1948), Kohler *et al.* (1955) e Linacre (1993). Com

estes métodos, será possível realizar a comparação dos valores obtidos para a evaporação em experimento de campo, medida diretamente nos tanques evaporimétricos, com as estimativas indiretas, de modo a compreender qual modelo mais se aproxima da realidade, podendo servir de base para outros estudos subsequentes na área em questão.

Dessa forma, tais métodos são baseados em variáveis climatológicas, como temperatura, pressão atmosférica e de vapor, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. Conforme supracitado no item 4.2.2 do referido trabalho, estes dados serão obtidos a partir do banco digital do INMET, de uma estação automática localizada no próprio município do experimento. Tal adoção se justifica em razão de se possibilitar condições ambientais análogas tanto para a mensuração da evaporação da evaporação em campo como para os métodos estimativos.

4.2.3.2.1 Método de Thornthwaite (1948)

O método de Thornthwaite (1948) foi estimado por intermédio da Equação 6.

$$E_L = C \cdot E_p \quad (6)$$

Em que, E_L = evaporação no lago (mm.m^{-1}), C = fator de correção; E_p = evaporação padrão (mm.mês^{-1}).

O fator de correção é calculado com base na Equação 7.

$$C = \left(\frac{N}{12}\right) \cdot \left(\frac{ND}{30}\right) \quad (7)$$

Onde, N = duração de insolação média mensal (h.dia^{-1}) e; ND = número de dias do mês.

Ademais, a evaporação padrão é calculada baseada na Formulação 8.

$$E_p = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot T_a}{I}\right)^a \quad (8)$$

Sendo, T_a = temperatura do ar média mensal; I = índice de calor anual; e “a” um coeficiente que se relaciona apenas ao valor do índice “I”, conforme identifica-se na Equação 9.

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49 \quad (9)$$

Para tanto, o cálculo do índice de calor anual se sucedeu por meio da Equação 10.

$$I = \sum_{n=1}^{12} i, i = \left(\frac{T_a}{5}\right)^{1,514} \quad (10)$$

A qual “i” equivale ao mês do ano. Com isso, i=1 representa janeiro, i=2 fevereiro e assim sucessivamente.

O valor da duração de insolação média mensal (N) é obtido pela Formulação 11.

$$N = \frac{2 \cdot H}{15} \quad (11)$$

Onde H é a duração do dia solar (rad), encontrado pela Equação 12.

$$H = \arccos(-\tan\delta \cdot \tan\phi) \quad (12)$$

E, ϕ = latitude ($^{\circ}$); δ = declinação solar ($^{\circ}$), calculada seguinte função senoidal (Equação 13):

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\left(\frac{2 \cdot \pi}{365}\right) \cdot (J - 80)\right) \quad (13)$$

Com J = dia juliano, ou seja, dia corrido do ano, sendo, J=1 o dia primeiro de janeiro, J=32 o dia 1 de fevereiro e assim por diante, encerrando em J=365 para os anos não bissextos e J = 366 para anos bissextos.

4.2.3.2.2 Método de Kohler et al. (1955)

O método de Kohler et al. (1948) foi calculado a partir do emprego da Equação 14.

$$E_L = 0,7 \cdot \left(\frac{\Delta R_n}{\Delta + \gamma_L} + \frac{\gamma_L \cdot E_a}{\Delta + \gamma_L} \right) \quad (14)$$

Sendo, E_L = evaporação no lago ($\text{mm} \cdot \text{mês}^{-1}$); γ_L = coeficiente psicrométrico corrigido ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); Δ = declividade da curva de pressão de saturação de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); E_a = poder evaporante do ar ($\text{mm } \text{d}^{-1}$); R_n = saldo de radiação, em equivalente de lâmina de água evaporada, ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$).

O coeficiente psicrométrico é expresso a partir da Equação 15.

$$\gamma_L = 0,000661 \cdot P \quad (15)$$

Em que, P = pressão atmosférica (kPa).

O cálculo do poder evaporante é determinado conforme Equação 16.

$$E_a = 7,518 \cdot (0,37 + 0,00255 \cdot v) \cdot (e_s - e_a)^{0,88} \quad (16)$$

Cujo, v = velocidade do ar; e_s = pressão de vapor na saturação (kPa), sendo esta última calculada como (Equação 17):

$$e_s = \frac{e_s(T_{\text{máx}}) - e_s(T_{\text{mín}})}{2} \quad (17)$$

Onde as pressões de vapor na saturação máxima e mínima são calculadas, respectivamente pelas Equações 18 e 19.

$$e_s(T_{\text{máx}}) = 0,6108 \cdot \exp^{\frac{17,27 \cdot T_{\text{máx}}}{T_{\text{máx}} + 237,3}} \quad (18)$$

$$e_s(T_{\text{mín}}) = 0,6108 \cdot \exp^{\frac{17,27 \cdot T_{\text{mín}}}{T_{\text{mín}} + 237,3}} \quad (19)$$

Por outro lado, a pressão de vapor atual (kPa) é dada pela Formulação 20.

$$e_a = \frac{e_s(T_{\text{máx}}) \cdot \frac{UR_{\text{mín}}}{100} + e_s(T_{\text{mín}}) \cdot \frac{UR_{\text{máx}}}{100}}{2} \quad (20)$$

Em que, $UR_{\text{mín}}$ e $UR_{\text{máx}}$ são as umidades relativas do ar mínima e máxima, respectivamente.

O saldo de radiação foi obtido através da Equação 21.

$$\Delta_{R_n} = 154,4 \cdot \exp[(1,8 \cdot T_a - 180) \cdot (0,1024 - 0,0106 \cdot \ln(0,239 \cdot R_s))] - 0,01554 \quad (21)$$

Sendo, R_s = Radiação solar incidente ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$).

No mais, a declividade da curva de pressão de saturação de vapor é expressa segundo Equação 22.

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T_{\text{méd}} + 237,3)^2} \quad (22)$$

4.2.3.2.3 Método de Linacre (1993)

O método de Linacre é calculado com base na Equação 23.

$$E_L = (0,015 + 0,00042 \cdot T + 10^{-6} \cdot h) \cdot (0,8 \cdot R_s - 40 + 2,5 \cdot F \cdot u_2 \cdot (T_a - T_d)) \quad (23)$$

Em que, E_L = evaporação no lago ($\text{mm} \cdot \text{mês}^{-1}$); R_s = radiação solar na superfície do lago ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$); F = fator de correção devido à altitude do local, sendo adimensional; u_2 = velocidade do vento a 2 m de altura ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$); h = altitude do local (m); T_a = temperatura média do ar mensal ($^{\circ}\text{C}$) e; T_d = temperatura média mensal do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$).

O fator de correção devido a altitude (h) do local é dado pela Equação 24.

$$F = 1 - 0,000087 \cdot h \quad (24)$$

Assim, a radiação solar na superfície do líquido é dada por (Equação 25):

$$R_s = R_a - (0,85 - 0,047 \cdot C_m) \quad (25)$$

Cujo R_a = radiação solar extraterrestre, ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) onde é calculada pela Equação

$$R_a = 37,6. \left(\frac{d}{D}\right)^2 \cdot \left(H. \frac{\pi}{180} \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(H)\right) \quad (26)$$

Em que C_m é média do número de décimos do céu ocupado pela nuvem no momento da observação, calculado pela Equação 27.

$$C_m = 1 + 0,51 \cdot \log(Pt) + [\log(Pt)]^2 \quad (27)$$

Com, Pt = precipitação total mensal (mm).

Por fim, a parte de $\left(\frac{d}{D}\right)^2$ é obtida em virtude do dia de juliano (J), sendo expressa pela Equação 28.

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(J \cdot \frac{360}{365}\right) \quad (28)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO CLIMATOLÓGICO

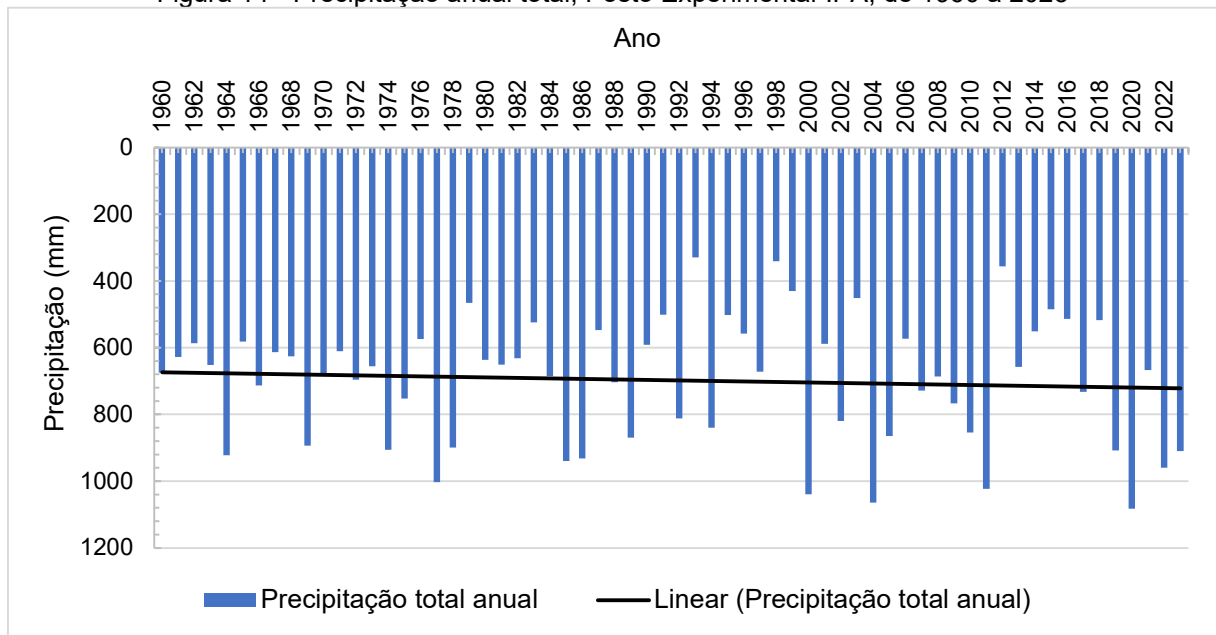
Torna-se imprescindível compreender o comportamento climático de uma determinada localidade, pois esse entendimento permite observar as dinâmicas e variações ao longo do tempo. À vista disso, essa análise é crucial para identificar os padrões e tendências, essencialmente na previsão de eventos extremos, sendo agravados pelas mudanças climáticas.

5.1.1 Precipitação mensal e anual

Mediante demonstrado na Figura 14, a precipitação anual total do município de Caruaru apresentou considerável variação entre os anos de 1960 a 2024. Ao decorrer da série histórica (sem ocorrência de falhas), a média total anual pluviométrica foi de 695,26 mm, que possui valor similar ao retratado por Amorim *et al.* (2020) e Mousinho *et al.* (2024). Observa-se que a máxima acumulada ocorreu no ano de 2020, com 1082,20 mm, e a mínima em 329,20 mm, no ano de 1993, sendo este ano caracterizado por uma seca significativa no local. Além disso, é notório que 27 anos possuíram quadra chuvosa abaixo da média analisada.

É essencial enfatizar que há grandes variações entre as precipitações locais com o avanço dos anos, o que evidencia a existência de períodos bastante secos e outros chuvosos, demonstrando que pode haver efeito de mudanças climáticas. Uma característica importante é que o IPA não possui influência do processo de urbanização, o que corrobora para tal hipótese.

Figura 14 - Precipitação anual total, Posto Experimental-IPA, de 1960 a 2023

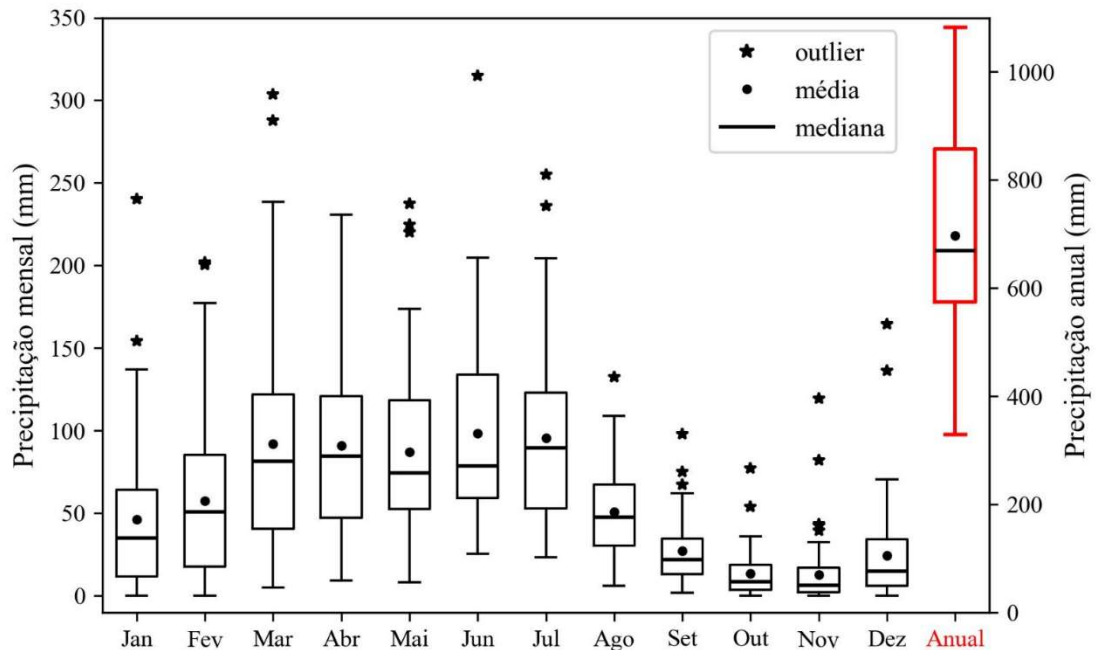


Fonte: A Autora (2025). Fonte dos dados: IPA (2024).

Quanto à pluviometria mensal, percebe-se que a média total de referência é de 58,11 mm, valor próximo ao descrito por Melo (2023) e Mousinho *et al.* (2024). Analisando a variabilidade temporal dos dados, nota-se que os meses de março a julho são os mais chuvosos para essa localidade, dispondo de valores acima da média de referência. O mês de junho teve o maior índice de precipitação, com uma média de 98,5 mm, seguido de julho, com 95,7 mm, e março com 92,1 mm (Figura 15).

No entanto, nos meses de agosto a dezembro, inicia-se o período de seca, com valores bem abaixo da média. A menor precipitação aconteceu no mês de novembro, com apenas 12,9 mm, seguido de outubro (13,6 mm) e dezembro (24,6 mm). É perceptível que nesse período de estiagem há uma queda nos níveis pluviométricos, havendo uma retomada apenas no mês de janeiro. Esses resultados são semelhantes ao citado por Medeiros *et al.* (2021), afirmando que a quadra chuvosa do local se inicia no mês de fevereiro (chuvas de pré-estação) e termina no mês de agosto, à qual o trimestre mais seco é de outubro a dezembro.

Figura 15 - Gráfico boxplot da precipitação total mensal e anual, Caruaru-IPA, de 1960 a 2023



Fonte: A Autora (2025). Fonte dos dados: IPA (2024).

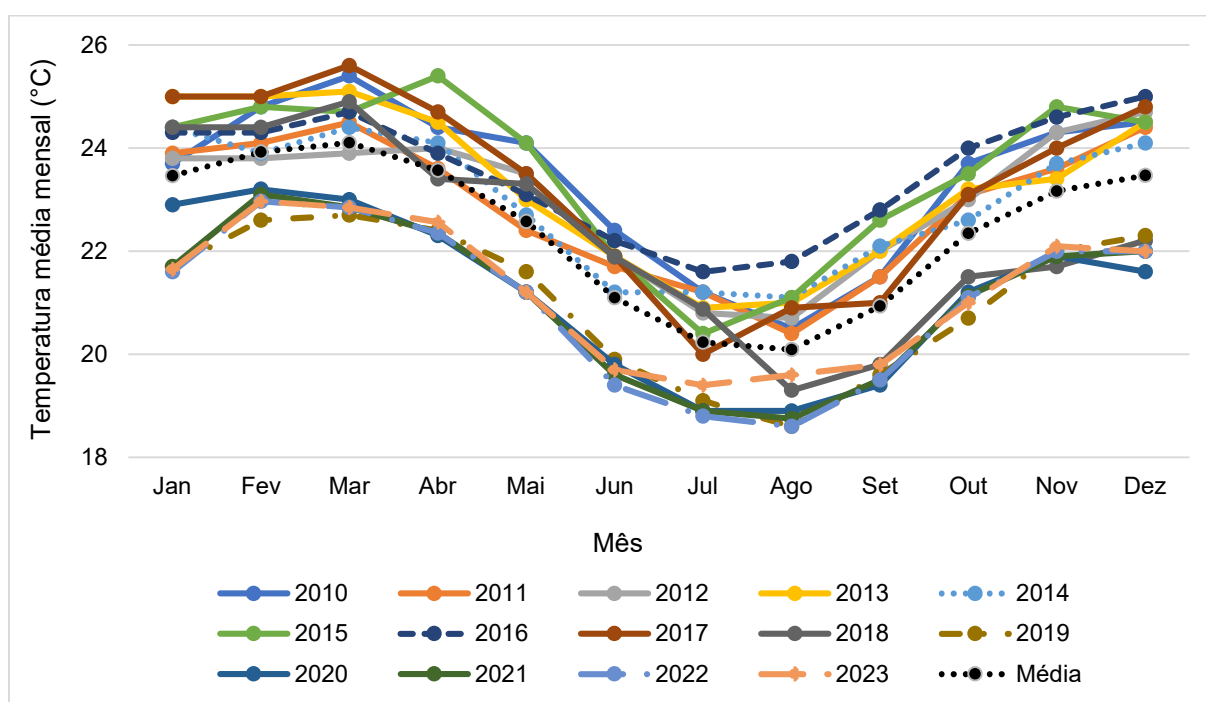
Além disso, Medeiros *et al.* (2021) ainda afirma que os períodos de estiagem são caracterizados por fenômenos climáticos como o El Niño, que modifica o clima e altera a distribuição de chuvas no Nordeste Brasileiro, e enfraquece a brisa do Atlântico Sul, provocando menores quantidades de umidade para o sertão. Em contrapartida, os ciclos chuvosos são provenientes de fatores como o deslocamento da ZCIT, onde os ventos alísios de nordeste acarretam grande quantidade de umidade nos meses de maio a julho, ocasionando precipitações de moderadas a fortes, além da umidade da bacia amazônica, onde os ventos advindos do Oeste configuram chuvas nos meses de fevereiro e março.

Os *outliers* identificados no gráfico *boxplot* foram interpretados como eventos raros de precipitação, à qual estes ocorrem primordialmente em períodos chuvosos, cujo pode-se ressaltar os meses de março, maio, junho e julho, com média de duas a três chuvas intensas por mês. A maior precipitação mensal registrada foi em junho de 2010 (314,9 mm). Outro valor acima dos 300 mm de precipitação ocorreu em março de 1981, com 303,6 mm registrados.

5.1.2 Temperatura mensal média

O comportamento das temperaturas mensais médias podem ser observados na Figura 16, onde nota-se que a média total de referência é de 22,4°C, valor próximo ao constatado por Medeiros (2021). Verifica-se um aumento nos meses de verão, principalmente no mês março, com 1,7°C de acréscimo em relação à média, além de temperaturas mais amenas no mês de julho, com decréscimo de 2,3°C se comparado com a média. Ademais, analisando a série histórica, as temperaturas médias possuem uma oscilação máxima de 4,3°C durante o ano.

Figura 16 - Temperatura mensal média, Posto Caruaru, de 2013 a 2023



Fonte: A Autora (2025). Fonte dos dados: INMET (2024).

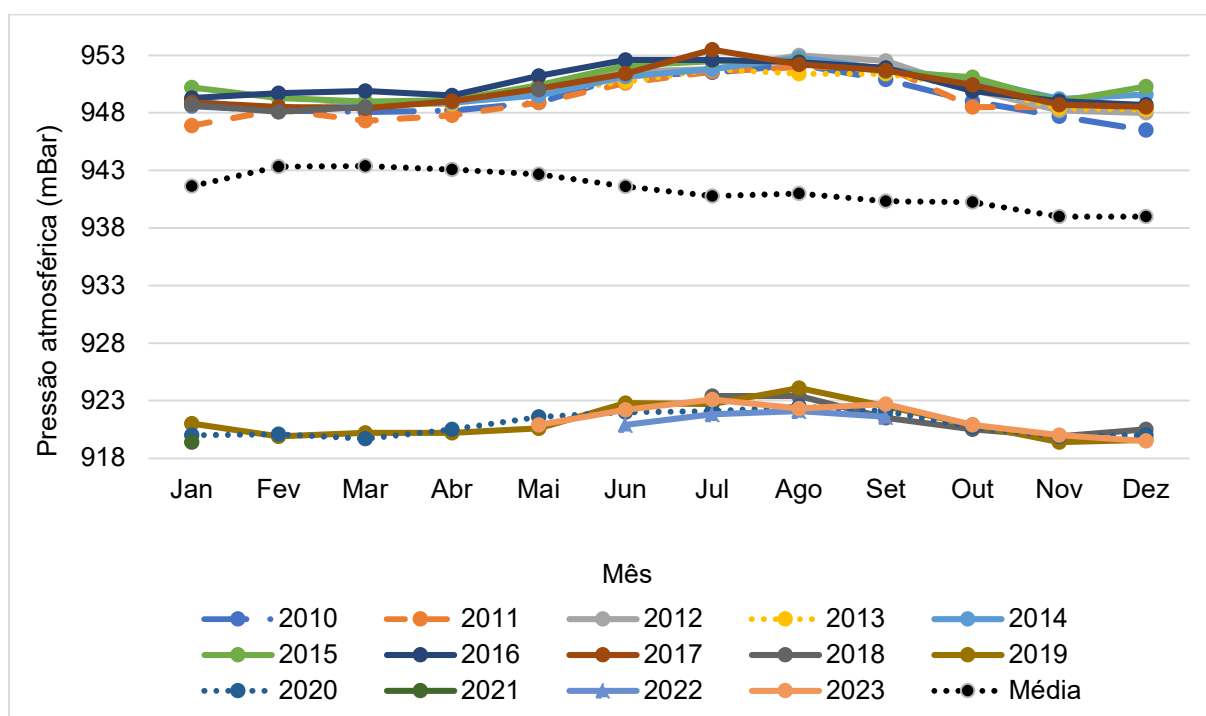
Correlacionando a temperatura média do ar com a evaporação, Collischonn e Dornelles (2015) enfatiza que o aumento da temperatura influi diretamente em altas taxas evaporativas, visto que esta acarreta um acréscimo no índice da pressão de saturação do vapor de água, potencializando a concentração de vapor no ar, para o ponto de saturação.

5.1.3 Pressão atmosférica mensal média

Quanto à pressão atmosférica, Figura 17, identifica-se que há poucas flutuações ao decorrer dos meses, sendo a pressão média no valor de 941,3 mBar. O pico de pressão atmosférica ocorreu no mês de julho de 2017, com 953,5 mBar. Assim, a pressão atmosférica está estritamente concatenada com a precipitação e a temperatura do ar.

Em meses com temperaturas mais amenas, como é o caso de julho, têm-se altas pressões, em razão da maior densidade do ar. Em contrapartida, em meses com menores quadras chuvosas, têm-se baixas da pressão atmosférica, como é perceptível no mês de setembro, com valores próximos à média de referência. Segundo Rodrigues, Guimarães e Moreira (2025), o aumento da pressão atmosférica resulta em decréscimo das taxas evaporativas.

Figura 17 - Pressão atmosférica mensal média, Posto Caruaru, de 2013 a 2023



Fonte: A Autora (2025). Fonte dos dados: INMET (2024).

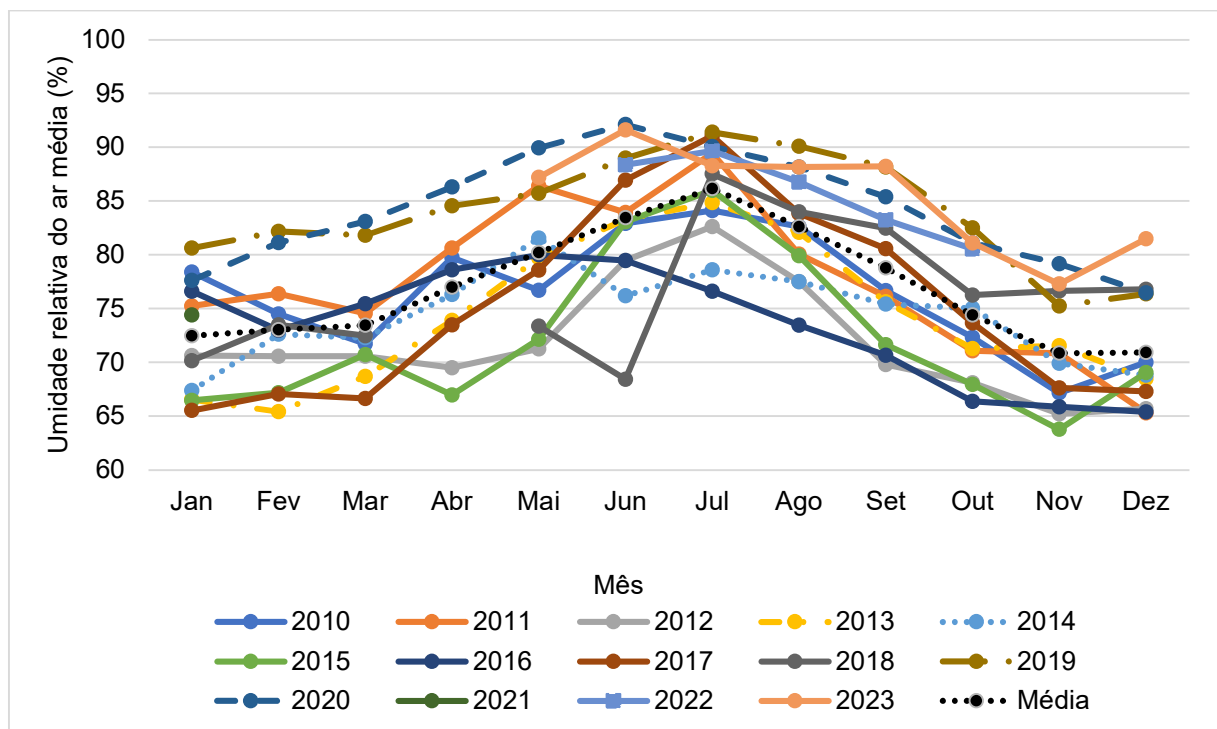
Pontua-se que existem ausências de valores nas medições, acarretando uma descontinuidade dos dados, como é o caso dos meses de abril e junho de 2018, fevereiro a dezembro de 2021, janeiro a maio e outubro a dezembro de 2022 e janeiro

a abril de 2023. Tal fato pode ser explicado por uma manutenção no equipamento de medição, ou por alteração de referencial e instrumento utilizado.

5.1.4 Umidade relativa do ar mensal média

Da análise dos dados de umidade relativa do ar representativos para Caruaru, na distribuição mensal, foi possível estabelecer que o bimestre mais úmido foram os meses de junho e julho, com julho apresentando a maior média mensal 86,2%, seguido de junho, com 83,4%. Verifica-se que a umidade relativa do ar decresce substancialmente nos meses de novembro e dezembro, ambos com média mensal de 70,9% (Figura 18). Estas reduções estão associadas com o período seco e com os baixos índices pluviométricos ocorridos na localidade.

Figura 18 - Umidade relativa do ar mensal média, Posto Caruaru, entre os anos de 2010 a 2023



Fonte: A Autora (2025). Fonte dos dados: INMET (2024).

Nos meses de maio a setembro ocorrem as maiores intensidades de umidade relativa do ar, com flutuações médias entre 78,8 a 86,2%. Estas flutuações condizem com os meses mais úmidos do período chuvoso do território. A variabilidade da umidade relativa do ar entre os anos de 2010 a 2023 flui entre 63,8 a 92,1%. Estes níveis máximos de umidade relativa do ar podem ser afetados pela massa do ar

equatorial continental, que impactam nas condições climáticas desta região, já os mínimos são motivados pela inibição ou falha nos transportes de umidade e vapor, acarretando, consequentemente, na ausência de chuvas.

Uma anormalidade na Figura 18 é a descontinuidade dos valores no mês de junho de 2018, fevereiro a dezembro de 2021, janeiro a maio e novembro a dezembro de 2022 e janeiro a abril de 2023, os mesmos constatados na pressão atmosférica média, validando os motivos supramencionados.

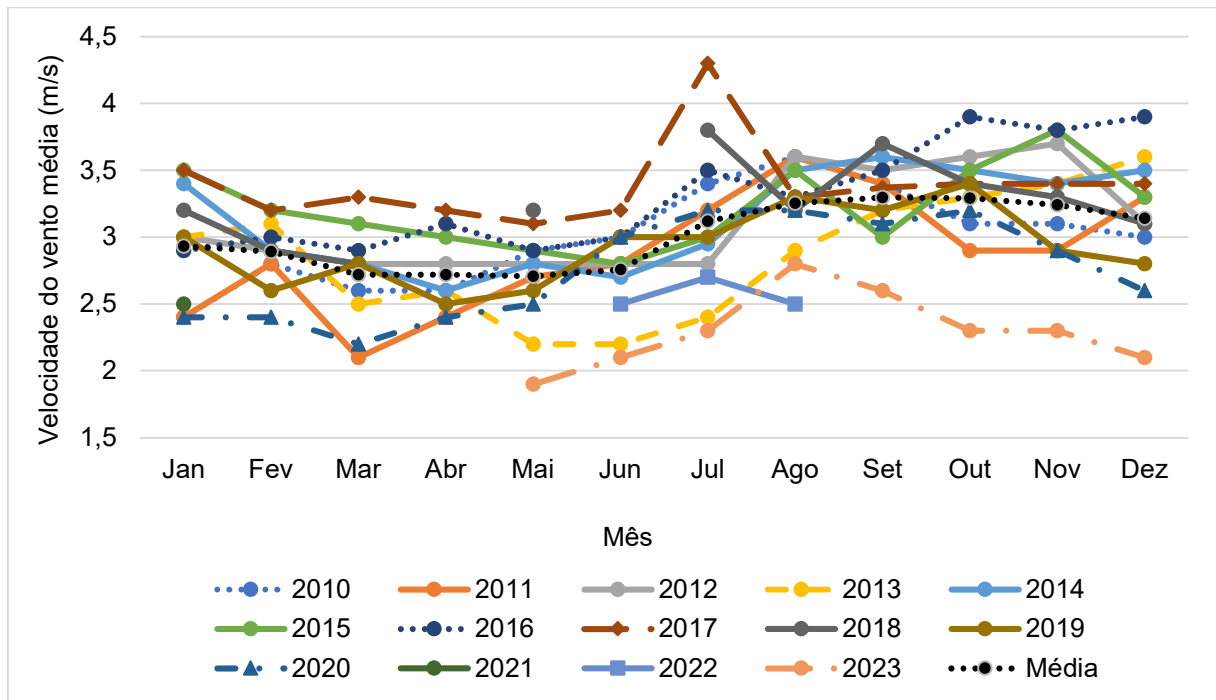
De acordo com Zhang et al. (2023), a umidade do ar se relaciona indiretamente com a evaporação, pois elevados valores de umidade do ar apontam que existe muito vapor de água na atmosfera. Então, quanto maior a umidade, menores serão as taxas evaporativas. Ademais, o autor ainda aponta que a concentração de vapor de água presente no ar é designada por uma alta variação em tempo e espaço.

5.1.5 Velocidade do vento média

A velocidade do vento média, a um nível de referência de 10 metros de altura em relação ao solo, foi de 3,0 m/s, conforme Figura 19. Em termos absolutos, cerca de 99% das médias mensais encontravam-se entre 2-4 m/s, onde estes resultados indicam que os ventos predominantes em Caruaru-PE podem ser considerados como lentos e suaves, similarmente ao abordado por Siefert *et al.* (2021) para todo o território nacional.

Afere-se que o trimestre com as maiores intensidades do vento fora de agosto a outubro, ambos apresentando 3,3 m/s de média, ao passo que os com menores intensidades fora de março a maio, com velocidade de 2,7 m/s. Das quatro estações do ano, em concordância com os valores médios, as maiores velocidades resultam sistematicamente nos meses de inverno e primavera, com flutuações entre 2,8 a 3,3 m/s. Consequentemente, as menores médias são das estações de outono e verão, variando entre 2,7 a 2,9 m/s. Dessa forma, segundo Gilliland e Keim (2017), quando a ZCIT está posicionada ao sul do Equador durante o verão e outono, os ventos têm a tendência de serem mais lentos e suaves em comparação aos períodos de inverno e primavera.

Figura 19 - Velocidade do vento mensal média, Posto Caruaru, entre os anos de 2010 a 2023



Fonte: A Autora (2025). Fonte dos dados: INMET (2024).

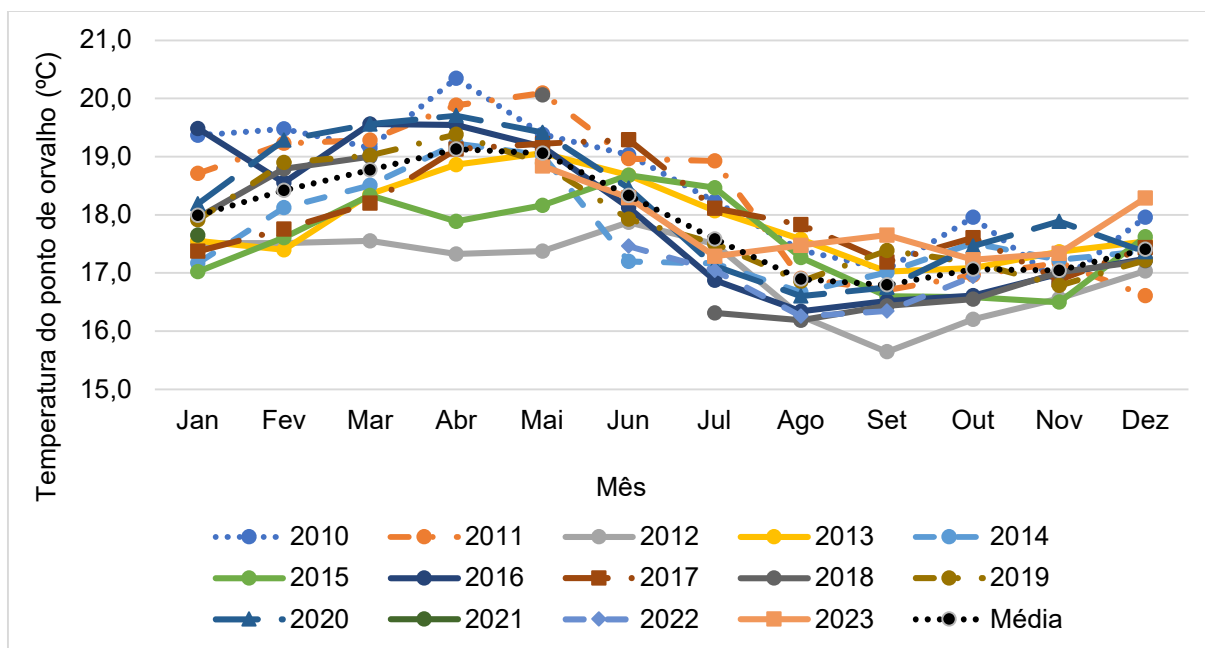
Em conformidade com Dantas (2017), maiores velocidades do vento acarretam um maior potencial evaporativo no local, em função dessa velocidade perpetrar que o ar úmido que esteja sobre a superfície líquida seja deslocado e intercambiado por ar fresco e relativamente seco, facilitando o processo de evaporação.

5.1.6 Temperatura do ponto de orvalho média

O ponto de orvalho, por definição, é a temperatura que uma parcela de ar necessita para ser resfriada, a uma pressão constante, a fim de que a saturação, ou seja, 100% da umidade relativa ocorra (Barbero *et al.*, 2017). Assim, com base na Figura 20, percebe-se que os meses de abril e maio apresentam os valores mais altos, com média representativa de 19,1°C.

Notadamente, os meses de agosto e setembro configuram-se como os menores valores de temperatura do ponto de orvalho, com média de 16,9 a 16,8 °C, respectivamente. Em geral, com base na série histórica (2010-2023), o menor valor evidenciado foi em setembro de 2012 (15,6°C) e o maior em abril de 2010 (20,4°C). Nesse contexto, os valores do ponto de orvalho oscilam entre 15 a 21°C, similar ao aludido por Melo (2023).

Figura 20 - Temperatura do ponto de orvalho mensal média, Posto Caruaru, entre os anos de 2010 a 2023



Fonte: A Autora (2025). Fonte dos dados: INMET (2024).

Assim, a temperatura do ponto de orvalho, à qual está estritamente relacionada com a umidade do ar, tem impacto direto sobre as taxas de evaporação. Dessa forma, temperaturas de orvalho mais baixas resultam, geralmente, em taxas evaporativas mais altas, ao passo que pontos de orvalho mais elevados tendem a reduzir esse índice (Varejão-Silva, 2006).

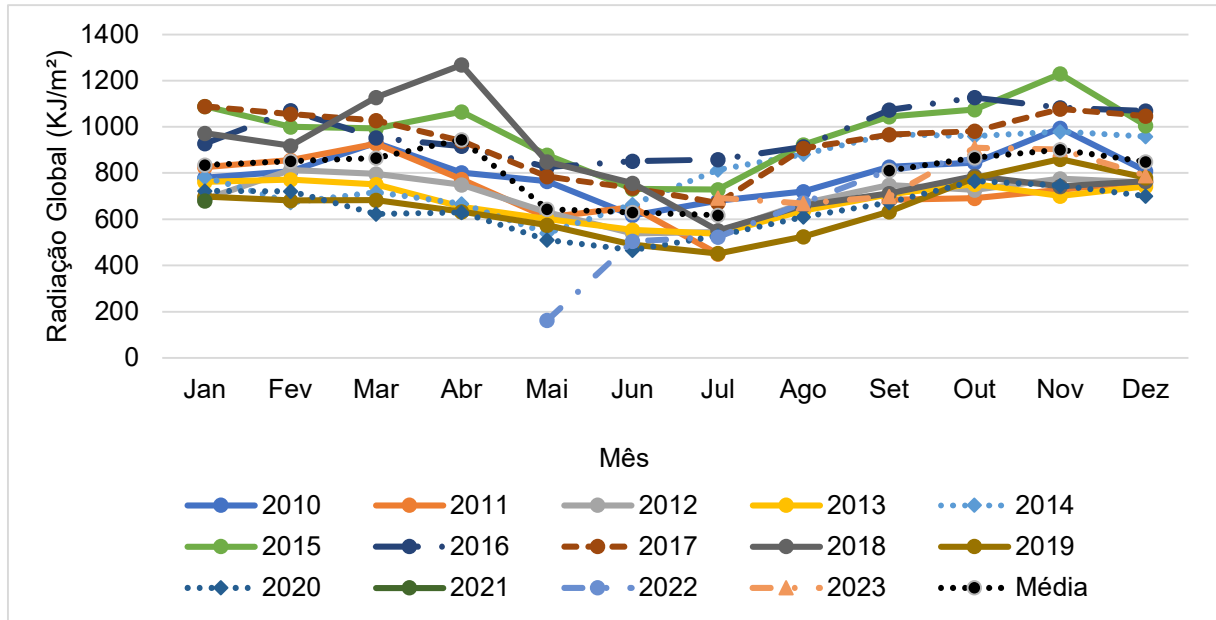
5.1.7 Radiação global média

A radiação solar é uma das forças motrizes para que a evaporação ocorra (Collischonn; Dornelles, 2015). Com base nesse viés, sob a perspectiva da série histórica ilustrada na Figura 21, tem-se que abril corresponde ao mês com maiores valores, com média de referência de 945,1 KJ/m², ao passo que os meses de maio a julho com os menores, com variações entre 618,0 a 644,2 KJ/m² de médias. O valor máximo da radiação global foi em abril de 2018, com 1268,27 KJ/m², atingindo níveis mínimos em maio de 2022, 162,8 KJ/m².

Em linhas gerais, observando as estações do ano, é possível constatar que meses de primavera e verão apresentam as maiores radiações globais e, conseqüentemente, elevadas taxas de evaporação, pois o ZCIT não atua nessa

época, onde a redução da nebulosidade favorece a passagem de uma quantidade maior de radiação (Belúcio *et al.*, 2014).

Figura 21 - Radiação global mensal média, Posto Caruaru, entre o período de 2010 a 2023



Fonte: A Autora (2025). Fonte dos dados: INMET (2024).

5.2 MENSURAÇÃO DA EVAPORAÇÃO

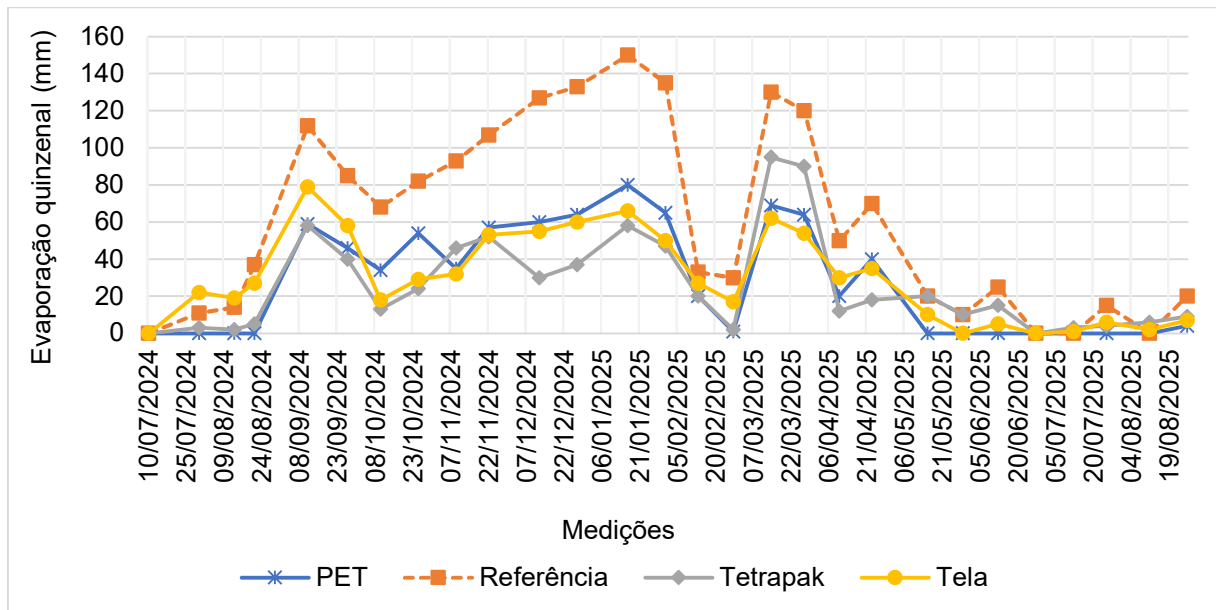
5.2.1 Evaporação em experimento de campo

5.2.1.1 Testes com coberturas físicas

A evaporação quinzenal do início ao fim das medições, durante o período de 10/07/2024 a 26/08/2025 está disposta na Figura 22. É válido destacar que, conforme analisado no comportamento climático e ratificado por Medeiros *et al.* (2021), a etapa inicial dos estudos é caracterizada por altas temperaturas e baixos índices pluviométricos, resultando em altas taxas evaporativas.

Nota-se que as linhas referentes aos reservatórios com as diferentes coberturas (PET, TetraPak e Tela de polietileno) se assemelham ao comportamento observado no de referência, de modo que quando este é crescente ou decrescente, estas também são. Ademais, entre o período de agosto a janeiro, percebe-se um crescimento acentuado nas taxas evaporativas, em decorrência do período seco do local.

Figura 22 - Evaporação quinzenal (mm) nos reservatórios, jul/2024 a ago/2025

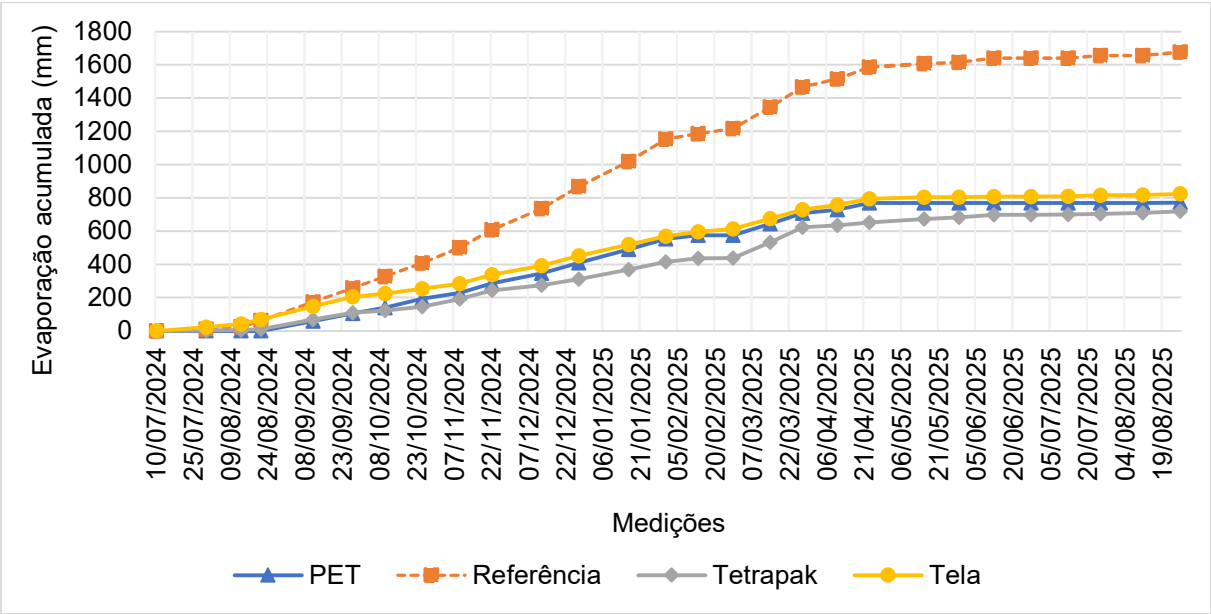


Fonte: A Autora (2025).

A cobertura com tela de polietileno foi o material com o pior desempenho na redução das perdas decorrentes desse fenômeno. Esse resultado também pôde ser observado nos estudos de Nascimento *et al.* (2023). Por outro lado, as barreiras físicas com TetraPak apresentaram valores abaixo das demais em períodos mais secos, revelando maior eficiência na redução da evaporação neste recorte temporal. Já as garrafas PET exibiram valores intermediários em secas, mas valores abaixo das demais em períodos chuvosos, assim como pesquisa de Melo (2023), evidenciando uma eficiência moderada na mitigação da evaporação.

É fundamental pontuar que todos os reservatórios foram submetidos às mesmas condições climáticas, onde os valores de precipitação não foram descontados. Desse modo, nos pontos de evaporação nula, conforme vê-se nas medições dos meses julho e agosto de 2024 e maio, junho e julho de 2025 para a cobertura com as garrafas, significa um volume de precipitação igual ou superior à evaporação, resultando em um balanço hídrico negativo. Este fato pode ser explicado em razão de tal cobertura está sujeita a recargas por águas pluviais. As curvas acumuladas das taxas evaporativas medidas quinzenalmente são exibidas na Figura 23.

Figura 23 - Evaporação acumulada (mm) nos reservatórios, jul/2024 a ago/2025



Fonte: A Autora (2025).

Analisando as curvaturas dispostas na Figura 23, percebe-se que a linha correspondente à barreira com TetraPak, destacou ainda mais a eficiência desta cobertura na redução da evaporação. Esse desempenho é evidenciado pelo maior distanciamento em relação à curva dos valores constatados no reservatório de referência, à qual exibiu evaporações acumuladas significativamente superior. É válido ressaltar que apesar das curvaturas pertinentes a tela de polietileno e garrafas PET serem as que mais se aproximam das taxas reais de evaporação, ainda assim são eficientes na mitigação desse fenômeno.

O total evaporado e o percentual de eficiência na redução da evaporação das coberturas físicas estão demonstrados na Tabela 6. Assim, a eficácia é avaliada em comparação ao reservatório de referência.

Tabela 6 - Evaporação total e eficácia na redução da evaporação, nas diferentes coberturas

Reservatório	Evaporação total (mm)	Eficácia (%)
Referência	1677,00	
Garrafas PET	772,00	53,97
TetraPak	719,00	57,13
Tela de polietileno	824,00	50,86

Fonte: A Autora (2025).

De fato, a barreira física com Tetrapak foi a mais eficiente na mitigação da evaporação, com eficácia de 53,13%, seguido das garrafas PET com 53,97% e, por fim, da tela de polietileno com 50,86%. Esses resultados se contrapõem ao verificado por Nascimento *et al.* (2023), à qual em sua pesquisa, as coberturas que apresentaram maior eficiência no decréscimo das taxas de evaporação foram as garrafas PET, com um percentual de redução de 45,36% para as incolores. Contudo, se assemelha a cobertura menos eficiente serem as telas de polietileno com um maior espaçamento das malhas (24,57%). Ressalta-se que apesar da barreira reflexiva demonstrar resultados significativos na supressão desse fenômeno e análise de qualidade da água, tem-se um alto potencial de degradação em períodos chuvosos.

Na primeira fase de experimentação de Melo (2023), utilizando masseiras plásticas como reservatórios e sendo no período seco analisado no município de Caruaru-PE, os resultados se equiparam, onde a cobertura mais eficiente também foi a tela aluminizada com decréscimo das taxas evaporativas em 57,89%, valor bem próximo ao desta pesquisa. Ademais, Alvarez *et al.* (2006) também avaliaram a redução da evaporação com telas aluminizadas e de polietileno. A redução média obtida foi de 50% para as telas aluminizadas, valor próximo ao verificado no presente estudo e de 80% para a de polietileno, valor este semelhante aos estudos de Martinez-Alvarez *et al.* (2010), Gallego-Elvira *et al.* (2012) e Helfer *et al.* (2019), mas relativamente superiores ao desta pesquisa.

A utilização dessas barreiras suspensas é eficaz em decorrência da combinação de dois fatores, sendo a redução da velocidade do vento sobre a água, que, em situações normais, este é responsável pela remoção do ar úmido que se acumula na superfície líquida, aumentando as taxas evaporativas e, a diminuição da radiação na superfície dos reservatórios, resultando em baixas temperaturas. Assim, temperaturas mais baixas estão estritamente relacionadas com um baixo poder de contenção de umidade e, em menores valores de evaporação (Helfer *et al.*, 2019).

Shalaby, Nassar e Abdallah (2024) verificaram a eficiência de garrafas PET parcialmente cheias em Damanhour, no sul do Egito, e constataram uma redução nas taxas de 44,6%, valor este que fica um pouco abaixo ao identificado na presente pesquisa de 52,93%. Simon, Shanbhag e Slocum (2016) também averiguaram a eficácia dessa cobertura, onde observaram diminuição média em 40% da evaporação. Logo, percebe-se que os valores detectados nesta pesquisa em relação a este

material demonstraram um desempenho significativo quanto ao reportado em outros estudos da literatura.

Além do exposto, optou-se também por acrescentar uma análise estatística dos dados coletados, embora todas as barreiras apresentem certo grau de eficiência na mitigação do processo evaporativo. Dessa forma, selecionou-se os dados médios quinzenais da evaporação, sendo factível observar a dispersão dos dados quinzenais de evaporação.

Tabela 7 - Evaporação quinzenal média e desvio padrão da evaporação dos reservatórios

Reservatório	Evaporação quinzenal média (mm)	DP médio quinzenal (mm)
Referência	59,89	50,71
Garrafas PET	27,57	28,84
TetraPak	25,68	26,39
Tela de polietileno	29,43	23,98

Fonte: A Autora (2025).

Mediante Tabela 7, é perceptível que a melhor barreira para a supressão das perdas quinzenais de água foi a cobertura com Tetrapak, em decorrência do menor índice de evaporação médio quinzenal, no entanto, a dispersão dos valores foi acentuada quando comparada com as demais. Esse comportamento pode ser explicado pelas propriedades do material, que tem alto potencial de degradação com a ação do tempo, comprometendo o bloqueio da evaporação. A cobertura com tela de polietileno demonstrou a menor dispersão de dados, onde o seu comportamento foi o mais estável e previsível dentre as coberturas, mesmo sendo a menos eficaz para supressão da evaporação.

Além disso, as barreiras com garrafas PET apresentaram desvio padrão semelhante à média, indicando uma alta variabilidade nas evaporações quinzenais. Assim, essa barreira possui uma oscilação significativa entre os períodos chuvosos e secos do local, resultando sensibilidade às condições climáticas. Analisando os dados dos reservatórios sem coberturas, é notório que a maior média entre os tratamentos, assim como um desvio padrão elevado, fato este que reforça que a média resume o comportamento geral, mas possui boa representatividade na evaporação quinzenal característica, servindo apenas como um indicador geral de tendência.

De modo geral, nota-se que todos os reservatórios exibem alta dispersão dos dados em relação às médias, o que indica que a evaporação quinzenal é altamente

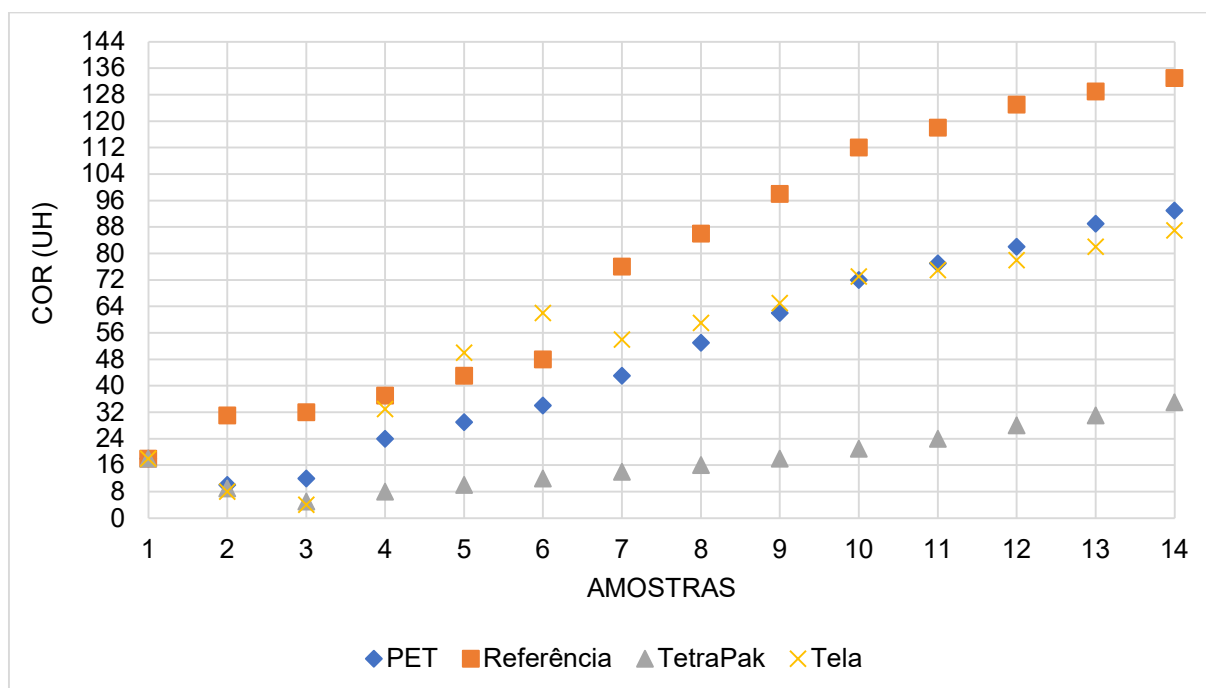
variável, sendo dependente da sazonalidade e sensível às mudanças climáticas, comprovando assim, que a precipitação e temperatura influenciam diretamente no processo evaporativo.

5.2.1.2 Análise da qualidade da água

As análises da qualidade da água foram realizadas mensalmente, onde tiveram início em 30/07/2024 até 26/08/2025. À vista disso, os resultados obtidos das análises foram avaliados em conformidade aos valores recomendados pela Resolução nº 357/2005 do CONAMA, especificamente para corpos de água doce, enquadrados na classe 1.

Com relação aos parâmetros físicos, nota-se que a cor aparente dos reservatórios de referência, tela de polietileno e garrafas PET se sobressaem perante os reservatórios com cobertura de TetraPak (Figura 24). Este fato pode ser explicado em virtude de ambos possuírem exposição ao ambiente externo, ocasionando impurezas a estas águas.

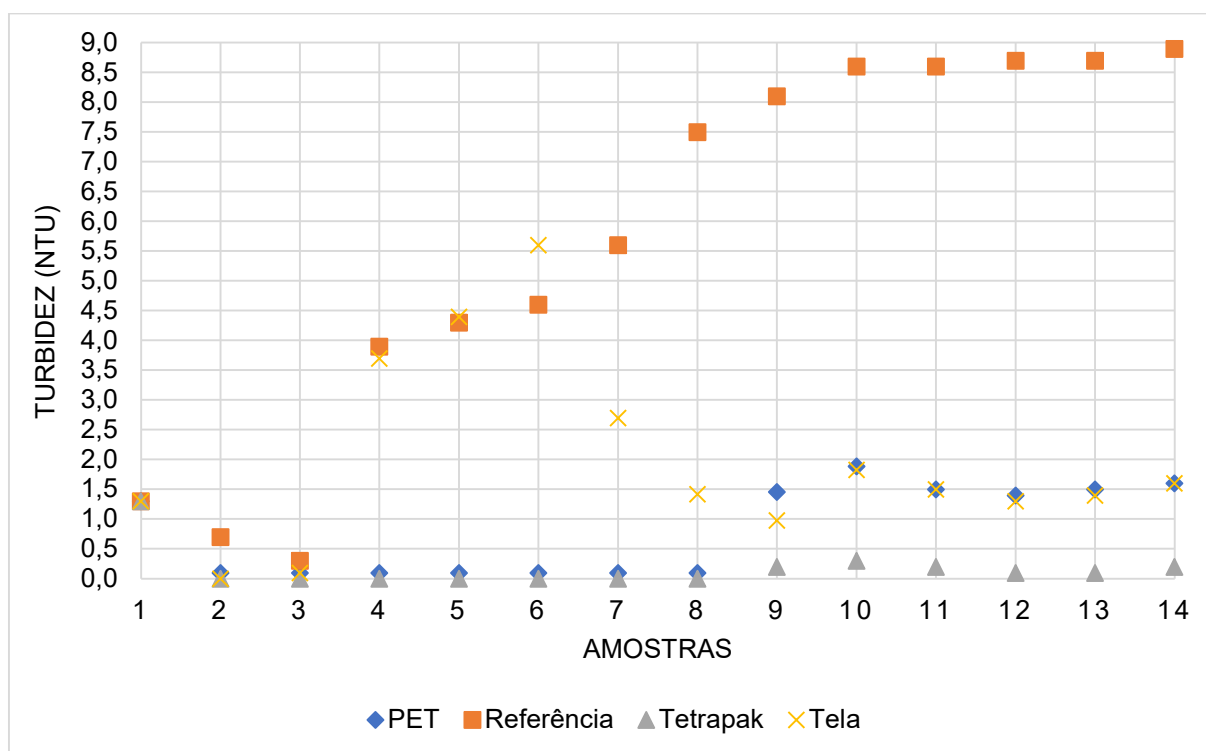
Figura 24 - Análise de cor (uH)



Fonte: A Autora (2025).

Quanto à turbidez (Figura 25), verifica-se que apenas o reservatório com a cobertura de TetraPak apresenta valores constantes (variando entre 0,1 a 0,3 NTU), visto que é o único sem contato ao meio externo, com cobertura em sua totalidade. É notório o aumento expressivo no reservatório de referência ao longo do tempo, com valores superiores a 8,5 NTU, estando associado à maior exposição a contaminantes, detritos e sólidos em suspensão. Entretanto, a turbidez das amostras analisadas está em conformidade com os padrões de qualidade, apresentando valores significativamente abaixo do limite de 40 NTU.

Figura 25 - Análise de turbidez (NTU)

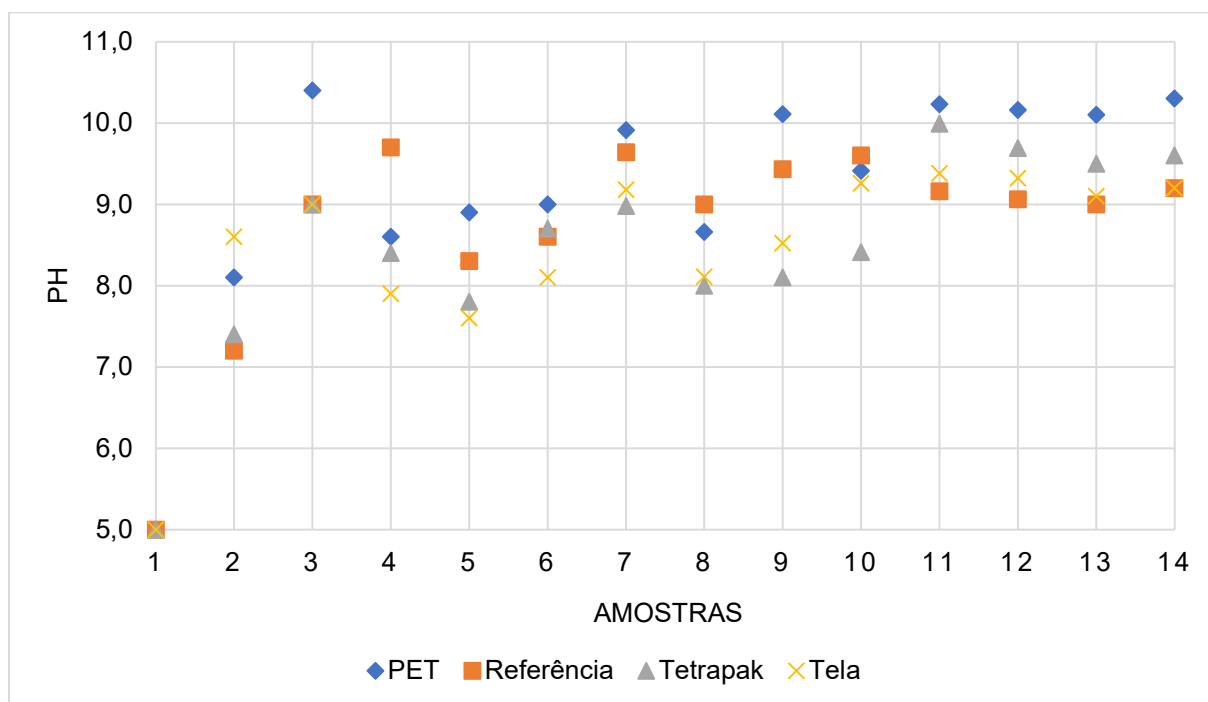


Fonte: A Autora (2025).

No que diz respeito aos parâmetros químicos, o pH das amostras, disposto na Figura 26, iniciou ácido na primeira medição, e, ao decorrer do tempo, obteve tendência básica. Observa-se que o reservatório com a TetraPak demonstra os menores valores de PH dentre as coberturas, com oscilações mais suaves. Esse resultado pode ser caracterizado em virtude da opacidade do material, que minimiza substancialmente a atividade térmica no interior do reservatório, onde esse controle da radiação e temperatura contribui para o equilíbrio químico da água.

Mediante citado, o pH das amostras de todos os sistemas apresentaram tendência de alcalinização, à qual se identifica que a maior parte das amostragens se mantiveram dentro dos padrões estabelecidos, exceto para as amostras 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13 e 14 dos reservatórios com as garrafas PET e reservatórios de referência (PH variando entre 9,1 a 10,4), as amostras 11,12, 13 e 14 do reservatório com Tetrapak (pH entre 9,1 a 9,2) e as amostras 7, 10, 11, 12,13 e 14 do reservatório com tela de polietileno (PH entre 9,1 a 9,4), à qual o limite aceitável é de 6,0 a 9,0. Verifica-se também um aumento do pH nos reservatórios primordialmente no período chuvoso do local, sendo atribuído ao aumento da diluição de compostos contidos nos tanques, bem como de outros processos biogeoquímicos.

Figura 26 - Análise de pH

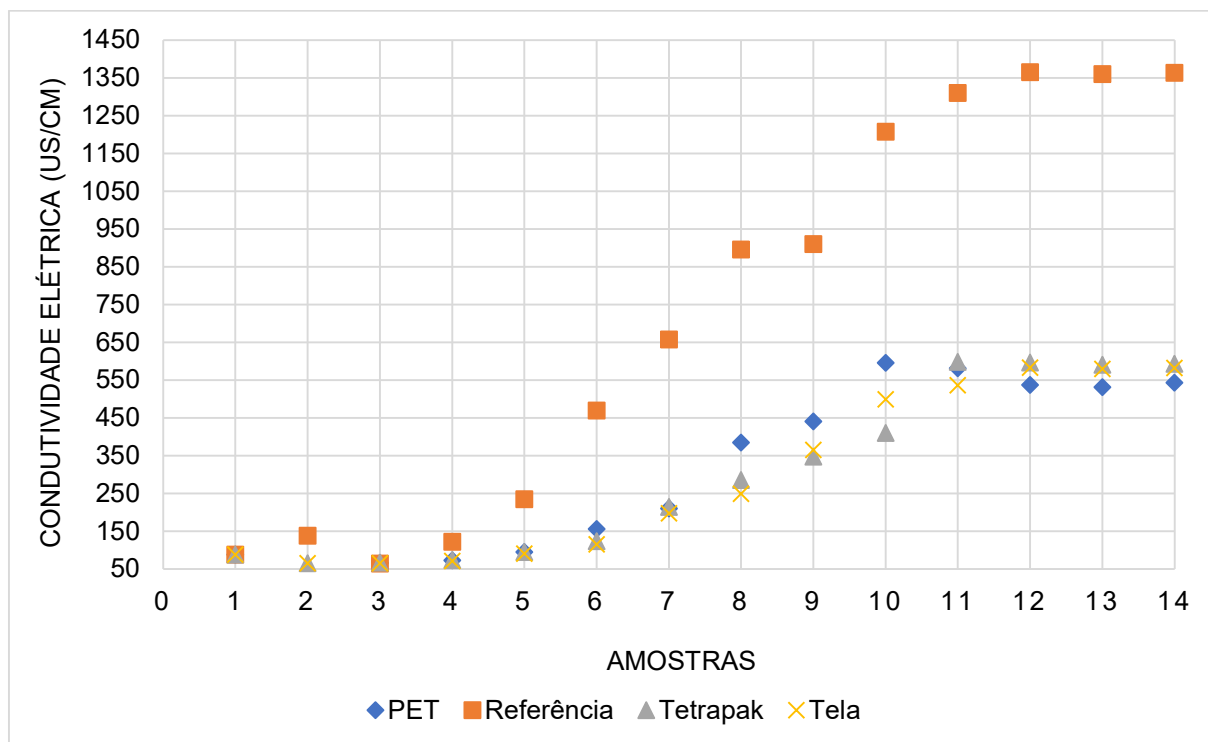


Fonte: A Autora (2025).

Na Figura 27, nota-se que o grau de condutividade elétrica é reduzido substancialmente nos reservatórios com cobertura, frente ao de referência. Assim, Melo (2023) aborda em seu estudo que a redução desse parâmetro está associada ao efeito da água da chuva na diluição dos sais. Além disso, a redução da evaporação em reservatórios com barreiras resulta em um balanço hídrico positivo, o que reduz a condutividade elétrica da água, em conformidade ao exposto por Maestre-Valero (2013). Ressalta-se que a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), não

estabelece referência específica para o padrão de qualidade relacionado à condutividade.

Figura 27 - Análise de condutividade elétrica (uS/cm)

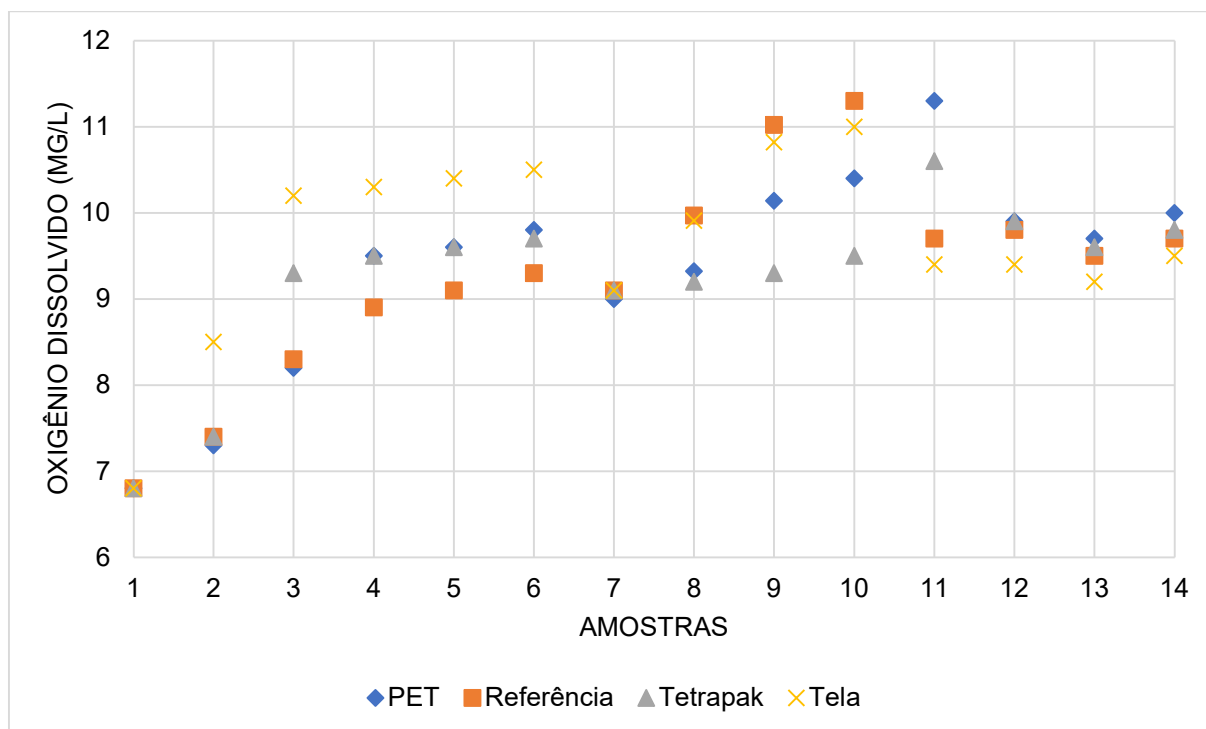


Fonte: A Autora (2025).

Para o Oxigênio Dissolvido (Figura 28), foram observados que todas as amostras estão dentro do limiar de referência, com valores superiores a 6 mg/L. Detecta-se uma tendência de crescimento em todos os reservatórios. Esse resultado é primordial para a manutenção do ecossistema aquático, assim como para a redução do desenvolvimento de espécies anaeróbicas, que provocam decomposição da matéria orgânica em compostos, resultando em mal cheiros. A quantidade de oxigênio dissolvido foi superior nas amostras do reservatório com tela de polietileno, diferenciando-se do exposto por Melo (2023).

Percebe-se que o aumento do oxigênio dissolvido nos reservatórios está atrelado à recarga de água quinzenal para se compensar o volume perdido por evaporação, onde a água disposta no local é bem oxigenada, mediante testes realizados com aparelho específico, bem como chuvas, onde estas promovem a turbulência nas superfícies líquidas dos reservatórios, propiciando a reoxigenação natural da água. Esse resultado também pôde ser observado no estudo de Martinez-Alvarez et al. (2010) e Maestre-Valero (2013).

Figura 28 - Análise de oxigênio dissolvido (mg/L)

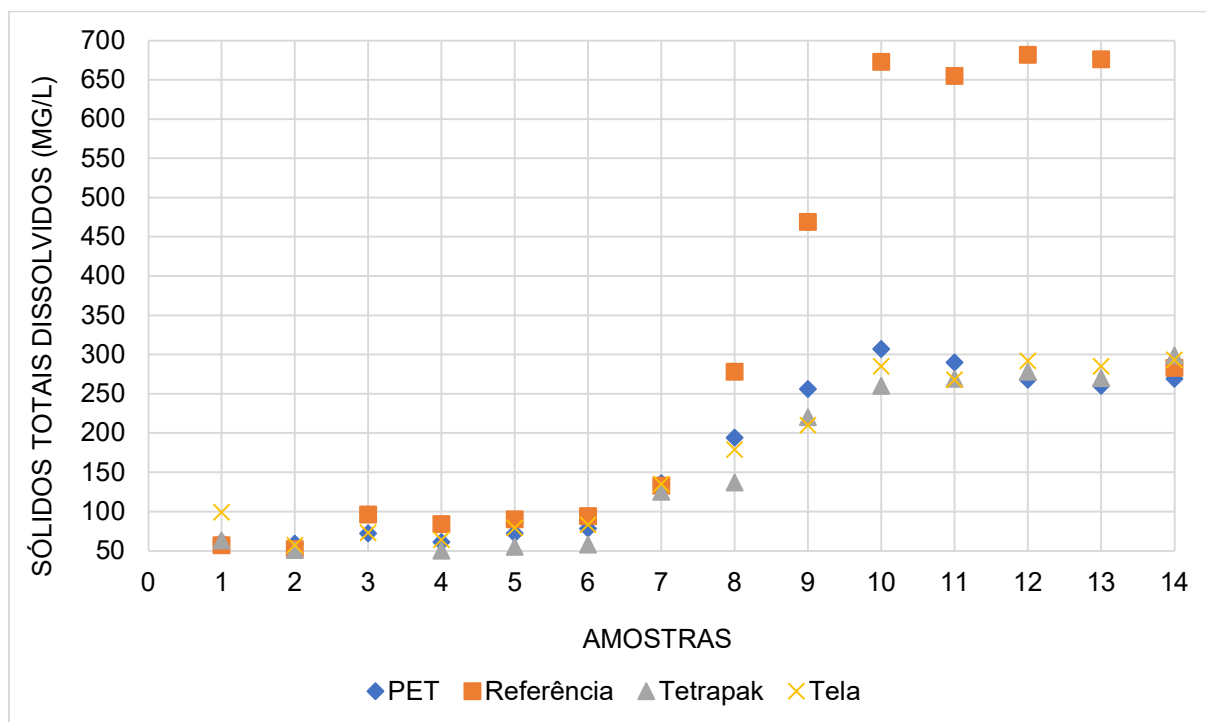


Fonte: A Autora (2025).

A Figura 29 exibe os resultados quanto ao total de sólidos totais dissolvidos nas amostras. Assim, é perceptível uma tendência de crescimento em todos os reservatórios, principalmente no de referência, com valores superiores a 600 mg/L. Este resultado indica o acúmulo de matéria orgânica e sedimentos resultantes da ausência de cobertura que venham impedir essa entrada, assim como da elevada evaporação desse reservatório.

Evidentemente, os valores mais elevados são, em sua maioria, no período chuvoso do município, onde o escoamento superficial facilita o carregamento desses detritos e o incremento de sais minerais nos reservatórios, conforme exposto por Sovocool (2014). Ademais, os resultados se encontram dentro dos padrões de qualidade para todas as análises, excetuando-se as amostras 10, 11, 12, 13 e 14 do reservatório de referência, sendo superiores ao limiar de ≤ 500 mg/L.

Figura 29 - Análise de sólidos totais dissolvidos (mg/L)



Fonte: A Autora (2025).

No tocante aos aspectos microbiológicos, segundo exposto na Tabela 8, evidencia-se que apenas o reservatório com TetraPak está em conformidade aos padrões de qualidade estabelecidos (≤ 200), com valores inferiores ou ausentes de coliformes termotolerantes. Foram detectados valores superiores ao limiar de referência no reservatório sem proteção (a partir do quinto mês de estudo), com a barreira física de tela de polietileno (com início na décima amostra) e garrafas PET (a começar da sétima análise).

Nos reservatórios com cobertura, a presença de coliformes foi detectada apenas a partir do quarto mês de análises, diferenciando-se do reservatório de referência, que apresentou valores nulos exclusivamente na fase inicial do estudo. Essa tendência de contaminação ao longo do período em análise está associada à constante reposição da água nos reservatórios com o líquido disposto no local, que possui presença de coliformes, da mesma maneira que a da entrada de anfíbios nos reservatórios parcialmente cobertos e de referência, conforme vê-se na Figura 30.

Tabela 8 - Análises de coliformes termotolerantes nos distintos reservatórios

Medições	Reservatórios			
	Garrafas PET	Referência	TetraPak	Tela de polietileno
30/07/2024	0	0	0	0
21/08/2024	0	< 200	0	0
27/09/2024	0	< 200	0	0
25/10/2024	< 200	< 200	< 200	< 200
22/11/2024	< 200	> 200	< 200	< 200
27/12/2024	< 200	> 200	< 200	< 200
31/01/2025	> 200	> 200	< 200	< 200
27/02/2025	> 200	> 200	< 200	< 200
27/03/2025	> 200	> 200	< 200	< 200
23/04/2025	> 200	> 200	< 200	> 200
29/05/2025	> 200	> 200	< 200	> 200
27/06/2025	> 200	> 200	< 200	> 200
25/07/2025	> 200	> 200	< 200	> 200
26/08/2025	> 200	> 200	< 200	> 200

Fonte: A Autora (2025).

Com relação aos aspectos visuais, observou-se que os reservatórios com telas de polietileno e TetraPak proporcionaram melhores condições em relação a coloração, logo e outros elementos poluidores quando comparados ao reservatório de referência. No entanto, a cobertura com as embalagens aluminizadas se degradaram com as fortes chuvas que vieram a ocorrer no local, resultando no desprendimento de microplásticos no reservatório (Figura 30). Ademais, os reservatórios com as garrafas PET apresentaram comportamento semelhante ao de referência, com presença de lodo.

Figura 30 - Principais aspectos visuais dos reservatórios em estudo

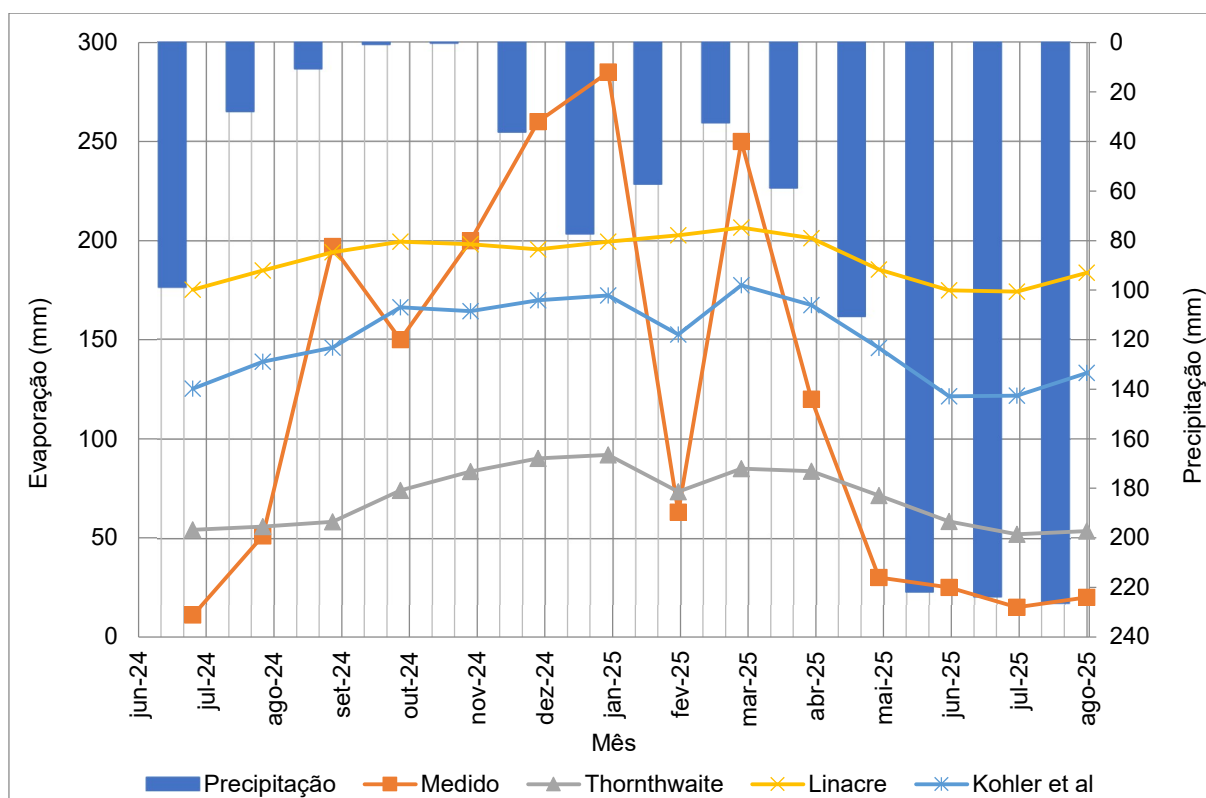


Fonte: A Autora (2025).

5.2.2 Modelagem da evaporação

Com relação às estimativas da evaporação, utilizando-se dos modelos de Thornthwaite (1948), Linacre (1993) e Kohler *et al.* (1955), a Figura 31 exibe o comportamento do cálculo da evaporação mensal no âmbito de estudo mediante métodos, assim como valores medidos no reservatório de referência e a precipitação total mensal no intervalo de análises.

Figura 31 - Análise comparativa dos métodos teóricos para estimativas da evaporação



Fonte: A Autora (2025).

Na Figura 31 é perceptível que os três modelos teóricos não apresentam um comportamento semelhante ao medido nas experimentações em campo, uma vez que este último possui significativa variação nos valores das medições, característica que não se observa nos métodos estimativos. Ainda assim, nas medições do reservatório de referência, é notório quedas acentuadas no trimestre chuvoso do local (maio, junho e julho). Após isso, os valores aumentaram até janeiro, atingindo um pico neste mês, com 285 mm evaporados.

Esse resultado está associado à intensa influência e variabilidade das condições meteorológicas do local sobre o processo evaporativo. Ademais, salienta-

se que outro motivador é que os índices de precipitação não foram descontados ao valor medido da evaporação, visto que preferiu-se evitar que as precipitações concentradas em poucos dias impactassem consideravelmente nos estudos, quer dizer, na contabilização das chuvas que viessem a ocasionar transbordamentos no reservatório.

Em contraste, nos três modelos teóricos, nota-se um comportamento com menor amplitude de variação no período analisado. A evaporação é crescente nos meses com menores precipitações e maiores temperaturas, atingindo valor mais elevado no mês de março nos métodos de Linacre (1993) e Kohler *et al.* (1955), onde levam em consideração ambas as variáveis meteorológicas, e o mês de janeiro para o modelo de Thornthwaite (1948), tendo em conta apenas a temperatura média mensal.

Dentre os modelos de estimativa, o que mais se aproxima dos valores reais aferidos na evaporação dos reservatórios é o de Kohler *et al.* (1955). Este resultado corrobora com Nascimento *et al.* (2023), que também identificaram que este método se assemelhava ao comportamento real da evaporação no município de Caruaru-PE. É válido destacar que esta é a única metodologia que utiliza, em sua formulação, correções positivas e mais igualitárias ao coeficiente psicométrico, relacionados com a diferença existente entre a temperatura do ar e a temperatura da superfície do líquido. Condicionado a isso, é o método que engloba o maior número de variáveis climáticas em suas equações.

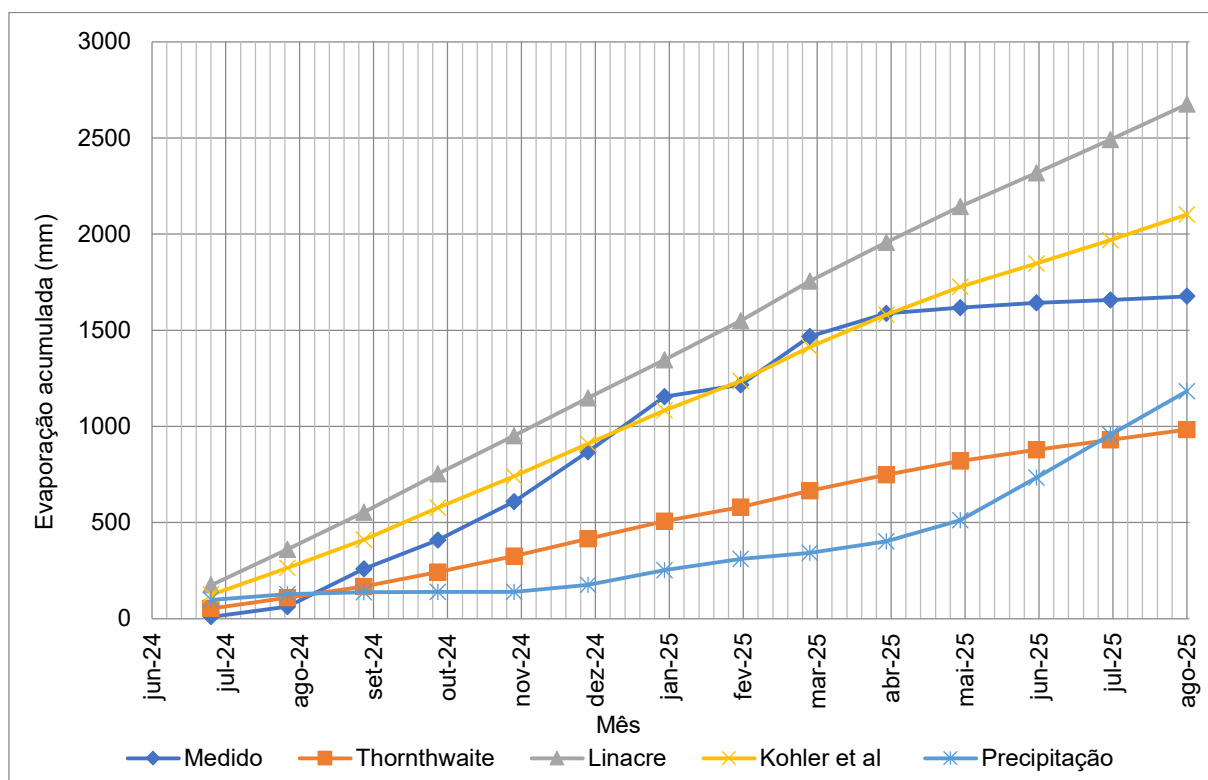
Por sua vez, o método de Thornthwaite (1948) subestimou a evaporação, onde os valores estimados foram menores quando comparados com os demais métodos. Tal comportamento foi observado nos estudos de Nascimento *et al.* (2023) e Sousa *et al.* (2024), ao quantificarem a evaporação em pequenos reservatórios do Semiárido brasileiro. Conforme citado por Sousa *et al.* (2024), os valores reduzidos podem estar associados ao fato de que sua equação tem como base apenas a temperatura média do ar como parâmetro em uma região com intensa variabilidade.

Já o modelo de Linacre (1993) superestimou a evaporação, contrapondo aos resultados expostos por Sousa *et al.* (2024), onde este método foi o que mais se aproximou das condições reais de evaporação do Açude Santo Anastácio, em Fortaleza-CE e se assemelhou a pesquisa de Nascimento *et al.* (2023). Esses valores majorados podem ter ocorrido devido a sua equação considerar apenas variáveis como temperatura média, precipitação e velocidade do vento. Esse modelo é

pertinente para a área em estudo, no entanto, torna-se necessário a inclusão de mais dados climatológicos.

Na Figura 32 expõe-se as curvas acumuladas da evaporação referentes aos três métodos de estimativas indiretos e a verificada em campo. Com isso, é possível constatar que a curva das taxas medidas *in loco* está inserida, preponderantemente, entre as metodologias de Thornthwaite (1948) e Kohler *et al.* (1955). Outrossim, é detectável a diferença de comportamento entre os modelos e os valores reais da evaporação, onde esta última apresenta nitidamente uma variabilidade se comparada com estes.

Figura 32 - Taxas acumuladas da evaporação teórica e medida em campo



Fonte: A Autora (2025).

Na Tabela 9 dispõe-se dos valores da evaporação total coletada em campo e dos estimados pelos mecanismos indiretos. Com isso, observa-se que o modelo de Kohler *et al.* (1955) é o que melhor representa a região em análise, sendo a menor diferença de 425,68 mm entre a evaporação total verificada diretamente no local e a estimada por esse método. A abordagem de Linacre (1993) majorou os valores, sendo superior em aproximadamente 998,72 mm, já Thornthwaite (1948) minorou os resultados, com uma diferença estimada em 693,43 mm.

Tabela 9 - Resultados da evaporação total coletada em campo e as teóricas

Modelos	Evaporação total (mm)
Medido (em campo)	1.677,00
Thornthwaite	983,57
Linacre	2.675,72
Kohler	2.102,68

Fonte: A Autora (2025).

6 CONCLUSÕES

Mediante parâmetros meteorológicos analisados, constatou-se a sazonalidade de precipitação no município de Caruaru-PE, englobando períodos de estiagem (entre os meses de agosto a dezembro) e estação chuvosa bem definida (nos meses de março a julho). Ademais, no recorte temporal compreendido (2010-2023), foi perceptível que temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e radiação solar foram as variáveis determinantes na intensificação da evaporação, conforme era previsto.

A cobertura com TetraPak demonstraram ser a mais eficiente tanto na mitigação da evaporação, com percentual de redução em 57,13%, tanto nas análises de qualidade da água, apresentando menores resultados em parâmetros físico-químicos e biológicos, estando sempre em conformidade às diretrizes estabelecidas pela Resolução CONAMA 357/2005. Nas análises visuais, proporcionaram melhores condições em relação a coloração, logo e outros elementos poluidores. No entanto, apesar dessa barreira demonstrar resultados expressivos, tem-se um alto potencial de degradação em períodos chuvosos. Por esta condição, sugere-se que a sua utilização em reservatórios de grande porte não seja a mais viável, em decorrência do retrabalho nesse período.

O reservatório com as garrafas PET exibiram desempenhos intermediários no período de secas do local, mas valores abaixo das demais em períodos chuvosos, compreendendo uma mitigação da evaporação em 53,97%. Assim, nota-se uma eficiência moderada na diminuição da evaporação. No que se refere a qualidade da água, sua performance também foi mediana, com resultados acima do limiar de referência em alguns parâmetros, como pH e coliformes termotolerantes. Visualmente, apresentaram comportamento semelhante ao de referência, com presença de lodo.

A barreira com tela de polietileno foi a que mais se aproximou das condições reais de evaporação, com supressão do processo evaporativo em 50,86%. Entretanto, é válido destacar que ainda assim, são eficientes na mitigação desse fenômeno. Na análise de qualidade da água, assim como no reservatório com PET, a tela também apresentou resultados superiores ao normativo em análises de pH e coliformes termotolerantes (a partir da décima amostra), resultando em um desempenho

mediano nesse aspecto. Do ponto de vista visual, foi semelhante ao reservatório com TetraPak, com condições favoráveis quanto à coloração, lodo e demais poluentes.

Nessa conjuntura, as coberturas físicas utilizadas nessa pesquisa comprovaram ser recursos eficientes e estratégicos para a utilização de produtores rurais do Nordeste brasileiro no enfrentamento das perdas de água por evaporação, essencialmente quando as condições climáticas expostas são mais adversas e influenciam, conseqüentemente, nesse processo. No mais, auxiliam também na qualidade da água armazenada, detendo-se para modificações indesejadas que venham a ocorrer na reserva em longos períodos. Ademais, são soluções de baixo desprendimento financeiro, tanto na implementação quanto na manutenção, bem como materiais recicláveis, visando a preservação do meio ambiente.

Dentre os modelos estimativos da evaporação em superfícies líquidas, o que mais se aproximou dos valores reais observados em campo foi o método de Kohler *et al.* (1955), sendo o mais representativo para a região por utilizar o maior número de variáveis climáticas em suas equações, constituindo a menor variação (425,68 mm) entre a evaporação total medida em campo e a estimada por esse método. Por sua vez, o modelo de Thornthwaite (1948) subestimou a evaporação, por levar em consideração apenas a temperatura média do ar como parâmetro em uma região com intensa variabilidade, com uma diferença resultante em 693,43 mm. Já Linacre (1993) superestimou as taxas, sendo superior ao verificado diretamente no local em 998,72 mm, mesmo considerando mais variáveis que o modelo anterior.

Por fim, conclui-se que outras barreiras poderiam ser utilizadas em reservatórios na região, sejam elas suspensas ou flutuantes, como é caso de esferas contrapesas, células fotovoltaicas, discos de isopor ou até mesmo dupla camada da tela de polietileno. No mais, sugere-se também que a pesquisa poderia ser empregada em reservatórios com maiores dimensões, aproximando-se do que ocorre no cotidiano da população rural do Nordeste brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, A. M. *et al.* Critical evaluation of functional aspects of evaporation barriers through environmental and economics lens for evaporation suppression - A review on milestones from improved technologies. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 788, p. 147800, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147800>.
- ABDELAL, Q. Floating PV; an assessment of water quality and evaporation reduction in semi-arid regions. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, [s.l.], p. 732-739, 2021.
- ABREU, M. C.; LYRA, G. B. **Apostila de Meteorologia Básica**. 1ª ed. Rio de Janeiro: DCA/IF/UFRRJ, 2013.
- ALAM, S.; ALSHAIKH, A. A. Use of palm fronds as shaded cover for evaporation reduction to improve water storage efficiency. **Journal of King Saud University - Engineering Sciences**, v. 25, n. 1, p. 55–58, 2013.
- ALHASSOUN, S. A. *et al.* Effectiveness of using palm fronds in reducing water evaporation. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 38, n. 10, p. 1170–1174, 2011.
- AL-HASSOUN, S.A., MOHAMMAD, T.A., NURDIN, J. Evaporation reduction from impounding reservoirs in arid areas using palm leaves. **J. Eng. Appl. Sci.** v. 4, n. 4, p. 247–250, 2009.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy. 1998. 300 p.
- ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, De. David da. Impacts of climate change on the evaporation and availability of water in small reservoirs in the Brazilian savannah. **Climatic Change**, [s. l.], v. 159, p. 2015-232, 2020.
- ALVAREZ, V. M. *et al.* Efficiency of shading materials in reducing evaporation from free water surfaces. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 84, n. 3, p. 229-239, 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2006.02.006>.
- AMINZADEH, M.; LEHMANN, P.; OR, D. Evaporation suppression and energy balance of water reservoirs covered with self-assembling floating elements. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s.l.], v. 22, n. 7, p. 4015-4032, 2018. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-22-4015-2018>.
- AMORIM, J. M. B. dos S. *et al.* Multicriteria Decision Support for Selection of Alternatives Directed to Integrated Urban Water Management. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 34, n. 13, p. 4253-4269, 26 set. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-020-02671-9>.
- ANA, Agência Nacional de Águas. **Reservatórios do Semiárido Brasileiro: Hidrologia, Balanço Hídrico e Operação: Relatório Síntese**. Brasília, 2020.

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Monitoramento pluviométrico**. Recife, 2017.

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH-PE) 2022–2040**. Recife, 2022.

ASSOULINE, S.; NARKIS, K.; OR, D. Evaporation suppression from water reservoirs: efficiency considerations of partial covers. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 47, n. 7, p. 1-8, jul. 2011. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2010wr009889>.

BABU, P. S. *et al.* Reduction of Evaporative Losses from Tropical Reservoirs using an Environmentally Safe Organic Monolayer. **Singapore International Water Week**, n. January, p. 1-12, 2010.

BARBERO, R. *et al.* Temperature-extreme precipitation scaling: a two way causality?. **International Journal of Climatology**, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 1-6, 5 dez. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5370>.

BARROS, T. F. *et al.* Evaporação no semiárido: análise de sensibilidade e comparação de métodos para estimativa. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 6, p. 3960-3973, 7 out. 2024. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v17.6.p3960-3973>.

BARRY, R.G; CHORLEY, R.J. **Atmosfera, tempo e clima**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013. p. 512.

BELÚCIO, L. P. *et al.* Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 29, n. 4, p. 494-504, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130079>.

BEZERRA, M. E. B. **Um estudo sobre o ensino de evaporação no contexto ciência, tecnologia e sociedade**. 2014. 203f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2014.

BEZERRA, N. F. Água no Semi-Árido Nordeste: Experiências e Desafios. *In*: HERMANNNS Klaus. **Água e Desenvolvimento Sustentável no Semi-Árido**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, Séries Debates nº 24, 2002, p. 35-52.

BINKS, B.P. Insoluble monolayers of weakly ionising low molar mass materials and their deposition to form Langmuir-Blodgett multilayers. **Advances in Colloid and Interface Science**, [s.l.], v. 34, p. 343-432, 1991. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0001-8686\(91\)80053-m](http://dx.doi.org/10.1016/0001-8686(91)80053-m).

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro

de 1989. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 30 jan. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357**, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 30 jan. 2024.

BRUTSAERT, W. **Hydrology: An Introduction**. 2. ed. New York: Cornell University, 2023. 622 p. <https://doi.org/10.1017/9781316471562>.

CALADO, R. N. *et al.* Evaluation of Eta Model 5-km Ensemble Simulations of an Extreme Rainfall Event over the Paraíba do Sul River Basin During January 2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 1, p. 83–96, mar. 2018.

CALLENDAR, G. S. The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, [s.l.] v. 64, n. 275, p. 223-240, 1938.

CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no estado de São Paulo**. 3. ed. Campinas: IAC, 1971. 24p. (Boletim, n. 116).

CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e super-úmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.

CARVALHO JUNIOR, A. P. de; NOVAIS, R. P. de; OLIVEIRA, M. A. de. A Perenização de rios através da construção de açudes para o combate à seca no semiárido nordestino. **Geopauta**, v. 6, p. 1-22, 3 abr. 2022. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/Edicoes UESB. <http://dx.doi.org/10.22481/rg.v6.e2022.e9401>.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 61–82, 2008.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharias e ciências ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. 6. ed. Iph Ufrgs, 2008. 149 p.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de Pesquisa em Administração-12ª edição**. McGraw Hill Brasil, 2016.

CRUZ, M. A. S. *et al.* Avaliação das precipitações geradas pelo modelo climático regional ETAHadGEM2-ES para o Estado de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 2017.

CYSNE, A. P.; STUDART, T. M. de C.; LUNA, R. M. Vulnerabilidade de reservatórios superficiais às mudanças climáticas: o caso de rios com deflúvios anuais de alta variabilidade. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 33, n. 2, p. 133-144, 2012.

DALTON, J. Experimental essays on the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapor from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation and on the expansion of gases by heat. **Mem. Manchester Liter. and Phil. Soc.**, v.5, n.11, 535-602. 1802.

DANTAS, S. P. **Açudagem no Nordeste Brasileiro e no Ceará: Estimativa de evaporação do açude Castanhão em um ano seco**. 2017. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

DANTAS, S. P. Dimensionamento e gestão de reservatórios: breve discussão acerca da experiência do estado do ceará/brasil. **Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 2, n. 01, p. 25-36, 26 jun. 2020. Universidade Estadual de Montes Claros (UNIIMONTES). <http://dx.doi.org/10.46551/rvg26752395202012536>.

DE JONG, P. *et al.* Hydroelectric production from Brazil's São Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability. **Science of The Total Environment**, v. 634, p. 1540–1553, 2018.

ELSEBAIE, I. H.; FOULI, H.; AMIN, M. Evaporation reduction from open water tanks using palm-frond covers: Effects of tank shape and coverage pattern. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 7, p. 2977–2983, 2017.

ESTÁCIO, Á. B. S. *et al.* Estimating the water balance of a small reservoir in the Brazilian semiarid. **Proceedings of lahs**, v. 385, p. 291-296, 18 abr. 2024. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/piahs-385-291-2024>.

FALSARELLA, O.; SILVA, M. L. R. da; MARIOSIA, D. O processo de decisão na gestão de recursos hídricos: a contribuição da Internet das Coisas (IOT) e Big Data. **Journal on Innovation and Sustainability Risus**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 45-58, 2022.

FEITOSA, G. P. **Cálculo da evaporação em reservatório tropical por diversos métodos: o caso do açude Gavião**. 2020. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

FERNANDES, V. L.; SOUZA, L. H. de. **Bolas de sombra como alternativa para redução da evaporação em reservatórios do norte de Minas Gerais**. v. 7 n. 1(2021): Caderno de Resumos, 2021.

FLOHN, H. *et al.* Recent changes of the tropical water and energy budget and of midlatitude circulations. **Climate Dynamics**, [s.l.] v. 4, n. 4, p. 237-252, 1990.

FONTES, A. S. **Estudo da evaporação em reservatórios situados em região semi-árida: uso de bacia experimental**. 2005. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia Ambiental Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

FORTLEV. **Caixa d'Água de Polietileno 500L**. 2024. Disponível em: <https://www.fortlev.com.br/produtos/reservatorios/caixa-dagua-de-polietileno-500l/>. Acesso em: 06 ago. 2024.

FRIEDRICH, K. *et al.* Reservoir evaporation in the Western United States: current science, challenges, and future needs. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 99, n. 1, p. 167-187, 2018. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/bams-d-15-00224.1>.

GAINES, G. L. **Insoluble monolayers at liquid-gas interfaces**. Interscience Publishers, Nova York, p. 386, 1966.

GALLEGO-ELVIRA, B. *et al.* Impact of Micrometeorological Conditions on the Efficiency of Artificial Monolayers in Reducing Evaporation. **Water Resources Management**, v. 27, n. 7, p. 2251–2266, 2013.

GALLEGO-ELVIRA, B. *et al.* Evaluation of evaporation estimation methods for a covered reservoir in a semi-arid climate (south-eastern Spain). **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 458-459, p. 59-67, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.035>.

GERALDO, L. P. **Avaliação de técnicas de redução de evaporação para reservatório no semiárido brasileiro**. 2020. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6ª Edição. São Paulo: Atlas, 2017.

GILLILAND, J. M.; KEIM, B. D. Surface wind speed: trend and climatology of brazil from 1980's:2014. **International Journal of Climatology**, [S.L.], v. 38, n. 2, p. 1060-1073, 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.5237>.

GONDIM, R.; SILVEIRA, C.; DE SOUZA FILHO, F.; VASCONCELOS, F.; CID, D. Climate change impacts on water demand and availability using CMIP5 models in the Jaguaribe basin, semi-arid Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 15, p. 550, 2018.

Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2024.

GORGUNER, M.; KAVVAS, M. L. Modeling impacts of future climate change on reservoir storages and irrigation water demands in a Mediterranean basin. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 748, p. 141246, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141246>.

GUGLIOTTI, M. Redução da Evaporação em Reservatórios por Filmes Superficiais. **Revista Tae: Especializada em Tratamentos de Água e Efluentes**, [s. l.], n. 24, 2015.

HAAS, J. *et al.* Floating photovoltaic plants: ecological impacts versus hydropower operation flexibility. **Energy Conversion and Management**, [s.l.], v. 206, p. 112414, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112414>.

HAN, K. W. *et al.* Water Savings Efficiency of Counterweighted Spheres Covering a Plain Reservoir in an Arid Area. **Water Resources Management**, v. 33, n. 5, p. 1867–1880, 2019.

HANAK, E.; LUND, J. R. Adapting California's water management to climate change. **Climatic Change**, v. 111, n. 1, p. 17–44, 2012.

HASSAN, M. M. *et al.* Evaporation mitigation using floating modular devices. **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 530, p. 742-750, 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.027>.

HEDESTRAND, G. On the Influence of Thin Surface Films on the Evaporation of Water. **The Journal of Physical Chemistry**, [s.l.], v. 28, n. 12, p. 1245-1252, 1924. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/j150246a002>.

HELPER, F.; LEMCKERT, C.; ZHANG, H. Impacts of climate change on temperature and evaporation from a large reservoir in Australia. **Journal of Hydrology**, v. 475, p. 365–378, 19 dez. 2012.

HELPER, F. *et al.* Estudo comparativo de três mecanismos de redução de evaporação de reservatórios. **Revista de Estudos Ambientais**, [s.l.], v. 20, n. 2, p. 62-76, jun. 2019. <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2018v20n2p62-76>.

HELPER, F. *et al.* Artificial destratification for reducing reservoir water evaporation: is it effective?. **Lakes & Reservoirs: Science, Policy and Management for Sustainable Use**, [s.l.], v. 23, n. 4, p. 333-350, 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/lre.12241>.

HELPER, F.; LEMCKERT, C.; ZHANG, H. Impacts of climate change on temperature and evaporation from a large reservoir in Australia. **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 475, p. 365-378, dez. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.00>.

HIPSEY, M. R.; SIVAPALAN, M. Parameterizing the effect of a wind shelter on evaporation from small water bodies. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 39, n. 12, p. 4-9, 2003. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2002wr001784>.

HUNTER, K.; FINN, N.; BARNES, S. The Benefits of Shadecloth Covers for Potable Water Storages. 70th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference. **Anais...**Bendigo, Austrália: 2007.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Caruaru-PE. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/caruaru.html>. Acesso em: 07 fev. 2024.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados meteorológicos**. Caruaru-PE. 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 07 fev. 2024.

JAT, M. L. *et al.* Assessment of seasonal efficacy of different evaporation retardants in semi-arid tropics. **Journal of Agrometeorology**, v. 12, n. 2, p. 225–228, 2010.

JAWAD, J., TANYIMBOH, T. Reservoir operation using a robust evolutionary optimization algorithm. **J. Environ. Manag.** 197, 275–286, 2017.

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, New York, v.4, n.1, p.15-41, 1963.

KARIMZADEH, M.; ZAHIRI, J.; NOBAKHT, V. Efficiency of monolayers in evaporation suppression from water surface considering meteorological parameters. **Environmental Science and Pollution Research**, [s.l.], v. 30, n. 17, p. 50783-50794, 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-023-25915-8>.

KARL, Thomas R. *et al.* Indices of climate change for the United States. **Bulletin of the American Meteorological Society**, [s.l.] v. 77, n. 2, p. 279-292, 1996.

KHAN, M.A.; ISSAC, V.C. Evaporation reduction in stock tanks for increasing water supplies. **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 119, n. 1-4, p. 21-29, 1990. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(90\)90031-r](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(90)90031-r).

KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica**. Editora Vozes, 2016.

KOHLER, M. A.; NORDENSEN, T. J.; FOX, W. E. Evaporation from pans and lakes, U.S. **Weather Bureau Research**, n. 38, p. 1-21, 1955. (Paper 38).

LEÃO, R. A. O. *et al.* Estimativa da evaporação no açude Banabuiú, no Estado do Ceará, por diferentes métodos combinados, derivados da equação de Penman. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 129-144, 2013.

LIMA, A. E. F.; SILVA, D. R. da; SAMPAIO, J. L. F. As tecnologias sociais como estratégia de convivência com a escassez de água no semiárido cearense. **Conex. Ci. e Tecnol.** Fortaleza/CE, v. 5, p. 9–21, 2011.

LINACRE, E. T. A Simple Formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**, Elsevier, Amsterdam, v.18, n.6, p. 409 -424, 1977.

LINACRE, E. T. Evaporation trends. **Theoretical and applied climatology**, [s.l.] v. 79, n. 1-2, p. 11-21, 2004.

LINACRE, E.T. Data-sparse estimation of lake evaporation using a simplified Penman equation. Elsevier Science Publishers B.V. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 64, p. 237-256, 1993.

LLAMAS, J. **Hidrologia general: principios y aplicaciones**. Em: (eds.).Universidad del Paí Vasco. Bilbao, 1993. 635 p.

MAESTRE-VALERO, J. F. et al. Socio-economic impact of evaporation losses from reservoirs under past, current and future water availability scenarios in the semi-arid segura basin. **Water Resources Management**, v. 27, n. 5, p. 1411–1426, 2013.

MARINHO, F. J. L. et al. Mecanismo redutor de evapotranspiração em manancial hídrico localizado no semiárido Paraibano. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11, n.20, p.94-102, 2015.

MARTINEZ-ALVAREZ, V. et al. Experimental assessment of shade-cloth covers on agricultural reservoirs for irrigation in south-eastern Spain. **Spanish Journal of Agricultural Research**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 122-133, 2010. Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia Agraria y Alimentaria (INIA). <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/201008s2-1355>.

MCKIC, D.; HEATHCOTE, N. H. de V. The Discovery of Specific and Latent Heats. **Nature**, [s.l.], v. 136, n. 3433, p. 244-244, ago. 1935. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/136244b0>.

MCMAHON, T. A.; FINLAYSON, B. L.; PEEL, M. C. Historical developments of models for estimating evaporation using standard meteorological data. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, [s. l], v. 3, n. 6, p. 788-818, 2016. <https://doi.org/10.1002/wat2.1172>.

MEDEIROS, R. M. de et al. Rain index and tourism in Caruaru – PE, Brazil. **Research, Society and Development**, [s. l], v. 10, n. 15, p. 1-13, 2021.

MEDEIROS, R. M. de. Oscilações das temperaturas média do ar na bacia hidrográfica do rio Ipojuca - PE, Brasil. **Revista de Geografia**, [s.l.], v. 38, n. 3, p. 117, 19 nov. 2021. Universidade Federal de Pernambuco. <http://dx.doi.org/10.51359/2238-6211.2021.248434>.

MELO, M. das G. M. A. de. **Técnicas de redução da evaporação em reservatórios de água**: aplicação de coberturas físicas. 2023. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal do Pernambuco, Caruaru, 2023.

MESQUITA, J. B. F.; LIMA NETO, I. E. Evaporação em Lagos e Reservatórios. In: TOLRINO, A.R.V., et al. **Coletânea a Conferência da Terra: línguas, ritos e protagonismos nos territórios indígenas**: planejamento ambiental, recursos hídricos e patrimônio cultural (Tomo III). 1ed. Boa Vista: Editora da Universidade Federal de Roraima, 2020, v. 3, p. 88-97.

MITCHELL JR, J. Murray. Recent secular changes of global temperature. **Annals of the New York Academy of Sciences**, [s.l.] v. 95, n. 1, p. 235-250, 1961.

MITROVIC, T. et al. Virtual water quality monitoring at inactive monitoring sites using Monte Carlo optimized artificial neural networks: a case study of danube river

(serbia). **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 654, p. 1000-1009, 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.189>.

MONFARED, S. A. H.; REZAPOUR, M.; ZHIAN, T. Using Windbreaks for Decreasing Lakeand Reservoir Evaporation: a case study from iran. **Polish Journal of Environmental Studies**, [s.l.], v. 28, n. 4, p. 2289-2298, 1 mar. 2019. HARD Publishing Company. <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/89984>.

MORAES, J. B. de; WANDERLEY, H. S.; DELGADO, R. C. Áreas suscetíveis a desertificação no Nordeste do Brasil e projeção para cenário de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 6, p. 4003-4014, 7 out. 2024. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v17.6.p4003-4014>.

MOREIRA, A. B. et al. OS ESTUDOS DE CLIMA URBANO E O SEU DESENVOLVIMENTO NA CIDADE DO RECIFE - PE: campos de estudo, técnicas de investigação e perspectivas futuras. **Caminhos de Geografia**, [s.l.], v. 23, n. 90, p. 230-251, 8 dez. 2022. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlandia. <http://dx.doi.org/10.14393/rcg239061268>.

MOURA, M. S. B., et al. Clima e água de chuva no Semi-Árido. In: BRITO, Luiza Teixeira de Lima, et al. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. 1ed. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007, cap. 2, p. 37-59.

MOUSINHO, F. H. G. et al. Caracterização pluviométrica dos últimos 50 anos em Caruaru - PE, com análise de tendências, máximas diárias, Curvas IDF e distribuição Gumbel. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 17, n. 2, p. 958-973, 14 mar. 2024. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v17.2.p958-973>.

MOZAFARI, A.; MANSOURI, B.; CHINI, S. F. Effect of Wind Flow and Solar Radiation on Functionality of Water Evaporation Suppression Monolayers. **Water Resources Management**, v. 33, n. 10, p. 3513–3522, 2019.

NASCIMENTO, J. C. do et al. Evaporação em pequenos reservatórios, com diferentes coberturas, na região do Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 6, p. 3088-3102, 2023. Revista Brasileira de Geografia Física. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v16.6.p3088-3102>.

OHMURA, A. Secular variation of global radiation in Europe. **IRS'88: Current problems in atmospheric radiation**, [s.l.] p. 298-301, 1989.

OLIVEIRA, E. R.; SILVA, T. C.; RAMOS, R. F. de O. Evapotranspiração de referência em Januária-MG pelos métodos tanque classe “A” e Hargreaves-Samani. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 1, p. 48-54, 2020. Associação Prudentina de Educação e Cultura (APEC). <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n1.a347>.

OLIVEIRA, G. X. S. **Relações entre medidas de evaporação de superfícies de água livre por evaporímetros e estimativas por métodos meteorológicos em duas regiões do Estado de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2009. 108p. Tese Doutorado. <http://dx.doi.org/10.11606/t.11.2009.tde-04082009-111344>.

OLIVEIRA, G. X. S. **Relações entre medidas de evaporação de superfícies de água livre por evaporímetros e estimativas por métodos meteorológicos em duas regiões do Estado de São Paulo**. 2009. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2009.

OLIVEIRA, P. A. de *et al.* Redução de evaporação de água: estudo de caso no reservatório de São Gonçalo/PB. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s.l.], v. 10, n. 5, p. 204-217, 12 out. 2019. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2019.005.0018>.

OLIVEIRA, V. A. de; MELLO, C. R. DE; VIOLA, M. R.; SRINIVASAN, R. Assessment of climate change impacts on streamflow and hydropower potential in the headwater region of the Grande river basin, Southeastern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 15, p. 5005–5023, 2017.

ORIBI, M. O.; ABDULKAREEM, A. K. Scenarios to reduce evaporation from class A evaporation pan by using windbreaks. **Scientific Review Engineering and Environmental Sciences**, v. 29, n. 3, p. 343–354, 2020.

PADRÓN, R. S. et al. Observed changes in dry-season water availability attributed to human-induced climate change. **Nature Geoscience**, [s.l.], v. 13, n. 7, p. 477-481, 29 jun. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41561-020-0594-1>.

PAIVA, J. B. D.de.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 625 pp.

PAN, B. *et al.* Determination of key parameters in water quality monitoring of the most sediment-laden Yellow River based on water quality index. **Process Safety and Environmental Protection**, [s.l.], v. 164, p. 249-259, 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2022.05.067>.

PANJABI, K.; RUDRA, R.; GOEL, P. Evaporation Retardation by Monomolecular Layers: an experimental study at the Aji reservoir (Índia). **Open Journal of Civil Engineering**, [s.l.], v. 06, n. 03, p. 346-357, 2016. Scientific Research Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.4236/ojce.2016.63029>.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society**, v. 193, p. 120-145, 1948.

PEREIRA NETO, M. C. perspectivas da açudagem no Semiárido Brasileiro e suas implicações na região do Seridó Potiguar. **Sociedade & Natureza**, v. 29, n. 2, p. 285-294, 29 nov. 2017. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/sn-v29n2-2017-7>.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 2013. 323p.

PICOLOTTO, A.; VON MÜHLEN, M.; HERBER, J. Avaliação da qualidade de água superficial em área preservada e em área urbana através de análises físico-químicas. **Revista Destaques Acadêmicos**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 7-14, 2022.

PITTAWAY, P.; ANCKER, T. V. D. **Microbial and environmental implications for use of monolayers to reduce evaporative losses from water storages**. V. 7/10. Toowoomba, Austrália: Crc For Irrigation Futures, 2010. 58 p. (CRC for Irrigation Futures Technical Report).

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v.100, n.2, p.81-92, 1972.

REIS, G. de A. *et al.* Spatial Variability of Rainfall and Vulnerability Assessment of Water Resources Infrastructure for Adaptive Management Implementation in Ceará, Brazil. **Sustainability**, v. 17, n. 20, p. 9147, 2025. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su17209147>.

REZAZADEH, A.; AKBARZADEH, P.; AMINZADEH, M. The effect of floating balls density on evaporation suppression of water reservoirs in the presence of surface flows. **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 591, p. 125323, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125323>.

RIDEAL, E. K. On the Influence of Thin Surface Films on the Evaporation of Water. **The Journal of Physical Chemistry**, [s.l.], v. 29, n. 12, p. 1585-1588, 1925. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/j150258a011>.

ROBERTS, W. J. Evaporation suppression from water surfaces. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, [s. l.], v. 38, n. 5, p. 740-744, 1997. <https://doi.org/10.1029/TR038i005p00740>.

RODERICK, M. L.; FARQUHAR, G. D. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years. **Science**, [s.l.] v. 298, n. 5597, p. 1410-1411, 2002.

RODRIGUES, C. M. M. **Cálculo da evaporação de albufeiras de grande regularização do sul de Portugal**. 2009. 243 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia dos Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Rural, Universidade de Évora, Évora, 2009.

RODRIGUES, C. M. Evaporação e evapotranspiração. *In*: SHAHIDIAN, Shakib *et al.* **Hidrologia Agrícola**. 2. ed. [s.l.]: Icaam - Ect da Universidade de Évora, 2017. Cap. 8, p. 205.

RODRIGUES, C. M.; GUIMARÃES, R. C.; MOREIRA, M. Estimating Reservoir Evaporation Under Mediterranean Climate Using Indirect Methods: a case study in southern Portugal. **Hydrology**, v. 12, n. 11, p. 286, 31 out. 2025. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology12110286>.

RODRIGUES, G. P *et al.* Climate-change impact on reservoir evaporation and water availability in a tropical sub-humid region, north-eastern Brazil. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s. l.], in review, 2023. <https://doi.org/10.5194/hess-2023-189>.

RODRIGUES, I. S. **Evaporação em reservatórios do Nordeste brasileiro: avaliação da distribuição espacial e influência da mata ripária por sensoriamento remoto**. 2020. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SAGGAÏ, S.; BOUTOUTAOU, D.; BACHI, O. El K. Effects of monolayers made from different emulsions on surface water evaporation in a typical Algerian oasis. **Lebanese Science Journal**, [s.l.], v. 19, n. 3, p. 400-409, 2018. National Council for Scientific Research - Lebanon. <http://dx.doi.org/10.22453/ljsj-019.3.400409>.

SANTOS, L. F. dos. **Estimativa da lâmina de evaporação no reservatório Armando Ribeiro Gonçalves utilizando diferentes metodologias**. 2019. 51 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2019.

SANTOS, M. H. V. dos. **Alternativas de Captação Pluvial e Redução da Evaporação para Incremento da Disponibilidade Hídrica no Semiárido Pernambucano**. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.

SCHOFFEL, E. R. **Importância agroecológica dos ventos: quebra-ventos**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2009.

SHALABY, M. M.; NASSAR, I. N.; ABDALLAH, A. M. Effect of continuous and modular floating covers on evaporation losses and microalgal growth. **Journal Of King Saud University - Engineering Sciences**, [s.l.], v. 36, n. 1, p. 23-31, 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jksues.2021.08.007>.

SHALABY, M. M.; NASSAR, I. N.; ABDALLAH, A. M. Evaporation suppression from open water surface using various floating covers with consideration of water ecology. **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 598, p. 126482, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126482>.

SHALABY, M. M.; NASSAR, I. N.; ABDALLAH, A. M. The influence of floating spheres on evaporation suppression under different climatic conditions. **EGU General Assembly 2021**, EGU21-7942, p. 19-30, 2021. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/egusphere-egu21-7942>.

SIEFERT, C. A. C. *et al.* Avaliação de Séries de Velocidade do Vento de Produtos de Reanálises Climáticas para o Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [s. l.], v. 36, n. 4, p. 689-70, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778636002>.

SILANS, A. M. B. PASSERAT de e EID, N. J. **Diminuição da evaporação em açudes do nordeste através de plantas aquáticas. Em Limnologia e Manejo de Represas**. Série: Monografias em Limnologia, Ed. J. G. Tundisi, vol. 1(tomo 1), p. 349-366, 1988.

SILANS, A. M. B. Redução de evaporação de açudes o estado da arte. **RBRH**, v.8, n.2, p.101-109, 2003. <http://dx.doi.org/10.21168>.

SILANS, A. M. B. P. de *et al.* **Efeito do albedo e da resistência estomatal sobre a evaporação de plantas aquáticas**. Congresso Luso Brasileiro de Recursos Hídricos. 1989.

SILVA, J. P. R.; REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G. C. J. Caracterização da Zona De Convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, p. 355-377, 9 set. 2019. ABClima (Brazilian Association of Climatology). <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64101>.

SILVA, L. P. **Hidrologia: engenharia e meio ambiente**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 414 p.

SILVA, P. G. C. da. **Comportamento da relação evaporação-vertimento-liberação de água pelos reservatórios sob diferentes regras de operação**. 2019. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SIMON, K.; SHANBHAG, R.; SLOCUM, A. H. Reducing Evaporative Water Losses from Irrigation Ponds through the Reuse of Polyethylene Terephthalate Bottles. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [s.l.], v. 142, n. 2, p. 06015005, 2016. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0000972](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0000972).

SMITH, R L. Review of glycol ether and glycol ether ester solvents used in the coating industry. **Environmental Health Perspectives**, [s.l.], v. 57, p. 1-4, 1984. Environmental Health Perspectives. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.84571>.

SOFIANE, S.; DEJAMEL, B. Evaporation Reduction of Water Plans in Arid zones by Monomolecular Films (Case of Ouargla). **Environmental Science, Agricultural and Food Sciences**, 2012.

SOVOCOOL, K. Erratum: Testing an innovative evaporative suppressant for reducing losses from lakes (Journal - American Water Works Association). **Journal – American Water Works Association**, v. 106, n. 5, p. 99, 2014.

SOUSA, A. L. P. de *et al.* Avaliação de diferentes modelos de evaporação em um reservatório da costa semiárida, em Fortaleza, Ceará. **Labor e Engenho**, [s.l.], v. 18, p. 1-19, 2024. Universidade Estadual de Campinas. <http://dx.doi.org/10.20396/labore.v18i00.8678184>.

STECH, J. L. *et al.* Telemetric Monitoring system for meteorological and limnological data acquisition. **Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie, Stuttgart**, v. 29, p. 1747-1750, 2006.

SUDENE. **Resolução nº 150**, de 13 de dezembro de 2021. Brasília: Conselho deliberativo da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, 2021. Disponível

em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-condel/sudene-n-150-de-13-de-dezembro-de-2021-370970623> Acesso em: 17 jan. 2024.

TABOADA, M. E. *et al.* Solar water heating system and photovoltaic floating cover to reduce evaporation: experimental results and modeling. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 105, p. 601-615, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.094>.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geography Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

TIAN, W. *et al.* Estimation of reservoir evaporation losses for China. **Journal Of Hydrology**. [s. l], p. 126-142. 2021.

TREVISAN, J. V. K.; SOUZA, F. A. A.; MEDIONDO, E. M. Impacto das mudanças do clima na segurança hídrica da Região Metropolitana De São Paulo: avaliação da evaporação no Sistema Cantareira. **29º SIICUSP**, [s. l], v. 29, p. 1-2, 2021.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004. 253 p.

TUCCI, C. E. M; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. *In*: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2001. p. 253-287.

VALENÇA, Mariana Rabêlo. Ensino superior em Caruaru-PE: uma cidade de responsabilidade territorial?. **Ensino Superior e Desenvolvimento Regional**: reconfigurando as relações entre as cidades e o campo, p. 47-80, 2020. EDUERJ. <http://dx.doi.org/10.7476/9786587949086.0003>.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: 2006. 443 p. Versão Digital 2.

VIEIRA, N. P. A. *et al.* Estimativa da evaporação nos reservatórios de Sobradinho e Três Marias usando diferentes modelos. **Engenharia Agrícola**, [s.l.], v. 36, n. 3, p. 433-448, jun. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v36n3p433-448/2016>.

WARD, A. D.; TRIMBLE, S. W. **Environmental Hydrology**. 2 nd Ed. USA: Lewis Publishers, 2004. 475 p.

WILD, M. *et al.* From dimming to brightening: Decadal changes in solar radiation at Earth's surface. **Science**, [s.l.] v. 308, n. 5723, p. 847-850, 2005.

WILLETT, H. C. Temperature trends of the past century. **In Centenary Proceedings of the Royal Meteorological Society**. [s.l.] v. 195, 1950.

WILLIAMSON, C. E.; SAROS, J. E.; VINCENT, W. F.; SMOL, J. P. Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change. **Limnology and Oceanography**, v. 54, n. 6part2, p. 2273–2282, 2009.

WIXSON, B.G. **Studies on the Ecological Impact of Evaporation Retardation Monolayers**. 1966. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia dos Recursos Hídricos, Texas A&M University, Texas, 1966.

YAO, X. *et al.* Evaporation Reduction by Suspended and Floating Covers: Overview, Modelling and Efficiency. **Urban Water Security Research Alliance**, [s. /], n. 28, p. 1-16, 2010.

YIN, K. R. **Pesquisa qualitativa do início ao fim - série métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Penso, 2016.

YOUSSEF, Y. W.; KHODZINSKAYA, A. A Review of Evaporation Reduction Methods from Water Surfaces. **E3S Web of Conferences**, v. 97, p. 10, 2019.

ZHANG, H. *et al.* A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss. **Journal of Hydrology**, v. 555, p. 213–227, 2017.

ZHANG, Weijie *et al.* The effect of relative humidity on eddy covariance latent heat flux measurements and its implication for partitioning into transpiration and evaporation. *Agricultural And Forest Meteorology*, v. 330, p. 109305, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109305>.

ZHOU, Y.; GUO, S. Incorporating ecological requirement into multipurpose reservoir operating rule curves for adaptation to climate change. **Journal of Hydrology**, v. 498, p. 153–164, 2013.