



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

MARIA DAS GRAÇAS MONTEIRO ALMEIDA DE MELO

**TÉCNICAS DE REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS DE  
ÁGUA: Aplicação de coberturas físicas**

Caruaru

2023

MARIA DAS GRAÇAS MONTEIRO ALMEIDA DE MELO

**TÉCNICAS DE REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS DE  
ÁGUA: Aplicação de coberturas físicas**

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

Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Caruaru

2023

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Nasaré Oliveira - CRB/4 - 2309

M528t Melo, Maria das Graças Monteiro Almeida de.  
Técnicas de redução da evaporação em reservatórios de água:  
aplicação de coberturas físicas. / Maria das Graças Monteiro Almeida de  
Melo. – 2023.  
102 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Anderson Luiz Ribeiro de Paiva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA,  
Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2023.  
Inclui Referências.

1. Recursos hídricos. 2. Mudanças climáticas. 3. Água -  
Qualidade. 4. Semiárido. I. Paiva, Anderson Luiz Ribeiro de  
(Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2023-105)

MARIA DAS GRAÇAS MONTEIRO ALMEIDA DE MELO

**TÉCNICAS DE REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS DE  
ÁGUA: aplicação de coberturas físicas**

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

APROVADO EM: 31/10/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral (examinador externo)  
Universidade de Pernambuco

---

Prof. Dr. Antonio Celso Dantas Antonino (examinador externo)  
Universidade Federal de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela dádiva da vida e poder ter cursado esta pós-graduação. Agradeço por Seu amor, cuidado e pela força que me concedeu nos momentos difíceis.

Agradeço a minha família que sempre me apoiou. Em especial aos da minha casa: Mainha, Eduardo, Mahara e Thainara, que além de todo apoio, também me prestaram suporte nos momentos de experimentação deste trabalho, onde se dispuseram a estar comigo, me transportando aos sábados, me auxiliando na limpeza e manutenção do nível de água dos reservatórios na fase 1.

Agradeço ao Professor Doutor Anderson Luiz Ribeiro de Paiva, por todos os direcionamentos e por ter enfrentado os desafios da escrita deste trabalho junto comigo. Também agradeço aos membros da banca, por todo conhecimento compartilhado e pelas orientações, bem como agradeço à Manu e à equipe do LEA, ao IPA, nas pessoas de Abel e Peroba, bem como aos demais funcionários que ajudaram na instalação e manutenção dos reservatórios.

Agradeço aos colegas de mestrado que de alguma maneira somaram com o desenvolvimento dessa pesquisa, especialmente à Jean Carlo do Nascimento, Maryane Gislayne Cordeiro de Queiroz e Sidrack Felipe da Silva Júnior, esses foram amigos que me deram suporte durante os bons e maus momentos enfrentados tanto na minha vida pessoal, quanto nos desafios acadêmicos.

## RESUMO

A escassez hídrica é uma difícil realidade enfrentada pela população nas regiões áridas e semiáridas e agravada pelos efeitos das mudanças climáticas. A quantidade e qualidade da água em armazenamento é de suma importância para a existência humana e animal, bem como, para o desenvolvimento econômico da região. Sendo o semiárido brasileiro marcado pelas altas taxas de evaporação, objetivou-se avaliar os efeitos do uso de coberturas em reservatórios de água para mitigar a evaporação. Empregou-se, assim, na primeira fase de experimentação, as seguintes coberturas: Telas de polietileno na cor branca (TB), verde (TV), preta com abertura pequena (TPP) e preta com abertura grande (TPG); Garrafas de Polietileno Tereftalato (PET) com transparência em verde (250 mL) e incolor (200 mL); e embalagens do tipo TetraPak. Foi constatado os melhores percentuais de redução para as coberturas de Tetrapak (48,92%), PET incolor (27,44%) e TPG (25,35%), na Fase 1. Assim, essas foram as coberturas selecionadas para a Fase 2 de experimentação, da qual se difere da primeira por utilizar reservatórios de proporção mais robusta (500 L). A única cobertura que se mostrou eficaz nessa fase, que foi marcada por período chuvoso, foi a constituída por Pet incolor, com redução da evaporação em 50,50%. Quanto a qualidade da água, na Fase 1, verificou-se visualmente que o uso das coberturas do tipo telas de polietileno e TetraPak proporcionou melhores aspectos em relação a coloração, lodo e presença de elementos poluidores quando comparados ao reservatório de referência. No entanto, a presença de plástico foi observada ao utilizar a cobertura de TetraPak, Já para as análises de laboratório efetuadas na Fase 2, não foram identificadas mudanças significativas na qualidade da água.

**Palavras-chave:** Escassez hídrica. Mudanças climáticas. Qualidade da água. Semiárido.

## ABSTRACT

Water scarcity is a difficult reality faced by the population in arid and semi-arid regions and aggravated by the effects of climate change. The quantity and quality of water in storage is of paramount importance for human and animal existence, as well as for the economic development of the region. Since the Brazilian semi-arid region is marked by high evaporation rates, the objective of this study was to evaluate the effects of the use of covers in water reservoirs to mitigate evaporation. Thus, in the first phase of experimentation, the following coatings were used: Polyethylene screens in white (TB), green (TV), black with small aperture (TPP) and black with large aperture (TPG); Polyethylene terephthalate (PET) bottles with green (250 mL) and colorless (200 mL) transparency; and TetraPak-type packaging. The best reduction percentages were found for TetraPak (48.92%), colorless PET (27.44%) and TPG (25.35%) coatings in phase 1. Thus, these were the roofs selected for Phase 2 of the experiment, which differs from the first one in that it uses reservoirs with a more robust proportion (500 L). The only cover that proved to be effective in this phase, which was marked by the rainy season, was the one consisting of colorless PET, with a reduction in evaporation by 50.50%. Regarding water quality, in phase 1, it was visually verified that the use of polyethylene and TetraPak mesh covers provided better aspects in relation to color, sludge and presence of polluting elements when compared to the reference reservoir. However, the presence of plastic was observed when using the TetraPak cover, while for the laboratory analyses carried out in phase 2, no significant changes in water quality were identified.

**Keywords:** Water scarcity. Climate change. Water quality. Semiarid.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
2.1	Objetivo geral .....	11
2.2	Objetivos específicos .....	11
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>12</b>
3.1	EVAPORAÇÃO.....	12
3.1.1	Métodos de estimativa da evaporação .....	13
3.1.2	Métodos de medição direta da evaporação .....	17
3.2	O CLIMA E A EVAPORAÇÃO.....	19
3.2.1	Semiárido brasileiro.....	21
3.3	IMPACTOS DAS ALTAS TAXAS DE EVAPORAÇÃO: ASPECTOS QUALITATIVOS.....	25
3.3.1	Salinidade.....	25
3.4	IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA EVAPORAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS .....	27
3.5	TÉCNICAS DE SUPRESSÃO DA EVAPORAÇÃO .....	31
3.5.1	Métodos químicos.....	37
3.5.2	Métodos biológicos .....	39
3.5.3	Métodos físicos.....	40
3.6	PADRÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA PEQUENAS PRODUÇÕES RURAIS: AGRICULTURA, AQUICULTURA E DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS.....	45
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>47</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	47
4.2	COMPORTAMENTO CLIMATOLÓGICO .....	48

4.3	CÁLCULO DA EVAPORAÇÃO POTENCIAL .....	49
4.4	INSTALAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS .....	51
4.5	MATERIAIS DAS COBERTURAS.....	56
4.6	AFERIÇÃO DAS PERDAS EVAPORATIVAS.....	57
4.7	ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	59
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>61</b>
5.1	COMPORTAMENTO CLIMATOLÓGICO .....	61
<b>5.1.1</b>	<b>Precipitação total .....</b>	<b>61</b>
5.1.1.1	Precipitação, para o período de análises da Fase 1.....	61
5.1.1.2	Precipitação, para o período de análises da Fase 2.....	63
<b>5.1.2</b>	<b>Pressão atmosférica média .....</b>	<b>63</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Temperatura média .....</b>	<b>64</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Umidade relativa do ar média.....</b>	<b>65</b>
<b>5.1.5</b>	<b>Velocidade do vento média .....</b>	<b>66</b>
<b>5.1.6</b>	<b>Temperatura do ponto de orvalho .....</b>	<b>67</b>
<b>5.1.7</b>	<b>Radiação global.....</b>	<b>68</b>
<b>5.1.8</b>	<b>Evaporação potencial .....</b>	<b>69</b>
5.2	EVAPORAÇÃO EM EXPERIMENTO DE CAMPO .....	70
<b>5.2.1</b>	<b>Fase 1 de experimentação.....</b>	<b>70</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Fase 2 de experimentação.....</b>	<b>80</b>
5.3	QUALIDADE DA ÁGUA .....	82
<b>5.3.1</b>	<b>Qualidade da água na Fase 1, aspectos visuais.....</b>	<b>82</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Qualidade da água na Fase 2, análises de laboratório e aspectos visuais.....</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A evaporação é um processo físico essencial para o ciclo hidrológico, sendo responsável em converter água no estado líquido em vapor para a atmosfera, o que requer a absorção de energia e é acompanhada por troca de calor no ar e mudanças na pressão de vapor (Wu *et al.*, 2020).

A evaporação é considerada como um indicador sensível das mudanças climáticas, uma vez que, os processos físicos envolvidos no ciclo da água são influenciados pela variação dos parâmetros climáticos, que são impactados principalmente pela crescente emissão de gases de efeito estufa na atmosfera (Stagl *et al.*, 2014).

As elevadas taxas de evaporação é uma característica comum de regiões com alta aridez, como as regiões áridas e semiáridas (Sayl *et al.*, 2016). Nesses locais a disponibilidade hídrica é muito pequena, o que faz com que a utilização de reservas como barragens, cisternas e outras acumulações, seja essencial para aumentar essa disponibilidade (Silva, 2020).

O déficit observado no balanço hídrico anual dessas regiões estabelece um grave problema associado às atividades agropecuárias, pois a deficiência hídrica limita a produção agrícola, diminui a disponibilidade de água para dessedentação de animais e consumo humano (Silva *et al.*, 2015).

A segurança alimentar é um assunto bastante comentado, tendo em vista que as últimas projeções apresentadas pelas Nações Unidas mostram que a população mundial deve chegar a 8,5 bilhões em 2030 e 9,7 bilhões em 2050, apresentando um crescimento de 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos. Estima-se também que a população atinja um pico de cerca de 10,4 bilhões de pessoas durante a década de 2080 (United Nations, 2019).

Dessa forma, torna-se de suma importância que sejam realizados estudos que prevejam a quantidade e qualidade da água em armazenamento nos corpos hídricos, uma vez que a irrigação demandará maiores volumes frente ao aumento populacional estimado para algumas regiões (Gorguner; Kavvas, 2020).

Assim, a evaporação tem um efeito direto no planejamento e operação dos recursos hídricos (Penman, 1948). A sua estimativa precisa é importante para

compreensão de processos hidrológicos, projetos de irrigação e para o planejamento de recursos hídricos em geral (Wang *et al.*, 2020).

A crise hídrica no Brasil e sobretudo na região semiárida sempre foi uma realidade, entretanto, com o passar dos anos, observa-se um agravamento deste cenário devido ao crescente aumento populacional, as mudanças climáticas, e a ocorrência das secas. Unindo-se a esta condição, grande parte da água é utilizada sem racionalidade, desde o âmbito domiciliar, industrial e agrícola (Cirilo, 2015; Santana *et al.*, 2019).

Em toda a região do semiárido, as taxas de evaporação potencial são elevadas, de forma muito superior às taxas de precipitação, e caracterizam assim, um déficit hídrico acentuado (Araújo Filho; Cabral; Silva, 2016). Braga *et al.* (2014) afirmaram que nessa região a evaporação potencial é cerca de cinco vezes maior do que a precipitação. Dessa forma, as águas acumuladas em açudes ou outros reservatórios abertos são perdidas rapidamente para a atmosfera, uma vez que os corpos hídricos superficiais estão expostos diretamente à radiação solar, sendo o seu aquecimento máximo e, por isso, a taxa de evaporação é elevada (Cabral *et al.*, 2016).

A Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020 da ANA (2020) coloca o nordeste brasileiro como uma região bastante vulnerável, representando, assim, as primeiras áreas a serem afetadas em condições de mudanças climáticas.

Sabendo-se da necessidade da preservação dos recursos hídricos em regiões semiáridas, Oliveira *et al.* (2019) estudaram a utilização de quebra-ventos arbóreos, bolas de polietileno, plantas aquáticas de folhas flutuantes e filmes monomoleculares para a redução da evaporação. Rodrigues (2021) fez uso de uma plataforma anti- evaporante de garrafas PET. Nascimento (2021) avaliou o emprego de garrafas PET, telas de Polietileno, e embalagens do tipo Tetrapak na redução da evaporação em pequenos reservatórios. Além desses estudos, outros podem ser encontrados na literatura, ondem utilizam outros materiais e observam seus efeitos sobre variados tipos de reservatórios e condições ambientais.

Dessa forma, visa-se neste estudo contribuir junto à literatura apresentando técnicas de redução da evaporação de águas superficiais para regiões semiáridas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar técnicas redutoras da evaporação, através da utilização de métodos de coberturas físicas, visando sua aplicabilidade em barreiros de populações rurais do semiárido brasileiro.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analisar as variáveis climatológicas que impactam na evaporação;
- Realizar experimento de campo com testes de coberturas de redução da evaporação;
- Avaliar o padrão de qualidade da água sob as diversas coberturas testadas.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 EVAPORAÇÃO

De acordo com Araújo Filho, Cabral e Silva (2016) entende-se como evaporação o processo físico que a água sofre ao passar do estado líquido para o estado gasoso formando vapor d'água. Para que o processo ocorra é necessário a adição de calor, que é geralmente fornecida, no ambiente natural, pela radiação solar.

A evaporação pode ser considerada como um fluxo de água que passa de um reservatório natural na superfície da Terra para a atmosfera. A principal força motriz da evaporação é a radiação solar que incide diretamente sobre a água, que a aquece e a transforma do estado líquido para o gasoso, ou a radiação que incide sobre o solo, fazendo com que a água existente nos seus poros aqueça. O tipo de radiação de interesse para avaliar a evaporação é a radiação solar líquida, que é a radiação de ondas curtas absorvida pela superfície menos a radiação de ondas longas emitida pela superfície (Collischonn; Dornelles, 2015).

O processo físico como já tratado é decorrente da radiação solar e da influência de variáveis meteorológicas, como a temperatura do ar, vento e pressão de vapor. A mudança de estado físico consome uma energia equivalente a  $585 \text{ cal.g}^{-1}$ , na temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  e essa energia é naturalmente proveniente da radiação solar. Uma maior temperatura proporciona uma maior evaporação, pois permite que uma quantidade superior de vapor de água esteja contida no mesmo volume de ar, quando o grau de saturação deste é atingido. Já os ventos são responsáveis pela renovação do ar na região acima da superfície (Tucci, 2001). Assim, o fluxo vertical de vapor d'água para a atmosfera está condicionado pelo saldo de energia disponível, pela velocidade do vento e pelo teor de umidade disponível na camada de ar justaposta à superfície evaporante (Varejão-Silva, 2006).

Embora as condições atmosféricas sejam o maior fator determinante, a evaporação efetiva resulta também das condições de geometria e profundidade do reservatório, grau de pureza da água, estratificação térmica e condições de armazenamento de calor no corpo hídrico (Pereira; Vilanova; Sedyama, 1997).

Tubelis e Nascimento (1981) definem a evaporação potencial como a lâmina de água evaporada por uma extensa superfície de água pura, exposta livremente às condições atmosféricas reinantes, sendo condicionada basicamente a esta última.

A evaporação potencial corresponde à quantidade de água evaporada, se houver água disponível suficiente. Já a evaporação real é aquela que ocorre nas condições reais de disponibilidade do reservatório natural. Caso haja bastante água disponível, a evaporação real será igual à evaporação potencial, do contrário a evaporação real será menor do que a evaporação potencial (Araújo Filho; Cabral; Silva, 2016).

Na realização de um experimento, Tang e Etzion (2004) mostraram que a taxa de evaporação da água é proporcional ao expoente da diferença na pressão de vapor da água em sua temperatura e no ponto de orvalho do ar na potência de 0,82 quando a evaporação é de uma superfície de água livre. Concluíram, assim, que a taxa de evaporação dos corpos d'água para o ar ambiente não é uma função proporcional direta e simples da diferença na pressão de vapor da água em sua temperatura e no ponto de orvalho do ar, como muitos investigadores afirmam no passado.

Além da correlação entre essas variáveis, foi observado também que a taxa de evaporação é mais pronunciada em níveis mais altos de CO<sub>2</sub> (Sechrist, 1963; Novikova *et al.*, 1985; Ojha *et al.*, 2011). Da relação entre o peso molecular do gás no ambiente em que ocorre a evaporação, Novikova *et al.* (1985) afirmaram que quanto menor o peso molecular do gás, maior será a taxa de evaporação.

Embora a evaporação seja um componente importante dos orçamentos da gestão hídrica, ela não é medida direta ou consistentemente pelas agências de gerenciamento de água por ser um procedimento desafiador e caro (Lowe *et al.*, 2009).

### **3.1.1 Métodos de estimativa da evaporação**

Os métodos de estimativa da evaporação baseados em dados climáticos são comumente utilizados em aplicações hidrológicas e de irrigação, e variam de formulações empíricas simples a métodos complexos (Valiantzas, 2006).

Os métodos de estimativa da evaporação podem ser realizados com aplicação de processos indiretos que são baseados em: métodos aerodinâmicos, método do balanço energético, métodos combinados ou no método das flutuações. Este último é

fundamentado na oscilação de parâmetros microclimáticos em torno das respectivas médias. A estimativa da evaporação também pode ser efetuada por meio de processos empíricos (Varejão-Silva, 2006).

Para o método aerodinâmico,

“[...] o fluxo do vapor que advém de uma superfície onde ocorre evaporação está relacionado a processos de difusão turbulenta. A evaporação é expressa como uma função da velocidade do vento e do gradiente de pressão vaporífica sobre a superfície onde há evaporação. Isso exige a árdua e difícil tarefa de medir a velocidade do vento e a pressão do vapor na superfície onde ocorre a evaporação ou perto dela e, num outro nível acima dela.”  
(Ayoade, 1996, p. 131)

A equação de Thornthwaite e Holzman (1939) baseia-se no método aerodinâmico e sua versão simplificada em termos de pressão de vapor consiste na Equação 1.

$$E = \frac{17,1 (e_1 - e_2)(u_2 - u_1)}{T + 459,4} \quad (1)$$

Onde, E é a evapotranspiração, e<sub>1</sub> e e<sub>2</sub> são as pressões de vapor em polegadas de Hg nos níveis inferior e superior, respectivamente, u<sub>1</sub> e u<sub>2</sub> são as velocidades do vento nos níveis inferior e superior (em milhas por hora), respectivamente. T é a temperatura medida em graus Fahrenheit. Os níveis inferior e superior citados são 2 pés (aproximadamente 0,61 m) e 28,6 pés (8,72 m) acima da superfície do solo, respectivamente (Thornthwaite; Holzman, 1939).

O método aerodinâmico atingiu grande popularidade entre os pesquisadores, no entanto não se registraram progressos que possibilitassem sua utilização em atividades de rotina. As tentativas feitas para adequá-lo às condições de equilíbrio atmosférico mostraram-se insatisfatórias por exigirem determinações muito precisas dos perfis de temperatura, de velocidade do vento e de umidade na camada atmosférica adjacente à superfície-fonte. Além disso, a superfície-fonte é não uniforme e, nessas circunstâncias, existem as componentes horizontais dos gradientes de umidade específica, de temperatura e de velocidade do vento (Varejão-Silva, 2006).

O balanço de energia representa a contabilidade das interações dos diversos tipos de transferência de energia (radiação, condução e convecção) (Pereira *et al.*, 1997) tendo a superfície evaporante como referência. Dessa forma, o método do balanço de energia consiste em determinar a quantidade de radiação líquida utilizada para vaporizar a água, onde a radiação líquida pode ser dividida entre calor sensível

e calor latente de evaporação utilizando a fórmula de Bowen (1926) (Ayoade, 1996),

$$\text{conforme a } \beta = \frac{H}{LE} = 0,659 \left( \frac{K_h}{K_e} \right) \left( \frac{T_s - T_a}{e_s - e_d} \right)$$

(2.

$$\beta = \frac{H}{LE} = 0,659 \left( \frac{K_h}{K_e} \right) \left( \frac{T_s - T_a}{e_s - e_d} \right) \quad (2)$$

Onde  $\beta$  é a razão de Bowen,  $H$  é o calor sensível em  $W/m^2$ ,  $LE$  é a energia usada para a evapotranspiração em  $W/m^2$ ,  $K_h$  é a difusão turbulenta para o calor e  $K_e$  é a difusão turbulenta para o vapor em  $m^2/s$ , já  $T_s$  e  $e_s$  são a temperatura em  $^{\circ}C$  e a pressão do vapor na superfície em que ocorre a evaporação em kPa, respectivamente, enquanto que  $T_a$  e  $e_d$  são a temperatura do ar em  $^{\circ}C$  e a pressão do vapor em kPa, respectivamente (Ayoade, 1996).

Ao considerar  $K_h = K_e$ ,  $\beta$  poderá ser obtido a partir de medições da temperatura e do gradiente de pressão do vapor. Daí, a evapotranspiração pode ser calculada com base na Equação 3, em que  $R_n$  é a radiação líquida em  $W/m^2$  (Ayoade, 1996).

$$E = \frac{R_n - H}{1 + \beta} \quad (3)$$

A equação de Penman e de Budyko fazem parte dos métodos combinados. A relação utilizada por Budyko (1974) para determinar a evapotranspiração de referência para o  $i$ -ésimo dia em (mm/ dia), é dada como (Equação 4):

$$ET_{oB,i} = 0,20 T_{med,i} \quad (4)$$

$T_{med,i}$  é a temperatura média do ar no  $i$ -ésimo dia em  $^{\circ}C$ .

De acordo com Oliveira (2009), a equação de Penman é uma das mais utilizadas para estimar a evaporação potencial e também a mais confiável entre os modelos com base em métodos combinados para simular a evaporação a partir de superfície de água, conforme Jensen e Allen (2016).

Os métodos baseados no método de Penman, são capazes de determinar a evapotranspiração a partir de medições meteorológicas padrão da temperatura do ar, umidade, vento e radiação solar (Jensen; Allen, 2016).

A equação original de Penman (1948) é apresentada na Equação 5 (Shuttleworth, 1993 *apud* Valiantzas, 2006).

$$E_{PEN} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{6.43 (f_u) D}{\lambda} \quad (5)$$

Onde, conforme Valiantzas (2006),  $E_{PEN}$  é a evaporação ou evapotranspiração potencial de águas abertas (mm/d);  $R_n$  é radiação líquida na superfície (MJ/ (m<sup>2</sup>/d));  $\Delta$  é a inclinação da curva de pressão de vapor de saturação (kPa/°C);  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico (kPa/°C);  $\lambda$  é o calor latente de vaporização (MJ/kg); e  $f_U$  é a função do vento, conforme Equação 6.

$$f_U = a_U + b_U u \quad (6)$$

Sendo que  $a_U$  e  $b_U$  são coeficientes da função do vento; e  $u$  é a velocidade do vento a 2m de altura (m/s). Na equação original de Penman (1948 e 1963),  $a_U = 1$ ,  $b_U = 0,536$ ;  $D = (e_s - e_a)$  é o déficit de pressão de vapor (kPa);  $e_s$  é a pressão de vapor de saturação (kPa);  $e_a$  é a pressão de vapor real (kPa) (Valiantzas, 2006).

De acordo com Ayoade (1996), a principal desvantagem da fórmula de Penman está no acesso aos dados requeridos, onde os dados da radiação líquida são raros, tendo assim que serem estimados utilizando equações empíricas. Dessa forma, a equação de Thornthwaite é muitas vezes utilizada em detrimento da de Penman.

Linacre também desenvolveu fórmulas simplificadas para a equação de Penman (1948) para estimar a evaporação de águas abertas e a evapotranspiração da cultura (Valiantzas, 2006). Uma de suas equações (Linacre, 1977 *apud* Varejão-Silva, 2006) é dada como (Equação 7):

$$EP_o = \frac{\left\{ \frac{500 \cdot t_m}{100 - |\phi|} + 15(t - t_d) \right\}}{80 - t} \quad (7)$$

Em que  $EP_o$  é a evapotranspiração de referência, expressa em mm/dia para um albedo de 0,25 (para o caso de vegetação),  $t$  é a temperatura média do ar (°C),  $t_d$  é a temperatura do ponto de orvalho (°C),  $t_m = t + 0,006z$ , onde  $z$  é a altitude do local (m) e  $\phi$  é a latitude do local em graus (Varejão-Silva, 2006).

Para a evaporação de superfícies de água livre a equação de Linacre passa a ser conforme a Equação 8 (Pereira; Villa Nova; Sedyama, 1997).

$$EP_o = \frac{\left\{ \frac{700(T + 0,006h)}{100 - |\phi|} + 15(T - T_o) \right\}}{80 - T} \quad (8)$$

O método de Linacre obteve uma boa aceitabilidade para estudos no semiárido brasileiro de acordo com Bezerra *et al.*, (2014), Silva *et al.* (2014), Cabral Júnior, Silva, Almeida (2017), Gurski, Jerszurki, De Souza (2018), Freitas (2019).

O método das flutuações foi proposto por Swinbank em 1951. O estudioso propôs um processo para determinar a transferência vertical turbulenta de vapor d'água, calor e quantidade de movimento para a atmosfera, baseado em flutuações de parâmetros microclimatológicos em torno de suas respectivas médias (densidade, velocidade e a umidade específica do ar) (Rosemberg, 1974 *apud* Varejão-Silva, 2006).

A utilização do método das flutuações é complicada por exigir sensores eficientes, muito pequenos e de resposta muito rápida, caso contrário não serão capazes de detectar a passagem de vórtices de diferentes tamanhos (Varejão-Silva, 2006).

As equações empíricas são baseadas no ajuste por regressão das variáveis envolvidas para algumas regiões e condições específicas e derivam da equação aerodinâmica (Tucci, 2001), sendo do tipo (Equação 9):

$$E_o = K f(w)[e_s(T_s) - e_a] \quad (9)$$

Sendo K, a constante e  $f(w)$  a função da velocidade do vento.

### 3.1.2 Métodos de medição direta da evaporação

Conforme Varejão-Silva (2006), a evaporação pode ser medida diretamente através de Tanques Evaporimétricos ou atmômetros. Na Figura 1 tem-se o Evaporímetro de Piché (ou também chamado de atmômetro de Piché), à esquerda e o Tanque de evaporação classe A, à direita.

Os tanques evaporimétricos são tanques preenchidos com água, cuja variação de nível, e de variáveis meteorológicas, é acompanhada para determinar a evaporação, sendo um método simples e largamente utilizado (Andrade, 2018). A Tabela 1 contém os principais modelos de tanques evaporimétricos, segundo Varejão-Silva (2006).

Um atmômetro é, segundo o Glossário Hidrológico Internacional, um instrumento que mede a perda de água de uma superfície úmida e porosa, onde, a superfície de cerâmica porosa pode ter formato esférico ou cilíndrico; placas ou discos de papel-filtro também são utilizados como superfície de troca (WMO; UNESCO, 2012).

Figura 1 - Equipamentos para medir a evaporação



Fonte: Vianello (2011).

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 a cima 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 <sup>2</sup> 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).

O atmômetro de Piché, o mais utilizado em meteorologia no Brasil (Varejão-Silva, 2006), é um tubo de vidro com uma extremidade fechada e outra aberta, na qual se coloca um círculo de papel de filtro preso por uma alça metálica. O evaporímetro é instalado e a água é evaporada através do papel de filtro. O rebaixamento do nível da água é notado dentro do tubo de vidro, pois o mesmo é graduado como uma bureta (Vicentin, 2018).

### 3.2 O CLIMA E A EVAPORAÇÃO

De acordo com Reboita *et al.* (2015), no Brasil o Sistema de Classificação Climática (SCC) de Köppen é comumente utilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e por outros órgãos estaduais. Ainda de acordo com os autores, o SCC de Köppen (1936) utiliza dados médios mensais de temperatura do ar e precipitação na definição dos limites climáticos.

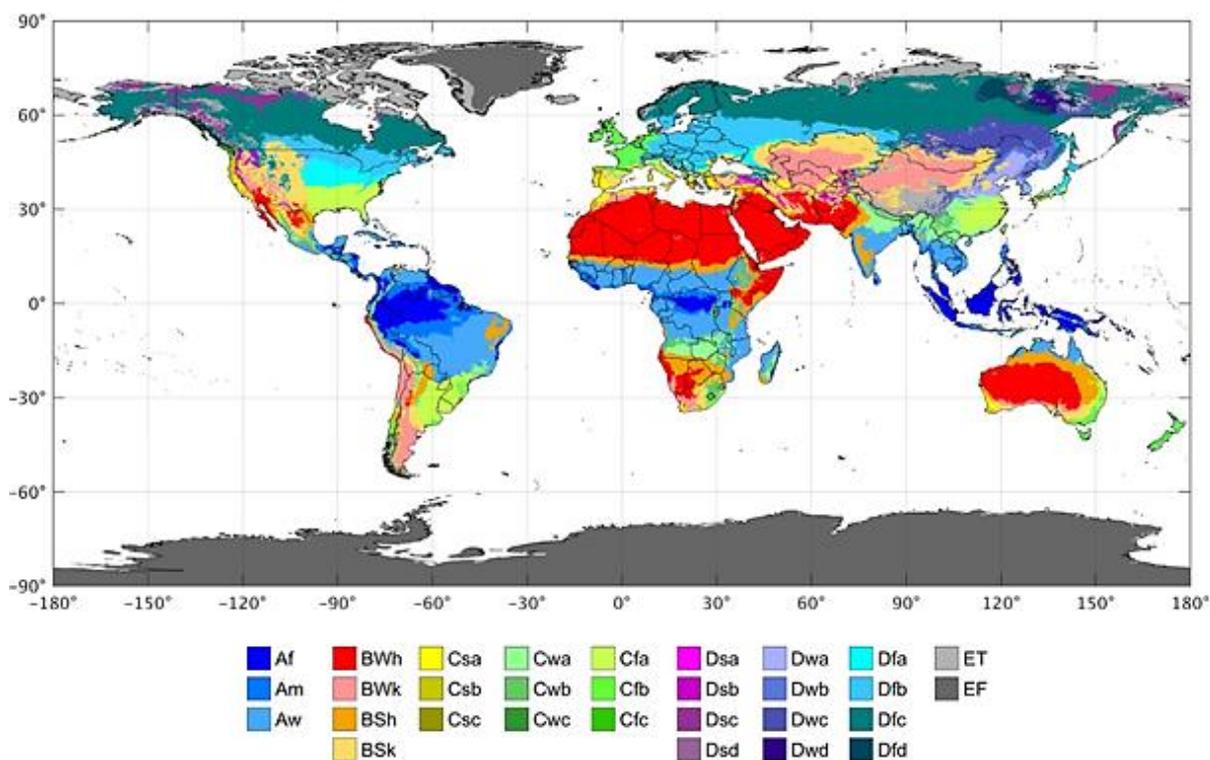
A Figura 2 traz a classificação climática de Köppen-Geiger, que é uma classificação semelhante a de Köppen, porém com três diferenças, a saber: os climas temperados (C) e frios (D) são distinguidos usando um limiar de 0° C ao invés de 3°C; em relação aos climas áridos (B) e os subclimas desérticos (w) e estepe (s), esses foram identificados dependendo de 70% da precipitação ocorrer no verão ou inverno; foram estabelecidos os subclimas verão seco (s) e inverno seco (w), dentro dos climas (C) e (D). (s) é atribuído quando a precipitação ocorre mais no inverno do que no verão, caso contrário o (w) é atribuído (Beck *et al.*, 2018).

Um outro SCC bastante utilizado é o de Thornthwaite, que se baseia em médias climatológicas mensais do extrato do balanço hídrico climatológico, temperatura do ar e precipitação (Nóbrega, 2010).

Thornthwaite (1948) formulou uma equação para determinar o índice de aridez (IA) em regiões áridas e semiáridas, que considera a precipitação (P) e a evapotranspiração (ET<sub>o</sub>), da seguinte forma (Equação 10):

$$IA = \frac{(ET_o - P)}{ET_o} \quad (10)$$

Figura 2 - Classificação climática de Köppen-Geiger



Fonte: Adaptado de Beck *et al.* (2018).

Para tal equação, o autor definiu as seguintes leituras para o IA, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Nível de deficiência hídrica com base no Índice de Aridez

Nível de deficiência hídrica	Índice de Aridez
Pouca ou nenhuma deficiência	0- 16,7
Deficiência moderada no verão ou no inverno	16,7 - 33,3
Grande deficiência no verão ou no inverno	> 33,3

Fonte: Thornthwaite (1948).

As regiões áridas e semiáridas possuem características pluviométricas, geomorfológicas e climáticas que dificultam à utilização e a chegada de água à certas áreas e tem seus solos em condições naturais suscetíveis ao processo de salinização e sodificação (Gheyi *et al.*, 2016).

A forte variabilidade espacial e temporal das condições climáticas e processos hidrológicos, bem como as rápidas mudanças causadas pelas atividades humanas e o aumento da fragilidade ambiental, em áreas áridas e semiáridas, são uma preocupação global, porque essas áreas cobrem um terço dos continentes e abrigam mais de 20% da população mundial (Alazard *et al.*, 2015). Nessas regiões, a evaporação implica uma perda completa dos recursos hídricos na escala da bacia. Por

razões científicas e sociais, uma estimativa confiável de perda devido à evaporação é, portanto, necessária para uma gestão melhorada dos recursos hídricos (Massuel *et al.*, 2014).

Para os desertos hiperáridos (que compõem cerca de 10% da superfície terrestre), a evaporação é a principal causa de perda dos volumes de água, devido à forte radiação solar e condições atmosféricas quentes e secas. Nestes locais a recarga por precipitação é insignificante, sendo as águas subterrâneas profundas, a principal e quase sempre única fonte de abastecimento de água. Nos raros casos de ocorrência de precipitação de curta duração, a maior parte da água evapora rapidamente após a infiltração no solo, ou até mesmo antes, assim a recarga hídrica é praticamente nula. Dessa maneira, a população dessas áreas dependem diretamente das águas subterrâneas profundas (Kamai; Assouline, 2018).

Lehmann *et al.* (2019) observaram que cerca de 13% da precipitação da região árida contribui para o armazenamento de água no solo (na ausência de vegetação).

Atualmente, o Iraque, que tem clima semiárido a árido, por exemplo, perde cerca de 61% de sua precipitação total por evaporação (Al-Taai; Hadi, 2019).

Nos trópicos semiáridos, a maior parte da água da chuva coletada é retida em lagoas agrícolas, lagos e reservatórios tradicionais, no entanto esse tipo de armazenamento de água permite as maiores perdas por evaporação, que podem representar até 50% do total de perdas de armazenamento em reservatórios rasos abertos e até 20% em reservatórios profundos (Walton, 1969 *apud* Jat *et al.*, 2010).

Em regiões semiáridas, a evaporação pode atingir valores elevados, como 2.000 mm/ano, o que causa problemas de ressecamento do solo e perda de produtividade para algumas lavouras. Esses aspectos geralmente estão associados a problemas sociais relacionados à escassez de água (Lafayette *et al.*, 2019).

Aouade *et al.* (2016) relataram que problemas sérios de segurança alimentar nessas áreas precisam ser resolvidos com urgência, o que requer o uso preciso dos recursos hídricos usando técnicas adequadas. Já Jat *et al.* (2010) enfatizaram a urgente necessidade de empregar técnicas para redução da evaporação visando a conservação da água, nos trópicos semiáridos.

### **3.2.1 Semiárido brasileiro**

O semiárido brasileiro é caracterizado por irregularidade espaço-temporal da precipitação, sendo esta abaixo de 800 mm por ano (Marengo *et al.*, 2011). A

evapotranspiração potencial é de 2.000 mm e sua vegetação, em que predomina a Caatinga, é composta por árvores e arbustos desfolhados na época da seca. O solo raso, assentado sobre escudo cristalino quase impermeável também é uma importante característica da região (Alves; Araújo; Nascimento, 2009).

Extraindo os municípios do semiárido das Normais climatológicas do Brasil de 1991 a 2020, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, como observa-se na Tabela 3, tem-se que a Evaporação total (Evaporímetro Piche) (mm) média anual chegou a ser de 3710,2 mm para o município de Petrolina (INMET, 2022), confrontando o dado citado anteriormente.

Tabela 3 - Evaporação total (mm) de municípios do semiárido, pela normal climatológica

<b>Código</b>	<b>Nome da estação</b>	<b>UF</b>	<b>Ano</b>
82989	ÁGUA BRANCA	AL	-
82992	PALMEIRA DOS INDIOS	AL	1706,8
83442	ARAÇUAÍ	MG	1862,9
83386	JANUARIA	MG	1906,7
83393	PEDRA AZUL	MG	-
83483	PIRAPORA	MG	1617,4
83441	SALINAS	MG	1620,7
82983	PETROLINA	PE	3710,2
82797	SURUBIM	PE	-

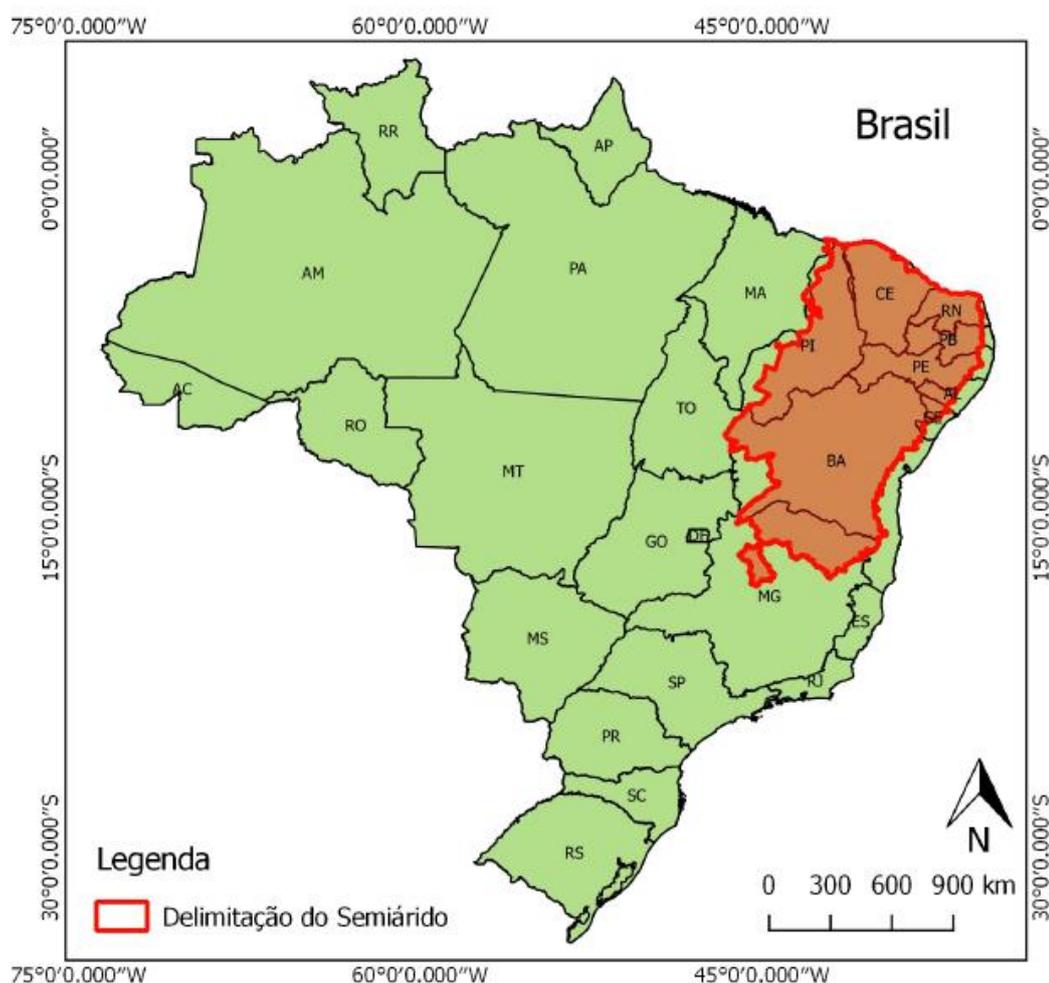
Fonte: Adaptado do INMET (2022).

De acordo com a Sudene (2017), o Semiárido brasileiro possui uma extensão total de 1.182.697 km<sup>2</sup>, com uma população estimada de 27.830.765 habitantes, ocupando cerca 12% do território nacional e abrangendo 1.262 municípios, provenientes de todos os estados do Nordeste, mais a parte setentrional de Minas Gerais.

O mapa da delimitação do semiárido brasileiro é apresentado na Figura 3.

A insolação média no semiárido brasileiro é de cerca de 2.800 horas/ano, temperaturas médias anuais de 23 °C a 27 °C, evaporação média de 2.000 mm/ano e umidade relativa do ar média em torno de 50% (Silva *et al.*, 2010).

Figura 3 - Delimitação do Semiárido Brasileiro



Fonte: Autora, com base em dados elaborados pela SUDENE (2017).

De acordo com o Banco Mundial (2016), o semiárido é uma área muito extensa, que normalmente está sujeita a déficits hídricos, sendo a região mais afetada pelas frequentes secas no Nordeste. No Semiárido há uma significativa produção de alimentos, especialmente feijão, milho e mandioca, e uma pecuária tradicional, incluindo bovinos, ovinos e caprinos, o que torna a região vulnerável as condições de seca, em que segundo Gondim *et al.* (2017), afeta a manutenção dos usos da água, em especial, para o abastecimento público, a irrigação e a geração hidrelétrica, tendo assim forte influência sobre a economia da região.

Conforme Noreste e Zanella (2014), a açudagem é uma das alternativas de políticas de armazenamento de água amplamente adotada no semiárido nordestino. Segundo Cirilo (2008) os açudes podem ser enquadrados em duas classes principais: os de médio e grande porte, com capacidade de acumulação de bilhões de metros cúbicos, e os de pequeno porte (barreiros) que são amplamente difundidos no espaço

nordestino, com capacidades que podem chegar a centenas de milhares de metros cúbicos.

Tradicionalmente, os açudes e poços do nordeste brasileiro foram construídos visando principalmente o abastecimento das populações e dos rebanhos (Rebouças, 1997). Segundo Suassuna (1995), 40% das águas de um pequeno açude ou barreiro se perdem para a atmosfera através do fenômeno da evaporação. E que a perda total anual para esses pequenos açudes por evaporação e infiltração corresponde a uma lâmina de cerca de 3,00 metros (Molle; Cadier, 1992).

Em 1992, Molle e Cadier (1992) afirmam que estimou-se em 70.000 a quantidade de açudes de mais de 1.000 m<sup>2</sup> de espelho d'água, localizados na região nordeste. Assim, o Nordeste brasileiro destaca-se, posteriormente à Índia, como a região mais açudada do mundo.

O Manual operacional dos objetos padronizados do Programa do Programa água para todos, define os Barreiros ou pequenas barragens como sendo pequenas contenções para captação de água da chuva que visam atender à carência de água para produção agrícola e dessedentação animal (Brasil, 2013).

Os barreiros são pequenos reservatórios com capacidade de cerca de 3.000m<sup>3</sup>, os quais são destinados ao armazenamento de água das chuvas. O seu uso é designado a possibilitar a realização de irrigação em períodos críticos de irregularidade das chuvas, caso venha a faltar água e são construídos também em áreas de pastagens com o objetivo de fornecer água para a criação animal (BNB, 2021). Os barreiros geralmente são rasos, cobrindo uma grande área de terra (Brito; Porto; Anjos, 1997) e não apresentam coberturas, dessa forma estão altamente expostos as condições do clima e no semiárido ficam sujeitos as elevadas taxas de evaporação (Lima; Silva; Sampaio, 2011).

No contexto social, os barreiros são locais de referência de vida social nas comunidades que se utilizam desse reservatório para realizar, entre as atividades já citadas, o banho de pessoas e animais e a lavagem de roupa. Em períodos em que não se podia contar com a água das cisternas ou de outras fontes hídricas, a água dos barreiros já serviu para consumo humano, no entanto essa prática não é adequada, pois os mesmos estão sujeitos à poluição. Assim, quando mal manejados podem constituir-se como fonte de contaminação hídrica. Onde, a própria palavra, barreiro, refere-se a sua coloração, amarronzada, barrenta, em decorrência da

quantidade de materiais argilosos levados para o sistema que ficam em suspensão (Lima; Silva; Sampaio, 2011).

### 3.3 IMPACTOS DAS ALTAS TAXAS DE EVAPORAÇÃO: ASPECTOS QUALITATIVOS

Quando a evaporação ocorre de maneira superior a pluviosidade, fato típico das regiões áridas e semiáridas, ocorre o processo de salinização e aumento de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (Redwan; Abdel Moneim; Amra, 2016).

O período de escassez hídrica causa a redução do nível d'água, que associado com altas temperaturas, elevada taxa de evaporação e o alto tempo de residência da água, intensifica as concentrações de nutrientes, e provoca o aumento dos valores de condutividade e salinidade, intensificando a eutrofização do sistema (Barbosa *et al.*, 2012; Jeppesen *et al.*, 2015), que conforme Barbosa (2002) estão propensos a ter seu estado trófico aumentado para eutrófico ou hipereutrófico.

A eutrofização devido as grandes perdas por evaporação durante o período seco elevam as concentrações de fósforo (Miranda, 2014).

A Agência Nacional de Águas relata que os recursos hídricos do semiárido brasileiro são mais vulneráveis à eutrofização, onde em seu processo, o excesso de nutrientes pode promover o crescimento exagerado de algas e plantas aquáticas, provocando um desequilíbrio que pode acarretar em mortandade de peixes, florações de algas tóxicas e outras mudanças no ecossistema capazes de comprometer seriamente a qualidade da água (ANA, 2020).

A alta DBO, no semiárido brasileiro, provavelmente indica a ocorrência de eutrofização nestes corpos d'água. O aumento da biomassa vegetal em função da alta concentração de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, provoca o aumento de decompositores aeróbios da matéria orgânica que se acumula nos açudes, aumentando a DBO (ANA, 2020).

#### 3.3.1 Salinidade

De acordo com Yang *et al.* (2020), as águas superficiais são recarregadas pela água da chuva e são posteriormente afetadas pela evaporação, que altera tanto a concentração de íons quanto os isótopos estáveis desses corpos hídricos.

Nos açudes do semiárido brasileiro as águas estão se tornando mais salinas e em alguns casos, apresentando concentrações que tornam o seu uso impróprio para o consumo humano e para agricultura, sendo ocasionado no período de estiagem por efeito das elevadas taxas de evaporação (Pereira *et al.*, 2006).

Estudos realizados para avaliar a dinâmica do processo de salinização nos reservatórios hídricos localizados no semiárido brasileiro, indicaram que o sódio, o potássio, o cálcio e o magnésio (Na, K, Ca e Mg) compõem importantes parâmetros indicativos do processo de concentrações por evaporação das espécies químicas dissolvidas nas águas dos reservatórios superficiais (Santos *et al.*, 2000 *apud* Santos; Santos; Santos, 2009), bem como se observa que a tendência crescente na concentração de sódio ao decorrer dos anos nos reservatórios do semiárido baiano indica evidência direta com o processo de salinização, favorecido por evaporação e redução da capacidade de volume no reservatório (Santos *et al.*, 2000 *apud* Batista *et al.*, 2020).

Em relação as águas subterrâneas, a sua salinização em zonas úmidas costeiras é geralmente causada pelos efeitos das mudanças climáticas, aumento de nível e interferências antropogênicas (Pauw; De Louw; Oude Essink, 2012), enquanto que em áreas áridas e semiáridas a evaporação é um dos principais fatores que controlam a salinidade da água subterrânea e do solo, juntamente com a dissolução mineral e transpiração (Liu *et al.*, 2013).

O Aquífero cárstico Salitre na Bacia Una-Utinga foi analisado por Lima (2019) que identificou que o aumento da sua salinidade está associado possivelmente a uma mudança das fácies hidroquímicas, bem como ao processo de evaporação.

Já um estudo em relação à salinidade do Aquífero Costeiro Árido da Arábia Saudita e à origem dos seus solutos mostrou que o processo de evaporação também é um fator importante que governa o F-(fluoreto), bem como, a relação entre Br-(brometo) e Cl-(cloreto) neste aquífero. A evaporação da água de irrigação de alta salinidade também causa modificações na qualidade da água deste aquífero, proporcionando o acúmulo de sal na zona da raiz, que é liberada pelos eventos de irrigação posteriores, enriquecendo a salinidade e o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrato) na água subterrânea (Rajmohan; Masoud; Niyazi, 2021).

O aumento da salinidade em águas subterrâneas devido a evaporação explica-se também por conta da evaporação na superfície do solo que faz com que a água ascenda neste meio, assim, quando essa água evapora, sua carga de sal se precipita,

formando uma camada de sal espessa que pode se acumular na superfície do solo. Além disso, esse acúmulo de sal próximo à superfície do solo faz com que a água próxima à esta superfície se torne mais salina e, portanto, mais densa do que abaixo dela, desta forma, pode ocorrer o deslocamento de sal (Il'ichev *et al.*, 2008). O que corrobora com o estudo de America *et al.* (2020) que afirma que a evaporação levou ao acúmulo de sal no lençol freático e dentro da zona do solo a níveis hipersalinos. De forma que as forças opostas de densidade e evaporação controlavam a ocorrência de águas subterrâneas hipersalinas. Assim, a evaporação tem potencial de alterar fortemente a distribuição de sal e afetar o padrão de equilíbrio do fluxo de água em planícies aluviais semiáridas e áridas.

Liu, Jin e Wang (2018) analisaram as características isotópicas e hidrogeoquímicas tanto de águas subterrâneas, como de águas superficiais, a fim de compreender o processo de salinização e as fontes potenciais de salinidade na Bacia do Rio Manas, localizada na Bacia de Junggar na província de Xinjiang, na China. As taxas médias de contribuição da evaporação para a salinidade encontradas foram de 5,87% para as águas subterrâneas e 32,7% para as águas superficiais. Os autores ressaltaram ainda que a evapoconcentração (processo de enriquecimento dos isótopos estáveis e de sais por meio da evaporação) pode ocorrer diretamente na água de recarga do aquífero, antes da infiltração.

### 3.4 IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA EVAPORAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS

A literatura científica que aborda as mudanças climáticas e faz considerações acerca da evaporação, em sua maioria trata de estudos em que a condição climática atual é crítica, como o caso das regiões de clima semiárido (Adeloye; Nawaz; Montaseri, 1999; Helfer; Lemckert; Zhang, 2012; Maestre-Valero *et al.*, 2013; Bakken *et al.*, 2016; Diamond; Jack, 2018; Althoff *et al.*, 2019; Althoff; Rodrigues; Da Silva, 2020; Nourani *et al.*, 2020). Uma parte representativa dos estudos também levam em consideração a finalidade de cada reservatório, estudando os efeitos das demandas futuras para a irrigação. A análise para reservatórios hidroelétricos também é observada, uma vez que há a preocupação com a matriz energética nos cenários futuros, quanto da incerteza da disponibilidade do recurso natural. Alguns artigos

enfocam na análise da eficiência de distintos métodos para a predição de cenários futuros.

Ressalta-se que o percentual de aumento ou redução na evaporação de todos os estudos desta seção, nos parágrafos seguintes, está atrelado à taxa de evaporação que poderá ser anual, mensal ou diária.

Helfer, Lemckert e Zhang (2012) analisaram as taxas de evaporação de um grande reservatório de abastecimento de água na Austrália, onde o clima é semiárido e previu as condições de mudança climática usando modelos resultantes de projeções regionais efetuadas com 9 Modelos de Circulação Geral (GCMs), ou seja, utilizando modelos de escala reduzida, para a região sudeste de Queensland (SEQ) usando o modelo climático regional CSIRO Conformal-Cubic Atmospheric Model (CCAM) (McGregor, 2005). Os resultados mostraram que as taxas de evaporação do reservatório de estudo aumentarão no futuro. Para o período centrado em 2040, a evaporação anual será aproximadamente 8% maior do que a evaporação anual média de 20 anos do período histórico. Um aumento mais acentuado na evaporação é esperado nos anos entre 2070 e 2090, com previsões anuais de evaporação sendo aproximadamente 15% maiores do que a evaporação do período base.

Maestre-Valero *et al.* (2013) incluíram em seu estudo as implicações das mudanças climáticas na evaporação e os impactos econômicos desse tipo de perda. Dessa análise os autores obtiveram que a disponibilidade de água pode ser reduzida em até 40% no pior cenário (horizonte para 2060), com um impacto econômico na faixa de 32 a 36%, já que a taxa de evaporação deverá crescer 7,7% neste cenário.

Nourani *et al.* (2020) também utilizaram GCMs para avaliar o efeito das mudanças climáticas na operação de um reservatório no semiárido, para um período futuro. O método utilizado para o cálculo da evaporação no cenário futuro foi o método de Karrufa (1985), que é um método que estima a evaporação mensal com base na temperatura. Os resultados mostraram que a evaporação média mensal aumentaria na maioria dos meses para o período futuro (2020–2060) em comparação com o período base (1951–2000). Os autores concluem que, o escoamento nesta região deve ser diminuído como resultado de um aumento na temperatura (aumento na taxa de evaporação e evapotranspiração) mais significativo do que na precipitação.

Bakken *et al.* (2016) analisaram reservatórios de geração de energia hidrelétrica, na Turquia e na Albânia, sob a perspectiva das mudanças climáticas e da demanda de água para irrigação. Conforme os autores, o aumento da evaporação dos reservatórios a montante também contribui para a redução do volume de água disponível para produção de energia. O estudo conclui que a redução do volume provocado pela captação para irrigação e as perdas evaporativas são maiores para o reservatório da Turquia do que para o da Albânia. As reduções no fluxo em Kizilirmak (Turquia) são explicadas pelo efeito combinado da precipitação reduzida, aumento da evapotranspiração e evaporação do reservatório e aumento da retirada para irrigação. Os autores finalizam afirmando que o aumento nas taxas de evaporação deve, entre outros fatores, ser considerado no desenvolvimento de projetos hidrelétricos a médio e longo prazo.

Dias *et al.* (2018) também avaliaram os efeitos das mudanças climáticas em reservatórios hidrelétricos, dessa vez para hidrelétricas brasileiras. Conforme os autores, as mudanças climáticas globais, relacionadas à emissão de gases de efeito estufa, impactam na geração de energia em hidrelétricas, principalmente devido ao aumento da temperatura do ar e mudanças na precipitação. Como consequência, afeta o processo de evapotranspiração da bacia, o escoamento, o transporte de sedimentos bem como a evaporação de reservatórios. Entre outras conclusões, o estudo apontou que o aumento das temperaturas resulta em um aumento na evaporação potencial. Mudanças na velocidade do vento e umidade podem compensar ou amplificar o aumento da temperatura, que pode interferir na taxa de evaporação da bacia e de seus reservatórios. O aumento da precipitação pode levar a um aumento no fluxo do rio, no entanto, o aumento da temperatura pode contrabalançar o efeito desse aumento, pois aumenta a taxa de evaporação dos reservatórios e a evapotranspiração na bacia.

Gorguner e Kavvas (2020) tiveram como objetivo avaliar as implicações das mudanças climáticas no balanço hídrico de um reservatório agrícola em uma bacia de clima mediterrâneo na Turquia ao longo do século XXI. Os cenários de mudanças climáticas foram projetados conforme os GCMs. O estudo investiga se o abastecimento de água futuro no reservatório será suficiente para atender demandas de água para irrigação nos anos de 2017 a 2100. Os resultados mostraram que em todas as oito projeções de mudanças climáticas modeladas, foram encontradas

tendências crescentes significativas para as demandas anuais de água para irrigação ao longo do século XXI. A quantidade média anual de água projetada para ser perdida por meio da evaporação da superfície do reservatório foi de 45,9, 46,0 e 44,7 Mm<sup>3</sup> para o início, meados e o final do século, respectivamente, e média de 45,6 Mm<sup>3</sup> para todo o período futuro de 84 anos, enquanto se estima ter um valor médio de 42,7 Mm<sup>3</sup> para o período histórico analisado. Ainda de acordo com os autores, à medida que a água armazenada no reservatório diminui no final do século, a quantidade de perdas de água devido à evaporação do reservatório também diminui.

Althoff, Rodrigues e Silva (2019) simularam as taxas de evaporação para um pequeno reservatório de água localizado na bacia do Buriti Vermelho, uma tendência crescente foi observada para a transição entre o período seco e as estações chuvosas, o que prejudica a dupla safra na região. A evaporação exibiu uma tendência crescente ao longo dos anos para os 44 anos analisados, o coeficiente de inclinação da linha de tendência, com uma significância de 5% de probabilidade pelo Teste T de *Student*, indicou um aumento de 6,12 mm/ano. Além disso, a precipitação na região diminuiu em uma taxa de 12 mm/ano para o mesmo período. Ao considerar a tendência de crescimento da evaporação e redução de precipitação, há uma tendência de aumento do déficit hídrico médio anual, de 18,12 mm/ano.

No ano consecutivo o grupo de autores, anteriormente citados, utilizaram a metodologia proposta por Kohler *et al.* (1955) para calcular a evaporação de cada pequeno reservatório, uma vez que este método teve um bom desempenho entre os vários métodos avaliados no estudo anterior (Althoff; Rodrigues; Silva, 2019). O objetivo desse novo estudo foi apontar o impacto das mudanças climáticas na evaporação do reservatório durante a estação seca e o seu efeito na disponibilidade de água do reservatório, para isso, foram utilizados Modelos Climáticos Regionais (RCM) juntamente com Modelos Climáticos Global (GCM): Eta-HadGEM2-ES e Eta-MIROC5 sob Caminhos Representativos de Concentração (RCP) 4.5 e 8.5. A tendência de evaporação foi analisada usando o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). Como resultados, foram averiguados que as projeções de evaporação aumentam em 7,3% (1,09 mm/ano) e 18,4% (2,74 mm/ano) no RCP 4.5 e RCP 8.5, respectivamente, até o ano de 2100. No geral, os autores acreditam que o aumento da evaporação reduza a disponibilidade de água em pequenos reservatórios durante

a estação seca em 5,5% no RCP 4.5 e 10,4% no RCP 8.5 (Althoff; Rodrigues; Silva, 2020).

Nazari-Sharabian *et al.* (2019) analisaram as concentrações totais de fósforo (TP) sob os cenários de mudanças climáticas. Das análises, o estudo apontou que comparado com a temperatura em 2011, o RCP4.5 e RCP8.5 previram 18,11% e 22,50% de aumento na temperatura média durante 2020-2050, respectivamente. Comparando o mesmo período, o RCP4.5 e RCP8.5 previram uma diminuição de 2,93% e 2,25% na precipitação. Além disso, segundo os autores, a evaporação aumentará 19% sob o RCP4.5 e 23% sob o RCP8.5. O resultado final dessas mudanças será menos chuvas e maiores taxas de evaporação, o que pode impactar tanto os aspectos quantitativos quanto qualitativos dos recursos hídricos na área de estudo. Em relação ao ano de 2011, a concentração de TP no reservatório aumentou de 10,8% para 29,9% para RCP4.5 e 9,1% para 26,2% para RCP8.5. Como conclusão os autores afirmam que a diminuição da precipitação e o aumento da evaporação, provoca a diminuição do volume de água no reservatório, que ainda conta com uma maior captação para suprir a irrigação, isto leva a maiores concentrações de TP, criando condições eutróficas no reservatório.

### 3.5 TÉCNICAS DE SUPRESSÃO DA EVAPORAÇÃO

A literatura científica reporta à utilização de inúmeras técnicas que tem por objetivo reduzir a evaporação de águas superficiais. As técnicas podem ser classificadas em métodos físicos, métodos químicos e métodos biológicos (Waheeb Youssef; Khodzinskaya, 2019). Baillie (2008) cita que existem três grupos de produtos amplamente difundidos como tecnologias de mitigação da evaporação, sendo as tampas flutuantes, estruturas de tecidos de sombra e barreiras químicas.

De acordo com Silans (2003) os mecanismos de redução da evaporação atuam provocando um aumento da tensão superficial na interface entre a água e a atmosfera, diminuindo os coeficientes de transferência do vapor de água entre a superfície e a atmosfera; reduzindo a velocidade do vento ou ainda diminuindo a energia disponível para a evaporação, refletindo parte da energia solar incidente.

A Tabela 4, exhibe artigos que utilizam os mais diversos tipos de materiais empregados para proporcionar a redução da evaporação de águas abertas.

Tabela 4 - Estado da arte acerca de técnicas de supressão da evaporação (Continua)

Referência	Material	Reservatório	Local	Duração da Observação	Redução Média na evaporação
Alvarez <i>et al.</i> (2006)	Tela de polietileno.	Tanque Classe- A.	Sudeste da Espanha.	Maio a setembro de 2003.	Fator de redução médio diário de 54,7% a 83,5% (tela de polietileno preta, dupla camada) a depender da cor e quantidade de camada.
Martinez-Alvarez <i>et al.</i> (2010)	Tela de polietileno.	Reservatório Agrícola com 2400 m <sup>2</sup> de área (largura máxima de 55 m) e com 5 m de profundidade. Capacidade de Armazenamento de 11.920 m <sup>3</sup> .	Sudeste da Espanha.	1 ano coberto e 1 ano descoberto.	Fator de redução médio anual de 84,1%.
Jat <i>et al.</i> (2010)	Palha de milho (6 kg/m <sup>2</sup> ), óleo queimado (filme de 2 mm de espessura), poli filme (50 microns), álcool cetílico (2,2 kg/ha).	Tubos plásticos de 40 cm x 70 cm a nível fixo.	Ajija-Rajastão, Índia.	1 ano.	Redução média de 31,3% para o álcool cetílico, de 59% para a palha de milho, de 42,4% para o óleo queimado e de 56,4% para o polifilme.
Gallego-Elvira <i>et al.</i> (2011)	Tela de polietileno.	Reservatório Agrícola com 2400 m <sup>2</sup> de área (largura máxima de 55 m) e com 5 m de profundidade.	Sudeste da Espanha.	1 ano coberto e 1 ano descoberto.	Fator de redução anual de 85%.

Tabela 4 - Estado da arte acerca de técnicas de supressão da evaporação (Continuação)

Referência	Material	Reservatório	Local	Duração da Observação	Redução Média na evaporação
Helper, Zhang E Lemckert (2011)	Plumas de Bolhas de Ar.	Barragem Wivenhoe: Capacidade de armazenamento de 1160 hm <sup>3</sup> , área superficial de 107 km <sup>2</sup> e profundidade máxima de 40 m.	Austrália.	3 anos.	Com as simulações a evaporação no verão diminuiu em torno de 1,7% em relação aos valores de base. No outono a evaporação aumentou cerca de 5,7% devido à elevação da temperatura da superfície da água. No inverno, a evaporação aumentou em 0,6%. Na primavera, todos os sistemas de desestratificação diminuíram a evaporação em cerca de 3,5%.
Helper, Lemckert e Zhang (2012)	Plumas de Bolhas de Ar.	Tanque com dimensões de 1,80 m x 1,80 m x 0,80 m (profundidade de água de 0,7 m) dividido em dois compartimentos de 0,90 m x 1,80 m x 0,80 m.	Austrália.	3 anos.	Para o cenário R1 (temperatura do ar ajustada em 20°C), a mudança na evaporação variou de 0,01 a 0,7 mm/dia, representando aumentos relativos de 1,9% e 135%, respectivamente. Para o cenário R2 (temperatura ajustada em 22 °C), as mudanças variaram de 0,2 a 0,8 mm/dia. Em termos percentuais, essas variações representam aumentos de 49% e 200%, respectivamente.
Gallego-Elvira <i>et al.</i> (2013)	Monocamadas de álcool estearílico, éter monooctadecílico de etilenoglicol e o produto comercial WaterSavr.	2 Tanques Classe- A.	Sudeste da Espanha.	1 semana para cada velocidade do vento, totalizando 3 semanas.	Redução de 40, 71 e 58% com a aplicação do Éter monooctadecílico de etilenoglicol. Redução de 41, 68 e 20% com o uso do WaterSavr; e de 13, 58 e 32% com o álcool estearílico (os valores são com base na velocidade do vento sendo de 0, 1,5 e 3 m/s).

Tabela 4 - Estado da arte acerca de técnicas de supressão da evaporação (Continuação)

Referência	Material	Reservatório	Local	Duração da Observação	Redução Média na evaporação
Alam e Alshaiikh (2013)	Folha de Palmeira.	Tanque evaporimétrico baseado no Tanque classe A (desenvolvido por US Weather Bureau)- de 1210 mm de diâmetro interno, 250 mm de profundidade e construído com galões de um milímetro de espessura em chapa de aço galvanizado.	Arábia Saudita.	Outubro de 2010 a junho de 2011.	Redução de 47% para o experimento com única camada de folha de palmeira e de 58% para o de dupla camada.
Sovocool (2014)	Monocamada da mistura de esteril e álcoois cetílicos com hidróxido de cálcio.	5 galões de 11,75 polegadas diâmetro x 14,5 polegadas de profundidade inseridos em um lago artificial (Lago Sahara- 28,5 acre) e 2 tanques evaporimétricos do tipo Classe- A.	Las Vegas.	Entre agosto a novembro de 2012.	Redução de 31% no experimento em galões inseridos no lago e de 29% nos tanques evaporativos.
Eisebate, Fouli e Amin (2017)	Tiras de Folhas de Palmeira com dimensões de 25 cm x 70 cm e 5 mm de espessura.	Tanques medindo 0,67 x 1,50 x 0,50m e 0,71 x 0,71 x 0,50m foram usados no estudo. Dois dos tanques tinham área de superfície quadrada, enquanto os outros dois tinham área de superfície retangular.	Arábia Saudita.	41 dias, sendo de 7 de novembro a 14 de dezembro de 2013.	Redução média de 76%.
Taboada <i>et al.</i> (2017)	Cobertura fotovoltaica flutuante.	Tanques de fibra de vidro, poliéster e isolamento de fibra bloco 330 com 2,51 m de comprimento, 1,12 m de largura e 0,4 m de profundidade.	Universidade de Antofagasta, Chile.	Maior de 2014 a Janeiro de 2015.	Reduções acima de 90%.

Tabela 4 - Estado da arte acerca de técnicas de supressão da evaporação (Continuação)

Referência	Material	Reservatório	Local	Duração da Observação	Redução Média na evaporação
Aminzadeh, Lehmann e Or (2018)	Discos de isopor com 0,2m de diâmetro e espessura de 0,02 m nas cores preta e branca.	Reservatório de água de superfície quadrada com área de 1,44 m <sup>2</sup> e 0,16 m de profundidade.	Laboratório em localidade não especificada.	2 dias de observações dos reservatórios.	Redução e 80% na evaporação (cobertura de 91% da superfície).
Heifer <i>et al.</i> (2018)	Plumas de Bolhas de Ar.	Represa Logan's com Capacidade de armazenamento de 0,7 hm <sup>3</sup> , área de superfície total de 17 ha e profundidade máxima de 6,5 m. O reservatório é aproximadamente retangular com dimensões de aproximadamente 480 m x 350 m.	Queensland-Austrália.	2 anos.	Redução de 2,9% para lagos profundos (16,5m).
Saggai e Bachi (2018)	Hexadecanol.	Tanques de evaporação do tipo Colorado.	Touggourt-sueste da Argélia.	20 semanas.	Reduções de 16% e 22% para a aplicação de 3g e 5 g do álcool graxo, respectivamente.
Han <i>et al.</i> (2019)	Esferas contrapesadas com 100mm de diâmetro.	Tanques com áreas de 1 m <sup>2</sup> e uma represa.	Xinjiang-China.	1 ano.	Redução média de 69.71% a 75.42%, para cobertura da superfície da represa em 1m <sup>2</sup> e 4m <sup>2</sup> , respectivamente.

Tabela 4 - Estado da arte acerca de técnicas de supressão da evaporação (Continuação)

Referência	Material	Reservatório	Local	Duração da Observação	Redução Média na evaporação
Mozafari, Mansouri e Chini (2019)	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).	Recipientes de dimensões- 25 cm x 15 cm x 8 cm.	Teerã, Irã.	9 dias de experimentação- com ciclos de duração menor que 24 horas.	Redução de 41% para a monocamada de álcool cetílico e álcool estearílico e de até 59% para a Monocamada de álcool cetílico e álcool estearílico com hidróxido de cálcio.
Lehmann, Aminzadeh e Or (2019)	Elementos flutuantes (esferas e discos com 40 e 200 mm de diâmetro, nas cores branca e preta. Sendo esferas (40mm) de polietileno, e os discos, de isopor com 20 mm de espessura.	Reservatório de plástico reforçado com fibra de vidro, quadrado com dimensões de 1,2m x 1,2 m e 0,16 m.	Laboratório em localidade não especificada.	Não descrita.	Redução de 80% (discos grandes - 200 mm de diâmetro) e 70% (Para esfera de polietileno -40 mm de diâmetro).
Han, Shi e Yan (2020)	Esferas contrapesadas.	Reservatórios de polietileno de alta densidade com diâmetro de 1,2 m e altura de 0,8 m.	Noroeste da China.	8 meses- março a outubro.	Redução de 70,6%.
Padilha et al. (2020)	Cobertura Fotovoltaica Flutuante.	Açudes da Bacia Apodi/ Mossoró-RN.	Semiárido brasileiro.	Não descrita.	Redução de 55,2%.
Haas et al. (2020)	Cobertura Fotovoltaica Flutuante.	Reservatório Rapel que é uma usina hidrelétrica com capacidade de armazenamento de 400 Mm <sup>3</sup> .	Chile.	2 anos e meio.	Redução de até 16% (quando a cobertura é de 100%).

Fonte: A autora.

Embora os autores tragam como resultados dos materiais empregados o percentual de redução na taxa de evaporação, sabe-se que é de suma importância que a lâmina de água que deixa de ser evaporada fosse citada e discutida, bem como as dimensões reais do reservatório e suas demais características físicas. Como afirma Leitão *et al.* (2000), a taxa de evaporação de uma superfície, depende fundamentalmente da interação da área exposta desta superfície com a atmosfera.

### 3.5.1 Métodos químicos

As monocamadas químicas são moléculas anfifílicas de cadeia longa (com extremidades hidrofílicas e hidrofóbicas). Essa composição faz com que as monocamadas se posicionem sobre a superfície da água e se dispersem rapidamente resultando em uma camada com poucos nanômetros de espessura (Gaines, 1966 *apud* Mozafari; Mansouri; Chini, 2019). De acordo com Hedestrand (1924 *apud* Mozafari; Mansouri; Chini, 2019), existem diferentes tipos de monocamadas químicas, que podem ser ácidos, ésteres, éteres e álcoois. Onde os éteres e álcoois podem ser potencialmente utilizados para mitigar a evaporação sem que ocorram efeitos colaterais nos habitats aquáticos (Pittaway; Den, Van Ancker, 2010). Já os ácidos graxos, embora reduzam a taxa de evaporação, degradam o meio ambiente (Smith, 1984).

Da literatura (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) percebe-se que a maioria dos estudos e dos produtos comercializados são à base de álcool (Jat *et al.*, 2010; Gallego-Elvira *et al.*, 2013; Sovocool, 2014; Saggai; Bachi, 2018; Mozafari; Mansouri; Chini, 2019).

Em uma importante revisão de literatura, Silans (2003) descreve que no período entre 1954 e 1967, todos os estudos foram voltados para analisar a eficiência e a resistência mecânica de filmes monomoleculares de hexadecanol, octadecanol ou uma mistura de ambos, em função da dosagem, do método de diluição ou pulverização, do método de aplicação e do tamanho da superfície do lago a ser coberta.

Mozafari, Mansouri e Chini (2019) descrevem que a mistura de cetil e estearil (1:9) é uma monocamada de última geração para minimizar a evaporação, capaz de economizar 41% da água que seria evaporada. Os autores incrementaram ainda ao composto, hidróxido de cálcio, pois ele aumenta a taxa de difusão e autocura da

camada. Além disso para os casos estudados, o hidróxido de cálcio proporcionou melhor desempenho na redução da evaporação. Sovocool (2014) utilizando o mesmo composto com e sem hidróxido de cálcio em um lago localizado em Las Vegas, identificou que a monocamada proporcionou reduções evaporativas de 18% a 51%, enquanto que Gallego-Elvira *et al.* (2013) observaram uma redução de 13% a 71%, quando estudavam os efeitos de monocamadas de álcool estearílico, éter monoctadecílico de etilenoglicol e o produto comercial WaterSavr. Desses compostos, o estudo apontou que a monocamada de éter monoctadecílico de etilenoglicol foi a mais eficaz em todas as condições de velocidade do vento.

As reduções na evaporação proporcionada pelas diversas monocamadas já citadas se justificam pelo aumento da radiação solar refletida, amortecimento das ondas formadas pelos ventos e principalmente a limitação do escape de moléculas de água. Dessa forma, as monocamadas podem ser eficazes mesmo durante a noite, apesar da radiação está em seu nível mais baixo. Do estudo com monocamada de álcool cetílico e esterealílico, o principal mecanismo de redução da taxa de evaporação apontado pelos autores foi a limitação do escape de moléculas de água. Já o efeito que demonstra o maior impacto sobre essa taxa foi apontando como a velocidade do vento (Mozafari; Mansouri; Chini, 2019).

Segundo Sovocool (2014) os níveis de oxigênio dissolvido e pH apresentaram baixa variabilidade ao empregar a monocamada durante o estudo. Já a alcalinidade (bicarbonato-  $\text{HCO}_3$ ) mostrou um estado de diminuição significativa, com os valores caindo de 107,4 mg/L para 94,6 mg/L. Como esperado, o declínio na alcalinidade total foi observado, com valores caindo de 112,2 para 103,6 mg/L. A quantidade total de sólidos dissolvidos também caiu de 1.153 mg/L para 1.113 mg/L. Toxinas de algas ou toxinas de múltiplas fontes não foram encontrados. Os níveis de clorofila eram em média 6,27  $\mu\text{g/L}$  antes do início das aplicações e variou de 3,67 a 8,39  $\mu\text{g/L}$  com a aplicação. O fósforo total variou de 0,16 a 0,21 mg/L, com ortofosfatos abaixo do limite de detecção de 0,001 mg/L. Nitratos e nitritos estavam abaixo do limite de detecção de 0,02 mg/L. O mesmo ocorreu com o carbono orgânico total (TOC). Assim, os resultados de teste de qualidade da água não encontraram evidência de ameaças para a saúde ou meio ambiente de curto prazo resultantes do uso do supressor evaporativo.

As monocamadas necessitam de reaplicação periódicas. O produto comercial Aquatain e o WaterSavr, por exemplo, necessitam de reaplicação a cada dez dias e a

cada um dia, respectivamente (Mcjannet; Cook; Knight, 2008). Segundo (Mozafari; Mansouri; Chini, 2019) a degradabilidade da monocamada se dá principalmente devido à sublimação e não pela fotodegradação e radiação.

A monocamada de hexadecanol, utilizada por (Saggaï; Bachi, 2018), mostrou-se útil na redução da evaporação de águas abertas, com aplicações a cada três dias. As taxas de redução da evaporação dependeram da concentração de hexadecanol usada e de fatores meteorológicos da região. Aplicação de hexadecanol na taxa de 0,15 g/m<sup>2</sup> a cada 3 dias resultou na melhor taxa de redução de evaporação (22%). Dessa maneira, os autores colocam que este é um método viável e de baixo custo.

### 3.5.2 Métodos biológicos

Sobre os estudos que analisam o emprego de métodos biológicos, a utilização de palha de milho (JAT *et al.*, 2010), folhas de palmeira (Alhassoun *et al.*, 2011; Alam; Alshaikh, 2013; Elsebaie; Fouli; Amin, 2017) e quebra-ventos arbóreos (Oribi; Abdulkareem, 2020) são algumas das técnicas já relatadas.

Jat *et al.* (2010) analisaram a eficiência de polifilme, óleo queimado, álcool cetílico e palha de milho. De acordo com os autores, quando comparado à evaporação natural o uso do álcool cetílico resultou na menor redução média da evaporação (31,3%), enquanto a palha de milho causou reduções médias na ordem de 58 e 59%, provando ser um método eficaz para a supressão da evaporação da água de superfícies livres.

O emprego de folhas de palmeiras como superfícies flutuantes derivou na redução da evaporação de cerca de 55% (piscina totalmente coberta) e aproximadamente de 26% (piscina semicoberta). Ressalta-se que a utilização das folhas não acarretou efeitos nocivos à qualidade da água (Alhassoun *et al.*, 2011).

Inicialmente Alam e Alshaikh (2013) observaram as reduções na evaporação utilizando uma única camada de cobertura feita de folha de palmeira (1,9 mm de espessura) por três meses. Posteriormente utilizaram uma cobertura de duas camadas de folhas de palmeira (3,8 mm de espessura) para avaliar o efeito da espessura na evaporação. Daí os resultados indicaram uma redução na evaporação de 47% para o experimento com única camada de folha de palmeira e de 58% para o de dupla camada.

Do estudo realizado na Arábia Saudita, o material usado para a cobertura foram folhas de palmeira disponíveis localmente, que são resíduos agrícolas massivos e subprodutos ecológicos no país. A palmeira é considerada uma das mais importantes colheitas comerciais e é amplamente distribuída na Arábia Saudita. Após a poda a folha de palmeira é considerada um resíduo a ser descartados. Assim, o uso de folhas de palmeira como coberturas para reduzir a evaporação de águas abertas mostra-se uma boa alternativa para a destinação desse resíduo. Pode-se afirmar que as folhas de palmeira são materiais ecológicos capazes de suportar condições climáticas extremamente quentes como as de regiões áridas e têm grande potencial na redução de evaporação através da redução do aporte de energia (Elsebaie; Fouli; Amin, 2017).

A utilização de quebra ventos proporciona a redução da velocidade do vento através da Instalação de barreiras artificiais a montante do açude na direção do vento; Instalação de barreiras naturais a montante do açude na direção do vento; ou através da instalação ou mantimento de faixas marginais de vegetação em torno do açude. Assim que ao reduzir a velocidade do vento, tanto o calor sensível como o calor latente de evaporação são reduzidos (Silans, 2003).

Sobre a utilização de quebra ventos, os melhores resultados obtidos por Oribi e Abdulkareem (2020) foi verificado quando a altura do quebra-vento foi de 100 cm, o número da linha sendo igual a 3 e o método de instalação sendo a técnica de cruzamentos, registrando a maior taxa de redução da evaporação sendo até 35% de seu valor original. Isso reafirma que o vento é um dos fatores mais importantes que afetam a taxa de evaporação. Assim, a utilização de quebra ventos é considerada um dos melhores métodos por ser ecologicamente correto.

### 3.5.3 Métodos físicos

Os métodos físicos podem ser implementados a partir da utilização de coberturas suspensas ou flutuantes. As coberturas suspensas, ou *Shade cloth*, como são chamadas na literatura internacional, apresentadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** são as telas de polietileno e as telas aluminizadas. Todos esses estudos com as telas de polietileno foram realizados no sudeste da Espanha, onde o clima é semiárido mediterrâneo (Alvarez *et al.*, 2006; Martinez-Alvarez *et al.*, 2010; Gallego-Elvira *et al.*, 2011).

Um dos estudos mais antigos e relevantes utilizando coberturas físicas, Porto, Amorim Neto e Silva (1986) analisaram a redução da evaporação ao utilizar discos impermeáveis (compostos de vermiculita, parafina e cera de carnaúba, esferas de barro não vitrificadas e discos de isopor impregnados de uma mistura de cera de carnaúba e parafina derretida. A pesquisa foi aplicada no município de Petrolina-PE, localizado no semiárido. Os autores concluem que as coberturas são consideráveis pois proporcionam reduções na evaporação superior a 50%. Os autores afirmam que essa redução é válida já que a redução das perdas por evaporação é a forma de se conseguir um excedente de água, de maneira a evitar custos com transporte, escavação e bombeamento (Porto; Amorim Neto; Silva, 1986).

O estudo realizado por Alvarez *et al.* (2006) compararam a utilização das telas de polietileno em cores e quantidade de camadas diversificadas com telas aluminizadas e obteve que o sombreando decorrente da utilização das telas levou a diminuição da taxa de evaporação diária, em 50% para a tela aluminizada e em 54,7% a 83,5% para as telas de polietileno, sendo que a maior redução foi conferida pelo uso da tela de polietileno dupla camada na cor preta. Posteriormente Martinez-Alvarez *et al.* (2010) e Gallego-Elvira *et al.* (2011) aplicaram as telas de polietileno preta em um reservatório agrícola e alcançaram uma redução na evaporação próxima à 85%.

Gallego-Elvira *et al.* (2011) e Martinez-Alvarez *et al.* (2010) obtiveram resultados que apontam que a tecnologia foi mais eficaz nos meses de verão e primavera. Em março a redução foi a maior observada, sendo de 96% (Gallego-Elvira *et al.*, 2011) e 93% (Martinez-Alvarez *et al.*, 2010), enquanto que em dezembro observou-se a menor redução, sendo de 36% (Gallego-Elvira *et al.*, 2011) e 38% (Martinez-Alvarez *et al.*, 2010).

Maestre-Valero, Martínez-Alvarez e Nicolas (2013) avaliaram os efeitos físicos, químicos e microbiológicos das telas de polietileno nos reservatórios. Os autores afirmam que a baixa radiação solar transmitida reduziu significativamente a atividade de fotossíntese, limitando a proliferação de algas. Apesar dessa limitação e da falta de turbulência, os níveis de oxigênio permaneceram próximos da saturação nos pequenos reservatórios agrícolas. A instalação da cobertura também levou a uma redução da presença de *Escherichia Coli* e Coliformes Fecais em 82%, sendo explicado devido à redução de matéria orgânica (principalmente algas), bem como à redução da temperatura da água. Assim, os autores concluíram que a implementação

das coberturas produz efeitos significativos na qualidade da água armazenada, que são principalmente benéficos para fins de irrigação.

O monitoramento da qualidade da água de pequenos reservatórios agrícolas mostrou que a falta de turbulência e a redução da fotossíntese, que diminuiu em 95% a produção de clorofila, levou a redução da concentração de oxigênio dissolvido e a turbidez que era de 40 UNT passou a ser menor que 1 UNT. A redução da evaporação proporcionou um balanço hídrico positivo que reduziu a condutividade elétrica da água em 8,2% (Maestre-Valero *et al.*, 2011). Gallego-Elvira *et al.* (2011) ressaltam também que a deposição de detritos é diminuída pelo uso das coberturas.

A implantação de coberturas com telas de polietileno, envolve um custo capital de € 7,80/m<sup>2</sup>, sendo € 5,30/m<sup>2</sup> correspondendo a estrutura e € 2,50/m<sup>2</sup> referente à tela, já os custos de operação e manutenção são muito baixos e só aparecem em situações extraordinárias (Martinez-Alvarez *et al.*, 2010), com vida útil do sistema sendo de 10 a 15 anos (Alvarez *et al.*, 2006). Dessa forma, Martinez-Alvarez *et al.* (2010) afirmam que o uso dessa técnica pode ser economicamente viável quando a disponibilidade de água é o fator limitante na produção da safra e a água economizada é avaliada na margem líquida da colheita.

Os seguintes elementos flutuantes, são apresentados na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**: esferas contrapesadas, cobertura fotovoltaica flutuante, esferas e discos flutuantes e garrafas PET.

Simon, Shanbhag e Slocum (2016) avaliando o emprego de garrafas de tereftalato (PET) de 500 mL na redução da evaporação de águas abertas constatou uma diminuição de 40% da água que seria evaporada, constituindo uma boa alternativa para pequenos produtores rurais, sendo capaz de gerar uma economia de 0,09 US\$/m<sup>3</sup> de água dada a região de estudo (Pune, Índia). Para tal experimento, os autores adicionaram 10g de solo dentro das garrafas afim de prevenir a rotação das garrafas, onde o material adicionado não acarretou em alterações na redução da evaporação.

No estudo feito por Hassan *et al.* (2015), a utilização de garrafas PET (65 mm de diâmetro) para suprimir a evaporação se deu de maneiras distintas para duas regiões, onde, a evaporação foi reduzida em 43% em local costeiro e 37% em local da zona árida. Os autores ressaltam que possíveis impactos na qualidade da água devido à redução da radiação solar e a redução da troca de oxigênio na superfície da água precisam ser determinados em escala de campo.

Han *et al.* (2019) observaram uma redução média de 69,71% a 75,42%, na taxa de evaporação para cobertura de 1m<sup>2</sup> e 4m<sup>2</sup>, utilizando esferas contrapesadas, sendo que o empacotamento das esferas foi 0.81. Quanto a qualidade da água com esses elementos, os autores afirmam que é improvável que este material cause problemas associados à lixiviação progressiva de produtos químicos, uma vez que são constituídos em polietileno de alta densidade (HDPE) que são amplamente utilizados nas indústrias de engenharia hidráulica e aquicultura. Do ponto de vista econômico as esferas contrapesadas pode ser uma opção viável para aumentar o armazenamento de água para fins industriais e uma opção não econômica quando o objetivo é a produção agrícola, uma vez que o custo relacionado à instalação de esferas contrapesadas é de aproximadamente 50 ¥/m<sup>2</sup> (equivalente a R\$41,83/m<sup>2</sup>), com vida útil de pelo menos 20 anos (Han; Shi; Yan, 2020).

A análise de Lehmann, Aminzadeh e Or (2019) considerou esferas (de isopor e de polietileno) e discos flutuantes (isopor) com variações em dois tamanhos (100 mm e 20 mm) e em duas cores: branco ou preto. Comparando-se o desempenho dos discos, os discos de maior diâmetro (100 mm) obtiveram melhores resultados, que foram ainda superiores em relação as esferas de mesmo diâmetro. Em relação a cor dos elementos, ambas as cores tiveram fluxos de evaporação semelhantes.

Quanto a utilização de tampas flutuantes, estudos recentes mostraram que a supressão da evaporação é um processo altamente não linear que depende das propriedades das tampas (tamanho, forma, propriedades térmicas e radioativas), sendo uma técnica promissora para reservatórios de pequena escala. As tampas flutuantes se reorganizam espontaneamente em resposta a mudanças no nível da água ou condições externas (Aminzadeh; Lehmann; Or, 2018).

Aminzadeh, Lehmann e Or (2018) avaliaram coberturas de discos de isopor nas cores branca ou preta, cobrindo 91% da superfície da água. A taxa de evaporação resultante de superfícies de água cobertas foi reduzida em cerca de 80%, com a maior eficiência durante o verão. Os autores destacam que os fluxos de calor de condução de cobertura para a superfície da água podem contribuir para um aumento na temperatura da superfície da água dependendo das propriedades térmicas do material de cobertura e em alguns casos, pode suprimir a proliferação de algas tóxicas. As taxas de oxigênio dissolvido também podem ser alteradas, afetando a vida aquática do reservatório.

Os aspectos econômicos em relação às estruturas fotovoltaicas flutuantes apontam que essas estruturas possuem vida útil de 25 anos e o período de retorno é de 4 anos, considerando apenas a economia da água que seria evaporada (Padilha *et al.*, 2020). No contexto do semiárido brasileiro, Padilha *et al.* (2020) mostraram que sistemas fotovoltaicos flutuantes são economicamente viáveis, mesmo para o percentual de cobertura de 5% do reservatório, onde o custo da água não evaporada é de \$ 5,39/m<sup>3</sup>, representando uma redução de quase 70% em relação ao custo da água de caminhões-pipa, que é uma prática de abastecimento alternativo para a população local que sofre com a escassez hídrica.

Em relação aos impactos na qualidade da água as placas fotovoltaicas flutuantes podem levar à redução da fotossíntese e do crescimento de algas (Sahu; Yadav; Sudhakar, 2016), assim, o reservatório apresentará menos material orgânico morto, menos atividade de degradação bacteriana e menor consumo de oxigênio, bem como redução da biomassa de algas diminuindo significativamente a probabilidade de desenvolver espécies tóxicas (Haas *et al.*, 2020). No entanto, quando a taxa de cobertura se mostra alta, como 60% a 100% da superfície do reservatório, a sua utilização pode limitar o crescimento das algas de maneira muito severa, podendo restringir a transferência de carbono para níveis mais elevados, dificultando a ecologia do reservatório (Haas *et al.*, 2020).

A aeração por plumas de bolhas de ar foram analisadas em relação aos seus efeitos nas taxas de evaporação, no entanto as alterações demonstradas eram baixas, podendo até apresentar ganho na evaporação em determinadas condições como estações do ano e características da água do reservatório (Helfer; Zhang; Lemckert, 2011; Helfer; Lemckert; Zhang, 2012b; Helfer *et al.*, 2018). Helfer, Lemckert e Zhang (2012b) ressaltaram que em comparação com a evaporação natural, a evaporação de águas não estratificadas aeradas artificialmente se mostra superior, logo, não são apropriadas para lagos com essa característica.

Apesar das reduções na evaporação serem baixas a aeração artificial tem se firmado como uma técnica capaz de melhorar a qualidade da água de lagos e reservatórios, melhorando os níveis de oxigênio dissolvido no hipolimnião (águas profundas), que levariam a aumentos de sulfeto de hidrogênio, amônia e redução de ferro e manganês, causando sérios problemas associados ao gosto, odor e cor da água (Helfer; Lemckert; Zhang, 2012) e limitando a reciclagem de fósforo dos sedimentos na água do lago (Helfer *et al.*, 2018).

Nascimento (2021) realizou o estudo do emprego de telas de polietileno em cores e abertura de malha distintas, bem como a utilização de garrafas PETs incolores e em transparência verdes e embalagens tetrapak, para averiguar seus efeitos na evaporação de água em pequenos reservatórios no semiárido brasileiro. Da análise, realizada em um período de oito e cinco meses, para o que ele dividiu em duas etapas de estudo, o autor obteve que as coberturas que apresentaram maior eficiência na mitigação das taxas de evaporação na primeira etapa foram as garrafas PETs, com uma redução percentual de 53,91% para as verdes e 45,36% para as incolores. Já na segunda etapa, além das garrafas PET evidenciarem bons índices com, 40,62% (verdes) e 37,72% (incolores), a barreira composta pelas embalagens aluminizadas também tiveram destaque com uma diminuição de 39,36% na evaporação.

### 3.6 PADRÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA PEQUENAS PRODUÇÕES RURAIS: AGRICULTURA, AQUICULTURA E DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS

No Brasil, os padrões de qualidade da água são regidos pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005). Dela resulta que as atividades de irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película devem ser realizadas com águas com padrão de qualidade classe 1, sendo doce ou salobra. Já para irrigação de demais hortaliças e frutas devem ser utilizadas águas com qualidade igual ou superior aos padrões classe 2 (doce) e classe 1 (salobra). Para aquicultura e pesca podem ser padrão classe 2 (doce) ou classe 1 (salobra). Para o cultivo de cereais, forragens e para dessedentação de animais podem ser empregadas águas com o padrão até classe 3 (doce) (Brasil, 2005).

Para uma breve avaliação da qualidade da água que utiliza técnicas de supressão da evaporação pode-se considerar os parâmetros listados na Tabela 5.

Tabela 5 - Especificações dos padrões de qualidade de água segundo CONAMA Nº 357

Classe da água	Parâmetro	Especificação
Classe 1- Águas Doces	Turbidez	≤ 40 UNT
	PH	6,0 a 9,0
	OD (oxigênio dissolvido)	≥ 6 mg/L O <sub>2</sub>
	Concentração de Clorofila a	≤ 10 µg/L
	Sólidos Dissolvidos Totais	≤500 mg/L
	Coliformes Termotolerantes	≤ 200*
Classe 2- Águas Doces	Turbidez	≤ 100 UNT
	PH	6,0 a 9,0
	OD	≥ 5 mg/L O <sub>2</sub>
	Concentração de Clorofila a	≤ 30 µg/L
	Sólidos Dissolvidos Totais	≤500 mg/L
	Coliformes Termotolerantes	≤ 1000*
Classe 3- Águas Doces	Turbidez	≤ 100 UNT
	PH	6,0 a 9,0
	OD	≥ 4 mg/L O <sub>2</sub>
	Concentração de Clorofila a	≤ 10 µg/L
	Sólidos Dissolvidos Totais	≤500 mg/L
	Coliformes Termotolerantes	≤ 1000*
Classe 1- Águas Salobras	PH	6,5 a 8,5
	OD	≥ 5 mg/L O <sub>2</sub>
	Sólidos Dissolvidos Totais	≤500 mg/L
	Coliformes Termotolerantes	≤ 200*

Nota:

\* a especificação deverá ser atendida em pelo menos 80% das amostras (número mínimo de amostras igual a 6) coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

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

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A experimentação foi desenvolvida no município de Caruaru-PE, localizado na mesorregião agreste e microrregião do Vale do Ipojuca, limitando-se a norte pelos municípios de Toritama, Vertentes, Frei Miguel e Taquaritinga do Norte, a sul por Altinho e Agrestina, a leste por Bezerros e Riacho das Almas, e a oeste por Brejo da Madre de Deus e São Caitano. O bioma característico da região é a Caatinga e Mata Atlântica (IBGE, 2020). Possui uma área territorial de 923,150 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021) com sede localizada na latitude 08°17'S e longitude 35°58'W. A população no último censo era de 314.912 habitantes (IBGE, 2010), enquanto estima-se que essa passou a ser de 365.278 habitantes no ano de 2020 (IBGE, 2021).

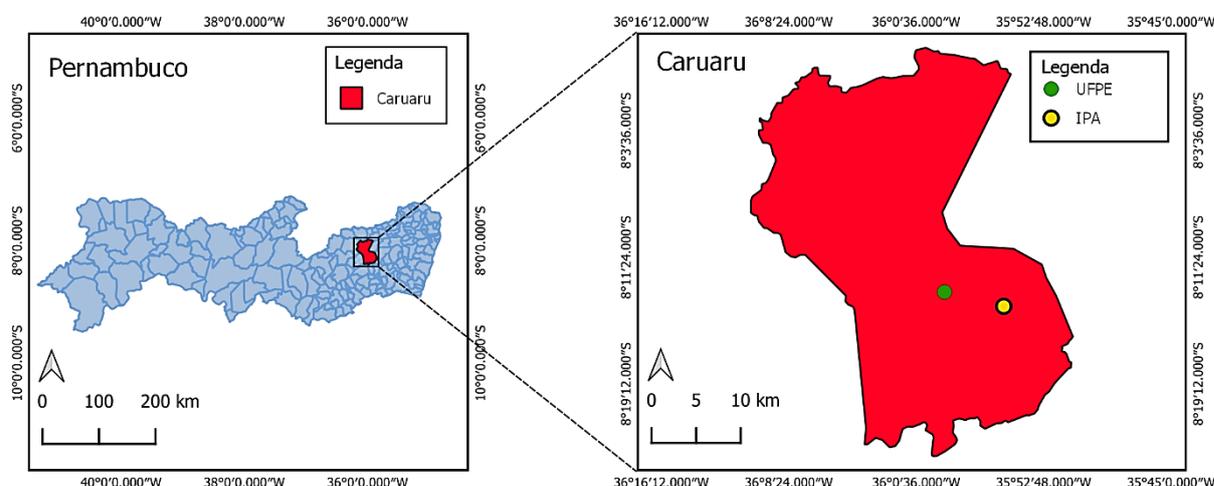
O clima de Caruaru de acordo com a classificação de Köppen-Geiger é do tipo semiárido (BSh), apresentando verões quentes e secos e invernos amenos e chuvosos (Alvares *et al.*, 2013). A temperatura média é de 22,5 °C e a média anual de pluviosidade é de 540 mm (INMET, 2022). O planalto da Borborema é a unidade de relevo da região na qual o município está inserido. Sua maior pluviosidade é registrada no mês de julho, com chuvas acumuladas acima de 120 mm, e a menor no mês de novembro, com chuvas acumuladas abaixo de 10 mm (Nova; Tenório, 2019).

De acordo com Medeiros (2016 *apud* medeiros, 2018), o período chuvoso no município de Caruaru ocorre entre fevereiro (com chuvas de pré-estação) e o final do mês de agosto, podendo se prolongar até a primeira quinzena de setembro. O trimestre chuvoso consiste nos meses de maio, junho e julho e os seus meses seco ocorrem entre outubro, novembro e dezembro. Os fatores provocadores de chuvas no município são a contribuição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), formação dos vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAS), contribuição dos ventos alísios de nordeste no transporte de vapor e umidade as quais condensam e forma nuvens provocando chuvas de moderadas a fortes, formações das linhas de instabilidades, orografia e suas contribuições local e regional.

A experimentação foi conduzida em duas fases. A primeira fase (Fase 1) foi realizada na Universidade Federal de Pernambuco, Campus Acadêmico do Agreste (UFPE/CAA) (Latitude:-8,225411°; Longitude: -35,981214°; Altitude: 577 m), sendo o experimento implantado por Jean Carlo do Nascimento, em estudo anterior (Nascimento, 2021) e a segunda fase (Fase 2) foi realizada no Instituto Agrônomo

de Pernambuco (IPA) (Latitude:  $-8,240112^{\circ}$ ; Longitude:  $-35,920826^{\circ}$ ; Altitude: 565 m), onde foi objetivo desse estudo realizar os procedimentos necessários a começar por a implantação dos reservatórios e posterior análises. O mapa com as localizações referidas é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Localização das áreas de experimentação



Fonte: A Autora.

## 4.2 COMPORTAMENTO CLIMATOLÓGICO

Os dados climatológicos utilizados são fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022), através do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP). A estação utilizada no fornecimento dos dados, trata-se de uma estação automática, localizada no município de Caruaru (Código: A341; Latitude:  $-8,36527777$ ; Longitude:  $-36,02833332$ ), esta dista 16,313 km em relação ao local da Fase 1 (UFPE/CAA) das medições.

Dados de precipitação para a Fase 2 são obtidos através da Estação experimental José Nelson de Melo, localizada no IPA (Latitude:  $-8,23838889$ ; Longitude:  $-35,91586111$ ).

O Quadro 1 apresenta as variáveis climatológicas analisadas. Essas são de caráter diário, com exceção da radiação global, que é obtida como dado horário.

A série histórica desses dados é analisada, para o período de dez anos, sendo entre 2013 a 2022.

Quadro 1 - Variáveis climatológicas analisadas

Variáveis	Unidade
Precipitação total	mm
Pressão atmosférica média	mb
Temperatura média	°C
Umidade relativa do ar média	%
Velocidade do vento média	m/s
Temperatura do ponto de orvalho	°C
Radiação global	KJ/m <sup>2</sup>

Fonte: A Autora.

#### 4.3 CÁLCULO DA EVAPORAÇÃO POTENCIAL

O cálculo da evaporação potencial mensal (mm/mês) é realizado para o período de experimentação da Fase 1, a partir do emprego do modelo proposto por Kohler *et al.* (1955), conforme a Equação 10.

Onde,  $\gamma_L$  é o coeficiente psicrométrico corrigido, (kPa °C<sup>-1</sup>);  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de saturação de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>);  $E_a$  é o poder evaporante do ar (mm.d<sup>-1</sup>); e  $R_n$  é o saldo de radiação, em equivalente de lâmina de água evaporada, (mm.d<sup>-1</sup>).

O coeficiente psicrométrico corrigido é dado por (Equação  $\gamma_L = 0,000661 \cdot P$  (11):

$$\gamma_L = 0,000661 \cdot P \quad (11)$$

Sendo, P a pressão atmosférica em (kPa).

O poder evaporante do ar é estimado em função da velocidade do vento (U) em m/s e do déficit de pressão de saturação de vapor ( $e_s - e_a$ ) em kPa (Equação  $E_a = 7,518 \cdot (0,37 + 0,00255 \cdot U) \cdot (e_s - e_a)^{0,88}$  (12).

$$E_a = 7,518 \cdot (0,37 + 0,00255 \cdot U) \cdot (e_s - e_a)^{0,88} \quad (12)$$

$e_s$ , por sua vez, é dado em função da temperatura máxima (Equação 13) e mínima em °C ( $e_s(T_{\text{mín}}) = 0,6108 \cdot \exp^{\frac{17,27 \cdot T_{\text{mín}}}{T_{\text{mín}} + 237,3}}$

$$(144), \text{ conforme a } e_s = \frac{e_s(T_{\text{máx}}) + e_s(T_{\text{mín}})}{2}$$

(155).

$$e_s(T_{\text{máx}}) = 0,6108 \cdot \exp^{\frac{17,27 \cdot T_{\text{máx}}}{T_{\text{máx}} + 237,3}} \quad (13)$$

$$e_s(T_{\text{mín}}) = 0,6108 \cdot \exp^{\frac{17,27 \cdot T_{\text{mín}}}{T_{\text{mín}} + 237,3}} \quad (14)$$

$$e_s = \frac{e_s(T_{\text{máx}}) + e_s(T_{\text{mín}})}{2} \quad (15)$$

Já  $e_a$ , é dada como (Equação  $e_a = \frac{e_s(T_{\text{máx}}) \cdot \frac{UR_{\text{mín}}}{100} + e_s(T_{\text{mín}}) \cdot \frac{UR_{\text{máx}}}{100}}{2}$

(16):

$$e_a = \frac{e_s(T_{\text{máx}}) \cdot \frac{UR_{\text{mín}}}{100} + e_s(T_{\text{mín}}) \cdot \frac{UR_{\text{máx}}}{100}}{2} \quad (16)$$

Em que  $UR_{\text{mín}}$  e  $UR_{\text{máx}}$  é a umidade relativa mínima e máxima, respectivamente, em %.

O saldo de radiação ( $\Delta R_n$ ), é obtido por (Equação 17):

$$\Delta R_n = 154,4 \cdot \exp[(1,8 \cdot T_a - 180) \cdot (0,1024 - 0,0106 \cdot \ln(0,239 \cdot R_s) - 0,01554)] \quad (17)$$

Para a obtenção da radiação solar na superfície do lago ( $R_s$ ) em  $W/m^2$  se faz necessário efetuar alguns cálculos. Conforme a Equação 18,  $R_s$  é dada em função da Radiação solar extraterrestre ( $R_a$ ) em  $W/m^2$  e da Média do número de décimos do céu ocupado pela nuvem no momento da observação ( $C_m$ ).

$$R_s = R_a - (0,85 - 0,047 \cdot C_m) \quad (18)$$

Sendo  $C_m$  obtido pela Equação 19. Em que,  $P_t$  é a precipitação total mensal em mm.

$$C_m = 1 + 0,51 \cdot \log(P_t) + [\log(P_t)]^2 \quad (19)$$

Já a Radiação solar extraterrestre ( $R_a$ ) pode ser calculada com a  $R_a = 37,6 \cdot$

$$\left[\frac{d}{D}\right]^2 \cdot \left[\frac{\pi}{180} \cdot H \cdot \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(H)\right] \quad (20)$$

$$R_a = 37,6 \cdot \left[\frac{d}{D}\right]^2 \cdot \left[\frac{\pi}{180} \cdot H \cdot \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(H)\right] \quad (20)$$

Onde  $H$  é a duração do dia solar (rad), conforme a Equação 21:

$$H = \arccos[-\tan(\Phi) \cdot \tan(\delta)] \quad (21)$$

$\left[\frac{d}{D}\right]^2$  pode ser obtido pela aplicação da Equação 22:

$$\left[\frac{d}{D}\right]^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{J \cdot 360}{365}\right) \quad (22)$$

A declinação solar ( $\delta$ ) em graus pode ser adotada como o valor resultante da Equação 23:

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

Sendo J, o dia juliano e  $\Phi$  a latitude em graus.

Por fim, a declividade da curva de pressão de saturação de vapor ( $\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ) é calculada como (Equação 24):

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T_{\text{méd}} + 237,3)^2} \quad (24)$$

Sendo,  $T_{\text{méd}}$ , a temperatura média ( $^\circ\text{C}$ ).

Por último ressalta-se a importância de se atentar às unidades de medida, para que todas elas estejam de acordo com o que o método propõe. Assim, por exemplo, recomenda-se que as unidades sejam transformadas como o caso da pressão que foi obtida em milibar (mbar) e precisou ser transformada para unidades de kilopascal (kPa).

#### 4.4 INSTALAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS

Sobre os reservatórios utilizados na Fase 1 de medição da evaporação, estes foram utilizados em continuação ao estudo de Nascimento (2021), onde utilizou-se 8 reservatórios de polipropileno medindo 370 mm x 560 mm x 130 mm, conforme Figura 5. Esses reservatórios são normalmente empregados no setor da construção civil, sendo chamados popularmente de caixas de massa ou masseiras.

Figura 5 - Reservatório de polipropileno utilizado na Fase 1 das medições



Fonte: A Autora.

Os reservatórios foram alocados sobre uma pequena laje na UFPE/CAA. A Figura 6 apresenta a disposição dos reservatórios sobre a laje.

Figura 6 - Disposição dos reservatórios da Fase 1



Fonte: A Autora.

Na Figura 7 está uma vista aérea com a correspondente localização do experimento dentro do campus da UFPE.

Figura 7 - Localização do experimento da Fase 1



Fonte: Imagem extraída do Google Earth Pro® em 30 de set. 2023

Na Fase 1 objetivou-se averiguar quais os três materiais mais eficientes na redução da evaporação, para que os mesmos pudessem ser utilizados na Fase 2, a qual, se adequa de maneira um pouco mais significativa as condições naturais de reservação, visto que se trata de reservatórios de dimensões mais robustas (Diâmetro da borda: 122 cm; Diâmetro da base: 95 cm; e Profundidade: 58 cm).

Para Fase 2, utilizou-se 4 reservatórios de polietileno com 500 L de capacidade (Figura 8 - Reservatório utilizado na Fase 2).

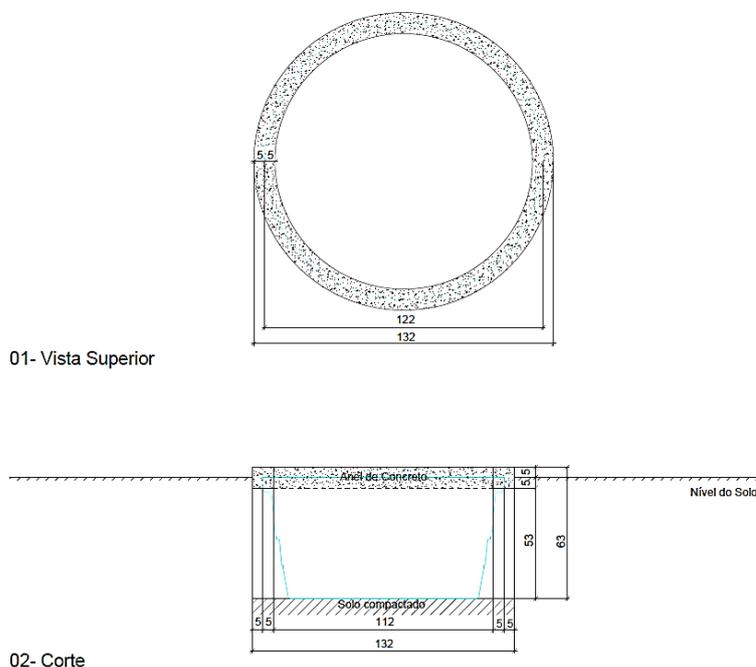
Figura 8 - Reservatório utilizado na Fase 2



Fonte: FortLev (2022).

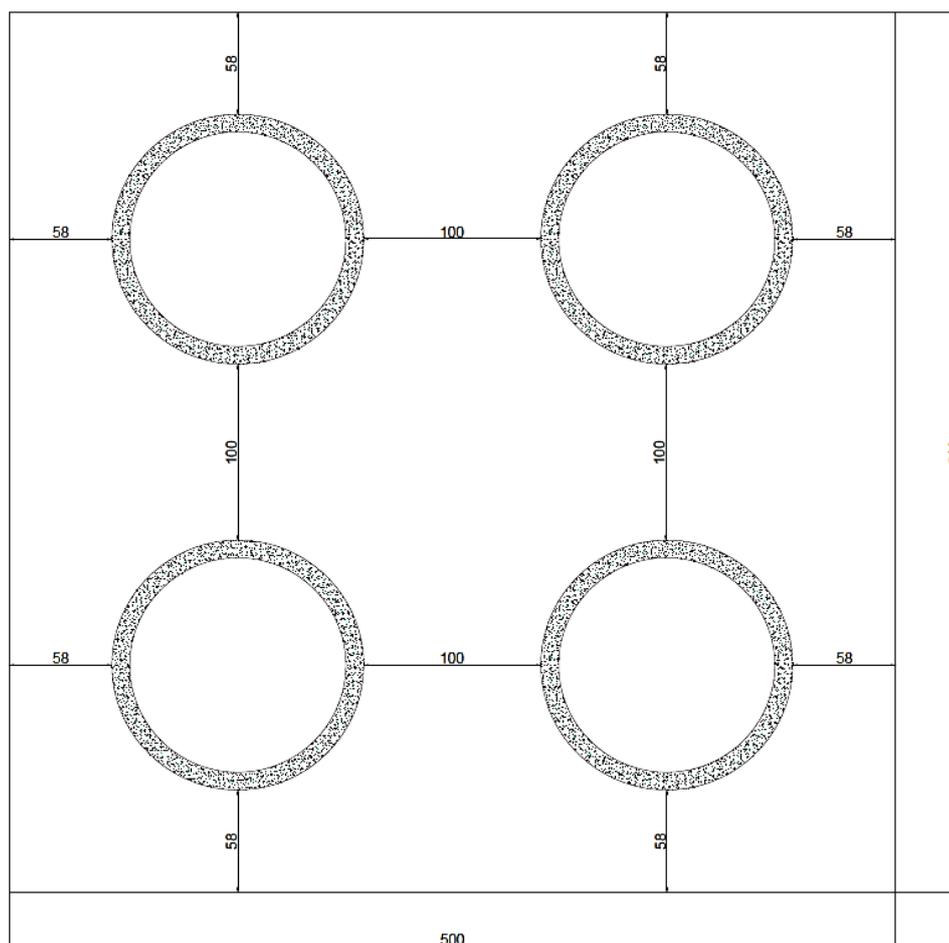
A instalação dos reservatórios foi feita no IPA, onde foram colocados de maneira enterrada no solo, nas bordas colocou-se um anel de concreto a fim de evitar o furto dos reservatórios, conforme a Figura 9, a disposição final dos reservatórios é representada na Figura 10.

Figura 9 - Esquema da instalação dos reservatórios, área do IPA/Caruaru



Fonte: A Autora.

Figura 10 - Disposição dos reservatórios no solo, área do IPA/Caruaru



03- Disposição dos Reservatórios

Fonte: A Autora.

A Figura 11 diz respeito a maneira como ficaram instalados os reservatórios e como foram cobertos pelos materiais a serem estudados. O ideal seria que os reservatórios estivessem totalmente nivelados, o que não foi constatado após a instalação desses.

Sobre o anel de concreto seria ideal que o mesmo tivesse sua lateral inclinada, para diminuir o impacto da turbulência do vento na superfície do líquido do reservatório. Como não foi possível realizar esse ajuste no projeto, salientasse que haverá uma pequena mudança no padrão do vento, que não será levada em consideração, visto que os quatro reservatórios experimentaram desse mesmo efeito.

Figura 11- Reservatórios instalados no IPA, cheios e com suas devidas coberturas



Fonte: A Autora.

A Figura 12 apresenta a imagem aérea da localização do experimento da Fase 2, no IPA.

Figura 12 - Localização do experimento da Fase 2



Fonte: Imagem extraída do Google Earth Pro® em 30 de set. 2023

#### 4.5 MATERIAIS DAS COBERTURAS

A primeira fase do estudo consistiu em dar continuidade as análises efetuadas por Nascimento (2021), onde este autor utilizou quatro tipos de tela de polietileno, as telas variavam em cores e tamanho da abertura, conforme a Figura 13. Dessa forma, as telas eram branca (TB), verde (TV) e preta com abertura pequena (TPP) e preta com abertura grande (TPG). Empregou-se também coberturas flutuantes, constituídas com garrafas de Polietileno Tereftalato (PET) com transparência em verde (250 mL) e incolor (200 mL). As garrafas continham aproximadamente 95 ml e 145 ml de água, nas garrafas verde e transparente, respectivamente, coma a finalidade de evitar que a ação dos ventos arraste as garrafas e interfira na eficiência da cobertura. O outro material de cobertura utilizado foram embalagens do tipo TetraPak, dispostas com o lado reflexivo (superfície prateada) voltado para fora do reservatório.

Figura 13 - Telas de Polietileno para a cobertura dos reservatórios



Nota: a) Tela de Polietileno Preta com abertura pequena; b) Tela de Polietileno Preta com abertura grande; c) Tela de Polietileno Branca; b) Tela de Polietileno Verde.

Fonte: A Autora

Para a Fase 2 foram empregados TPG, Pet transparente (com 125 mL de água) e tetrapak, por serem as três melhores coberturas resultantes das análises da Fase 1.

#### 4.6 AFERIÇÃO DAS PERDAS EVAPORATIVAS

As medições foram realizadas semanalmente, tendo início em 22-01-2021 e fim em 30-12-2022, para a Fase 1, resultando em 61 medições ao todo. Já as medições da Fase 2 foram realizadas no período de 17-03-2023 a 22-06-2023, resultando em 8 medições.

Semanalmente o nível de água foi observado e a reposição de volume de água era efetuado, sendo novamente verificado o novo nível de água no reservatório. Esse processo de reposição da água visa manter o nível de água sempre elevado.

Para as medições, utilizou-se a trena metálica colocada em posição vertical, ao centro dos reservatórios, sendo identificado cuidadosamente a altura da lâmina d'água, conforme Figura 14 tomada na Fase 1 e a Figura 15 tomada na fase 2.

Figura 14 - Aferição da altura da lâmina d'água no reservatório, Fase 1



Fonte: A Autora.

Figura 15 - Aferição da altura da lâmina d'água no reservatório, Fase 2



Fonte: A Autora

Mesmo tomando todos os cuidados ao efetuar as medições, as leituras são suscetíveis a erros, como por exemplo a baixa precisão da visão humana, inclinação, e dilatação térmica da trena, bem como o seu manuseio incorreto. Também se destaca a influência da área de bordadura, que não pode ser mensurado, no entanto se faz presente nas duas fases do experimento, já que as laterais dos reservatórios são inclinadas fazendo com que a área de bordadura varie com a profundidade.

Assim, a lâmina evaporada deu-se como a diferença entre a medição anterior e a medição do dia atual menos o volume que seria observado pela precipitação (sendo que aqui a precipitação não será levada em consideração, visto a dificuldade de estimar o volume que os distintos reservatórios suportaria ou levaria ao transbordamento), conforme a Equação  $E_{\text{líquida}} = L_{\text{anterior}} - L_{\text{atual}} - P$

(25.

$$E_{\text{líquida}} = L_{\text{anterior}} - L_{\text{atual}} - P \quad (25)$$

Sendo:  $E_{\text{líquida}}$ , a evaporação em lâmina de água cedida para atmosfera, em mm;  $L_{\text{anterior}}$ , a lâmina de água do último dia com medição, em mm;  $L_{\text{atual}}$ , a lâmina de água medida no dia atual, em mm e  $P$ , a precipitação em mm.

É válido ressaltar ainda, que outras perdas não são levadas em consideração visto que tendem a ser nulas, pelo fato de a área ser elevada e estar isolada para a Fase 1. Já para a Fase 2, a área está sujeita a perdas no volume da água, por estar susceptível a presença de animais, como os de grande porte, como cavalos, por exemplo, que além de beberem essa água, podem ser agentes desreguladores da sua qualidade.

Nos casos em que há precipitação entre uma medição e outra, é provável que o valor da evaporação líquida no reservatório seja negativo, significando mais ganho que perda de água. A ocorrência desses casos, resultará em uma evaporação adotada como sendo nula.

#### 4.7 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA

As análises foram realizadas em espaços de tempos de 30 dias, onde utilizou-se um medidor multiparâmetro para acompanhar a concentração de oxigênio dissolvido (OD), a condutividade elétrica (EC), o pH, a turbidez e total de sólidos dissolvidos (TSD).

O procedimento de monitoramento dos parâmetros descritos foi realizado a partir da introdução da sonda do medidor multiparâmetro nas amostras, onde essa foi levemente agitada para proporcionar a homogeneização da água. Dessa, forma as leituras foram acompanhadas desde o primeiro dia de medição (alguns dias após o primeiro abastecimento total do reservatório) até o terceiro mês de experimentação.

A Figura 16 contém as amostras de água em laboratório.

Figura 16 - Exemplos de amostras de água coletadas dos reservatórios



Fonte: A Autora.

A Figura 17 representa a colocação da sonda nas amostras de água para a realização das análises em laboratório.

Figura 17 - Execução das análises, posicionamento da sonda.



Fonte: A Autora.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 COMPORTAMENTO CLIMATOLÓGICO

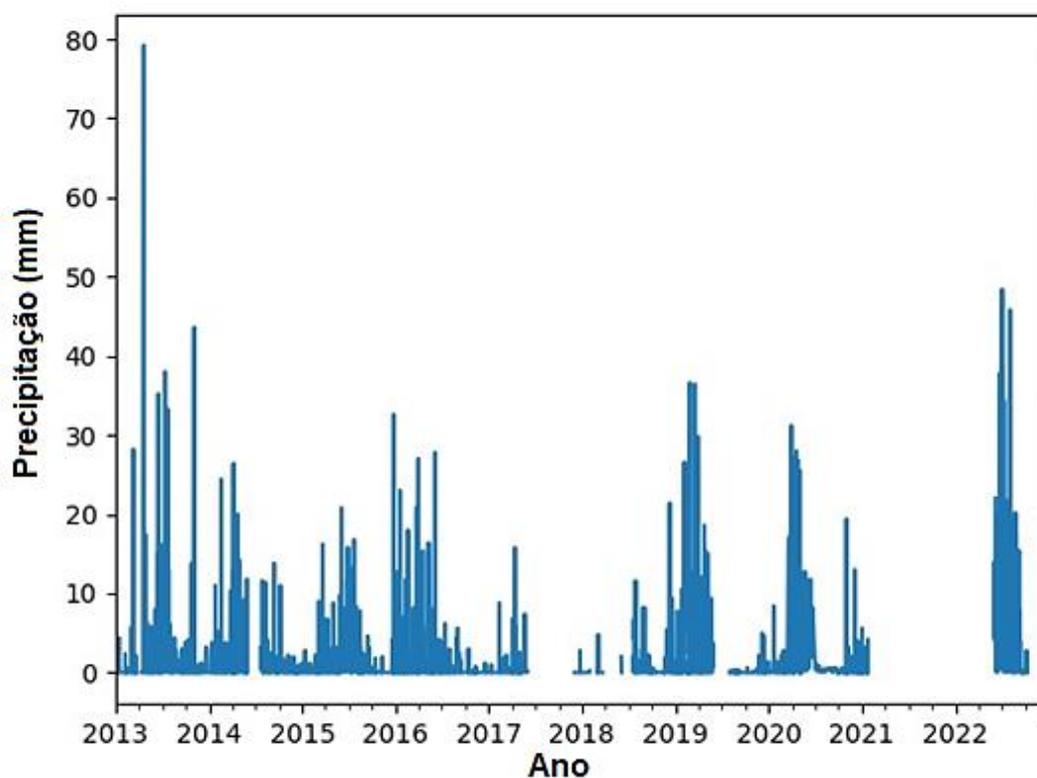
O comportamento climatológico, levando em consideração o período de 2013 a 2022, para cada variável é apresentado e discutido a seguir.

#### 5.1.1 Precipitação total

##### 5.1.1.1 Precipitação, para o período de análises da Fase 1

A precipitação diária no município de Caruaru nos anos de 2013 a 2022 se deu conforme apresenta-se no **Erro! Fonte de referência não encontrada..** Neste, percebe-se que há falta de dados em alguns períodos (ressaltando-se alguns meses entre 2017 e 2018, no ano de 2021 e meses iniciais de 2022). No ano de 2013 houve um evento extremo, apresentando uma precipitação total, diária, de 79,2 mm, ao final do mês de abril.

Gráfico 1 - Precipitação diária entre os anos de 2013 a 2022 no município de Caruaru

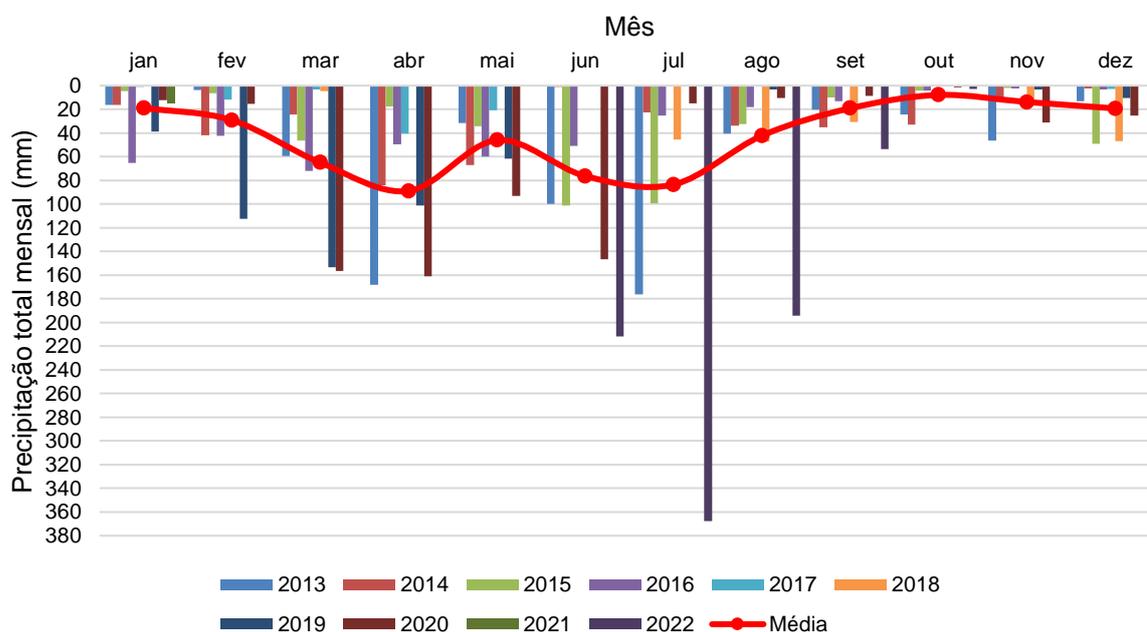


Fonte: A Autora. Fonte dos dados: INMET (2023).

No Gráfico 2, percebe-se através da média mensal que os meses mais chuvosos são abril, junho e julho. Já os meses de outubro e novembro são os que apresentam os menores volumes de precipitação. Corroborando com Lorena *et al.* (2022) que ressaltam que o período chuvoso do município se inicia em fevereiro com chuvas de pré-estação (chuvas que ocorrem antes do período chuvoso) com seu término ocorrendo no final do mês de agosto e podendo se prolongar até a primeira quinzena de setembro e os seus meses seco ocorrem entre outubro, novembro e dezembro.

Relata-se que o professor Sívio Campelo costumava afirmar em suas ministrações que há uma influência da floresta amazônica nas chuvas dos primeiros meses do ano, já as chuvas de maio, junho e julho seriam influenciadas pelo atlântico para o município de Caruaru (Informação Verbal)<sup>1</sup>, o que assim explica o pico (mês de maio) observado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Precipitação acumulada mensal, Posto Caruaru, período 2013 a 2022



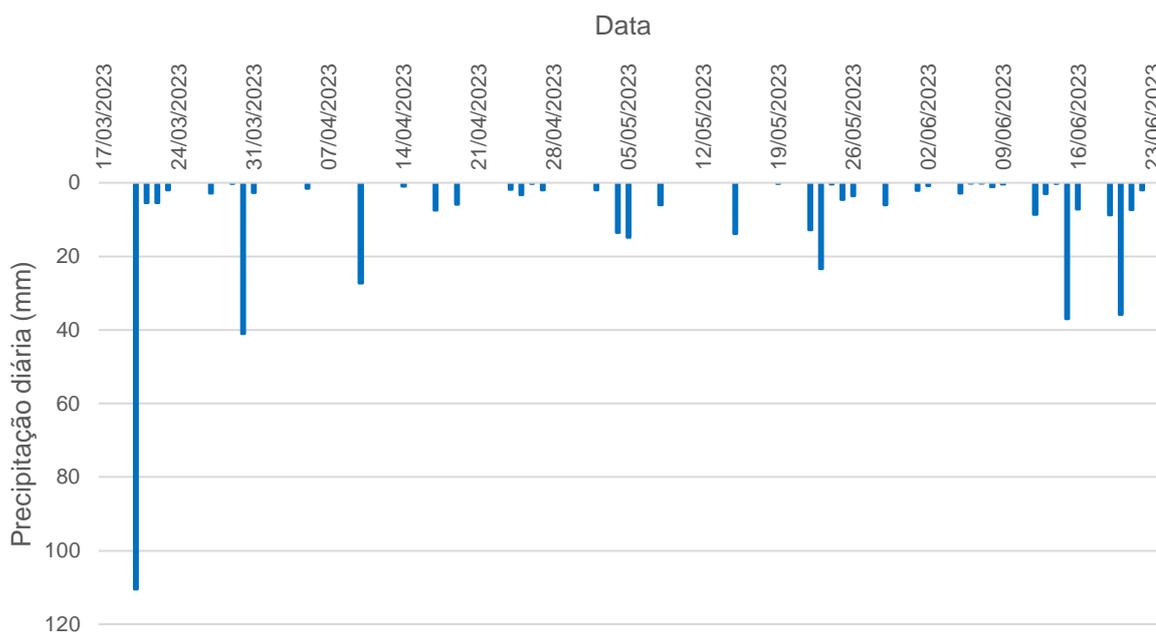
Fonte: A Autora. Fonte dos dados: INMET (2023).

<sup>1</sup> Informação fornecida pelo Professor Manoel Sívio Carneiro Campelo Neto.

### 5.1.1.2 Precipitação para o período de análises da Fase 2

Os dados de precipitação no período da experimentação Fase 2, tomados da estação meteorológica experimental José Nilson de Melo, localizado no IPA e em proximidade com o experimento é apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Precipitação diária, Fase 2, dados da estação experimental José Nilson de Melo, março a junho de 2023



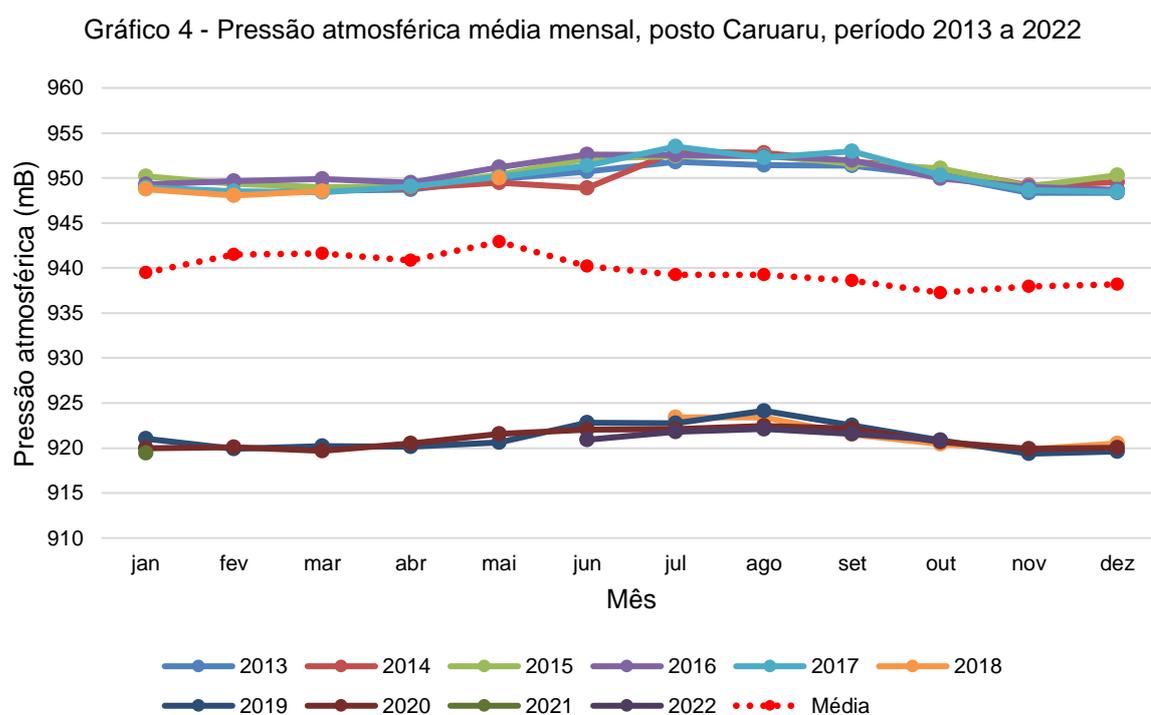
Fonte: A Autora. Fonte dos dados: IPA (2023).

Os meses da experimentação Fase 2, são meses típicos chuvosos. Constatou-se a presença de precipitação em 65 dias (do total de 99 dias de análises - 65,66%). Essa quantidade ainda é minimizada por não ocorrerem leituras aos finais de semana e feriados, ficando a leitura posterior representando o acúmulo dos volumes precipitados nesses dias. A maior precipitação se deu logo no primeiro mês (março) apresentando um valor de 110,5 mm (precipitação diária). Apenas outros cinco eventos de chuva apresentaram volume superior a 20mm, sendo as de volume inferior mais frequentes no período analisado.

### 5.1.2 Pressão atmosférica média

A pressão atmosférica para o período de estudo pode ser observada no Gráfico 4.

A partir do Gráfico 4 nota-se que a pressão é uma variável meteorológica que pouco muda ao decorrer dos meses do ano. O pico de pressão no mês de maio, está relacionado com a precipitação (Gráfico 2), já que quando a pressão está mais baixa, há uma maior formação de nuvens e de precipitação. Dessa forma, o mês de maio, que é o mês mais seco dentro da quadra chuvosa, apresenta também uma alta pressão atmosférica. Os valores ficaram na faixa de 918 a 955 mB, com valor médio na ordem de 940 mB.



Fonte: A Autora. Fonte dos dados: INMET (2023).

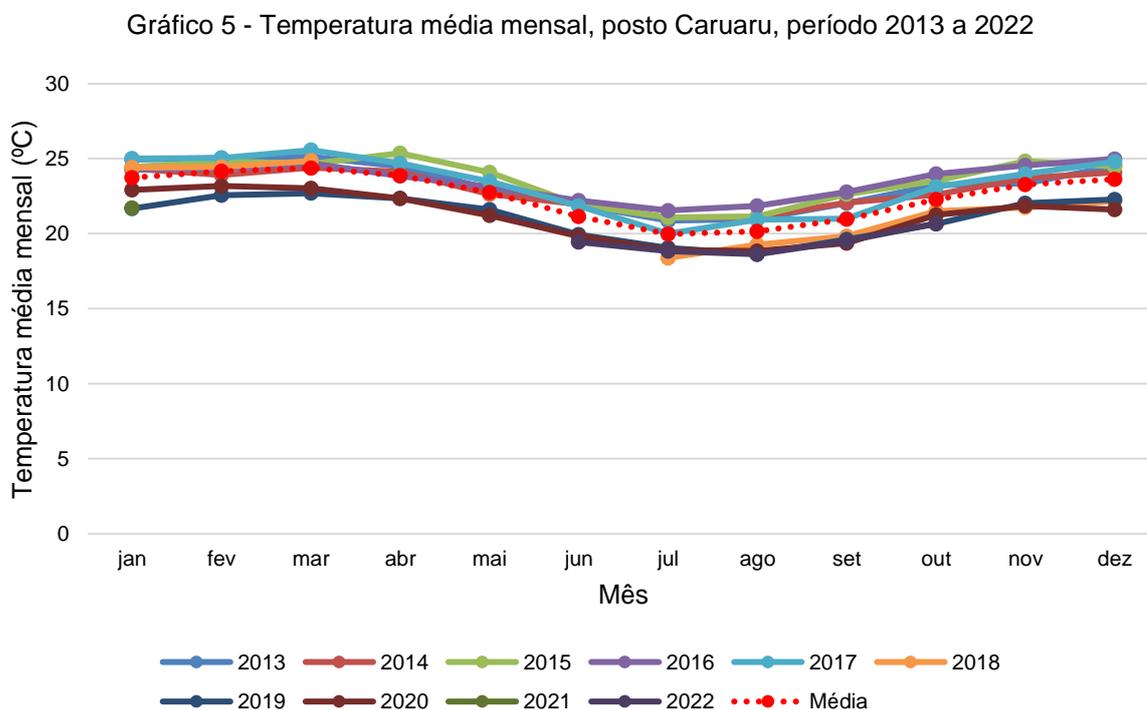
Uma atipicidade observada no Gráfico 4 é a descontinuidade dos valores de maneira brusca entre os anos (iniciada em meados de 2018 - maio/julho). Uma explicação para esse fato pode ter sido uma alteração de referencial ou de equipamento.

### 5.1.3 Temperatura média

A Temperatura média do ar para o período de estudo é apresentado no Gráfico 5.

Do Gráfico 5, percebe-se que as temperaturas mais elevadas se dão nos meses de verão, ressaltando-se o mês de março, sendo o mês de julho o de

temperaturas mais amenas. Historicamente, os valores dos meses quentes variaram de 23 a 26 °C, já nos meses mais frios as temperaturas médias mensais variaram de 18 a 23 °C.

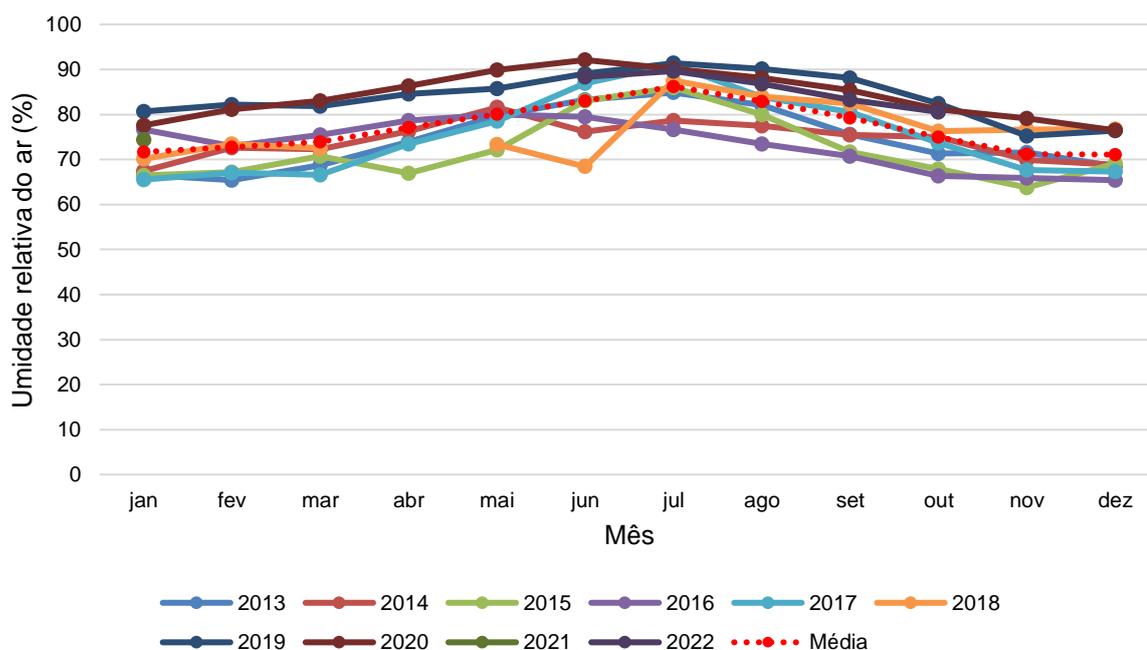


Fonte: A Autora. Fonte dos dados: INMET (2023).

#### 5.1.4 Umidade relativa do ar média

O Gráfico 6 representa a umidade relativa do ar para o período analisado. Da observação, conclui-se que julho é o mês mais úmido, ao passo que janeiro e dezembro são meses de verão marcados com menos umidade. Este parâmetro tem relação inversa com a temperatura média e direta com a precipitação. Os valores médios do histórico, 2013 a 2022, variaram de 65 a 92 %. Sendo de maio a setembro os meses com maiores intensidade de umidade relativa do ar.

Gráfico 6 - Umidade relativa do ar média mensal, posto Caruaru, período 2013 a 2022



Fonte: A Autora. Fonte dos dados: INMET (2023).

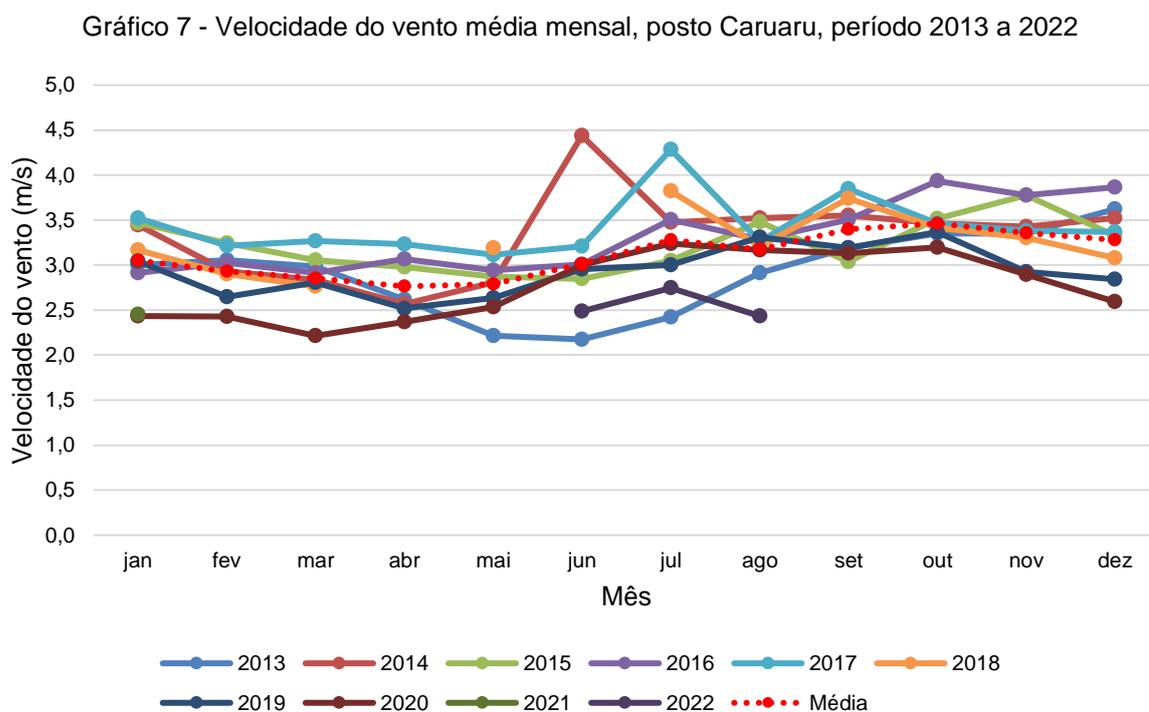
De acordo com Ayoade (1996), o grau de umidade do ar exerce influência sobre a taxa de evaporação porque está relacionado com a capacidade do ar de conservar umidade. Quanto menor a umidade maior é a capacidade do ar para conservá-la.

Assim, que os meses mais secos estão propensos a apresentar maiores taxas de evaporação. O autor também relata que é necessário também haver um gradiente de pressão evaporífica entre a superfície onde ocorre a evaporação e o ar sobre ela, já que a evaporação somente pode ocorrer se a pressão do vapor na superfície for maior que a do ar acima dela.

### 5.1.5 Velocidade do vento média

A velocidade do vento média, medida a uma altura de 10 m, está apresentada no

Gráfico 7.



Fonte: A Autora. Fonte dos dados: INMET (2023).

Observa-se que outubro é o mês em que a velocidade do vento média é mais elevada, já abril é a menor.

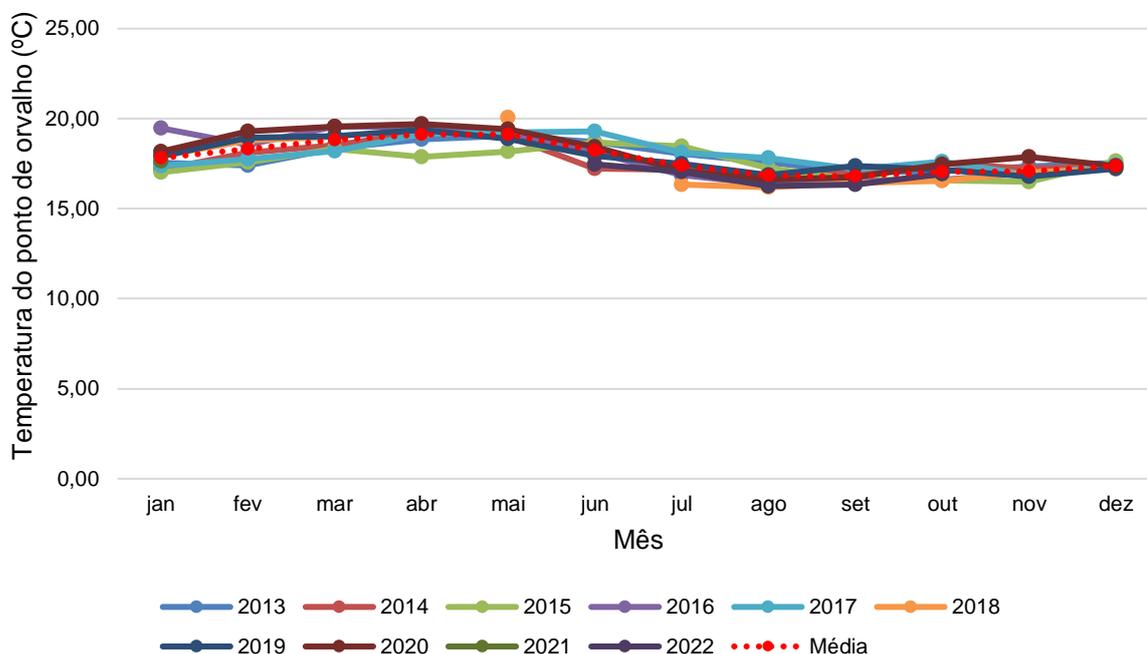
De acordo com Ayoade (1996) a velocidade do vento faz com que o ar úmido que esteja sobre a superfície onde ocorre evaporação seja deslocado e substituído por ar fresco e relativamente seco, para manter o processo de evaporação. Assim, a evaporação tende a ser maior nos períodos onde a velocidade do vento é maior.

### 5.1.6 Temperatura do ponto de orvalho

O ponto de orvalho é a temperatura em que o ar se satura em relação ao vapor d'água. Quando a temperatura é igual ao ponto de orvalho, a umidade relativa é de 100% (Armani; Funari; Salum, 2008). A temperatura do ponto de orvalho do período

analisado, está conforme o Gráfico 8. Sendo, abril e maio os meses que apresentam valores mais altos, enquanto agosto e setembro são os meses com menor temperatura do ponto de orvalho. Historicamente, os valores variaram de 16 a 20 °C.

Gráfico 8 - Temperatura do ponto de orvalho média mensal, posto Caruaru, período 2013 a 2022



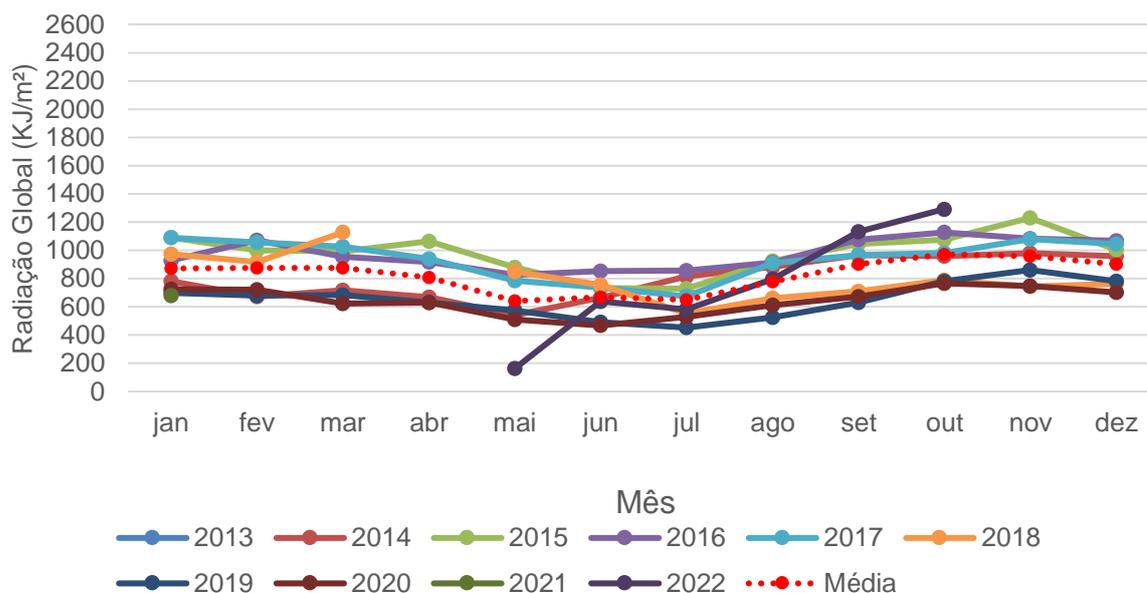
Fonte: A Autora. Fonte dos dados: INMET (2023).

### 5.1.7 Radiação global

De acordo com o Gráfico 9, em relação a radiação global, o mês de abril é o que apresenta valor mais alto. Já maio e julho apresentam os menores valores. Os meses de primavera e verão apresentam as maiores radiações globais.

Já que a radiação solar é a força motriz da evaporação (Collischonn; Dornelles, 2015), os meses de primavera e verão tendem a apresentar taxas de evaporação mais elevadas.

Gráfico 9 - Radiação global média mensal, posto Caruaru, período 2013 a 2022



Fonte: A Autora (2023), adaptado de INMET (2023).

### 5.1.8 Evaporação potencial

A evaporação potencial calculada pelo método de Kohler *et al.* (1955), resultou nos valores apresentados na Tabela 6, onde  $E_i$  é a evaporação mensal no reservatório.

Tabela 6 - Evaporação mensal pelo método de Kohler *et al.* (1955)

Mês/ano	$E_i$ (mm/mês)	Mês/ano	$E_i$ (mm/mês)
jan/21	170,17	jan/22	-
fev/21	-	fev/22	-
mar/21	-	mar/22	-
abr/21	-	abr/22	-
mai/21	-	mai/22	-
jun/21	-	jun/22	139,08
jul/21	-	jul/22	129,63
ago/21	-	ago/22	140,72
set/21	-	set/22	154,17
out/21	-	out/22	173,52
nov/21	-	nov/22	-
dez/21	-	dez/22	-

Fonte: A Autora, com base em dados do INMET (2023).

Não foram possíveis apresentar a evaporação potencial, nas células sem informação, devido à falta de dados de alguma variável (mês inteiro sem leitura).

Comparando-se os meses entre junho e outubro de 2022, verifica-se que setembro e outubro, que são os meses de início da primavera, apresentam evaporação mais elevada, como já esperado.

## 5.2 EVAPORAÇÃO EM EXPERIMENTO DE CAMPO

### 5.2.1 Fase1 de experimentação

A evaporação acumulada durante o início ao fim das medições (resultado de 61 medições ao total), ou seja, de 22/01/2021 até 30/12/2022 é apresentada na Tabela 7. Desta, percebe-se que a cobertura que mais reduziu a evaporação foi a de TetraPak, proporcionando uma redução de 48,92% na lâmina de água que seria evaporada, seguida da cobertura com Pet Transparente (27,44%) e da cobertura com Tela preta G (25,35%). O material menos eficaz foi a tela verde, apresentando uma redução de apenas 3,27%.

Tabela 7 - Evaporação acumulada e percentual de redução, jan/2021 a dez/2022

Cobertura	Total evaporado (mm)	Redução de volume evaporado (mm)	Redução na evaporação (%)
Pet verde	2239,00	633,00	22,04
Pet transparente	2084,00	788,00	27,44
Tela preta P	2446,81	425,19	14,84
Tetra Pak	1467,00	1405,00	48,92
Tela preta G	2144,00	728,00	25,35
Tela Verde	2778,00	94,00	3,27
Tela branca	2593,00	279,00	9,71
Referência	2872,00	-	-

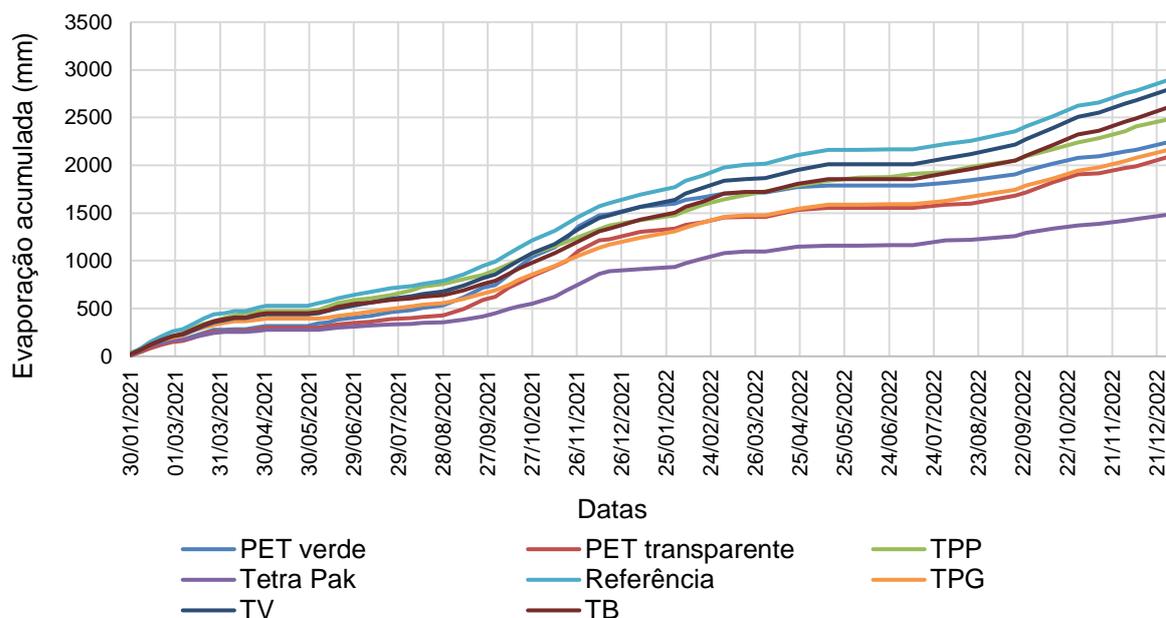
Fonte: A Autora.

O Gráfico 10, a seguir, demonstra a evaporação acumulada para o reservatório de referência e para os reservatórios com as diversas coberturas.

A evaporação mensal para todo o período das medições se deu da maneira apresentada no Gráfico 11, onde os pontos com evaporação nula representam os dias em que o balanço hídrico entre a evaporação e a precipitação foi negativo, revelando um volume de precipitação superior à perda por evaporação.

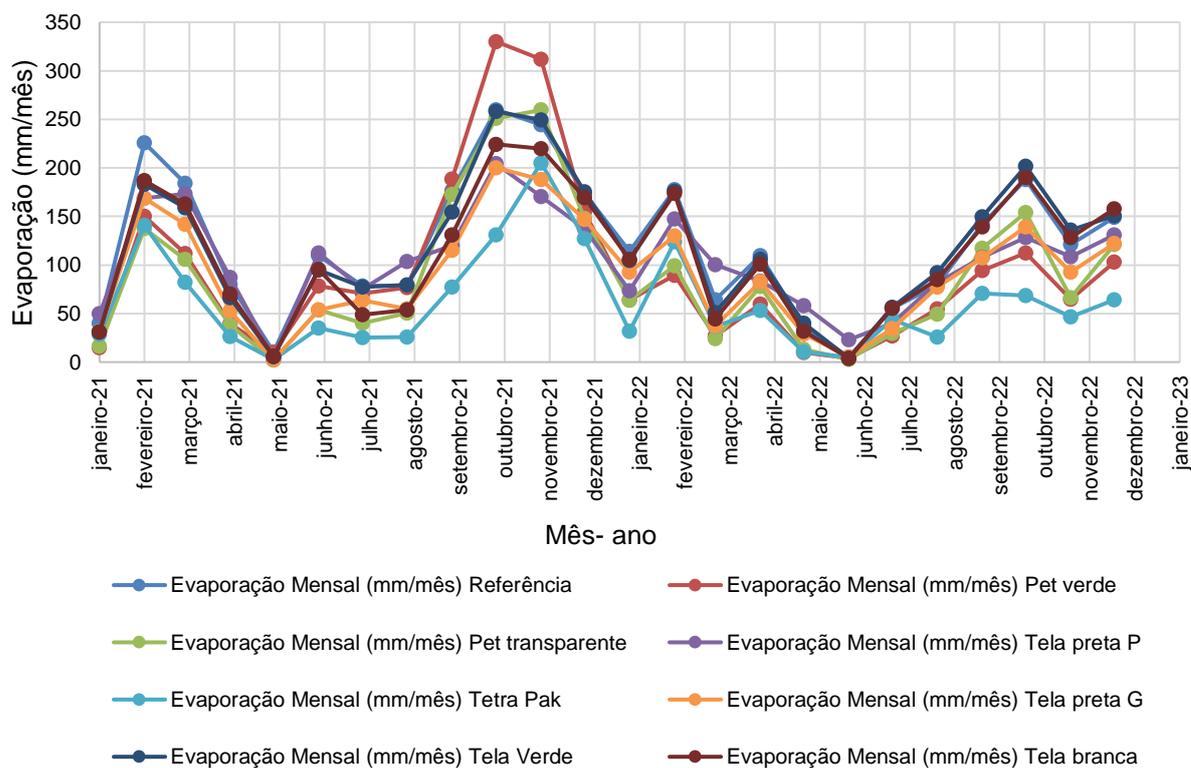
A evaporação mensal é apresentada na Tabela 8.

Gráfico 10 - Evaporação acumulada (mm) nos reservatórios, jan/2021 a dez/2022



Fonte: A Autora.

Gráfico 11 - Evaporação mensal (mm/mês) nos reservatórios



Fonte: A Autora.

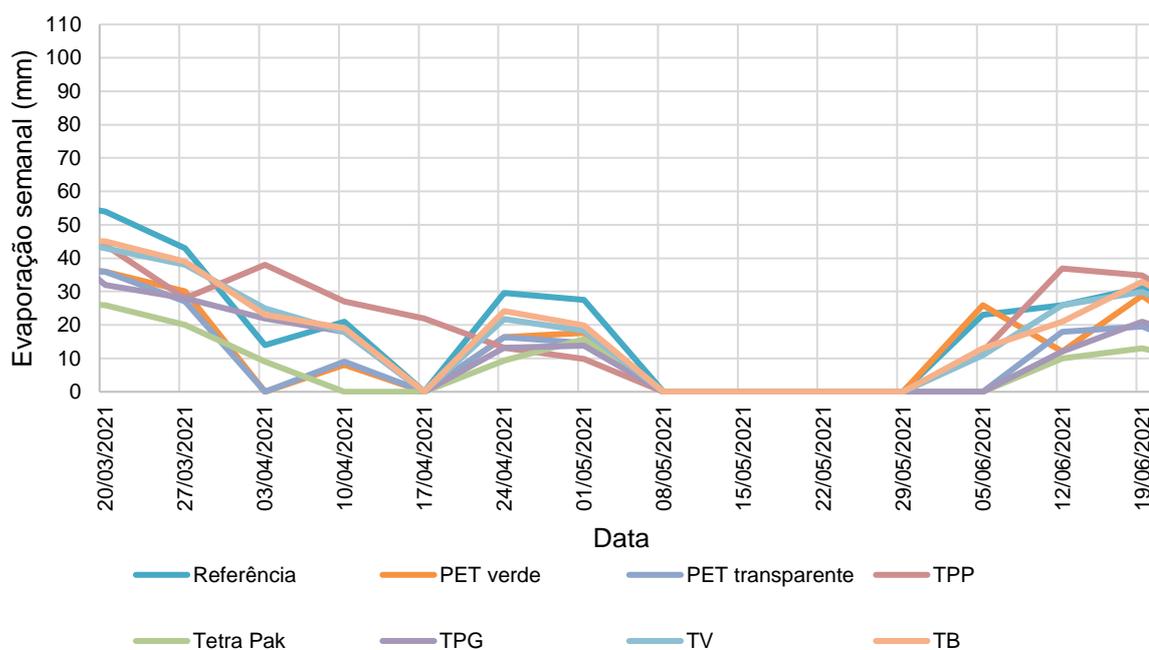
Tabela 8 - Evaporação total mensal, Fase 1

Mês/ano	Evaporação mensal (mm/mês)							
	Referência	Pet verde	Pet transparente	Tela preta P	Tetra Pak	Tela preta G	Tela Verde	Tela branca
jan/21	40,21	14,86	16,54	49,86	28,38	31,61	31,46	30,77
fev/21	225,86	150,29	137,71	168,71	140,71	169,00	182,86	187,14
mar/21	184,43	111,86	106,00	173,14	82,43	141,71	158,71	162,86
abr/21	80,20	39,40	38,00	87,09	26,26	52,43	66,31	70,26
mai/21	10,37	10,03	2,00	4,63	2,60	2,00	5,54	6,31
jun/21	109,43	78,57	54,00	112,57	35,00	54,00	94,86	95,29
jul/21	78,50	70,50	40,00	75,00	25,00	63,50	77,50	49,00
ago/21	78,71	76,93	50,36	103,71	25,79	54,57	79,36	53,71
set/21	176,29	188,57	172,64	120,29	77,21	114,93	154,39	131,29
out/21	259,97	330,13	251,00	204,33	130,93	200,20	258,08	224,33
nov/21	244,53	312,15	259,57	170,67	205,21	187,80	249,31	219,60
dez/21	173,95	154,38	147,81	137,67	127,00	147,19	175,45	169,26
jan/22	114,05	64,33	63,62	73,33	31,86	92,81	104,90	105,81
fev/22	177,36	89,36	99,50	147,36	124,07	129,71	175,93	173,71
mar/22	63,93	26,93	24,07	100,07	36,93	37,29	51,21	44,29
abr/22	109,71	59,71	78,10	83,57	53,33	82,67	105,86	101,00
mai/22	36,00	10,00	13,33	58,29	10,67	28,95	40,00	32,00
jun/22	5,00	4,00	3,00	23,05	5,00	5,38	4,00	4,00
jul/22	55,36	26,73	29,59	39,85	43,91	34,36	56,32	55,36
ago/22	79,27	54,57	49,38	81,85	25,56	77,40	92,28	84,77
set/22	142,03	94,37	117,37	107,90	70,87	107,57	149,40	139,20
out/22	188,19	112,62	154,24	128,30	68,81	139,24	201,86	190,38
nov/22	121,14	64,71	66,43	108,57	46,86	92,43	136,14	128,29
dez/22	149,00	103,00	121,00	131,00	64,00	122,00	151,00	158,00

Fonte: A Autora.

Separando as estações do ano, a evaporação semanal se dá conforme o Gráfico 12, para o outono de 2021, onde, nessa estação a maior redução observada (Tabela 9) foi constatada com o emprego da cobertura de Tetrapak (50,85%), seguido pela utilização das PETs transparentes (44,84%) e das PETs verdes (36,86%). A menor eficiência foi observada com o emprego da TPP (8,86%).

Gráfico 12 - Evaporação semanal, outono (2021)



Fonte: A Autora.

Do Gráfico 12 destaca-se que o período em que a evaporação aparece como nula é justificado pela não possibilidade de execução das medições em virtude de contaminação pessoal da autora e familiares pelo vírus Covid-19.

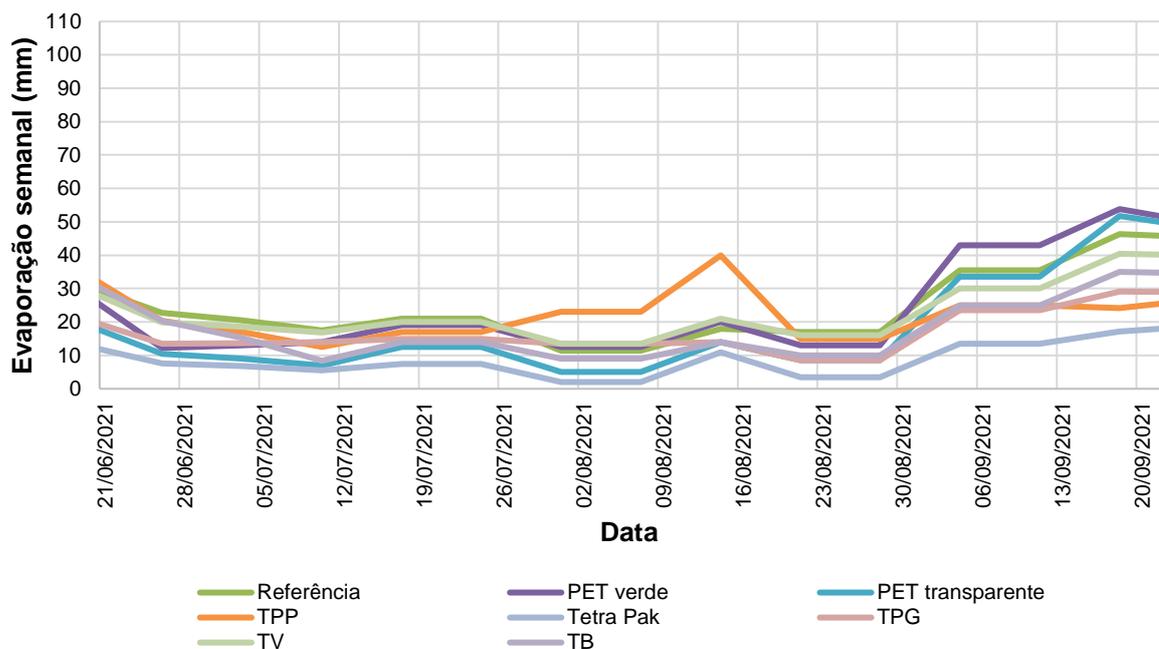
Tabela 9 - Evaporação acumulada e percentual de redução, outono (2021)

Cobertura	Total evaporado (mm)	Percentual de redução (%)
Referência	607,75	-
PET verde	383,75	36,86
PET transparente	335,25	44,84
TPP	553,92	8,86
Tetra Pak	298,71	50,85
TPG	424,17	30,21
TV	503,08	17,22
TB	515,29	15,21

Fonte: A Autora.

A evaporação semanal para o inverno de 2021, é apresentada no Gráfico 13. A maior redução observada, de acordo com a Tabela 0, foi constatada com o emprego da cobertura de TetraPak (65,72%), seguido da TPG (30,47%) e da TB (29,14%). A menor eficiência foi observada com o emprego das PETs verdes (2,36%).

Gráfico 13 - Evaporação semanal, inverno (2021)



Fonte: A Autora.

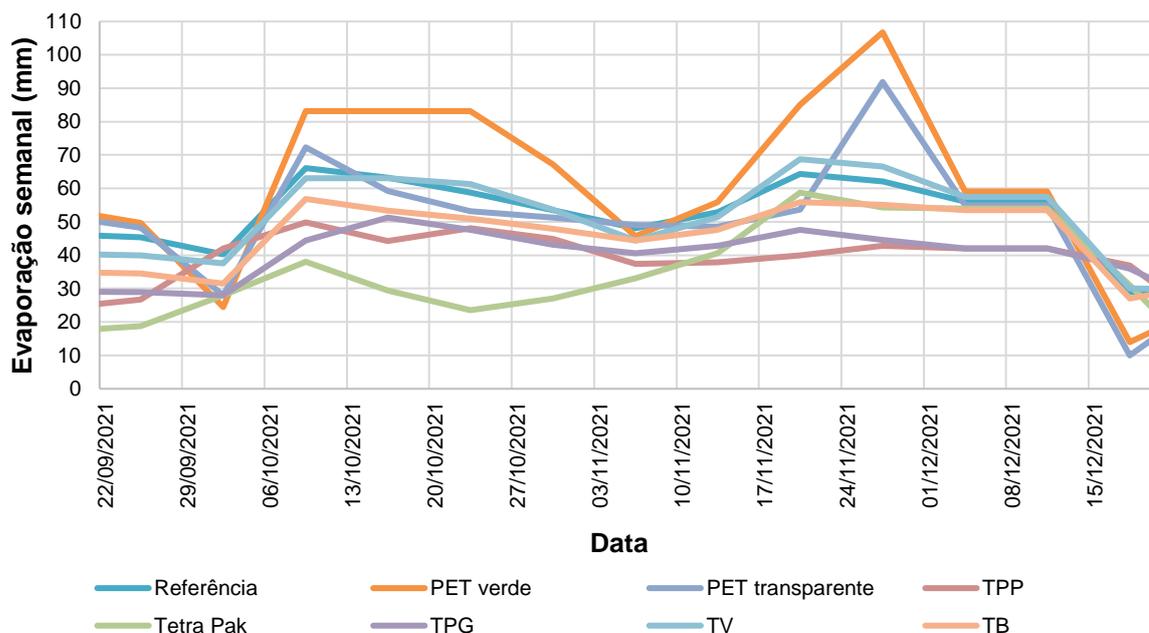
Tabela 10 - Evaporação acumulada e percentual, inverno (2021)

Cobertura	Total evaporado (mm)	Percentual de redução (%)
Referência	295,06	-
PET verde	288,10	2,36
PET transparente	211,19	28,42
TPP	274,31	7,03
Tetra Pak	101,15	65,72
TPG	205,16	30,47
TV	275,55	6,61
TB	209,08	29,14

Fonte: A Autora.

Já para a primavera de 2021, a evaporação semanal é conforme o Gráfico 14. Onde, pela Tabela 11, a maior redução é observada com a utilização da cobertura de Tetrapak (29,46%), seguido da TPP (23,13%) e da TPG (22,53%). A menor eficiência foi constatada com o emprego das PETs verdes (-17,32%).

Gráfico 14 - Evaporação semanal, primavera (2021)



Fonte: A Autora.

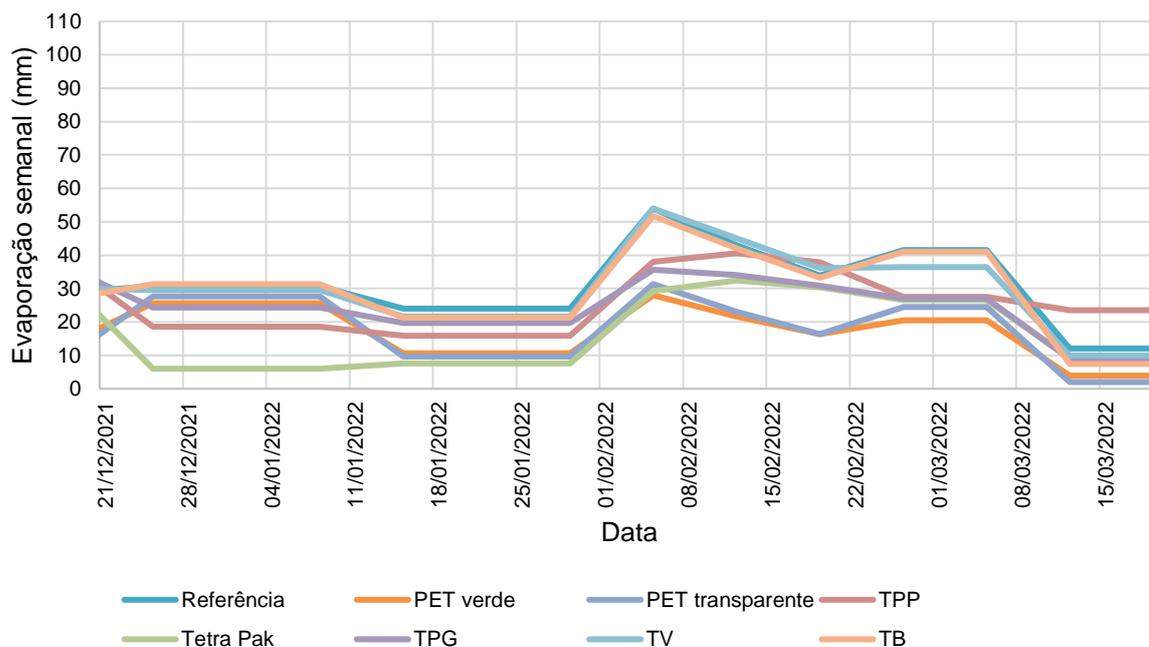
Tabela 11 - Evaporação acumulada e percentual de redução, primavera (2021)

Cobertura	Total evaporado (mm)	Percentual de redução (%)
Referência	695,69	-
PET verde	816,15	-17,32
PET transparente	675,31	2,93
TPP	534,77	23,13
Tetra Pak	490,77	29,46
TPG	538,92	22,53
TV	694,62	0,15
TB	612,00	12,03

Fonte: A Autora.

No verão de 2021- 2022, a evaporação semanal foi conforme o Gráfico 15. Da Tabela 12, a maior redução é observada com a utilização da cobertura de Tetrapak (49,25%), seguido das PETs verdes (44,28%) e das PETs transparentes (41,29%). A menor eficiência foi observada com o emprego da TV e TB (4,98%).

Gráfico 15 - Evaporação semanal, verão (21/12/2021 a 19/03/2022)



Fonte: A Autora.

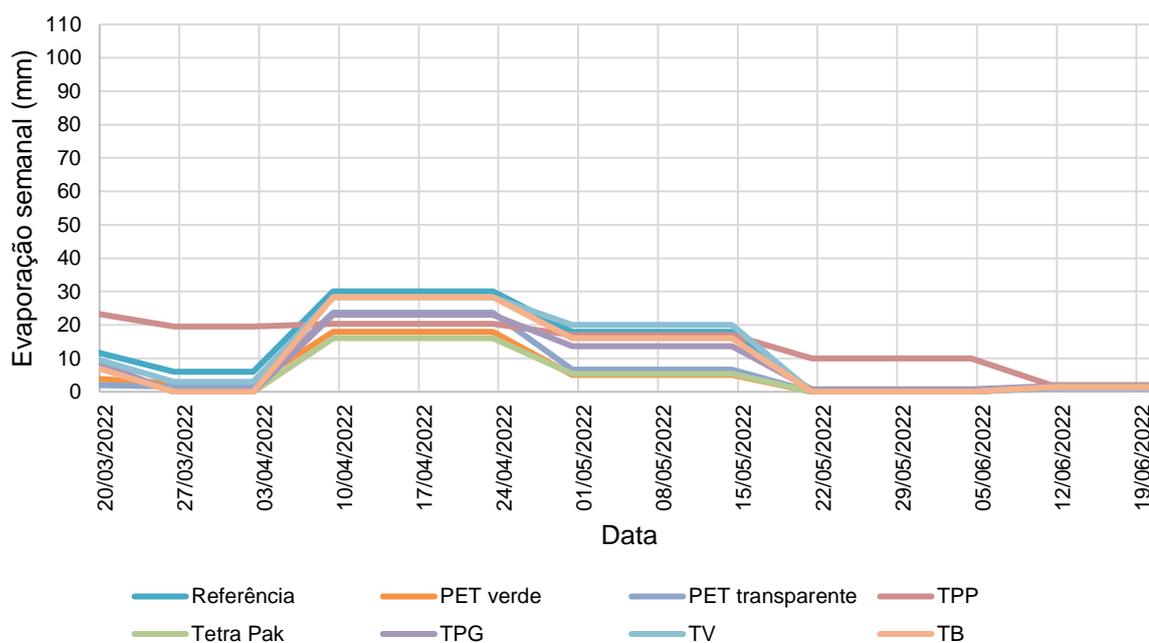
Tabela 12 - Evaporação acumulada e percentual de redução da mesma, verão (21/12/2021 a 19/03/2022)

Cobertura	Total evaporado (mm)	Percentual de redução (%)
Referência	402,00	-
PET verde	224,00	44,28
PET transparente	236,00	41,29
TPP	322,00	19,90
Tetra Pak	204,00	49,25
TPG	305,00	24,13
TV	382,00	4,98
TB	382,00	4,98

Fonte: A Autora.

No outono de 2022, a evaporação semanal foi como observa-se no Gráfico 16. Da Tabela 53, a maior redução é observada com a utilização da cobertura de TetraPak (57,74%), seguido das PETs verdes (51,88%) e das PETs transparentes (39,75%). A menor eficiência foi observada com o emprego da TPP (-16,11%).

Gráfico 16 - Evaporação semanal, outono (2022)



Fonte: A Autora.

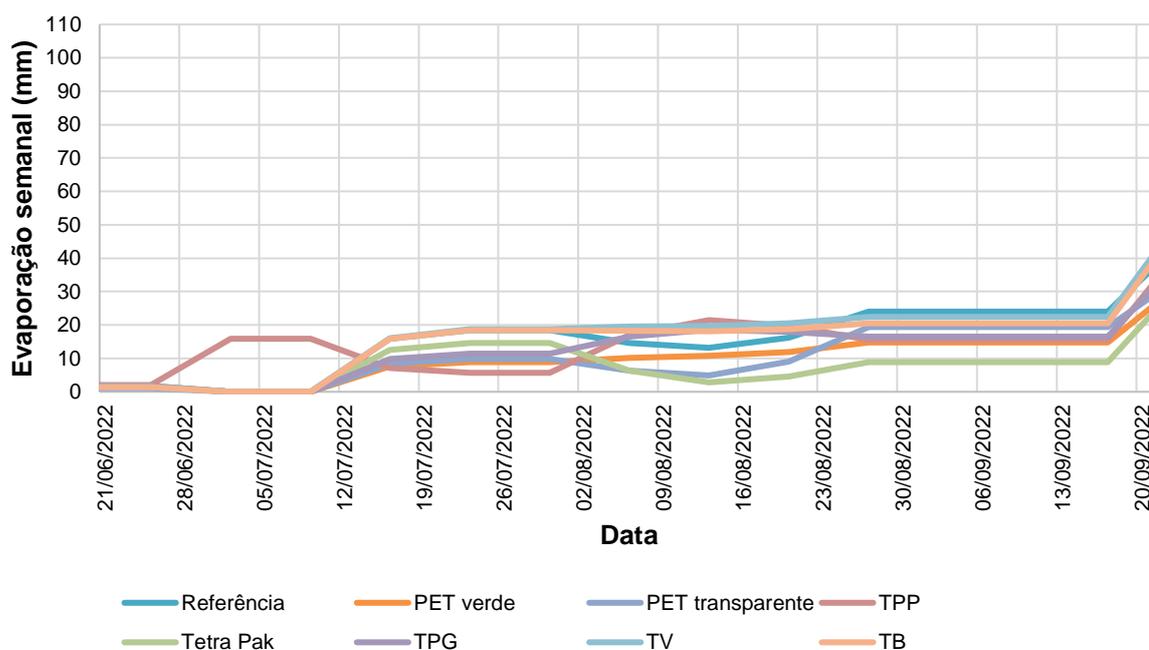
Tabela 53 - Evaporação acumulada e percentual de redução da mesma, outono (2022)

Cobertura	Total evaporado (mm)	Percentual de redução (%)
Referência	159,33	-
PET verde	76,67	51,88
PET transparente	96,00	39,75
TPP	185,00	-16,11
Tetra Pak	67,33	57,74
TPG	115,33	27,62
TV	153,67	3,56
TB	135,67	14,85

Fonte: A Autora.

No inverno de 2022, a evaporação semanal foi em consonância com o Gráfico 17. Da Tabela 64, a maior redução é observada com a utilização da cobertura de Tetrapak (52,40%), seguido das PETs verdes (39,21%) e das PETs transparentes (34,76%). A menor eficiência foi observada com o emprego da TV (-4,97%).

Gráfico 17 - Evaporação semanal, inverno (2022)



Fonte: A Autora (2023)

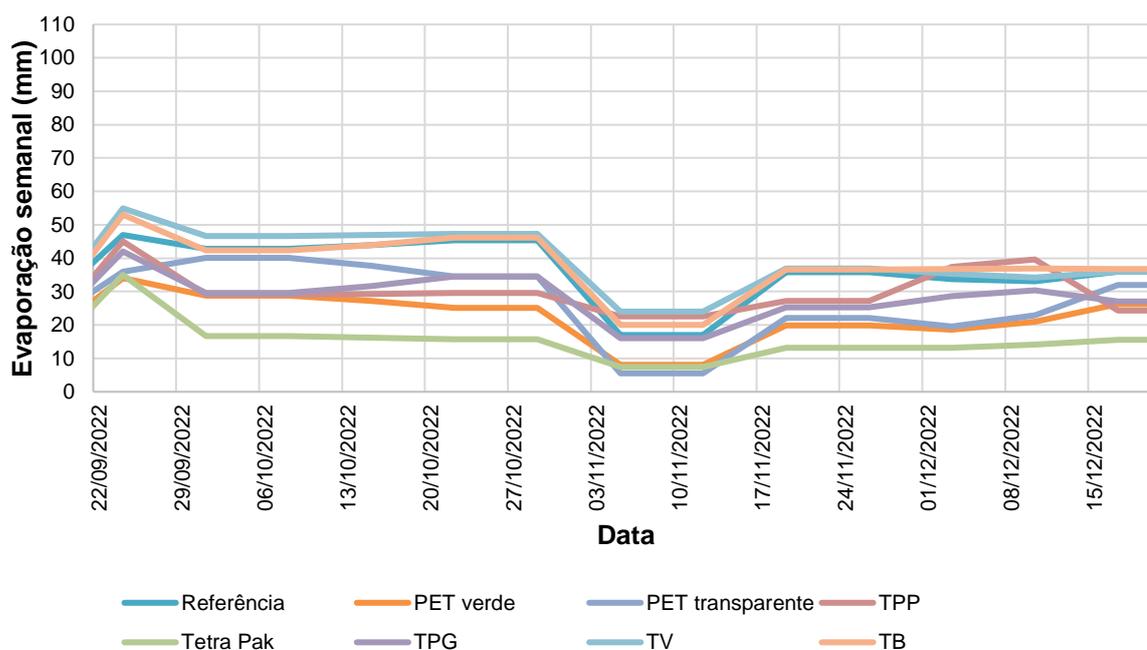
Tabela 64 - Evaporação acumulada e percentual de redução da mesma, inverno (2022)

Cobertura	Total evaporado (mm)	Percentual de redução (%)
Referência	194,67	-
PET verde	118,33	39,21
PET transparente	127,00	34,76
TPP	173,00	11,13
Tetra Pak	92,67	52,40
TPG	153,67	21,06
TV	204,33	-4,97
TB	191,33	1,71

Fonte: A Autora.

Para a primavera de 2022, a evaporação semanal foi conforme o Gráfico 18. Da Tabela 75, a maior redução é observada com a utilização da cobertura de Tetrapak (57,89%), seguido das PETs verdes (38,90%) e das PETs transparentes (25,80%). A menor eficiência foi observada com o emprego da TV (-8,84%).

Gráfico 18 - Evaporação semanal, primavera (2022)



Fonte: A Autora.

Tabela 75 - Evaporação acumulada e percentual de redução da mesma, primavera (2022)

Cobertura	Total evaporado (mm)	Percentual de redução (%)
Referência	475,30	-
PET verde	290,39	38,90
PET transparente	352,65	25,80
TPP	392,59	17,40
Tetra Pak	200,17	57,89
TPG	370,70	22,01
TV	517,30	-8,84
TB	497,61	-4,69

Fonte: A Autora.

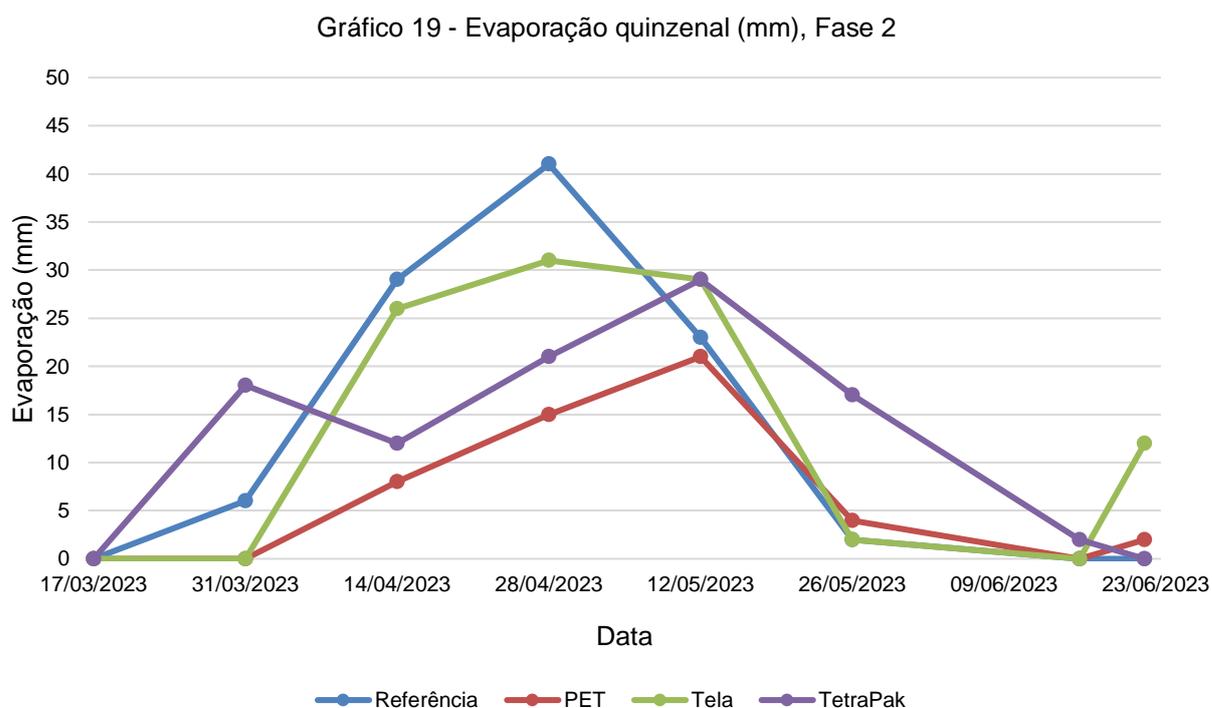
De todas as análises efetuadas percebe-se que a cobertura de TetraPak foi a mais eficiente na redução da evaporação em todas as estações do ano, para a Fase 1. Esse resultado contrapõe o estudo anterior efetuado por Nascimento (2021), onde em sua pesquisa as coberturas que apresentaram maior eficiência na mitigação das taxas foram as garrafas PET, com uma redução percentual de 53,91% para as verdes e 45,36% para as incolores.

Esse fato pode revelar a diminuição da eficiência dos materiais com o passar do tempo, visto que as coberturas de TetraPack se degradavam mais rapidamente e eram frequentemente substituídas por coberturas novas, enquanto as pet não foram substituídas, por sua degradação ser lenta. O que se percebe em contrapartida é que

as garrafas PET passaram no decorrer do tempo por pequenas distorções do seu material, bom como passaram a apresentar-se mais opacas.

### 5.2.2 Fase 2 de experimentação

As medições realizadas quinzenalmente geram os dados apresentados no Gráfico 19.



Fonte: A Autora.

Acumulando-se as evaporações medidas quinzenalmente, tem-se o Gráfico 20. Onde se percebe que a única cobertura capaz de minimizar efetivamente as perdas por evaporação foi a constituída por garrafas PETs.

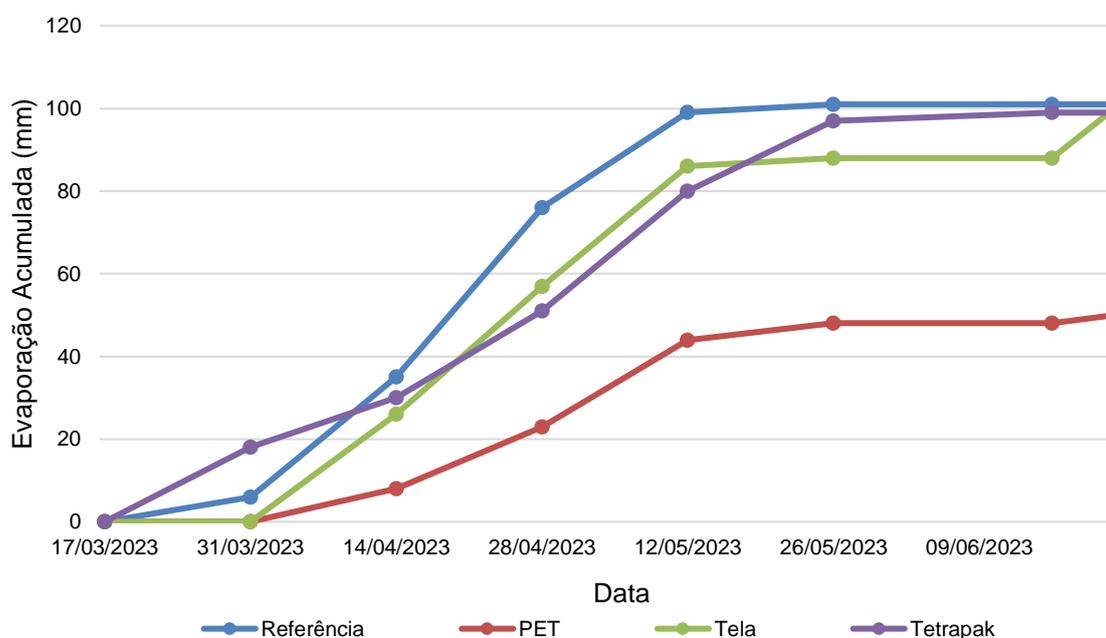
Esses resultados se contrapõem ao que foi visto na Fase 1, onde a cobertura de Tetrapak foi a mais eficaz. Esse fato por ser explicado devido as condições meteorológicas que permearam a Fase 2 de medição, que se deu em período chuvoso. Assim, com exceção do reservatório coberto por TetraPak, os demais reservatórios estavam expostos a recargas de água da chuva. Desse modo, sempre que o nível dos reservatórios era maior entre uma medição e outra, a evaporação era tida como nula.

Na Fase 2 também se empregou garrafas PETs novas, assim a perda de eficiência constatada na fase 1 de medições pode ter sido eliminada na Fase 2.

No caso dos reservatórios cobertos pela tela, a recarga do nível através da chuva era feita de maneira reduzida, já que a abertura da malha da tela proporciona em parte a entrada de água no reservatório e em parte a dissipação da gota de água ao encontrar a malha.

Os valores percentuais de redução proporcionados por cada cobertura podem ser observados na Tabela 16.

Gráfico 20 - Evaporação acumulada (mm), Fase 2



Fonte: A Autora.

Tabela 16 - Evaporação acumulada e percentual de redução da mesma na Fase 2

Cobertura	Total evaporado (mm)	Percentual de redução (%)
Referência	101	-
PET	50	50,50
Tela	100	0,99
Tetrapak	99	1,98

Fonte: A Autora.

## 5.3 QUALIDADE DA ÁGUA

### 5.3.1 Qualidade da água na Fase 1, aspectos visuais

Verificou-se visualmente que o uso das coberturas do tipo telas de polietileno proporcionou melhores aspectos em relação a coloração, lodo e presença de elementos poluidores quando comparados ao reservatório de referência, na Fase 1, sendo essa característica bem mais expressiva para o reservatório coberto com a tela de polietileno preta de menor abertura.

O reservatório coberto por Tetrapak, também mostrou uma boa conservação da qualidade nos aspectos visuais, no entanto, porções de plástico foram frequentemente encontradas na água à medida que esse material se degradava. Esse reservatório também proporcionou condições favoráveis para a permanência de rãs, como pode ser observado na Figura 18.

Figura 18 - Presença de rãs no reservatório coberto com TetraPak



Fonte: A Autora.

Em relação aos reservatórios cobertos com as garrafas PET, esses tiveram comportamento visual semelhante ao reservatório de referência. Sendo que as garrafas de coloração verde atraíram, em alguns períodos, a presença de abelhas, como pode ser observado na Figura 19. Dessa forma, a água reservada passou a conter a presença de abelhas mortas.

Figura 19 - Reservatório das garrafas PET com a presença de abelhas



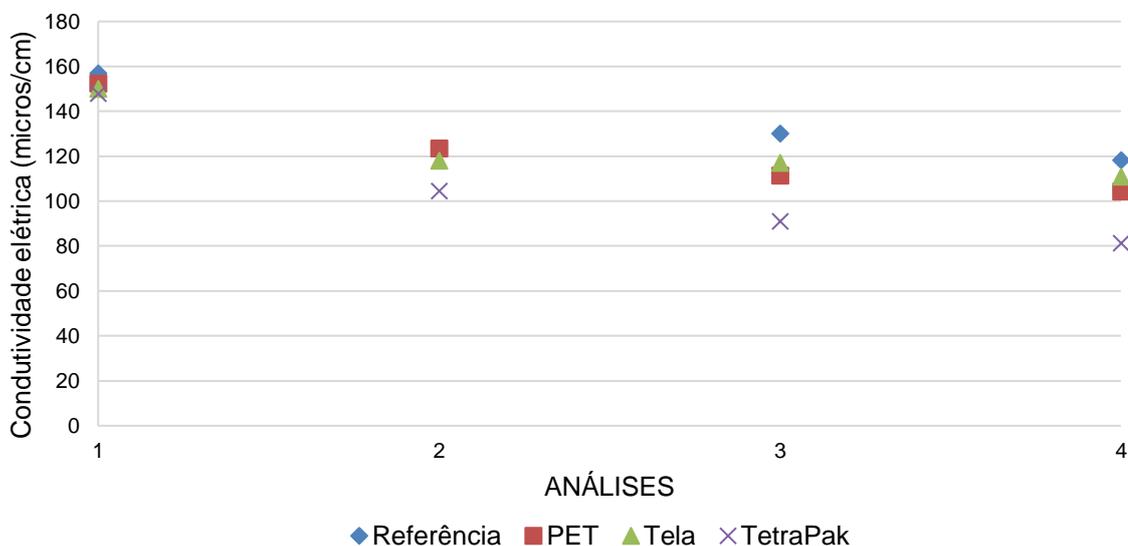
Fonte: A Autora.

### 5.3.2 Qualidade da água na Fase 2, análises de laboratório e aspectos visuais

A análise da qualidade da água para a Fase 2 de experimentação levou à plotagem dos gráficos a seguir.

A condutividade elétrica das amostras (Gráfico 21), mostrou que o uso das diversas coberturas reduz o grau de condutividade em comparação com o reservatório de referência. A redução da condutividade elétrica observada demonstra o efeito da água da chuva na diluição dos sais.

Gráfico 21 - Condutividade elétrica (microS/cm)



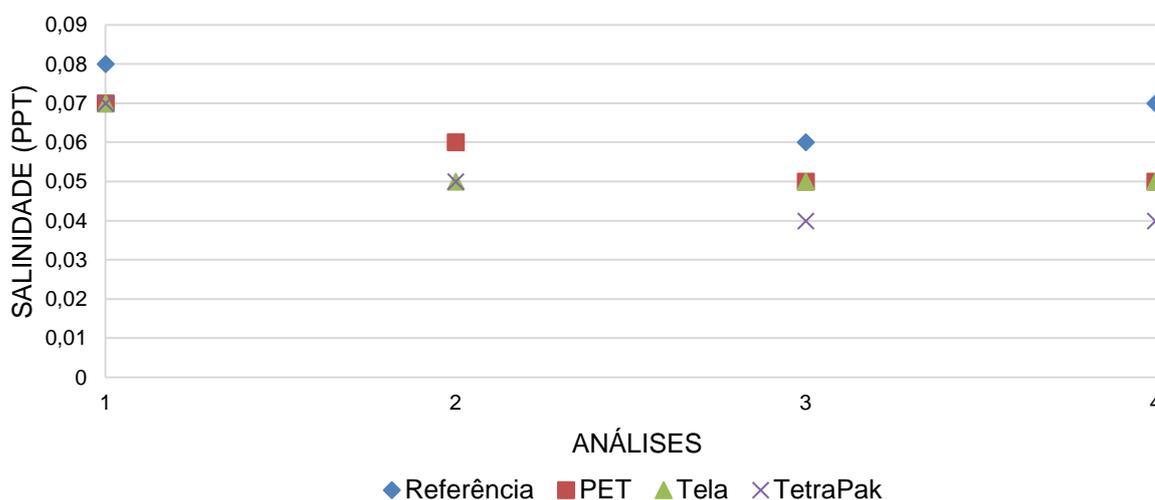
Fonte: A Autora.

Quando a análise número 2 da condutividade elétrica, para o reservatório de referência, essa apresentou valor incoerente, podendo ser fruto de uma contaminação externa, como por exemplo, proveniente da urina de animais de grande porte, sendo assim, não foi apresentado a sua leitura no Gráfico 21.

Não há referenciação quanto ao padrão de qualidade para a condutividade na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005).

Quanto à salinidade, Gráfico 22, às amostras dos reservatórios cobertos, apresentaram queda com o decorrer da experimentação, enquanto o reservatório coberto experimentou uma redução e retornou à tendência de crescimento, com isso, revelando o fenômeno da evapoconcentração, já que esse reservatório experimenta as maiores evaporações, levando à maiores concentrações de sais em comparação com os reservatórios cobertos. A leitura da análise de número 2, para o reservatório de referência também foi ocultado pelo motivo já descrito anteriormente (valor incoerente, por possível contaminação externa).

Gráfico 22 - Salinidade (ppt)

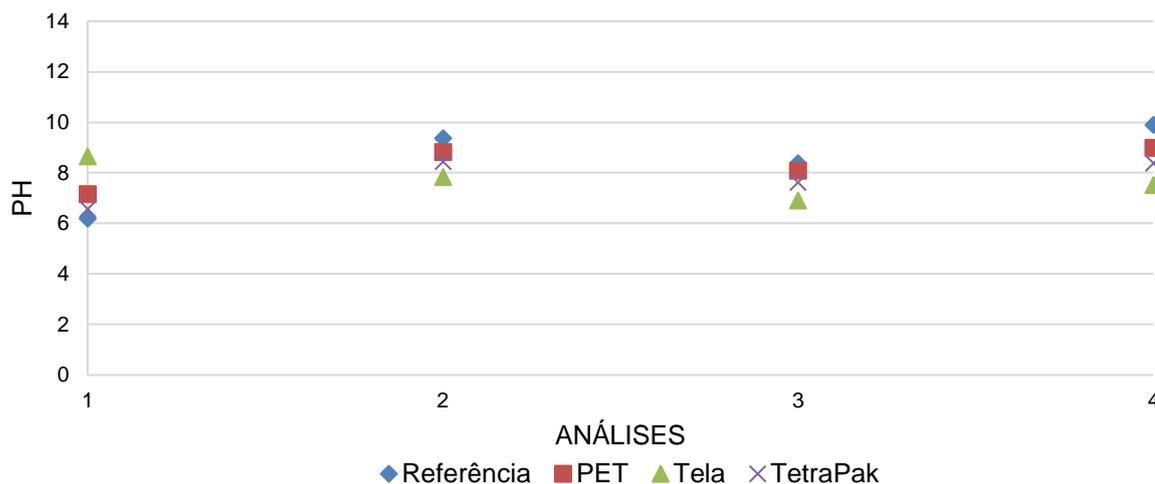


Fonte: A Autora.

Todas as amostras permanecem qualitativamente como águas doces, sendo a salinidade inferior a 0,5 ppt.

Em relação ao pH das amostras, apresentado no Gráfico 23, não se pode apontar uma tendência de crescimento ou redução. O que se constata é que o reservatório coberto passa a apresentar nas últimas amostragens pH mais básico do que as amostras de água dos reservatórios cobertos.

Gráfico 23 - pH

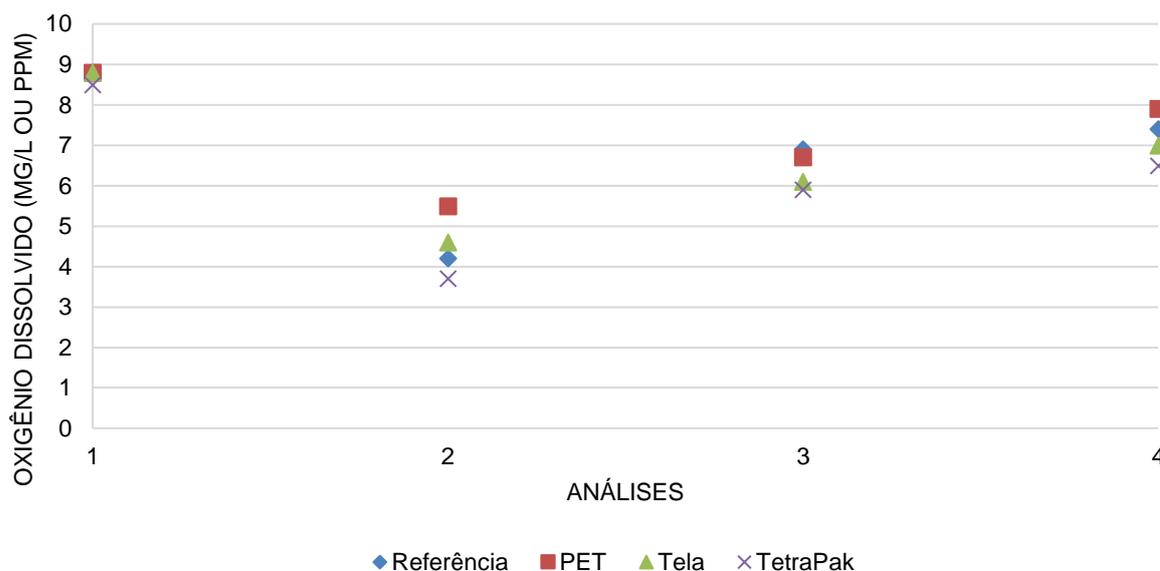


Fonte: A Autora.

O pH se manteve dentro dos padrões exigidos, exceto para a amostra 4 do reservatório de referência (pH igual a 9,9), onde o limiar de tolerância para a classe 1-águas doces é de 6 a 9.

O Gráfico 24 a seguir mostra o Oxigênio Dissolvido observados nas amostras. A amostra número 2 de todos os reservatórios apresentou queda do oxigênio dissolvido em relação as leituras das amostras de número 1. Observando as amostragens seguintes, nota-se tendência de crescimento para todos os reservatórios. Esse fato é benéfico, visto que a quantidade de oxigênio dissolvido é primordial para manter o ecossistema aquático no caso da aplicação para aquicultura, bem como a maior concentração de oxigênio dissolvido reduz a ocorrência do desenvolvimento de espécies anaeróbicas, que provocam decomposição da matéria orgânica em compostos mal cheirosos. A quantidade de oxigênio dissolvido para as amostras dos reservatórios cobertos com PET foi sempre superior aos dos demais reservatórios.

Gráfico 24 - Oxigênio dissolvido (mg/L ou ppm)

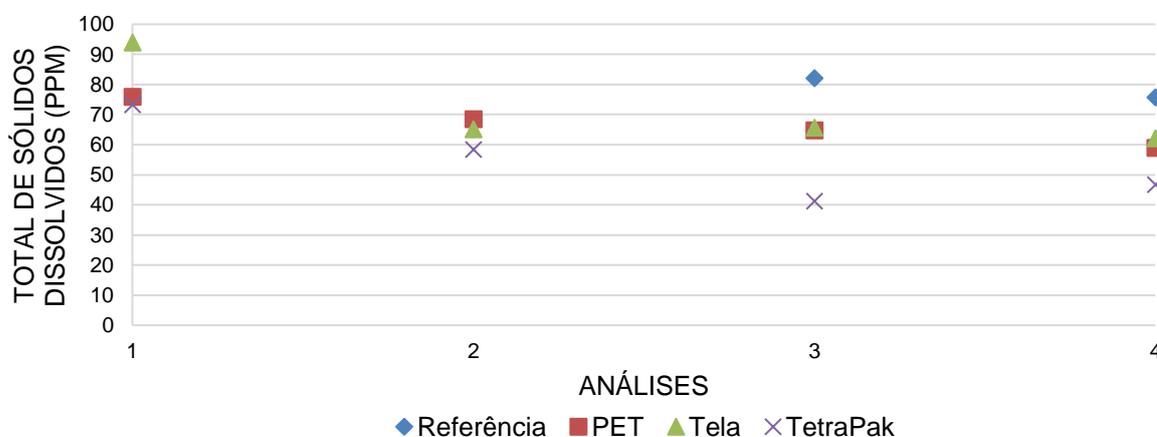


Fonte: A Autora.

O padrão de qualidade da água estabelece que o oxigênio dissolvido para a classe 1 - águas doces deve ser superior a 6 mg/L, dessa maneira todas as coberturas não atenderam esse requisito na segunda amostragem, mas observa-se nas seguintes amostragens o retorno ao padrão.

O Gráfico 25, apresenta o total de sólidos dissolvidos encontrados nas amostras.

Gráfico 25 - Total de sólidos dissolvidos (ppm)

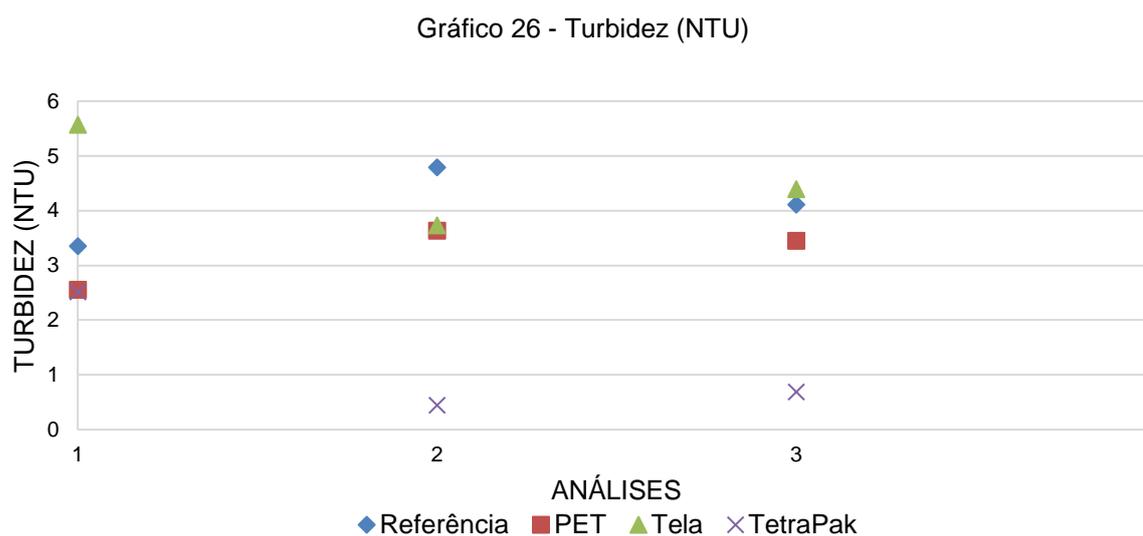


Fonte: A Autora.

Não é possível concluir se há tendência de crescimento ou redução do total de sólidos dissolvidos nas amostras ao longo do tempo da experimentação. Os totais de

sólidos dissolvidos estão em conformidade com os padrões de qualidade ( $\leq 500$  ppm) em todas as amostras. A leitura da análise de número 2, para o reservatório de referência também foi ocultado pelo motivo já descrito anteriormente (valor incoerente, por possível contaminação externa).

O Gráfico 26 diz respeito à turbidez. A quantidade de amostras tomadas não permitiu concluir nenhuma tendência, já que os valores variaram de maneira irregular. O que se constata é que na última amostragem o reservatório de referência apresenta turbidez bem superior aos reservatórios cobertos.



Fonte: A autora.

A turbidez encontra-se dentro dos padrões de qualidade para todas as amostras, sendo muito inferior ao limiar de 40 NTU.

O reservatório coberto por Tetrapak apresentou condições favoráveis para a permanência de rãs, de igual modo ao verificado na Fase 1. A Figura 20 apresenta a ocorrência dessas rãs no reservatório.

Figura 20 - Rãs no reservatório coberto por TetraPak



Fonte: A Autora.

## 6 CONCLUSÃO

Dos estudos efetuados constata-se que o uso das coberturas utilizadas pode ser eficaz na redução da evaporação de águas superficiais. A fase 1, foi realizada em período mais longo, o que proporcionou verificar a eficiência das coberturas de forma a considerar aspectos climatológicos mais variados, por conter todas as estações do ano.

Da Fase 1 destaca-se a utilização de três coberturas que são as de TetraPak, PET incolor e tela de polietileno preta com abertura de malha maior. Essas conferiram uma redução da perda de água por evaporação em 48,92%, 27,44% e 25,35%, respectivamente.

Prosseguindo-se o estudo para a Fase 2, com essas coberturas e o reservatório de referência, observou-se o melhor desempenho em relação a redução da evaporação para a cobertura constituída pelas Garrafas Pets, proporcionando uma redução da evaporação em 50,50%.

No entanto, destaca-se que o período em que se realizaram as leituras da Fase 2, foi marcado pela presença de precipitação. Dessa forma, sugere-se que para trabalhos futuros sejam levados em consideração todas as estações do ano, bem como passem a considerar os volumes de precipitação em suas análises.

No que se refere a qualidade da água armazenada, foi observado visualmente na Fase 1 que as telas de polietileno proporcionaram melhores aspectos em relação a coloração, presença de lodo e de elementos poluidores. O reservatório coberto por Tetrapak, também mostrou uma boa conservação da qualidade nos aspectos visuais, no entanto, porções de plástico foram frequentemente encontradas na água à medida que esse material se degradava. Já os reservatórios cobertos com as garrafas PET, tiveram comportamento visual semelhante ao reservatório de referência.

Nas duas fases de experimentação, os reservatórios cobertos com TetraPak se tornaram locais propícios para a permanência de rãs. Esse fato pode estar atrelado a elevação da temperatura da água desses reservatórios em relação aos demais, além de serem locais mais escuros. No entanto, a real causa deve ser melhor retratada por biólogos.

O reservatório coberto por PET verde, da Fase 1, atraiu em alguns períodos a presença de abelhas. Uma hipótese para explicar esse fato é que estas podem ter sido atraídas justamente pela cor ou por algum aroma que as garrafas poderiam ainda

ter, sugerindo-se assim que esses aspectos sejam levados em consideração em trabalhos futuros, ressaltando a importância de análises multidisciplinar do uso das diversas coberturas.

Verificado que os padrões de qualidade da água não sofreram depreciação, as coberturas de PET incolor, TetraPak e tela de polietileno preta constituem boas técnicas de redução da evaporação para reservatórios de águas abertas. São ótimas medidas para o caso de barreiros da região do semiárido, já que são técnicas de pouco custo, fácil implementação, bem como se mostram ecologicamente viáveis, por proporcionar o reuso desses materiais que são ou descartados na natureza, ou passam por processos de reciclagem.

Do ponto de vista de experimentação, em melhores condições, seria interessante utilizar reservatórios com laterais perpendiculares, a fim que a área da superfície do líquido permaneça sempre a mesma, bem como utilizar reservatórios ainda mais robustos. A utilização de equipamentos mais precisos também influi na qualidade dos resultados, assim que, utilizar sensores de nível, automatizaria o processo e diminuiria os erros de medição. Empregar um tubo tranquilizador, ou aparato semelhante, dentro do reservatório também seria interessante, para proporcionar uma leitura em uma superfície mais estabilizada.

## REFERÊNCIAS

- ADELOYE, A. J.; NAWAZ, N. R.; MONTASERI, M. Climate change water resources planning impacts incorporating reservoir surface net evaporation fluxes: A case study. **International Journal of Water Resources Development**, v. 15, n. 4, p. 561–581, 1999.
- ADOLPHS, A. (ED.). **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. [s.l.: s.n.].
- 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.
- ALAZARD, M. *et al.* Estimating evaporation in semi-arid areas facing data scarcity: Example of the El Haouareb dam (Merguellil catchment, Central Tunisia). **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 3, p. 265–284, 2015.
- 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.
- ALLEN, R. G. *et al.* FAO Irrigation and Drainage Paper. **Applied Ocean Research**, 1998.
- AL-TAAI, O. T.; HADI, S. H. Analysis of the Monthly and Annual Change of Soil Moisture and Evaporation in Iraq. **Al-Mustansiriyah Journal of Science**, v. 29, n. 4, p. 7, 2019.
- ALTHOFF, D. *et al.* Improving methods for estimating small reservoir evaporation in the Brazilian Savanna. **Agricultural Water Management**, v. 216, n. January, p. 105–112, 2019.
- ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N. da; SILVA, D. D. Impacts of climate change on the evaporation and availability of water in small reservoirs in the Brazilian savannah. **Climatic Change**, v. 159, n. 2, p. 215–232, 2020.
- ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. da. Evaluating evaporation methods for estimating small reservoir water surface evaporation in the Brazilian savannah. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 9, 2019.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVAREZ, V. M. *et al.* Efficiency of shading materials in reducing evaporation from free water surfaces. **Agricultural Water Management**, v. 84, n. 3, p. 229–239, 2006.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. de; NASCIMENTO, S. S. do. Queima com Pastagem. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 126–135, 2009.
- AMERICA, I. *et al.* Evaporation and Salt Accumulation Effects on Riparian Freshwater Lenses. **Water Resources Research**, v. 56, n. 12, p. 1–21, 2020.

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**, v. 22, n. 7, p. 4015–4032, 2018.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013**. 2013.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**. 2020.

ANDRADE, B. C. Estimativa da evapotranspiração real via sensoriamento remoto. p. 149, 2018.

AOUADE, G. *et al.* Combining stable isotopes, Eddy Covariance system and meteorological measurements for partitioning evapotranspiration, of winter wheat, into soil evaporation and plant transpiration in a semi-arid region. **Agricultural Water Management**, v. 177, p. 181–192, 2016.

ARAÚJO FILHO, P. F.; CABRAL, J. J. S. P.; SILVA, A. V. Processo de Evaporação no Leito Seco do Rio. **Águas de areias**. 1. ed. Recife: Clã, 2016. Cap. 3, p. 71 – 88. 2016. cap. 3, p. 71-88. ISBN 978-85-61428-23-5.

ARMANI, Gustavo, FUNARI, Frederico L., SALUM, Sergio T. Ocorrência de orvalho na Cidade de São Paulo, **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 29 (1/2), 41-48, 2008.

AYOADE, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996, 332 p.

BAILLIE, C. Assessment of Evaporation Losses and Evaporation Mitigation Technologies for On Farm Water Storages across Australia. **Report**, n. 05, p. 1–52, 2008.

BAKKEN, T. H. *et al.* Climate change and increased irrigation demands: What is left for hydropower generation? Results from two semi-arid basins. **Energies**, v. 9, n. 3, 2016.

BANCO MUNDIAL. **Secas no Brasil: política e gestão proativas** – Brasília: - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; Banco Mundial, 2016.

BARBOSA, J. E. D. L. **Dinâmica do fitoplâncton e condicionantes limnológicos nas escalas de tempo ( nictemeral / sazonal ) e de espaço ( horizontal / vertical ) no açude Taperoá II : trópico semi-árido nordestino**. Tese (Doutorado)-. Programa de pós-graduação em ecologia e recursos naturais. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2002.

BARBOSA, J. E. D. L. *et al.* Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 24, n. 1, p. 103–118, 2012.

BATISTA, A. C. de O. N. *et al.* Variabilidade hidroquímica em dois reservatórios no semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 13698–13712, 2020.

BECK, H. E. *et al.* Present and future köppen-geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v. 5, p. 1–12, 2018.

BEZERRA, J. M. *et al.* Estimativa da evapotranspiração de referência diária para mossoró (rn, Brasil). **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 211–220, 2014.

BNB - Banco do Nordeste. **Agenda do Produtor Rural 2021**, 2021.

BORGES, T. K. de S. **Evaporação em superfície de água livre com baixa turbidez**. Tese (Doutorado)- Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas. 2017.

BRAGA, R. A. P.; PAIVA, A. L. R.; ARAÚJO FILHO, P. F.; CABRAL, J. J. P. S.; SILVA, A. V.; GUSMÃO, P. T. R.; CAVALCANTI, E.; FARIAS, C. R. O.; COSTA, W. D. A. **Sustentabilidade do Uso da Água Subterrânea frente à Exploração de Areias em Leito de Rios do Semiárido Brasileiro**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2014, Belo Horizonte. Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2014.

BRANDÃO, C. J. *et al.* (Org.). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 325 p. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>>. Acesso em: 31/01/2022.

BRANDES, D., Wilcox, B.P. 2000. Evapotranspiration and soil moisture dynamics on a semiarid ponderosa pine hillslope 1. **JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.** 36(5), 965–974.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Manual operacional dos objetos padronizados do programa. Brasília, 2013.

BRASIL. **Resolução Conama N° 357, de 17 de Março de 2005\* (Retificada)**. Conselho Nacional do Meio Ambiente, n. 204, p. 36, 2005.

BRASIL. **Resolução nº 107/2017. Conselho deliberativo da superintendência do desenvolvimento do nordeste - SUDENE. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência**. Disponível em: <[https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19287874/do1-2017-09-13-resolucao-n-107-de-27-de-julho-de-2017-19287788](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19287874/do1-2017-09-13-resolucao-n-107-de-27-de-julho-de-2017-19287788)>. Acesso em: 31/01/2022.

BRASIL. **Resolução nº 115/2017. conselho deliberativo da superintendência do desenvolvimento do nordeste - SUDENE**. Disponível em: <[https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/739568/do1-2017-12-05-resolucao-n-115-de-23-de-novembro-de-2017-739564](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/739568/do1-2017-12-05-resolucao-n-115-de-23-de-novembro-de-2017-739564)>. Acesso em: 31/01/2022.

BRITO, L. T. de L.; PORTO, E. R.; ANJOS, J. B. dos. **Barreiro para uso em irrigação de salvação**. In: Simpósio sobre captação de água de chuva no semi-árido brasileiro, 1., 1997, Petrolina. A captação de água de chuva: a base para



FORTLEV. Caixa d'Água de Polietileno 500 L. In: FotLev. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.fortlev.com.br/produtos/reservatorios/caixa-dagua-de-polietileno-500/#produtoEspecificacoes>. Acesso em: 30 jan. 2022.

GALLEGO-ELVIRA, B. *et al.* Energy balance and evaporation loss of an irrigation reservoir equipped with a suspended cover in a semiarid climate (south-eastern Spain). **Hydrological Processes**, v. 25, n. 11, p. 1694–1703, 2011.

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.

GALVÃO, C. O.; CABRAL, J. J. S.; CIRILO, J. A.; MEDEIROS, M. G. A. **Recursos hídricos para a convivência com o semiárido: abordagens por pesquisadores no Brasil, Portugal, Cabo Verde, Estados Unidos e Argentina**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH; Recife: Ed. Universitária da UFPE. v. 1. 598p, 2013.

GHEYI, H. R. *et al.* **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: [s.n.].

Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2023.

GONDIM, J. *et al.* A seca atual no Semiárido nordestino – Impactos sobre os recursos hídricos O contexto da seca e os recursos hídricos na Região Semiárida do Nordeste. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 44, p. 277–300, 2017.

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**, v. 748, 15 dez. 2020.

GURSKI, B. C.; JERSZURKI, D.; DE SOUZA, J. L. M. Alternative methods of reference evapotranspiration for Brazilian climate types. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 3, p. 567–578, 2018.

HAAS, J. *et al.* Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility. **Energy Conversion and Management**, v. 206, n. September 2019, 2020.

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.

HASSAN, M. M. *et al.* Evaporation mitigation using floating modular devices. **Journal of Hydrology**, v. 530, p. 742–750, 2015.

HELPER, F. *et al.* Artificial destratification for reducing reservoir water evaporation: Is it effective? **Lakes and Reservoirs: Research and Management**, v. 23, n. 4, p. 333–350, 2018.

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, 2012a.

HELPER, F.; LEMCKERT, C.; ZHANG, H. Influence of bubble plumes on evaporation from non-stratified waters. **Journal of Hydrology**, v. 438–439, p. 84–96, 2012b.

HELPER, F.; ZHANG, H.; LEMCKERT, C. Modelling of lake mixing induced by air-bubble plumes and the effects on evaporation. **Journal of Hydrology**, v. 406, n. 3–4, p. 182–198, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de dados sociais do Censo 2010**, 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/habitacao.html>> Acesso em: 08/03/2021.

IBGE, Diretoria de Pesquisas, **Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2020**, 2020.

IBGE, **Divisão Territorial Brasileira - DTB 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IL'ICHEV, A. T. *et al.* Instability of the salinity profile during the evaporation of saline groundwater. **Journal of Fluid Mechanics**, v. 614, n. 1999, p. 87–104, 2008.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 16 set. 2022.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas 1991-2020**, p. 27, 2022.

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da agricultura e pecuária. Normais Climatológicas do Brasil. 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 4 maio 2023.

INTERNATIONAL GLOSSARY OF HYDROLOGY. **Glossaire International d'Hydrologie**. Geneva: WMO, 2012

JASECHKO, S. *et al.* Terrestrial water fluxes dominated by transpiration. **Nature**, v. 496, n. 7445, p. 347–350, 2013.

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.

JENSEN, M. E.; ALLEN, R. G. Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements. **ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice**. v. 70. 2016.

JEPPESEN, E. *et al.* Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. **Hydrobiologia**, v. 750, p. 201–227, 2015.

KAMAI, T.; ASSOULINE, S. Evaporation from deep aquifers in arid regions: analytical model for combined liquid and vapor water fluxes. **Water Resources Research**, v. 54, n. 7, p. 4805–4822, 2018.

KOHLER, M., NORDENSON, T., FOX, W. Evaporation from pans and lakes. US Weather Bur. **Res Pap**. 38. 1955.

KÖPPEN, W. 1936. Das geographischa System der Klimate. Gebr, **Borntraeger**, 1-44.

LAFAYETTE, F. B. *et al.* Experimentation and modeling of soil evaporation in underground dam in a semiarid region. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, 2019.

LEHMANN, P. *et al.* Surface evaporation in arid regions: insights from lysimeter decadal record and global application of a surface evaporation capacitor (SEC) Model. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 16, p. 9648–9657, 2019.

LEHMANN, P.; AMINZADEH, M.; OR, D. Evaporation suppression from water bodies using floating covers: laboratory studies of cover type, wind, and radiation effects. **Water Resources Research**, v. 55, n. 6, p. 4839–4853, 2019.

LEITÃO, M. DE M. V. B. R. *et al.* **Uso de tanque de cimento amianto como alternativa para medir evaporação**. III Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia / XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Anais...2000

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.

LIMA, R. F. G. de. **Hidrogeologia e vulnerabilidade do aquífero cárstico salitre na bacia Una-Utinga, Bahia**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geologia- Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2019.

LIU, G. M. *et al.* Salt dynamics in soil profiles during long-term evaporation under different groundwater conditions. **Plant Biosystems**, v. 147, n. 4, p. 1211–1218, 2013.

LIU, Y.; JIN, M.; WANG, J. Insights into groundwater salinization from hydrogeochemical and isotopic evidence in an arid inland basin. **Hydrological Processes**, v. 32, n. 20, p. 3108–3127, 2018.

LORENA, Emmanuelle Maria Gonçalves; MEDEIROS, Raimundo Mainar de; KOZMHINSKY, Marcelo; SILVA, Vicente de Paulo; HOLANDA, Romildo Morant de; MORAES, Alex Souza. **Comportamento da precipitação e umidade relativa do ar em Caruaru-PE, Brasil**. In: SILVEIRA, José Henrique Porto (org.). Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia. 1. ed. Belo Horizonte: Poisson, 2022. v. 13, cap. 7, p. 114-118. ISBN 978-65-5866-226-6.

LOWE, L. D. *et al.* Evaporation from water supply reservoirs: An assessment of uncertainty. **Journal of Hydrology**, v. 376, n. 1–2, p. 261–274, 2009.

MAESTRE-VALERO, J. F. *et al.* Effects of a suspended shade cloth cover on water quality of an agricultural reservoir for irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 100, n. 1, p. 70–75, 2011.

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.

MAESTRE-VALERO, J. F.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, V.; NICOLAS, E. Physical, chemical and microbiological effects of suspended shade cloth covers on stored water for irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 118, p. 70–78, 2013.

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**, v. 8, n. SUPPL. 2, p. 122–133, 2010.

MASSUEL, S. *et al.* Managed aquifer recharge in South India: What to expect from small percolation tanks in hard rock? **Journal of Hydrology**, v. 512, p. 157–167, 2014.

MCJANNET, D.; COOK, F.; KNIGHT, J. Evaporation reduction by monolayers: overview, modelling and effectiveness urban water security research alliance Technical Report No. 6. **Urban Water**, n. 6, 2008.

MEDEIROS, R. M. de. Balanço Hídrico e o Aquecimento no Município de Caruaru – Pe, Brasil. **Revista Equador**, v. 7, n. 2, p. 126–146, 2018.

MIRANDA, K. R. **Influência do uso e ocupação de solo na qualidade da água de um reservatório mesotrófico na região semiárida tropical**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2014.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do Pequeno Açude**. [s.l.] SUDENE, 1992.

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.

MARENGO, J. A. *et al.* Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande. p. 383–422.

NASCIMENTO, J. C. do. **Evaporação em pequenos reservatórios, com diferentes coberturas, na região do semiárido brasileiro**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2021.

NAZARI-SHARABIAN, M. *et al.* Water quality modeling of Mahabad Dam watershed-reservoir system under climate change conditions, using SWAT and system dynamics. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 2, p. 1–16, 2019.

NÓBREGA, R. S. Um pensamento crítico sobre classificações climáticas: de Köppen até Strahler. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 03, p. 18–22, 2010.

NORESTE, S.; ZANELLA, M. E. Considerações Sobre O Clima E Os Recursos Hídricos do Semiárido Nordestino. **Caderno Prudentino de Geografia**, n.36, Volume Especial, p. 126-142, 2014.

NOURANI, V. *et al.* An integrated simulation-optimization framework to optimize the reservoir operation adapted to climate change scenarios. **Journal of Hydrology**, v. 587, n. March, p. 125018, 2020.

NOVA, F. V. P. V.; TENÓRIO, N. B. Doenças de veiculação hídrica associadas à degradação dos recursos hídricos, município de Caruaru - PE. **Caminhos de Geografia - revista online**, v. 20, n. 71, p. 250–264, 2019.

NOVIKOVA, V. I. *et al.* Effect of the macroscopic parameters and composition of the ambient on the mass transition kinetics of liquids. **Journal of Engineering Physics**, v. 49, n. 1, p. 758–764, 1985.

OJHA, C. S. P. *et al.* Evaporation in relation to CO<sub>2</sub> concentration: Analysis of mass transfer coefficient. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 35, p. 6291–6298, 2011.

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**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2009.

OLIVEIRA, P. A.; SANTOS, V. S.; CURI, R. C.; CARVALHO, J. R. M.. Redução de evaporação de água: estudo de caso no reservatório de São Gonçalo/PB. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.5, p.204-217, 2019.

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.

PADILHA, M. C. L. *et al.* Water-energy nexus: Floating photovoltaic systems promoting water security and energy generation in the semiarid region of Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, 2020.

PASQUILL, F. Some further considerations of the measurement and indirect evaluation of natural evaporation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 76, n. 329, p. 287–301, 1950.

PAUW, P.; DE LOUW, P. G. B.; OUDE ESSINK, G. H. P. Groundwater salinisation in the Wadden Sea area of the Netherlands: Quantifying the effects of climate change, sea-level rise and anthropogenic interferences. **Geologie en Mijnbouw/Netherlands Journal of Geosciences**, v. 91, n. 3, p. 373–383, 2012.

PENMAN, H. L. Estimating evaporation. *Eos*, **Transactions American Geophysical Union**, v. 37, n. 1, p. 43–50, 1956.

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

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, L. *et al.* A Salinidade das águas superficiais e subterrâneas na bacia da Gameleira, Município de Aiuaba/CE. **Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 2, p. 9–18, 2006.

PITTAWAY, P.; DEN, VAN ANCKER, T. Microbial and environmental implications for use of monolayers to reduce evaporative loss from water storages. n. 07, p. 1–41, 2010.

PORTO, Everaldo Rocha; AMORIM NETO, Malaquias da Silva; SILVA, Daniel Delfino da. Utilização de materiais flutuantes no controle da evaporação no trópico semi-árido (tsa). **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 21, ed. 1, p. 1-7, 1986.

RAJMOHAN, N.; MASOUD, M. H. Z.; NIYAZI, B. A. M. Impact of evaporation on groundwater salinity in the arid coastal aquifer, Western Saudi Arabia. **Catena**, v. 196, n. August 2020, p. 104864, 2021.

REBOITA, M. S. *et al.* Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 206–226, 2015.

REBOUÇAS, A. da C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, v. 11, n. 29, p. 127–154, 1997.

REDWAN, M.; ABDEL MONEIM, A. A.; AMRA, M. A. Effect of water–rock interaction processes on the hydrogeochemistry of groundwater west of Sohag area, Egypt. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 9, n. 2, p. 1–14, 2016.

RODRIGUES, M. S. **Tecnologia de contenção da evaporação em manancial superficial visando ampliar a oferta de água para o semiárido.** [s.l.] Centro Universitário Christus – UNICHRISTUS, 2021.

SAGGAÏ, S.; BACHI, O. E. K. Evaporation reduction from water reservoirs in arid lands using monolayers: Algerian experience. **Water Resources**, v. 45, n. 2, p. 280–288, 2018.

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

SANTANA, R. de A. *et al.* Assessing alternatives for meeting water demand: A case study of water resource management in the Brazilian Semiarid region. **Utilities Policy**, v. 61, n. April, p. 100974, 2019.

SANTOS, J. S. dos; SANTOS, M. J. S. dos; SANTOS, M. L. P. dos. Parâmetros indicativos do processo de salinização em rios urbanos do semi-árido brasileiro. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1534–1538, 2009.

SAYL, K. N. *et al.* Estimation the physical variables of rainwater harvesting system using integrated GIS-based remote sensing approach. **Water Resources Management**, v. 30, n. 9, p. 3299–3313, 2016.

SCANLON, B. R. *et al.* Ecological controls on water-cycle response to climate variability in deserts. **PNAS**. v. 102, n. 17, p. 6033–6038, 2005.

SECHRIST, F. Effect of carbon dioxide on evaporation of water. **Nature**, v. 199, p. 899–900, 1963.

SILANS, Alain Marie Bernard Passerat de. Redução da evaporação de açudes - O estado da arte. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, ed. 2, p. 101-109, 2003.

SILVA, H. C. D. da *et al.* Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) na região de Petrolina-PE. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2, 2014.

SILVA, L. T. M. S. **Retenção e mobilidade de zinco e cromo num solo aluvionar do Alto do Capibaribe**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental- Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2020.

SILVA, P. C. G. *et al.* **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 18–48, 2010.

SILVA, R. S. A; MONTENEGRO, A. A. A; dos SANTOS, C. S; RODRIGUES, R. A. S. **Comparação de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para o distrito de Mutuca – Pesqueira, PE**. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 21, 1-8, 2015.

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**, v. 142, n. 2, p. 06015005, 2016.

SMITH, R. L. Review of glycol ether and glycol ether ester solvents used in the coating industry. **Environmental Health Perspectives**, v. VOL. 57, p. 1–4, 1984.

SOVOCOL, 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.

STAGL, Judith; MAYR, Elisabeth; KOCH, Hagen; HATTERMANN, Fred; HUANG, Shaochun. Effects of Climate Change on the Hydrological Cycle in Central and Eastern Europe. In: Rannow, S., Neubert, M. (eds) *Managing Protected Areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change*. **Advances in Global Change Research**, vol 58. 2014.

SUASSUNA, João. **A pequena e média açudagem no Semiárido nordestino: uso da água para produção de alimentos**, Fundaj, 1995.

SUDENE. **Relatório final do grupo de trabalho para delimitação do Semiárido**. Ministério da Integração Nacional. 2017. 429p. Disponível em: <<https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/relatoriosemiario-pdf>>. Acesso em: 15 de dezembro de 2023.

TANG, R.; ETZION, Y. Comparative studies on the water evaporation rate from a wetted surface and that from a free water surface. **Building and Environment**, v. 39, n. 1, p. 77–86, 2004.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; HOLZMAN, B. The determination of evaporation from land and water surfaces. **Monthly Weather Review**, p. 4–11, 1939.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia Descritiva**. São Paulo: Nobel, 1981. 174p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

United Nations, Department of economic and social affairs, population division (2019). **World Population Prospects 2019: Data Booket**. ST/ESA/SER.A/424.

VALIANTZAS, J. D. Simplified versions for the Penman evaporation equation using routine weather data. **Journal of Hydrology**, v. 331, n. 3–4, p. 690–702, 2006.

VAREJÃO-SILVA, M.A. 2006. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife, Pernambuco, 463p.

VICENTIN, T. A. **Desenvolvimento e calibração de um atmômetro modificado na superfície evaporativa**. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2018.

WAHEEB YOUSSEF, Y.; KHODZINSKAYA, A. A review of evaporation reduction methods from water surfaces. **E3S Web of Conferences**, v. 97, 2019.

WANG, H. *et al.* A novel nonlinear Arps decline model with salp swarm algorithm for predicting pan evaporation in the arid and semi-arid regions of China. **Journal of Hydrology**, v. 582, n. November 2019, p. 124545, 2020.

WEI, Z. *et al.* Revisiting the contribution of transpiration to global terrestrial evapotranspiration. **Geophysical Research Letters**, v. 44, n. 6, p. 2792–2801, 2017.

WMO, W. M. O.; UNESCO, U. N. E. and S. O. **International Glossary of Hydrology**. [s.l: s.n.].

Wu, L. *et al.* Hybrid extreme learning machine with meta-heuristic algorithms for monthly pan evaporation prediction. **Comput. Electron. Agric.** 168, 105–115, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105115>.

YANG, H. *et al.* Hydrogeochemical processes and long-term effects of sea-level rise in an uplifted atoll island of Minami-Daito, Japan. **Journal of Hydrology: Regional Studies**. v. 31. 2020.