



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

JEAN CARLO DO NASCIMENTO

**EVAPORAÇÃO EM PEQUENOS RESERVATÓRIOS, COM DIFERENTES
COBERTURAS, NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Caruaru

2021

JEAN CARLO DO NASCIMENTO

**EVAPORAÇÃO EM PEQUENOS RESERVATÓRIOS, COM DIFERENTES
COBERTURAS, NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

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

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Caruaru
2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 – 1223

N244e Nascimento, Jean Carlo do.
Evaporação em pequenos reservatórios, com diferentes coberturas, na Região do Semiárido brasileiro. / Jean Carlo do Nascimento. – 2021.
82 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Anderson Luiz Ribeiro de Paiva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, 2021.
Inclui Referências.

1. Evaporação (Meteorologia) – Caruaru (PE). 2. Reservatórios – Caruaru (PE).
3. Água – Desperdício – Caruaru (PE). 4. Engenharia – Estimativas – Caruaru (PE).
5. Clima de regiões áridas – Caruaru (PE). I. Paiva, Anderson Luiz Ribeiro de (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.) UFPE (CAA 2021-294)

JEAN CARLO DO NASCIMENTO

**EVAPORAÇÃO EM PEQUENOS RESERVATÓRIOS, COM DIFERENTES
COBERTURAS, NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

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

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Aprovada em: 16/12/2021.

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 Federal de Pernambuco

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

Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida. Por ser o guia maior do caminho longo, árduo e sinuoso que foi a concretização deste sonho. E, por promover persistência para que eu possa superar todas as dificuldades e desafios impostos.

A minha mãe, Graça Nascimento, que dedicou significativa parte de sua vida por mim e não mediu esforços para proporcionar-me uma trajetória estudantil de qualidade, além de ser suporte para a realização dos meus sonhos. E aos demais familiares, sempre presentes nos momentos felizes e auxiliando nos difíceis.

A minha namorada, Carla Queiroz, figura imprescindível para a finalização desse trabalho. Tanto pelo companheirismo, força e motivação, quanto por ter ajudado durante as medições de campo.

Ao meu amigo, José Ailton, que também ajudou demais nos momentos que precisei. E aos demais, sempre presentes, incentivando, apoiando e promovendo situações de descontração.

Ao orientador, Anderson Paiva, pelas oportunidades, ensinamentos, paciência, atenção e dedicação no desenvolvimento desta dissertação.

Aos membros da banca de qualificação e defesa da dissertação, Prof.^a Leidjane Oliveira e Prof. Jaime Cabral, por toda a solicitude e contribuições para o desenvolvimento desse projeto. E aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, pelos ensinamentos e conhecimentos promovidos durante a realização das disciplinas. Um agradecimento em especial a Prof.^a Simone Machado, pela oportunidade concedida de lecionar em sua disciplina de Saneamento Ambiental, aos alunos da graduação, no estágio docência.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma estiveram comigo, contribuindo de forma direta ou indireta, e torcem pelo meu sucesso e crescimento pessoal/profissional. Meu muito obrigado.

“A persistência é o caminho do êxito” (CHAPLIN, 1997, p. 118).

RESUMO

As regiões de clima Semiárido, como é o caso predominante no Nordeste brasileiro, sofrem de forma demasiada com a escassez hídrica e seus efeitos. Tal problemática pode ser atribuída ao fato de que a região é caracterizada por uma expressiva variabilidade hidrológica, com baixos índices de precipitação e altas taxas de evaporação, e pelos parâmetros climáticos relativamente extremos, como temperatura do ar e incidência solar, que só agravam as necessidades hídricas nos diversos usos. Diante desse contexto, o presente estudo objetivou a avaliação de meios que mitiguem as perdas de água pelo fenômeno da evaporação, em pequenos corpos hídricos. Para tanto, analisou-se diferentes materiais, que funcionam como coberturas físicas na superfície dos líquidos, atuando como barreiras contra a energia solar e o vento e que, conseqüentemente, reduzem as taxas de evaporação. Esses materiais empregados para formação das barreiras foram: dois modelos de garrafas PET (Politereftalato de Etila), sendo uma com material incolor (250 mL) e outra de cor verde (200 mL); duas telas de Polietileno semelhantes nas cores verde e branca; duas telas também de Polietileno na cor preta, sendo diferenciadas pelo espaçamento entre as malhas, uma promovendo 50% de sombreamento e a outra 80%; e embalagens aluminizadas, denominadas Tetrapak. Com isso, estudou-se por mais de um ano (de 10/01/2020 até 22/01/2021) o desempenho que o emprego das proteções proporciona na minimização das taxas de evaporação. Foram feitos comparativos semanais entre a evaporação nos reservatórios cobertos e um outro exposto às condições atmosféricas locais. Percebeu-se que a cobertura mais eficiente na diminuição das taxas foi a composta de garrafas PET na cor verde, com uma redução de aproximadamente 50%. As garrafas incolores também evidenciaram um bom desempenho com mais de 40% de redução. Por sua vez, as embalagens aluminizadas mitigaram 39,36%, apesar da rápida degradação. De modo geral, as telas apresentaram boas reduções, principalmente no período mais quente, contudo não tão satisfatórias quanto os materiais já citados. Com o tratamento estatístico dos dados, avaliando os dias em que não houveram precipitações ou que as precipitações foram inferiores a 1 mm, percebeu-se um desempenho satisfatório das análises, com bons valores de dispersão. Nessa análise, identificou-se uma diferença na evaporação média diária próxima de 4 mm entre os reservatórios cobertos com as garrafas e o de superfície exposta, nas duas etapas da pesquisa. Por fim, foi feito um comparativo entre métodos estimativos das taxas de evaporação com os valores coletados no reservatório de superfície livre. Esses modelos, utilizam os dados meteorológicos para suas estimativas de cálculo, são eles: Thornthwaite (1948), Kohler *et al.* (1995) e Linacre (1993). Observou-se que o método de Thornthwaite (1948) subestima a

evaporação, o de Linacre (1993) superestima e o de Kohler *et al.* (1955) é aquele que mais se aproxima da evaporação identificada na área.

Palavras-chave: evaporação; reservatório; proteção; cobertura; água.

ABSTRACT

The regions with a semi-arid climate, as is the predominant case in the Brazilian Northeast, suffer too much from water scarcity and its effects. This problem can be attributed to the fact that the region is characterized by an expressive hydrological variability, with low levels of precipitation and high evaporation rates, and by the relatively extreme climatic parameters, such as air temperature and solar incidence, which only aggravate the needs water in different uses. Given this context, the present study aimed to evaluate ways to mitigate water losses by the phenomenon of evaporation, in small water bodies. In order to do so, different materials were analyzed, which function as physical coverings on the surface of liquids, acting as barriers against solar energy and wind and, consequently, reducing evaporation rates. These materials used to form the barriers were: two models of PET bottles (Polyethylene terephthalate), one with a colorless material (250 mL) and the other with a green color (200 mL); two similar Polyethylene screens in green and white; two screens also made of Polyethylene in black, distinguished by the spacing between the meshes, one providing 50% shading and the other 80%; and aluminized packaging, called tetrapak. Thus, it was studied for more than a year (from 01/10/2020 to 01/22/2021) the performance that the use of protections provides in minimizing evaporation rates. Weekly comparisons were made between evaporation in covered reservoirs and another exposed to local atmospheric conditions. It was noticed that the most efficient coverage in reducing rates was the one composed of PET bottles in green color, with a reduction of approximately 50%. Clear bottles also performed well with over 40% reduction. In turn, aluminized packages mitigated 39.36%, despite the rapid degradation. In general, the screens showed good reductions, especially in the hottest period, but not as satisfactory as the materials already mentioned. With the statistical treatment of the data, evaluating the days in which there was no precipitation or when the precipitation was less than 1 mm, a satisfactory performance of the analyzes was noticed, with good dispersion values. In this analysis, a difference in the average daily evaporation close to 4 mm was identified between the reservoirs covered with the bottles and the one with an exposed surface, in both stages of the research. Finally, a comparison was made between estimation methods of evaporation rates with the values collected in the free surface reservoir. These models use meteorological data for their calculation estimates, they are: Thornthwaite (1948), Kohler et al. (1995) and Linacre (1993). It was observed that the method of Thornthwaite (1948) underestimates evaporation, that of Linacre (1993) overestimates and that of Kohler et al. (1955) is the closest to the evaporation identified in the area.

Keywords: evaporation; reservoir; protection; roof; water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Área de estudos no Centro Acadêmico do Agreste	35
Figura 2- Dimensões das projeções das garrafas, em cm	40
Figura 3- Maseira plástica utilizada como reservatório	44

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1-	Aplicação das coberturas de telas do tipo mosquiteiro	37
Fotografia 2-	Aplicação das coberturas de telas preta – telas de sombreamento..	38
Fotografia 3-	Aplicação das coberturas de garrafas PET	39
Fotografia 4-	Aplicação da cobertura de tetrapak	43
Fotografia 5-	Exemplificação da leitura pela medição direta	45
Fotografia 6-	Reservatório de água do campus, sombreando os reservatórios na área de estudos	50
Fotografia 7-	Sombreamento na área de estudos com os reservatórios	51
Fotografia 8-	Configuração inicial dos reservatórios	51
Fotografia 9-	Alteração na disposição dos reservatórios	52
Fotografia 10-	Nova disposição dos reservatórios de estudo	52
Fotografia 11-	Registro de depósito de lodo nos reservatórios	53
Fotografia 12-	Reservatórios instalados inicialmente na área do IPA-Caruaru	54
Fotografia 13-	Disposição do local após o registro do furto	55
Fotografia 14-	Situação da cobertura de tetrapak	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-	Dados climatológicos, referentes ao período de janeiro de 2020 a janeiro de 2021	55
Gráfico 2-	Valores de evaporação medida, em mm, para cada reservatório na Etapa 1	57
Gráfico 3-	Curvas de evaporação acumuladas para os reservatórios testados, Etapa 1	58
Gráfico 4-	Valores de evaporação medida, em mm, para cada reservatório na Etapa 2	62
Gráfico 5-	Curvas de evaporação acumuladas para os reservatórios testados, Etapa 2	64
Gráfico 6-	Comparativo dos métodos estimativos de cálculo da evaporação líquida, no período de janeiro de 2020 até janeiro de 2021	68
Gráfico 7-	Curvas acumuladas das taxas de evaporação teóricas e medida	71

LISTA DE MAPAS

Mapa 1-	Atual contorno do Semiárido brasileiro	25
Mapa 2-	Local de estudo, cidade de Caruaru, em Pernambuco	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Relação da temperatura com a pressão de saturação do vapor de água ...	22
Tabela 2-	Eficiência na redução da evaporação para os reservatórios testados na Etapa 1	59
Tabela 3-	Evaporação média diária e desvio padrão da evaporação média diária na Etapa 1	61
Tabela 4-	Eficiência na redução da evaporação para os reservatórios testados na Etapa 2	65
Tabela 5-	Evaporação média diária e desvio padrão da evaporação média diária na Etapa 2	67
Tabela 6-	Valores de evaporação total teórica e medida	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1	EVAPORAÇÃO	20
3.2	FATORES INTERVENIENTES	21
3.2.1	Radiação solar	21
3.2.2	Temperatura do ar	21
3.2.3	Umidade relativa do ar	22
3.2.4	Vento	23
3.2.5	Pressão atmosférica	23
3.2.6	Área da superfície evaporante	23
3.2.7	Presença vegetal - Cobertura verde	23
3.3	EVAPORAÇÃO NO SEMIÁRIDO	24
3.4	EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS	27
3.5	MEDIDAS APLICADAS NA TENTATIVA DE MINIMIZAÇÃO DOS EFEITOS DA EVAPORAÇÃO	30
4	METODOLOGIA	34
4.1	ÁREA DE ESTUDOS	34
4.2	MATERIAIS UTILIZADOS	35
4.2.1	Telas	36
4.2.2	Garrafas PET	38
4.2.3	Tetrapak	42
4.2.4	Masseiras plásticas	43
4.3	QUANTIFICAÇÃO DA EVAPORAÇÃO	44
4.3.1	Medições diretas	44
4.3.2	Medições indiretas – Métodos estimativos	46
4.3.2.1	Modelo de Thornthwaite (1948)	46
4.3.2.2	Modelo de Kohler <i>et al.</i> (1955)	48
4.3.2.3	Modelo de Linacre (1993)	49

4.4	ANÁLISES DA EVAPORAÇÃO	49
4.5	ALTERAÇÕES EXECUTADAS	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5.1	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO – PERÍODO DO ESTUDO	55
5.2	AVALIAÇÃO DA EVAPORAÇÃO – ETAPA 1: CINCO DIFERENTES COBERTURAS	56
5.3	AVALIAÇÃO DA EVAPORAÇÃO – ETAPA 2: SETE DIFERENTES COBERTURAS	61
5.4	AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS ESTIMATIVOS DA EVAPORAÇÃO	68
6	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

A evaporação é caracterizada como uma importante parte envolvida no balanço hídrico e de calor em reservatórios e lagos, pois é o fenômeno natural que transporta significativas quantidades de água e energia para a atmosfera (LENTERS; KRATZ; BOWSER, 2005). Dessa maneira, alguns autores, como Zhang *et al.* (2017), consideraram o processo de evaporação como uma “perda” relevante do volume de água dos corpos hídricos, principalmente em regiões que padecem com escassez hídrica e, conseqüentemente, convivem com conflitos entre os múltiplos usos da água, dentre os quais pode-se citar: abastecimento, consumo de animais, irrigação, hidroeletricidade e indústria.

A partir desse contexto, é imprescindível pontuar o fundamental papel da evaporação no planejamento e gerenciamento de obras hídricas, sendo evidente desde as fases de elaboração dos projetos até durante toda operação do corpo hídrico. Fontes *et al.* (2003) destacaram que tal fenômeno deve ser cuidadosamente estudado para aprimorar a utilização das águas reservadas. Os mesmos autores ressaltaram ainda, a possibilidade de que a desconsideração da evaporação na planificação dos reservatórios, ocasione superdimensionamentos e conseqüentes problemas com a qualidade da água que não se renova, somente evapora.

Historicamente, foram elaborados e desenvolvidos diferentes modelos/métodos estimativos das taxas de evaporação em lagos e reservatórios. Nessa perspectiva, Leão *et al.* (2013) mencionaram que a fundamentação para os modelos está no balanço de energia e hídrico, nos processos de transferência, métodos aerodinâmicos e métodos combinados por meio de formulações empíricas ou semiempíricas, e pelos tanques de evaporação. E Pereira *et al.* (2009) afirmaram que os métodos dependem das variáveis meteorológicas e citaram alguns dos principais já elaboradores, como: Penman (1948), Kohler *et al.* (1955), Morton (1983) e Linacre (1993), entre outros.

É interessante compreender os parâmetros que afetam diretamente nas quantidades de água cedidas para atmosfera. Primeiramente, destacam-se as variáveis meteorológicas como radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica e velocidade do vento (BOU-FAKHREDDINE *et al.*, 2019). Secundariamente, as características físicas do reservatório como tamanho, forma e profundidade, além da qualidade da água e circulação, e até mesmo sua localização (ANTONOPOULOS *et al.*, 2016).

No Brasil, existe geralmente uma carência de investigações, em pesquisas e experimentações, voltadas especificamente para evaporação em lagos e reservatórios. Tal questão pode ser justificada pela escassez relevante de informações básicas, como a falta de dados meteorológicos nas proximidades dos mananciais (OLIVEIRA *et al.*, 2005). Bou-

Fakhreddine *et al.* (2019) afirmaram que esse impasse ocorre normalmente em países em desenvolvimento, devido aos elevados custos agregados nos sistemas de obtenção de dados e a falta de mão-de-obra especializada na operação.

Com base nesse viés, é fundamental discutir a questão do Semiárido nordestino brasileiro. Nunes *et al.* (2016) compreenderam que o gerenciamento dos recursos hídricos nessa região é altamente difícil, pelo fato de apresentar expressiva variabilidade hidrológica. Tal ocorrência é atribuída às circunstâncias climáticas extremas, que ocasionam em elevadas taxas de evaporação, e ao regime pluviométrico irregular.

Diante desse contexto, a presente pesquisa teve como foco avaliar maneiras de minimizar os efeitos indesejados ocasionados pela evaporação, em pequenos corpos hídricos no Semiárido nordestino. Com base nesse viés, foram investigadas as eficiências de alguns materiais que evitam, em partes, a transferência das águas para atmosfera por meio do fenômeno, servindo como uma espécie de barreira física. Os materiais utilizados são diferentes telas de polietileno, nas cores verde, branca e preta, garrafas pet, transparentes e verdes, e embalagens com fina película aluminizada, popularmente conhecidas como tetrapak.

Por fim, é importante mencionar que todos os materiais adotados são de baixo valor agregado, visando baratear os custos de implementação, operação e manutenção das proteções. Foram avaliados também, a representatividade de alguns dos métodos de estimativa da evaporação de superfície líquida na região, são eles: Thornthwaite (1948), Kohler *et al.* (1995) e Linacre (1993).

2 OBJETIVOS

Neste tópico serão apresentados os objetivos geral e específicos.

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de coberturas que funcionem como barreiras físicas protetoras, com o intuito de minimizar as perdas de água para atmosfera, por meio do fenômeno meteorológico da evaporação, em pequenos reservatórios rurais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar meios simples, práticos, duráveis e baratos para reduzir a evaporação em pequenos açudes do Semiárido nordestino e, conseqüentemente, mitigar os efeitos ocasionados pelo fenômeno aos pequenos produtores rurais.

- Estimar a evaporação pelos métodos estimativos de Thornthwaite (1948), Kohler *et al.* (1955) e Linacre (1993) e comparar os resultados com as medições efetuadas em campo, visando determinar o modelo que mais se aproxima da realidade, na região de estudo.

- Verificar os efeitos causados pelas variações dos parâmetros meteorológicos devido a sazonalidade climática na dinâmica do processo de evaporação.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico serão apresentados aspectos conceituais sobre os parâmetros relevantes na observação dos efeitos de evaporação, além de estudos realizados para a região do Nordeste.

3.1 EVAPORAÇÃO

De acordo com Tucci e Beltrame (2001), a evaporação é o fenômeno físico que transforma a água no estado líquido para o vapor de água e, posteriormente, a transporta para a atmosfera. Destacaram ainda que a evaporação necessita da energia solar e dos processos de difusão molecular e turbulenta para acontecer naturalmente.

Nesse contexto, conforme Bezerra (2014) acrescentou, a evaporação é o processo natural e consecutivo de transição da água líquida para o estado de vapor. Esse fenômeno ocorre devido à agitação térmica molecular. Pois, as moléculas da água estão em constante movimento, assim adquirem energia suficiente para romper as forças de coesão molecular (tensão superficial) e, conseqüentemente, são transferidas para o meio atmosférico. Dessa forma, a evaporação ocorre por meio da absorção de calor, sendo fisicamente caracterizada como um processo endotérmico.

Collischonn e Dornelles (2015) ressaltaram que para a ocorrência do fenômeno da evaporação são necessárias duas condições básicas. A primeira delas, é preciso que tenha o fornecimento de energia originária da radiação solar. Já a segunda, é imprescindível que exista um gradiente de concentração de vapor, ou seja, uma diferença entre a pressão de saturação do vapor (na temperatura da superfície evaporante) e a pressão de vapor do ar.

Segundo Tucci e Beltrame (2001), a evaporação das superfícies líquidas evaporantes pode ser calculada com fundamentos físicos, por meio de equações empíricas. Os métodos comumente empregados para estimativa são baseados em: transferência de massa, balanço de energia, equações empíricas, balanço hídrico e evaporímetros.

Mediante Silva (2015), o fenômeno hidrológico da evaporação é caracterizado de duas maneiras, são elas: evaporação potencial e evaporação real (ou atual). A primeira, é percebida quando não existe uma limitação de água superficial, logo, o fenômeno é regido pelas condições atmosféricas, são exemplos: oceanos e reservatórios. Já a segunda, é regida pela disponibilidade e circunstâncias em que o recurso hídrico se encontra, por exemplo: na umidade do solo ou pela fisiologia vegetativa. Nesse contexto, as duas se equivalem nos casos de lagos, lagoas e reservatórios.

A partir desse contexto, é fundamental pontuar que, assim como Zhang *et al.* (2017), muitos autores caracterizaram o fenômeno da evaporação como uma perda de água indesejada

por parte dos mananciais e, conseqüentemente, deve ser tratada com significativa cautela no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Diante do exposto, Wurbs e Ayala (2014) destacaram a importância de assimilar detalhadamente os efeitos da evaporação em orçamentos de volume de reservatórios e sistemas fluviais para auxiliar no melhor desenvolvimento, alocação, gestão e utilização dos recursos hídricos.

3.2 FATORES INTERVENIENTES

São mencionados os principais fatores meteorológicos que interferem diretamente no fenômeno da evaporação.

3.2.1 Radiação solar

Segundo Martins (1976), a radiação solar é a energia motora para o fenômeno da evaporação acontecer. É importante mencionar, como destaca Paz (2004), que a energia do sol incidente na superfície terrestre não é uniforme, sendo alterada de acordo com a posição geográfica, a presença de gases na atmosfera, a época do ano e as condições climáticas locais. Logo, como o comportamento da evaporação depende diretamente da energia solar, ela é variável nas mais diversas regiões do planeta.

Collischonn e Dornelles (2015) acrescentaram que a energia solar incidente, na atmosfera e na superfície terrestre, é em partes refletida e passa por modificações. Diante disso, ressaltaram também que o tipo de radiação de interesse das estimativas de evaporação é a radiação solar líquida, definida como a radiação de ondas curtas absorvidas pela superfície menos a radiação de ondas longas emitidas pela superfície.

3.2.2 Temperatura do ar

De acordo com Collischonn e Dornelles (2015), variações de temperatura do ar podem acarretar em modificações no volume de vapor de água presente no ar. Dessa forma, quanto mais elevada a temperatura do ar, maior é a capacidade do ar em ter vapor de água, favorecendo o aumento do gradiente da concentração de vapor. Logo, a constatação de maiores temperaturas do ar é favorável ao aumento das taxas de evaporação.

Martins (1976) destacou também que a elevação da temperatura afeta diretamente a evaporação, por aumentar o índice da pressão de saturação do vapor de água, maximizando o suporte de vapor de água no ar, para o estado de saturação. Nessa perspectiva, o autor afirmou que para cada variação positiva de 10°C na temperatura do ar, a pressão de saturação eleva-se cerca de duas vezes, como é possível perceber na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação da temperatura com a pressão de saturação do vapor de água.

Temperatura do ar (°C)	Pressão de vapor (atm)
0	0,0062
10	0,0125
20	0,0238
30	0,0431
40	0,0750

Fonte: Adaptado de Martins (1976).

Com isso, é imprescindível analisar o papel fundamental da temperatura do ar no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos. Nessa perspectiva, segundo Campos (2013), a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) aconselhou, por exemplo, que os cultivos não sejam irrigados no período das 11:00 até às 17:00 horas, visto que é nesse intervalo que se tem a maior incidência solar nas superfícies e, conseqüentemente, maior temperatura e maior evaporação. São medidas como essa que visam mitigar os efeitos ocasionados pelas elevadas temperaturas, evitam os enormes desperdícios na utilização e otimizam o gerenciamento dos recursos hídricos.

3.2.3 Umidade relativa do ar

Varejão-Silva (2006) classificou a umidade relativa como sendo a quantidade de vapor de água contida no ar. Normalmente, é expressa por uma relação percentual entre a quantidade de vapor de água e a mesma quantidade de volume de ar se estivesse saturado de umidade, como é possível identificar na Equação 1.

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

em que: UR = umidade relativa (%); e_a = pressão de vapor atual (kPa); e_s = pressão de vapor na saturação (kPa).

Portanto, elevados valores de umidade do ar indicam que existe muito vapor de água presente na atmosfera. Assim, quanto maior a umidade, menores serão as taxas de evaporação. Varejão-Silva (2006) avaliou ainda que a concentração de vapor de água no ar é caracterizada por uma elevada variabilidade, identificada no tempo e no espaço.

3.2.4 Vento

Almeida (2016) classificou os ventos como o ar em movimento, e sua procedência é atribuída aos deslocamentos das massas de ar. Diante desse contexto, Torres et al. (2010) afirmaram que os ventos causam aumento na velocidade de evaporação, por arrastarem o ar que estava próximo a superfície evaporante. Tal questão pode ser justificada pelo fato de o vento realizar troca das camadas de ar nas proximidades das massas de água, que na maioria das vezes estão saturadas ou com umidade elevada, por outras com menor concentração de vapor de água. Com isso, é possível perceber a presença de um gradiente de concentração de vapor, ocasionando elevação nas taxas de evaporação.

3.2.5 Pressão atmosférica

Conforme Varejão- Silva (2006), a pressão atmosférica é qualificada como o peso aplicado pela coluna de ar por unidade de área. Nesse contexto, Martins (1976) mencionou que quanto menor a altitude, maior será a pressão e, conseqüentemente, menores serão as taxas de evaporação. Visto que, a pressão exercida na superfície do líquido é designada como um obstáculo na liberação das moléculas para a atmosfera, resultando nessa relação inversa entre pressão e evaporação. É fundamental pontuar que a interferência da pressão só é percebida, quando avaliada em grandes variações de altitude.

3.2.6 Área da superfície evaporante

De acordo com Bezerra (2014), a velocidade de evaporação será mais elevada para uma maior área de superfície evaporante. Ou seja, ao comparar dois corpos hídricos de mesmo volume e submetidos a iguais condições ambientais, um com profundidade superior e o outro com maior área superficial, o segundo irá dispor de taxas de evaporação mais significativas que o primeiro. Isso acontece porque em um grande espelho de água, a quantidade de moléculas em contato com a atmosfera é maior. Logo, elas terão maior liberdade para se desprender da superfície do manancial e, conseqüentemente, serem transferidas para a atmosfera.

3.2.7 Presença vegetal – Cobertura verde

Segundo Rodríguez *et al.* (2017), as macrófitas ou hidrófitas são plantas aquáticas encontradas em corpos hídricos ou em locais alagados. Podem ser encontradas totalmente submersas ou suas raízes e caules embaixo da água. São plantas modificadoras da estrutura do habitat e dos recursos alimentares, sendo responsáveis por alterar a fauna aquática.

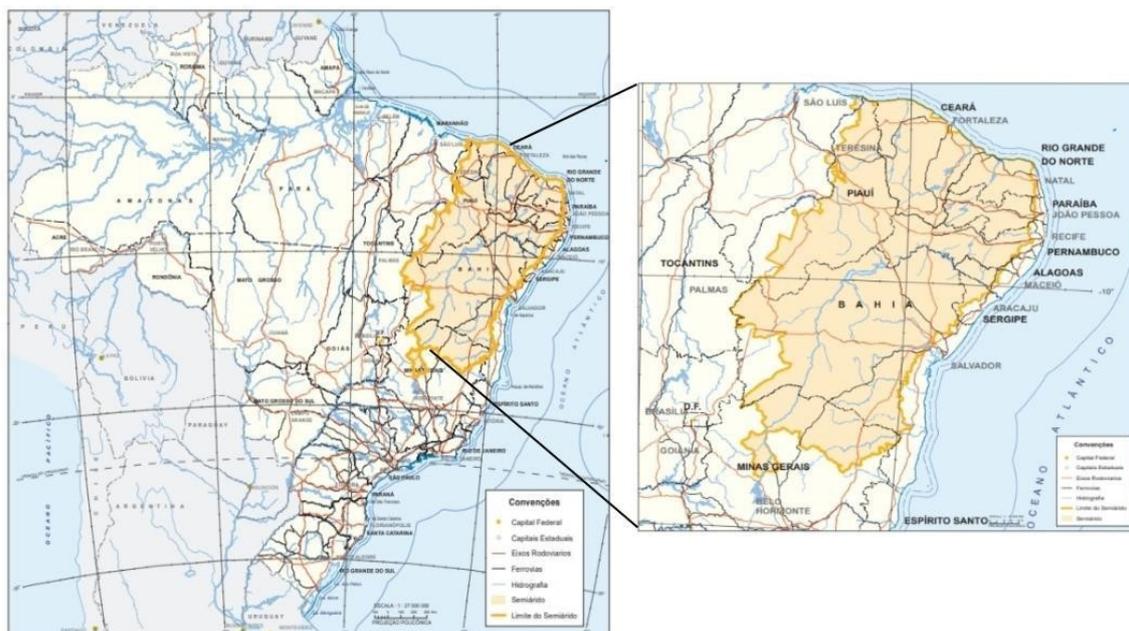
Rosa *et al.* (2009) ressaltam que a presença de macrófitas nos mananciais hídricos causam impactos diretos nos parâmetros climáticos que agem sobre a superfície dos líquidos e, conseqüentemente, na evaporação. Em uma primeira análise, destaca-se que essas plantas formam uma proteção física que bloqueia, em partes, a ação dos ventos e da incidência solar no corpo hídrico, além de diminuir a área da superfície exposta do reservatório. Em uma segunda análise, ressalta-se que algumas espécies cedem muita água por transpiração para a atmosfera, resultando em elevadas perdas de água por evapotranspiração. Assim, é importante avaliar como as características particulares de cada espécie podem impactar nas perdas de água, desde fatores morfofisiológicos e estruturais, até o próprio formato da planta.

Diante desse contexto, Castro (2008) estudou o impacto que a presença na superfície dos líquidos da espécie de macrófita, *Eichhornea crassipes* (Mart.) Solms, ocasiona nas perdas de água dos corpos hídricos, e identificou que esse tipo de planta é responsável por até 4,5 vezes mais perdas de água para a atmosfera. Por sua vez, Soares *et al.* (2016) avaliaram a espécie *Nymphaea alba* Linnaeus, e percebeu que tal tipo diminui as perdas em 14%, quando cobrindo uma área de 21% do reservatório. Contudo, essa redução cai para 4% após as plantas começarem a se degradar devido a ação do tempo.

3.3 EVAPORAÇÃO NO SEMIÁRIDO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), o semiárido brasileiro é formado por uma região que abrange parte do estado de Minas Gerais e pelo ao menos alguma fração de todos os nove estados do Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe). A composição atual envolve 1.262 municípios, ocupando uma área de 1,03 milhão de km², o que é equivalente a 12% do território nacional. A região semiárida brasileira está destacada no mapa, conforme Figura 1.

Mapa 1 - Atual contorno do Semiárido brasileiro.



Fonte: O Autor (2020).

Nota: Adaptado de IBGE.

Ainda segundo o IBGE (2018), os critérios técnicos e científicos para delimitação atual do semiárido brasileiro, foram definidos pelo Conselho Deliberativo (CONDEL) da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). A resolução mais recente do Conselho (n.115, de 23.11.2017) qualifica por semiárido as regiões que tiverem pelo ao menos uma das seguintes características:

- Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm;
- Índice de Aridez de Thornthwaite (obtida pela razão entre as precipitações e a evapotranspiração potencial (ET) igual ou inferior a 0,50);
- Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, levando em consideração todos os dias do ano.

A partir desse contexto, é fundamental pontuar as características hidroclimáticas que regem o Semiárido brasileiro, conforme Moura *et al.* (2007), a região apresenta temperaturas do ar médias anuais de 23° a 27°C, insolação média de 2.800 h.ano⁻¹, umidade relativa do ar em torno de 50 %, precipitações médias anuais inferiores a 800 mm e evaporação de 2.000 mm.ano⁻¹. Esse conjunto de parâmetros climáticos relativamente extremos, impactam em um balanço hídrico negativo na região, deixando evidente que uma parcela significativa das águas dos mananciais é cedida para atmosfera, por meio da evaporação. Com isso, a população se

torna intensamente dependente das águas das chuvas, de sua captação e, principalmente, do armazenamento, visto que a maioria dos rios apresentam regime intermitente.

Com base nesse viés, Brito *et al.* (2007) afirmaram que a característica mais relevante da região semiárida é a irregularidade da precipitação pluviométrica, que é evidente no tempo e no espaço. Tal fato, aliado as elevadas taxas de evaporação, são fatores que cooperam diretamente para minimizar a disponibilidade hídrica da região, acarretando em escassez de água. Além disso, degradam a qualidade das águas restantes, causando problemas como salinização, eutrofização e dificultando alguns dos usos nobres da água.

É válido destacar a fragilidade de uma significativa fração dos nordestinos ao passarem por longos períodos de secas prolongadas. Esse fator, é ainda mais alarmante quando relacionado as populações que residem em meio rural, devido à enorme necessidade das pessoas atrelada aos recursos hídricos para sobreviverem, irrigarem seus cultivos e criarem animais. Nessa perspectiva, Caetano (2018) tratou a falta de água, com qualidade e em quantidade necessárias, como um empecilho ao desenvolvimento da região do Semiárido. Com isso, fica evidente a importância da implementação de políticas e estudos que auxiliem no melhor aproveitamento e utilização dos recursos hídricos disponíveis.

A viabilidade das atividades agrícolas depende fortemente da presença de água para o seu sucesso, e essas atividades são de extrema importância social e econômica para o desenvolvimento de uma região. Como no semiárido os eventos chuvosos são poucos, irregulares no tempo e mal distribuídos, é fundamental utilizar meios de captação e armazenamento para aproveitar as águas das chuvas e suprir as necessidades pelo recurso durante os períodos secos. Diante desse contexto, Campello Netto *et al.* (2007) citaram quatro exemplos, comumente utilizados no aproveitamento, são eles: cisterna, poço, barragem subterrânea e pequeno açude.

Dessa forma, é possível identificar a relação direta do desenvolvimento regional com o melhor planejamento e gerenciamento dos reservatórios de água. Porém, não é o que acontece, predominantemente, com o nordeste brasileiro. Nessa perspectiva, Moura *et al.* (2007) relataram que porção significativa dos açudes são construídos com critérios de dimensionamento insuficientes e com mal planejamento, ocasionando problemas com a qualidade da água. Isso ocorre devido a pressuposições incorretas de que os vertimentos são perdas de água, gerando superdimensionamentos. Dessa forma, a água não é renovada, apenas evapora, acarretando no aumento da concentração de sólidos dissolvidos e, conseqüentemente, a salinização.

Nesse contexto, conforme relataram Cirilo *et al.* (2010), o Semiárido nordestino apresenta os seguintes indicadores problemáticos para o seu desenvolvimento: ocorrência de doenças de veiculação hídrica, com elevada mortalidade infantil e destaque da zona rural nos números; processo acelerado de desertificação, comprometendo uma área de 181.000 km²; superexploração de reservas e salinização em cerca de 600 mil hectares irrigados do Nordeste; e aumento da vulnerabilidade regional devido às mudanças climáticas. Tais fatores, geram consigo impasses na produtividade de diversas culturas, elevam a salinização das águas superficiais e subterrâneas, dificultam a geração de energia elétrica, diminuem as áreas irrigadas e causam deficiências no abastecimento público.

Portanto, a gestão efetiva dos recursos hídricos surge como desafio de enorme relevância para melhorias da região. Diante disso, Ferreira (2018) associou a gestão dos recursos hídricos como sendo a principal ferramenta para solucionar os conflitos atuais e futuros, e defendeu que deve ser implementada com inclusão, participação, cooperação e promoção da população. E, Tundisi (2014) designou como fundamental, além da gestão, o fortalecimento e o aumento da eficiência da infraestrutura hídrica para o desenvolvimento do Semiárido. Assim, por provocar perdas significativas de água, tanto qualitativas quanto quantitativas, a evaporação é um fenômeno de notória importância no gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos.

3.4 EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS

Pereira *et al.* (2009) estudaram o fenômeno da evaporação em um dos maiores reservatórios de água do mundo, o lago de Sobradinho, no estado da Bahia. Os autores avaliaram quatro métodos de cálculo da evaporação, que utilizam dados climáticos, e identificaram que o de Kohler *et al.* (1955) é o mais eficiente e pode servir de referência para pesquisas no lago. Tal modelo, estimou a evaporação líquida total anual em 1.330 mm, e considerando a enorme área do espelho de água do reservatório, fica evidente o grande volume de água cedido anualmente para atmosfera. É importante mencionar ainda, a comprovação feita de que a construção da barragem ocasionou em impactos ambientais no rio São Francisco, diminuindo a vazão média do rio em 163 m³.s⁻¹. Essa retirada, foi em uma maior fração atribuída a evaporação e em menor parcela a geração de energia nas usinas hidrelétricas, aos cultivos irrigados, dentre outras atividades.

Vieira (2015) analisou a evaporação em duas enormes barragens brasileiras, Sobradinho-BA e Três Marias-MG, por meio dos modelos de cálculo de Penman, Linacre, Kohler *et al.*, Thornthwaite, Complementary Relationship Lake Evaporation (CRLE) e pelo

método do tanque Classe A com diferentes coeficientes de tanque. Com base numa série histórica de dados, estimou as taxas para os diferentes métodos e realizou comparativos entre os mesmos. Para ambos os reservatórios, a autora identificou que o modelo de Linacre foi o que estimou o maior valor de evaporação média anual e o de Thornthwaite o menor. Outro fator importante destacado pela autora é que somente o modelo de Linacre apresentou sensibilidade à precipitação, por ser o único que leva em consideração esse parâmetro meteorológico em seus cálculos.

Bueno *et al* (2016) compararam a evaporação do reservatório da usina hidrelétrica de Camargos, em Minas Gerais, com a geração de energia elétrica, por meio da pegada hídrica. Para tanto, utilizaram os métodos estimativos de Linacre, Penman e Penman-Monteith, durante um período de quatro anos (2010 – 2014), e identificaram uma evaporação média anual de 1.329 mm.ano⁻¹. Observaram que os métodos apresentaram uma variabilidade semelhante em relação a sazonalidade. É necessário destacar ainda a constatação de que nos períodos de secas prolongadas, caracterizados por elevadas taxas de evaporação, a produção de energia se torna ineficiente. Isso acontece devido ao fato de que a quantidade produzida é pequena em relação as perdas por evaporação.

Tian *et al* (2021) elaboraram um relevante estudo de estimativa das perdas mensais de água por evaporação, em 916 grandes reservatórios de água, localizados na China, no período compreendido entre 1985 até 2018. Verificaram uma tendência crescente das taxas de evaporação no decorrer dos anos, fator esse que implica em preocupações para a melhor utilização das águas. Realizaram ainda um comparativo entre os reservatórios chineses e americanos, quanto ao comportamento em relação ao fenômeno. Percebeu-se que mesmo a capacidade de armazenamento não apresentando uma diferença significativa, os reservatórios chineses sofrem menores perdas de água que os americanos, e atribuíram isso ao formato característico, ou seja, na China os reservatórios são mais profundos e têm menores áreas superficiais, diferente dos Estados Unidos.

Althoff *et al.* (2019) desenvolveram estudos para aprimorar os modelos de estimativas da evaporação em pequenos reservatórios, na região do cerrado brasileiro. Os autores ressaltaram a importância da melhor quantificação da evaporação dos reservatórios no gerenciamento das águas, classificando-a como uma perda não benéfica. Nesse contexto, desenvolveram coeficientes de tanque em uma base mensal, sazonal e anual e quinze novas equações baseadas em dados climáticos, visando aperfeiçoar as estimativas de evaporação na região estudada. Identificaram ainda, que os parâmetros de entrada com melhor desempenho são a radiação solar e a umidade relativa.

Bou-Fakhreddinea *et al.* (2019) realizaram estimativas de evaporação, no Líbano, com um método que precisa de poucos dados meteorológicos, utilizando apenas temperatura do ar, umidade relativa e ponto de orvalho. Os autores perceberam uma correlação estatística forte entre as variáveis estudadas, sendo que aumentos de temperatura geraram em maiores taxas de evaporação, enquanto, elevações na umidade acarretaram diminuição de evaporação.

Os mesmos autores, identificaram ainda de forma isolada, o impacto financeiro que as perdas de água por evaporação causam nos setores de geração de energia elétrica e na agricultura com a irrigação. No primeiro caso, a perda financeira, se toda a água cedida para atmosfera fosse destinada à geração hidrelétrica, seria de aproximadamente 850 mil dólares, valor correspondente a 5,1% do lucro alcançado. Já no segundo, é possível identificar números ainda mais alarmantes com 43 milhões de dólares perdidos de lucro na irrigação. Com isso, fica nítido que o fenômeno da evaporação não deve ser negligenciado e destaca sua enorme relevância nas atividades que necessitam dos recursos hídricos.

Ainda diante desse contexto de impactos ocasionados pela evaporação, Wurbs e Ayala (2014) avaliaram o fenômeno em 3.415 reservatórios, durante um longo período de tempo, no estado do Texas, nos Estados Unidos. Para tanto, foi utilizado um sistema de modelagem. Estimaram uma perda anual média de 7,53 bilhões de m³ de água, o que seria correspondente a 61% do total utilizado na agricultura, ou 126% do uso para abastecimento municipal no ano de 2010, ou ainda 20% do armazenamento médio dos 3.415 reservatórios do estado. Tais índices, demonstram a fundamental influência que a evaporação deve ter nas estratégias de gerenciamento e planejamento dos corpos hídricos.

Diante da importância identificada pela evaporação na gestão das águas, é imprescindível pontuar que são de suma relevância os estudos para aprimorar os modelos de previsões futuras das taxas. Nessa perspectiva, Helfer *et al.* (2012) utilizaram uma série histórica de dados climáticos com o propósito de verificar os índices de evaporação futuros, em um grande reservatório na Austrália. As previsões indicaram que os índices tendem a aumentar em 8% até 2040 e em 15% entre os anos de 2070 a 2090, e atribuíram como principal causador os aumentos da temperatura da superfície. Os autores destacaram ainda que o país atualmente perde cerca de 40% do volume armazenado por evaporação, e isso é atribuído, principalmente, aos elevados índices de temperatura do ambiente. Assim, fica evidente a significância do fenômeno para melhor gestão dos mananciais de água.

3.5 MEDIDAS APLICADAS NA TENTATIVA DE MINIMIZAÇÃO DOS EFEITOS DA EVAPORAÇÃO

Existe uma elevada necessidade tecnológica de meios que otimizem o planejamento, a utilização e o aproveitamento dos recursos hídricos. Nesse contexto, identifica-se a importância de mitigar os efeitos causados pelo fenômeno da evaporação, evitando perdas para a atmosfera e modificações indesejadas na qualidade das águas. Diante do exposto, GallegoElvira *et al.* (2012), mencionaram que diferentes possibilidades de materiais foram testadas para amenizar a evaporação, como materiais flutuantes, produtos químicos, abrigos eólicos ou redes de sombra suspensas.

Han *et al.* (2020) afirmaram que as principais formas de diminuir os efeitos da evaporação superficial são barreiras químicas ou físicas. Um filme fino monocamada na superfície da água, composto por reagente químico, é denominado método químico. Esse, é mais barato e indicado para grandes áreas, em contrapartida, é menos eficiente e é facilmente danificado pelos ventos. Já os métodos físicos, reduzem a energia utilizada para a evaporação acontecer, modificando a atmosfera próxima à superfície da água. Pode ser suspenso, empregando uma rede de sombra porosa ou uma folha de plástico impermeável. Ou podem ser flutuantes, que são mais vantajosas por apresentarem menor custo de instalação.

Ereno (2006) apresentou um pó fino com características antievaporantes, composto de calcário e surfactantes, que ao ser despejado na superfície da água forma uma película ultrafina invisível a olho nu. Com a aplicação do produto, foi possível identificar uma redução média de 30% nas taxas de evaporação, tendo uma diminuição mínima de 14% e máxima de 55% durante as medições. Tal material, não influencia nas trocas gasosas de oxigênio e gás carbônico e não modificam a qualidade das águas, apenas serve como uma barreira protetora. É importante destacar ainda que pequenas quantidades do pó já são necessárias para proteger grandes espelhos de água, em compensação, por ser biodegradável, são requeridas reaplicações em um curto espaço de tempo.

Mozafari *et al.* (2019) empregaram monocamadas químicas como forma de mitigar as taxas de evaporação, compostas pelos álcoois cetílico e estearílico (1:9), adicionaram também hidróxido de cálcio na mistura, visando aumentar a taxa de espalhamento da monocamada. Nessa perspectiva, perceberam que a mistura de álcoois pode reduzir as taxas em até 41% e com o acréscimo da base a diminuição é cerca de 59%. Entretanto, ressaltaram que depois de apenas um dia, a monocamada já começou a se deteriorar. Outra constatação importante é que essa alternativa de bloqueio a evaporação minimiza as taxas limitando a saída das moléculas de água e não enfraquece as ondas formadas pelos ventos nem reflete a radiação solar.

Saraiva *et al.* (2001) analisaram a utilização de telas plásticas, de cores diferentes, como meio para reduzir as altas taxas de evaporação, no Semiárido do estado da Paraíba. Os dados climáticos na superfície da água foram obtidos por intermédio de um sistema automático denominado MICROLOGGERS 21X. Foi possível identificar que a tela de cor verde obteve um melhor resultado, reduzindo a média da evaporação em 37%, enquanto a de cor branca reduziu em 25%. Isso acontece porque a tela verde bloqueia mais a radiação solar (em 30%) do que a tela branca (em 22%). O autor esperava o inverso do que aconteceu ao final, pelo fato de, teoricamente, a cor branca refletir mais radiação do que a cor verde.

Alvarez *et al.* (2006) mensuraram a eficiência de diversas coberturas suspensas na mitigação das taxas de evaporação. Para tanto, avaliaram o comportamento de cada barreira em relação as variáveis climatológicas que impactam no processo, são elas: temperatura e umidade do ar, temperatura da água, radiação solar global e velocidade do vento. Identificaram que das telas de polietileno, a que apresentou o menor desempenho na redução foi a de cor branca com 54,7%, já o melhor foi a tela na cor preta utilizada com camada dupla, reduzindo 83,5%. Empregaram ainda, uma tela aluminizada com camada simples que apresentou uma redução de 51,5%.

Simon *et al.* (2016) avaliaram o uso de garrafas de tereftalato de polietileno (PET) como barreiras protetoras para minimizar as taxas de evaporação, na Índia. Diante desse contexto, empregaram oito tanques para os estudos, sendo quatro com as superfícies expostas as condições normais e os outros quatro cobertos com as garrafas. É importante ressaltar que nas garrafas de dois reservatórios foram colocados uma pequena quantidade de solo e as demais somente foram protegidas com telas de aço, visando evitar apenas que a ação dos ventos arraste as garrafas e deixem parte da superfície exposta. Ficou comprovado que tais medidas não causaram diferenças nas taxas. Identificaram uma redução média de 40% nos índices da evaporação e de 18%, com confiança de 90%, nos valores diários. Outra constatação relevante é que esses materiais reduzem os custos de implementação para até 1/3 em relação a outras medidas adotadas, como lonas.

Han *et al.* (2020) elaboraram um estudo experimental em uma região árida, no noroeste da China, com o clima propício a altas taxas de evaporação. Foram avaliados os impactos que esferas de polietileno de alta densidade causam nos componentes de evaporação e equilíbrio energético de um reservatório, e identificou-se que a taxa média de redução da evaporação foi de 70,6%. Tal fato ocorre devido às esferas reduzirem a área de proximidade da água com o meio atmosférico, ficando apenas 23,6% da superfície da água descoberta. É importante mencionar ainda que essa alternativa utilizada para minimizar as perdas de água apresenta baixo

custo de instalação e de manutenção, porém, o retorno do investimento é para um longo período. Assim, a tecnologia apresentada fornece maior vantagem ecológica do que financeira.

Zhang *et al.* (2020) analisaram o efeito que células fotovoltaicas flutuantes ocasionam na evaporação de reservatórios. Para tanto, utilizaram células solares de polímeros semitransparentes, que são montados em pontões flutuantes e ancorados na costa ou no leito da água. As medições da evaporação foram executadas por meio de uma configuração ótica neural. E perceberam que o sombreamento, causado pelas placas na superfície do líquido, reduz a temperatura da água e, conseqüentemente, a evaporação. Logo, é uma alternativa interessante no combate as perdas de água para atmosfera, que agrega como benefício a geração de energia. Em contrapartida, tem alto custo de implementação e manutenção.

É possível destacar ainda o emprego de materiais biológicos, atuando como barreiras físicas protetoras, com o mesmo intuito de reduzir a evaporação. Nessa perspectiva, Jat *et al.* (2010) identificaram uma diminuição percentual da evaporação de 59% com a utilização de palhas de milho, funcionando como uma cobertura flutuante. Ressalta-se que esse material é comumente empregado como complemento alimentar na criação de animais, principalmente bovinos. Os autores perceberam que tal resíduo agrícola causa essa minimização da evaporação por impactar na condensação da água evaporada e por pequenas alterações na circulação do ar. Entretanto, observaram modificações na qualidade das águas, principalmente nas características: odor, sabor e cor.

Alam e AlShaikh (2013), por sua vez, realizaram um estudo em uma região de clima árido, na Arábia Saudita, e empregaram folhas de palmeiras como proteção suspensa. Em uma primeira análise, perceberam que com uma camada simples das folhas a evaporação diminuiu em 47%. Em uma segunda análise, identificaram que com uma camada dupla das folhas a redução foi de 58%. Com isso, os autores concluíram que a cobertura de camada dupla não é vantajosa, pelo fato de aumentar os custos e ser superior em apenas 19% em relação a cobertura de camada simples, na diminuição da evaporação. Destacaram ainda que o impacto na evaporação é atribuído a redução da energia disponível para a evaporação, a redução da ação do vento sobre a superfície da água e por reter o ar úmido sob a cobertura.

Além dos meios já citados, que tem como característica em comum o emprego na lâmina de água de forma direta (flutuante) ou suspensa, existem outros com a mesma finalidade de diminuir as taxas de evaporação, contudo empregam mecanismos diferentes. Isso, por exemplo, é identificado na utilização de quebra-ventos, que podem ser naturais (arbóreos) ou artificiais. Diante desse contexto, Monfared *et al.* (2019) obtiveram resultados satisfatórios em seus

estudos, adotando quebra-ventos artificiais, observaram uma redução máxima de 74,1% na evaporação e 73,71% na velocidade do vento.

Dessa forma, são detectadas inúmeras maneiras de amenizar os impactos negativos de perdas de água que as altas taxas de evaporação causam, desde pequenos açudes até reservatórios de grandes proporções. Assim, é de imprescindível relevância a avaliação do melhor meio ou material a utilizar, avaliando diversas questões, como: viabilidade econômica de implementação, operação e manutenção, impactos sociais, impactos ambientais e na qualidade da água, disponibilidade, duração e eficiência do material, dentre outros.

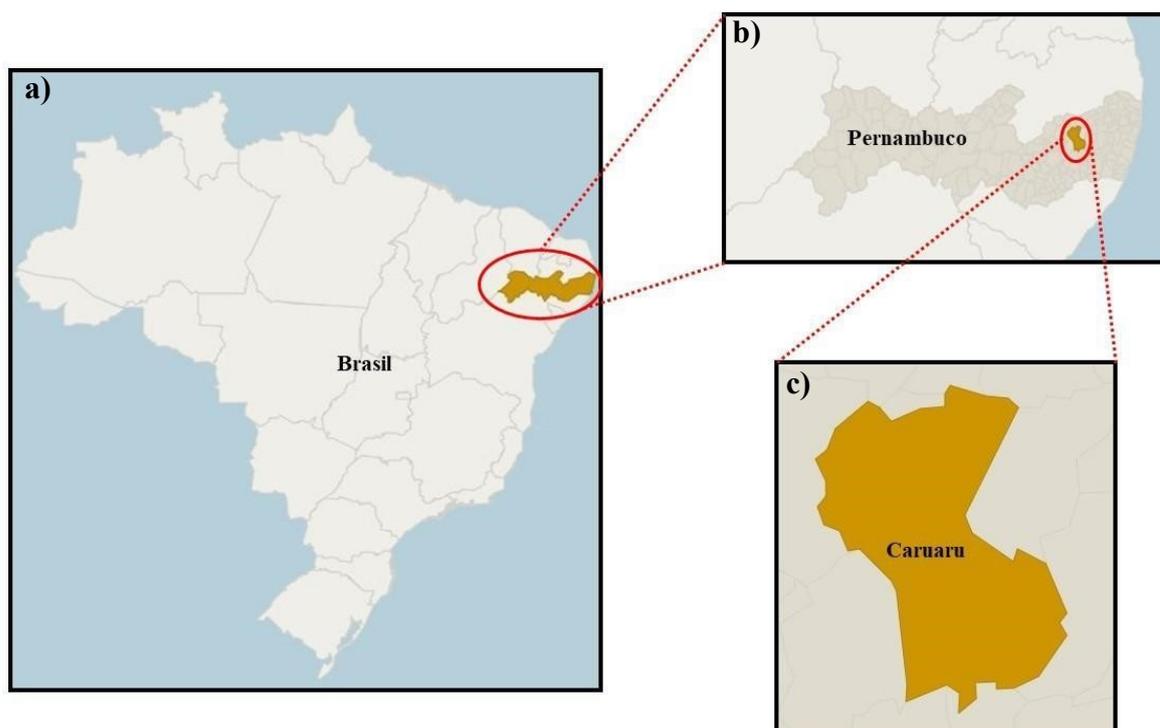
4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDOS

O presente estudo foi desenvolvido no Centro Acadêmico do Agreste (CAA), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), que está situado no município de Caruaru - PE.

Caruaru está localizada na mesorregião do Agreste e na microrregião do Vale do Ipojuca do estado de Pernambuco, tendo coordenadas $08^{\circ} 17' 00''$ S e $35^{\circ} 58' 34''$ W (Figura 2). Situa-se a cerca de 140 km da capital do Estado, Recife. Possui população de aproximadamente 361.118 habitantes (IBGE, 2019). O clima é tropical do tipo semiárido com pouca pluviosidade ao longo do ano, sendo junho e julho os meses mais chuvosos e outubro o mês mais seco. As temperaturas médias variam entre $21,7^{\circ}\text{C}$ a $24,0^{\circ}\text{C}$. Janeiro é o mês mais quente ($23,3^{\circ}\text{C}$) e julho, o mais frio ($19,5^{\circ}\text{C}$) (CARUARU, 2020).

Mapa 2 - Local de estudo, cidade de Caruaru, em Pernambuco.



- a) Estado de Pernambuco no mapa do Brasil; b) município de Caruaru no mapa de Pernambuco;
c) mapa de Caruaru.

Fonte: O Autor (2020).

Nota: Adaptado de IBGE.

O Centro Acadêmico do Agreste (CAA) foi o primeiro campus da UFPE no interior de Pernambuco, tendo sido inaugurado em março de 2006, com o objetivo de promover o desenvolvimento social, econômico e cultural do Estado (Figura 3). Com isso, contribui positivamente no atendimento às demandas da região, interiorizando o conhecimento científico, preparando a população para o desenvolvimento adequado das atividades produtivas por ela assumidas e incentivando iniciativas que venham garantir melhores condições de vida (UFPE, 2020).

Figura 1 - Área de estudos no Centro Acadêmico do Agreste.

a) área do campus da Universidade;



b) local de instalação dos experimentos;

c) experimentos instalados inicialmente.

Fonte: O Autor (2021),

Nota: Adaptado de Google Earth.

4.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Na sequência serão apresentados os materiais utilizados como cobertura dos reservatórios, no intuito de redução da taxa de evaporação.

4.2.1 Telas

As telas foram empregadas com o intuito de formar uma barreira física, porosa e suspensa que bloqueia, em partes, a energia solar incidente na superfície da água e modifica as condições atmosféricas nas proximidades do corpo hídrico.

A avaliação de diferentes cores é relevante pelo fato de existir a possibilidade de uma determinada cor irradiar mais (ou menos) e também absorver mais (ou menos) a energia solar incidente. Com isso, é identificada a hipótese de cores variadas apresentarem eficiências diferentes no bloqueio da evaporação. Tal suposição foi evidenciada por Saraiva *et al.* (2001) e Alvarez *et al.* (2006), que perceberam que telas semelhantes de cores distintas impactam de maneiras desiguais nas taxas de evaporação.

Além da mensuração de diferentes cores das telas, estudou-se também como o espaçamento das malhas de composição pode modificar a eficiência da barreira no impedimento aos efeitos do fenômeno. Para tanto, utilizou-se dois tipos de telas na cor preta com distintas estruturas das malhas, visando identificar como o percentual de cobertura pode interferir nas condições atmosféricas próximas da superfície do líquido e alterar a evaporação.

Utilizou-se telas verde e branca do tipo Mosquiteiro. De acordo com o fabricante, são compostas por polietileno de elevada densidade e resistência, com proteção ultravioleta e a confecção é feita por intermédio de um processo de monofilamento, denominado Raschel, que fornece a tela a característica de não desfiar.

Normalmente, esse tipo de tela é aplicada para proteção de ambientes residências, comerciais, hospitalares e industriais, contra insetos e pequenos animais, conferindo aos usuários segurança, tranquilidade, conforto e proteção sem o impedimento da circulação de ar nos ambientes. Fornece ainda, bloqueio de poeira, pelos e pólen. Abaixo é possível identificar a utilização das mesmas no experimento (Figuras 4).

Como a finalidade principal dessas telas é proteger contra insetos e não promover sombreamento a áreas e locais, o fabricante não fornece o percentual de fechamento que tal material promove em seus catálogos de vendas. Contudo, em contato com um revendedor da empresa, responsável pela fabricação, foi informado que a porcentagem de cobrimento das telas do tipo mosquiteiro é de 14%.

Fotografia 1 - Aplicação das coberturas de telas do tipo mosquiteiro.

a) tela verde



b) tela branca



Fonte: O Autor (2021).

Também foram utilizadas telas pretas, denominadas tela de sombreamento. Da mesma forma que as anteriores, se configura no experimento como uma barreira física, porosa e suspensa que bloqueia, em partes, a energia solar incidente na superfície da água e modifica as condições atmosféricas nas proximidades do corpo hídrico.

Geralmente, são empregadas em culturas de frutas, folhas, hortaliças, na pecuária e em coberturas de quadras, pátios e estacionamentos. Promovendo a esses ambientes luminosidade, conforto térmico, além de proteção ao aparecimento de pragas. São capazes ainda, de proteger contra o vento, o sol, o granizo, galhos, folhas, insetos e pequenos animais.

De acordo com os fabricantes, são compostas por fios de polietileno de alta densidade e resistência. Recebe pigmento preto e aditivos contra a ação dos raios ultravioleta e também é de monofilamento, confeccionada pelo sistema de trama Raschel, por isso, não desfia e possui uma resistência superior, permitindo recortes, fixação e acabamento mais eficientes. Ainda de conforme o fabricante, existem distintos modelos desses materiais, que promovem diferentes percentuais de sombreamento nos ambientes aos quais se destinam.

É fundamental pontuar que foram empregados dois tipos distintos de telas pretas, diferenciando-as pelo espaçamento das malhas, ou seja, pelo percentual de cobertura da superfície do líquido que o material proporciona. Conforme o fabricante, a de maior espaçamento entre as malhas apresenta um sombreamento de 50% da superfície. Já a de menor,

evidencia um percentual de 80% de cobertura. Além do bloqueio de parte da energia solar incidente, esses materiais podem se comportar de maneiras distintas frente as variáveis atmosféricas nas proximidades dos reservatórios.

Fotografia 2 - Aplicação das coberturas de telas preta – telas de sombreamento.

a) tela mais espaçada – 50% de sombreamento;

b) tela menos espaçada – 80% de sombreamento.



Fonte: O Autor (2021).

4.2.2 Garrafas PET

Popularmente conhecidas pela abreviatura PET, as embalagens plásticas utilizadas para comercializar água, refrigerantes, sucos, óleos e outros, são fabricadas por meio de um polímero termoplástico, denominado polietileno tereftalato. Tais embalagens são cada vez mais usadas pelos humanos e descartadas de maneira incorreta no meio ambiente, poluindo lagos, rios e oceanos. Diante desse contexto, visando o desenvolvimento sustentável, é relevante sua reutilização, mesmo que seja um material que favorece o reprocessamento.

As garrafas PET, no combate as taxas de evaporação, formam uma proteção física flutuante por estarem em contato direto com a superfície da água. As barreiras flutuantes, em geral, apresentam ampla vantagem econômica em relação as barreiras suspensas, tanto na implementação quanto na manutenção, e são melhores para refletir os raios solares incidentes. Nessa perspectiva, seu uso poderá acarretar em ganhos econômicos significativos por gerar

economia de água evitando a evaporação, por ser um material de baixo custo agregado e por ter um tempo de decomposição muito elevado, se tornando uma alternativa durável.

No presente trabalho, além de verificar a eficiência das garrafas PET no bloqueio da evaporação, são avaliadas garrafas de duas cores distintas para estudar a interferência da coloração na evaporação, são elas: verde e transparente. É importante destacar ainda que são embalagens de refrigerantes diferentes, conseqüentemente, a comercialização é feita em volumes também diferentes. A capacidade da garrafa na cor verde é de 200 mL, já a transparente é de 250 mL.

Fotografia 3 - Aplicação das coberturas de garrafas PET.

a) garrafas PET verdes;



b) garrafas PET transparentes.

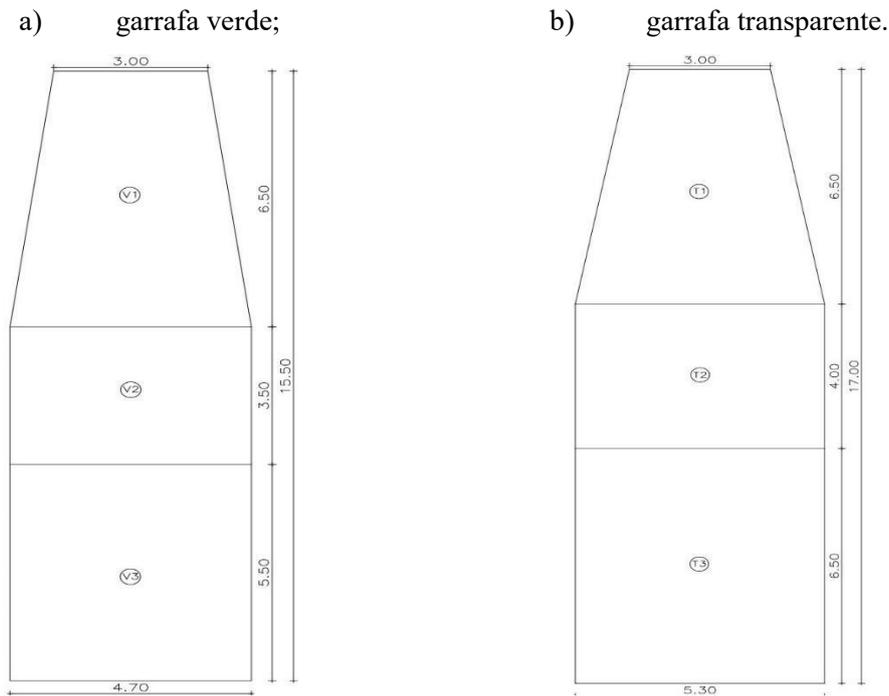


Fonte: O Autor (2021).

Na Figura 6, identificam-se as coberturas em utilização. Com a finalidade de manter a superfície da água mais coberta possível, mantem-se as garrafas amarradas umas às outras, evitando que o vento as arraste e deixe parte da superfície descoberta, diminuindo a eficiência da barreira.

Outro fator relevante a destacar é o percentual de cobertura que as garrafas proporcionam a superfície do líquido. Quanto maior a porcentagem, maior tende a ser o bloqueio da energia solar e da ação do vento e, assim, menores as taxas de evaporação. Na Figura 7, observa-se as geometrias das projeções aproximadas das garrafas utilizadas.

Figura 2 - Dimensões das projeções das garrafas, em cm.



Fonte: O Autor (2021).

É necessário ressaltar que essas projeções são divididas em três figuras de geometria plana, são elas: dois retângulos e um trapézio. Com isso, para realizar o cálculo da área de projeção de cada garrafa é necessário somar as três áreas. Todos os valores são identificados nas figuras acima.

Área de projeção de cada garrafa verde:

$$A_V = A_{V1} + A_{V2} + A_{V3} \quad (2)$$

$$A_V = \frac{(4,7 + 3) \cdot 6,5}{2} + 3,5 * 4,7 + 5,5 * 4,7$$

$$A_V = 67,33 \text{ cm}^2$$

Por sua vez, a área de projeção de cada garrafa transparente se dá por:

$$A_T = A_{T1} + A_{T2} + A_{T3} \quad (3)$$

$$A_T = \frac{(5,3 + 3) \cdot 6,5}{2} + 5,3 * 4 + 5,3 * 6,5$$

$$A_T = 82,63 \text{ cm}^2$$

Após a obtenção da área individual de cada garrafa, é possível calcular a área total que a cobertura fornece a superfície do líquido. Para tanto, basta multiplicar essa área unitária pela quantidade de garrafas. Como os reservatórios empregados tinham a mesmas áreas superficiais e as garrafas são de medidas diferentes, foram necessárias uma quantidade maior de garrafas da cor verde do que transparente, sendo 20 destas e 24 daquelas.

Área total ocupada pela cobertura de garrafas verdes:

$$A_{V_{TOTAL}} = A_V * 24 \quad (4)$$

$$A_{V_{TOTAL}} = 1615,92cm^2$$

Já as garrafas transparentes ocupam no total:

$$A_{T_{TOTAL}} = A_V * 20 \quad (5)$$

$$A_{T_{TOTAL}} = 1652,6cm^2$$

Como será pontuado no próximo tópico, os reservatórios utilizados nos estudos, de acordo com o fabricante, têm dimensões superficiais de: 60x37 cm. Logo, a área é 2220 cm². Assim, é possível calcular os percentuais que as coberturas ocupam, pela relação entre a área de projeção de todas as garrafas e a área total da caixa de água.

Percentual de cobertura das garrafas verdes:

$$\%_V = \frac{A_V}{A_{RES}} \cdot 100 \quad (6)$$

$$\%_V \cong 72,80\%$$

E para as garrafas transparentes:

$$\%_T = \frac{A_T}{A_{RES}} \cdot 100 \quad (7)$$

$$\%_T \cong 74,40\%$$

Portanto, o fechamento percentual apresentado pelas garrafas verde e transparente é, respectivamente, de 72,80% e 74,40%. É fundamental destacar que esses valores são aproximações, visto que, a garrafa não tem exatamente a forma apresentada.

Por fim, é relevante pontuar que todas as garrafas foram preenchidas com um volume de água que atingiu a marca inferior do rótulo. Pela análise da Figura 7, destaca-se que a água foi suficiente para preencher as áreas representadas por V3 e T3, assim, as alturas são de 5,5 cm para as garrafas verdes e 6,5 cm para as garrafas transparentes e por aproximação é possível calcular esse volume considerando como um corpo cilíndrico.

Logo, o volume de água adicionado nas garrafas verdes foi de:

$$v_V = \pi * r_V^2 * h_V \quad (8)$$

$$v_V = \pi * 2,35^2 * 5,5$$

$$v_V \cong 95cm^3 = 95ml$$

Já o volume adicionado nas garrafas transparentes:

$$v_T = \pi * r_T^2 * h_T \quad (9)$$

$$v_T = \pi * 2,65^2 * 6,5$$

$$v_T \cong 145cm^3 = 145ml$$

Esses volumes aproximados de água de 95 ml e 145 ml colocados nas garrafas verde e transparente, respectivamente, tiveram o intuito de evitar que a ação dos ventos arraste as garrafas e interfira na eficiência da cobertura. É necessário acrescentar que como a finalidade dessa água inserida é apenas para aumentar o peso da cobertura, outros materiais poderiam ser empregados, como por exemplo areia ou argila, economizando o recurso hídrico.

4.2.3 Tetrapak

As embalagens Tetra pak, também denominadas de embalagens aluminizadas ou multicamadas, são caracterizadas por possuir ampla utilização no mercado, com uma significativa heterogeneidade de formatos e tamanhos e são comumente empregadas no acondicionamento de muitos alimentos, tais como: leite, leite condensado, sucos, refrigerantes, extratos de alimentos frescos, entre outros. De acordo com Martins (2013), são formadas por três diferentes materiais: papel, plástico (polietileno) e o alumínio. Tais materiais, são distribuídos em seis camadas, estruturadas por multicamadas.

Martins (2013) ressaltou que as embalagens pesam em média 27 g. Sendo que desses, 20 g é de papel, 5,7 g é de plástico e os 1,3 g restantes é de alumínio. Com isso, é possível concluir que a composição percentual média das embalagens aluminizadas é aproximadamente: 75 % de papel, 20% de polietileno e 5% de alumínio.

O emprego do tetrapak no presente estudo se deu visando formar uma barreira física, não porosa e suspensa que bloqueia totalmente a energia solar incidente na superfície da água e modifica as condições atmosféricas nas proximidades do corpo hídrico. É possível identificar, na figura abaixo, o uso da proteção contra evaporação elaborada com as embalagens multicamadas. A costura para formação da tela foi feita com grampos.

Fotografia 4 - Aplicação da cobertura de tetrapak.



Fonte: O Autor (2021).

Um fator que pode tornar o emprego eficiente dessas embalagens multicamadas, na mitigação das taxas de evaporação, é a presença de alumínio em sua composição. Nessa perspectiva, Trindade e Martini (2009) citam que esse metal auxilia a minimizar significativamente a temperatura ambiente, pelo fato de ser capaz de refletir mais de 95% da radiação solar. Outro fator é o baixo custo para aquisição, por ser um resíduo, normalmente, doméstico.

Por fim, como destacam ainda Trindade e Martini (2009), esse material representa cerca de 1% de todo o resíduo gerado no Brasil e parte considerável é não biodegradável. Logo, é fundamental ressaltar que medidas de reutilização dessas embalagens são importantes, visando o desenvolvimento sustentável, apesar de serem 100% recicláveis.

4.2.4 Masseiras plásticas

Os reservatórios empregados nos estudos foram masseiras plásticas que, em geral, são utilizadas em trabalhos e serviços de obra na Construção Civil, como em pinturas, rebocos, acabamento, aplicação de massa corrida ou gesso, dentre outros. Logo, é possível identificar que é própria para materiais como tintas, gesso, concreto, solventes, massas e óleos.

É fabricada com polietileno por um processo conhecido como rotomoldagem, que um procedimento de transformação de termoplásticos por meio de rotação. Tal material, tem notória importância na pesquisa, pois confere ao reservatório impermeabilização e não

aquecimento devido aos raios solares, como acontece com os materiais metálicos. Assim, as perdas de água se darão apenas pela evaporação, que é o objeto de estudo.

De acordo com o fabricante, o recipiente apresenta as seguintes características: largura: 37 cm; comprimento: 60 cm; altura: 14 cm; e volume: 22 litros.

Figura 3 - Masseuria plástica utilizada como reservatório.



Fonte: Plasfil (2020).

4.3 QUANTIFICAÇÃO DA EVAPORAÇÃO

As medições da evaporação são divididas em medições diretas que são aquelas realizadas diretamente na área de estudos, e em medições indiretas que são feitas por meio de métodos estimativos utilizando dados climáticos.

4.3.1 Medições diretas

As medições diretas, do quando de água foi cedido para o meio atmosférico, são feitas de maneira direta com o auxílio de uma trena metálica, conforme Figura 10.

Fotografia 5 - Exemplificação da leitura pela medição direta.

- a) medição em reservatório descoberto; b) medição em reservatório coberto.



Fonte: O Autor (2021).

A trena é colocada em posição vertical e identifica-se a altura em que a lâmina de água se encontra, observando cuidadosamente para evitar inclinações ou curvaturas do objeto de medição e sempre medir ao centro da masseira. No caso das coberturas, é necessário abrir parte das mesmas para que a medição possa ser executada exatamente ao centro da caixa.

É fundamental pontuar que após a primeira medição, caso seja necessário, é adicionada uma nova quantidade de água à aquela já existente na caixa. E esse procedimento, visa compensar o volume perdido por evaporação e manter sempre o nível da água elevado. Tal acréscimo de líquido, deve ser feito com cuidado para evitar extravasamentos, que ocasionam erros nas medições pelo desperdício de água. Com isso, é possível evitar que as paredes do reservatório interfiram na ação direta do vento sobre a superfície líquida e colocam os estudos mais próximos da realidade. Por fim, efetua-se uma nova medição com propósito de quantificação da lâmina adicionada e verificação final do nível no dia em questão.

Em relação a periodicidade das medições, no início dos estudos eram feitas três medições semanais e, com isso, foi possível identificar que a variação percebida no nível da água, entre uma medição e outra, era pequena. Dessa forma, optou-se por executar uma medição semanal, sendo feita no período da manhã e normalmente aos sábados.

É possível acrescentar que pelo fato de as medições acontecerem de maneira manual são passíveis de erros, mesmo que cuidados sejam tomados. Tais erros, podem ser causados pelo fator humano ou pelo manuseio incorreto do objeto de medição. São exemplos: inclinação e

catenária da trena, facilidade de dilatação térmica pelo fato de a trena ser metálica e erros milimétricos devido ao olho humano.

Com base nesse viés, a lâmina evaporada é a diferença entre a medição final do último dia medido e a medição do dia atual, conforme fórmula abaixo.

$$E_{\text{líquida}} = E_{\text{anterior}} - E_{\text{atual}} \quad (10)$$

em que: $E_{\text{líquida}}$ = lâmina de água cedida para atmosfera, em mm; E_{anterior} = lâmina de água do último dia com medição, em mm; E_{atual} = lâmina de água medida no dia atual, em mm.

É válido ressaltar ainda, que pelo fato de a área ser elevada e estar isolada, todas as perdas de água são consideradas apenas por evaporação, ou seja, não existem interferências externas, como a presença de animais ou até mesmo de pessoas que possam modificar os resultados. E, 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.

4.3.2 Medições indiretas – Métodos estimativos

Serão abordados três modelos de estimativa da evaporação de superfícies líquidas, que são simplificações baseadas no modelo de Penman (1948), são eles: Thornthwaite (1948), Linacre (1993) e Kohler *et al.* (1955). Com isso, será possível comparar os valores calculados pelos métodos com os colhidos no reservatório descoberto, identificando qual modelo está mais próximo da realidade e que poderá servir de referência para estudos posteriores na área. Tais estimativas, são baseadas em variáveis climáticas, como: temperatura atmosférica, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, velocidade do vento.

Os dados climáticos requeridos pelos modelos, foram retirados da plataforma digital do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a estação meteorológica foi a da própria cidade de Caruaru-PE, local onde os estudos experimentais ocorreram. Assim, visou-se promover a igualdade de condições ambientais para a análise entre os métodos estimativos e os dados coletados.

4.3.2.1 Modelo de Thornthwaite (1948)

Thornthwaite (1948) desenvolveu uma equação empírica para estimar a evaporação, tendo como principal vantagem necessitar apenas da temperatura média como parâmetro climático de entrada. Diante desse contexto, apresenta-se como um método de significativa relevância, principalmente em lugares que carecem de dados de outras variáveis meteorológicas. Contudo, a utilização de apenas um único parâmetro climático, aliado ao fato

de que a temperatura pode variar consideravelmente entre diferentes regiões, são fatores que podem resultar em estimativas incorretas.

A estimativa de evaporação em reservatórios pelo modelo de Thornthwaite (1948) é dada com base na seguinte equação:

$$E_L = C \cdot E_p \quad (11)$$

onde: E_L = evaporação no lago (mm.mês^{-1}); C = fator de correção; E_p = evaporação padrão (mm.mês^{-1}).

Calcula-se o fator de correção da seguinte forma:

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

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

Por sua vez, a evaporação padrão é baseada na formulação abaixo:

$$E_p = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot T_a}{I}\right)^a \quad (13)$$

sendo T_a = temperatura do ar média mensal; I = índice de calor anual; e “a” um coeficiente relacionado apenas ao valor do índice “I”, como é possível identificar na equação logo a seguir:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49 \quad (14)$$

O cálculo do índice de calor anual dar-se da seguinte maneira:

$$I = \sum_{n=1}^{12} i, i = \left(\frac{T_a}{5}\right)^{1,514} \quad (15)$$

em que “i” representa o mês do ano, dessa forma, $i=1$ representa janeiro, $i=2$ representa fevereiro e assim, sucessivamente.

Por fim, o valor da duração de insolação média mensal (N) presente na equação 12, é encontrado pela seguinte razão:

$$N = \frac{2 \cdot H}{15} \quad (16)$$

com, H = duração do dia solar (rad), baseando-se pela seguinte formulação:

$$H = \arccos(-\tan\delta \cdot \tan\Phi) \quad (17)$$

e, Φ = latitude ($^\circ$); δ = declinação solar ($^\circ$), calculada pela função senoidal adiante:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\left(\frac{2 \cdot \pi}{365}\right) \cdot (J - 80)\right) \quad (18)$$

sendo J = dia juliano que é o dia corrido do ano, ou seja, $J=1$ é o dia primeiro de janeiro, $J=32$ é o dia 1 de fevereiro e assim sucessivamente, encerrando em $J=365$ para os anos não bissextos.

Como é possível identificar, apesar de todas as formulações destacadas, a única variável meteorológica identificada no modelo é a temperatura do ambiente.

4.3.2.2 Modelo de Kohler *et al.* (1955)

Os autores elaboraram uma equação baseada na de Penman (1948) para estimar a evaporação em lagos, e com adaptações após diversas observações, estudos e análises de campo. Utilizam o coeficiente psicrométrico como uma forma de correção da diferença existente entre a temperatura do ar e a temperatura da superfície do líquido.

O modelo de Kohler *et al.* (1955) foi estimado por intermédio da seguinte equação:

$$E_L = 0,7 \cdot \left(\frac{\Delta R_n}{\Delta + \gamma_L} + \frac{\gamma_L \cdot E_a}{\Delta + \gamma_L} \right) \quad (19)$$

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

O coeficiente psicrométrico é calculado pela formulação a seguir:

$$\gamma_L = 0,000661 \cdot P \quad (20)$$

com, P = pressão atmosférica (kPa).

O cálculo do poder evaporante é dado em função da velocidade do vento e do déficit de pressão de saturação de vapor, com a equação abaixo:

$$E_a = 7,518 \cdot (0,37 + 0,00255 \cdot v) \cdot (e_s - e_a)^{0,88} \quad (21)$$

sendo, v = velocidade do ar; e_s = pressão de vapor na saturação (kPa), que é a média entre a pressão de vapor na saturação a temperatura do ar máxima $e_s(T_{\text{máx}})$ e a mínima $e_s(T_{\text{mín}})$, como é identificado na razão a seguir:

$$e_s = \frac{e_s(T_{\text{máx}}) + e_s(T_{\text{mín}})}{2} \quad (22)$$

tais pressões de vapor na saturação máxima e mínima são calculadas, respectivamente por:

$$e_s(T_{\text{máx}}) = 0,6108 \cdot \exp^{\frac{17,27 \cdot T_{\text{máx}}}{T_{\text{máx}} + 237,3}} \quad (23)$$

$$e_s(T_{\text{mín}}) = 0,6108 \cdot \exp^{\frac{17,27 \cdot T_{\text{mín}}}{T_{\text{mín}} + 237,3}} \quad (24)$$

por sua vez, e_a = pressão de vapor atual (kPa), dada pela seguinte fórmula:

$$e_a = \frac{e_s(T_{\text{máx}}) \cdot \frac{UR_{\text{mín}}}{100} + e_s(T_{\text{mín}}) \cdot \frac{UR_{\text{máx}}}{100}}{2} \quad (25)$$

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

O saldo de radiação (ΔR_n) foi obtido pela equação:

$$\Delta R_n = 154,4 \cdot \exp[(1,8 \cdot T_a - 180) \cdot (0,1024 - 0,0106 \cdot \ln(0,239 \cdot R_s)) - 0,01554] \quad (26)$$

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

Por fim, Δ = declividade da curva de pressão de saturação de vapor é dada por:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T_{\text{méd}} + 237,3)^2} \quad (27)$$

4.3.2.3 Modelo de Linacre (1993)

É um modelo posterior ao inicial proposto por Linacre em 1977, que adaptou a equação e incrementou as variáveis precipitação e velocidade do vento a nova formulação, divulgada em 1993. Assim, é comumente utilizado quando as variáveis temperatura média, precipitação e velocidade do vento são conhecidas e estima a evaporação por meio de uma equação empírica. É baseado na seguinte fórmula:

$$E_L = (0,015 + 0,00042.T + 10^{-6}.h). (0,8.R_s - 40 + 2,5.F.u_2.(T_a - T_d)) \quad (28)$$

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

Para o emprego do fator de correção é necessário a seguinte relação:

$$F = 1 - 0,000087.h \quad (29)$$

A radiação solar na superfície do lago é calculada pela equação abaixo:

$$R_s = R_a - (0,85 - 0,047.C_m) \quad (30)$$

com, R_a = radiação solar extraterrestre (W.m^{-2}), que é calculada pela fórmula abaixo:

$$R_a = 37,6. \left(\frac{d}{D}\right)^2 . \left(H. \frac{\pi}{180}. \text{sen}(\phi). \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\phi). \text{cos}(\delta). \text{sen}(H)\right) \quad (31)$$

e em que, C_m = média do número de décimos do céu ocupado pela nuvem no momento da observação, sendo dado pela próxima expressão:

$$C_m = 1 + 0,51. \log(Pt) + [\log(Pt)]^2 \quad (32)$$

onde, Pt = precipitação total mensal (mm).

Por fim, o termo $(d/D)^2$ é obtido em função do dia juliano (J) e é dado pela equação abaixo:

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 + 0,033. \cos\left(J. \frac{360}{365}\right) \quad (33)$$

4.4 ANÁLISES DA EVAPORAÇÃO

A análise dos dados coletados, foi feita com o auxílio do software de planilhas eletrônicas, Excel. Para tanto, montou-se numa planilha os registros das leituras brutas de evaporação observadas em cada reservatório, e a quantidade de água perdida para atmosfera é calculada pela diferença entre as alturas do líquido no reservatório da data atual e anterior, respectivamente. Com isso, foi possível organizar os gráficos com a variação temporal dessas leituras. Aplicou-se ainda, a observação da evaporação acumulada em todo o intervalo de

monitoramento. Em complementação, observou-se também os dados climáticos para este intervalo.

Outro fator importante a ressaltar são as tabelas que destacam a eficiência de cada material, demonstrando o percentual de desempenho que cada cobertura apresentou, ou seja, o quanto determinado material conseguiu evitar de perdas hídricas para o meio atmosférico.

Com os dados teóricos procedeu-se da mesma forma, dados de evaporação calculados diariamente e observado o acúmulo semanal. De forma semelhante, foi feito o gráfico da evaporação acumulada com os dados semanais.

4.5 ALTERAÇÕES EXECUTADAS

Inicialmente, é importante pontuar a presença de uma alta caixa de água ao lado da área de estudos. Dias após a montagem do experimento, foi possível identificar um sombreamento causado pelo reservatório nas caixas de água dos estudos, em alguns horários específicos, conforme figuras 11, 12 e 13. Dessa maneira, foi perceptível que estava acontecendo um bloqueio da incidência solar na superfície das águas, causando impacto direto nas taxas de evaporação, visto que, a energia do sol é a energia motora do fenômeno. Assim, é provável que esse sombreamento esteja ocasionando redução na evaporação, sendo necessário medidas para evitá-lo.

Fotografia 6 - Reservatório de água do campus, sombreando os reservatórios na área de estudos.



Fonte: O Autor (2021).

Fotografia 7 - Sombreamento na área de estudos com os reservatórios



Fonte: O Autor (2021).

Diante desse contexto, foi necessário executar uma reorganização na forma em que as masseiras estavam dispostas na área, visando evitar a interferência na incidência solar. Nas figuras abaixo é possível identificar a configuração inicial a e final.

Fotografia 8 - Configuração inicial dos reservatórios.



Fonte: O Autor (2021).

Fotografia 9 - Alteração na disposição dos reservatórios.



Fonte: O Autor (2021).

Outro fator de notória relevância a ser destacado é que a pesquisa foi dividida em duas partes. A primeira, como identifica-se na figura 14, foi feita com cinco reservatórios cobertos e um sem cobertura alguma, visando comparar a eficiência das barreiras no bloqueio da evaporação. Por sua vez, na segunda etapa foi incrementado mais dois tipos de coberturas as que já estavam sendo analisadas, como é possível verificar na figura 15.

Fotografia 10 - Nova disposição dos reservatórios de estudo.

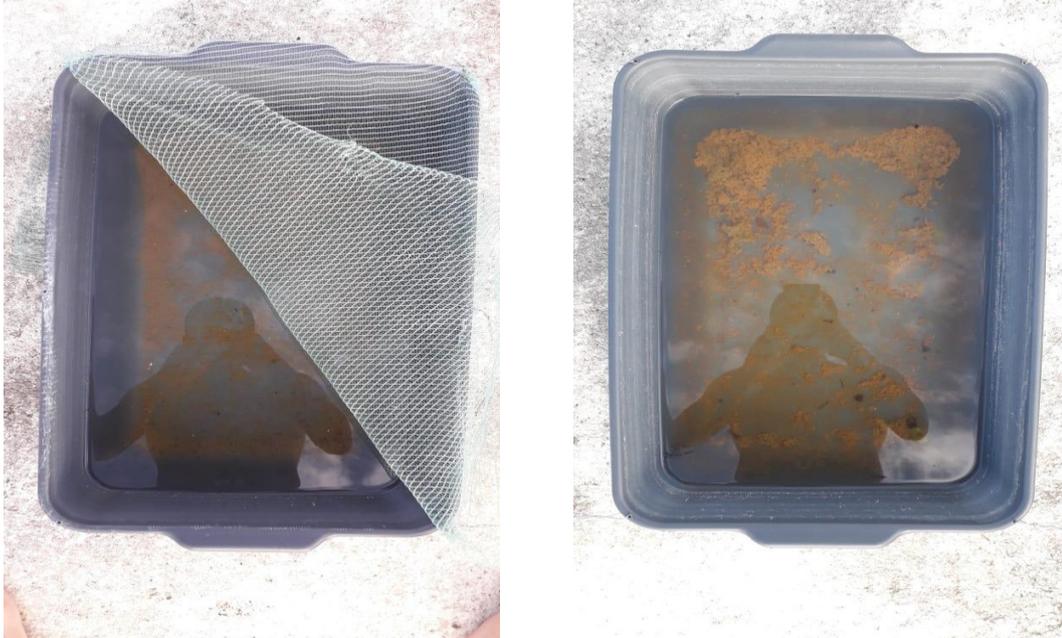


Fonte: O Autor (2021).

Por fim, outra constatação importante foi o acúmulo de impurezas na água, com o aparecimento de uma espécie de lodo na parte inferior dos reservatórios. Logo, existiu a necessidade de realização de limpezas durante o período de estudos, sendo necessário a renovação da água que estava em uso e a lavagem as caixas. Tal medida, visou que uma possível

modificação na qualidade da água não ocasione em interferências nas taxas evaporação e, consequentemente, nos estudos.

Fotografia 11 - Registro de depósito de lodo nos reservatórios.



Fonte: O Autor (2021).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos estudos climáticos na cidade de Caruaru-PE, com foco voltado para análise do fenômeno da evaporação e medidas que mitiguem seus efeitos de perdas de água, por meio de barreiras físicas flutuantes ou suspensas.

É válido destacar que a presente pesquisa foi dividida em três partes. Na primeira, comparou-se a evaporação em cinco reservatórios cobertos por diferentes materiais, visando diminuir os efeitos do fenômeno, com um reservatório de referência, exposto as condições atmosféricas normais. Já na segunda, houve um incremento de mais dois reservatórios com outros tipos de proteção. E na última, analisou-se a eficiência, na região, dos modelos estimativos de cálculo da evaporação com os dados colhidos no reservatório principal.

Inicialmente, houveram dificuldades na obtenção dos materiais necessários para a elaboração do experimento. Ressalta-se ainda que haveria outra parte na pesquisa, instalada dentro da estação meteorológica do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). Essa, se basearia no mesmo princípio de comparar materiais que diminuem as taxas de evaporação e seria composta por reservatórios de maiores dimensões, somando a isso a proximidade com a estação climática, acarretaria em informações mais robustas para análise de causas e efeitos. Porém, após toda dificuldade na aquisição dos materiais, as caixas utilizadas como reservatório foram furtadas e não foi possível adquirir novas, dentro do prazo estabelecido para a pesquisa. Nas Figuras 17 e 18 abaixo, identifica-se a área da estação climatológica do IPA-Caruaru, onde então foram instalados os reservatórios para o experimento, demonstrando a situação inicial e depois do furto.

Fotografia 12 - Reservatórios instalados inicialmente na área do IPA-Caruaru.



Fonte: O Autor (2021).

Fotografia 13 - Disposição do local após o registro do furto.

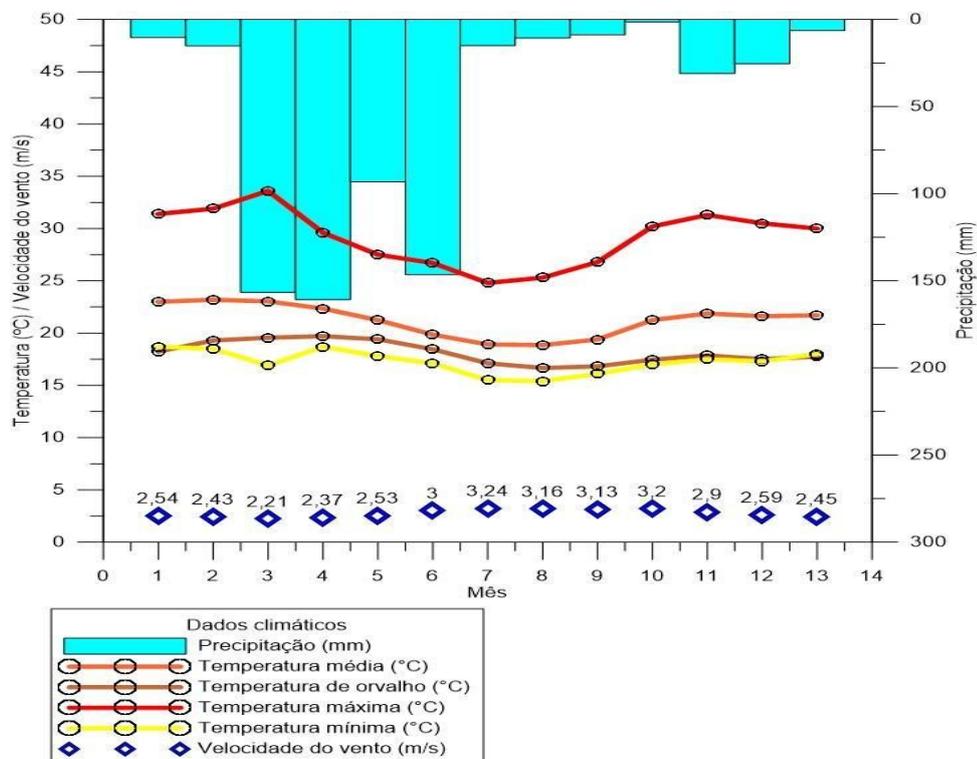


Fonte: O Autor (2021).

5.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA REGIÃO – PERÍODO DO ESTUDO

Na Figura 19, identificam-se os dados mensais dos parâmetros climatológicos observados durante todo o período de estudo, na cidade de Caruaru-PE. Esses valores, foram coletados através do endereço eletrônico do INMET (2021).

Gráfico 1 - Dados climatológicos, referentes ao período de janeiro de 2020 a janeiro de 2021.



Fonte: O Autor (2021),

Nota: Adaptado INMET.

Em relação ao comportamento da precipitação, fica evidente a enorme variabilidade apresentada. Observa-se que as maiores lâminas precipitadas aconteceram entre os meses de março até junho, alcançando o máximo de 160,80 mm no mês de abril/2020, porém nos demais meses ocorre uma redução significativa no total precipitado. Assim, fica notório que o período de estiagens é extenso, chegando a serem registrados valores totais mensais inferiores a 10 mm. O mês de pior índice foi outubro/2020 com menos de 2 mm.

O período compreendido entre os meses de julho e setembro de 2020 foi o que contabilizou menores valores de temperatura média, com cerca de 19°C. Já fevereiro e março registraram as maiores temperaturas médias, superando os 23°C. O segundo, apresentou ainda a maior variabilidade entre as temperaturas máxima e mínima do mês, 16,7 °C. Quanto a temperatura média mensal do ponto de orvalho, os meses de fevereiro, março, abril e maio se caracterizaram pelos maiores valores (> 19°C), já agosto e setembro pelos menores (< 17°C).

A maior velocidade média mensal do vento é de 3,24 m.s⁻¹ e ficou evidente no mês de julho, já o mês de março caracterizou-se pela menor, com 2,21 m.s⁻¹. Quanto ao comportamento desse parâmetro, percebe-se que do mês de janeiro até março houve um decréscimo dos valores, de março a julho inverte e acontece um acréscimo, de julho a outubro os valores permanecem elevados e por fim começam a decair novamente.

5.2 AVALIAÇÃO DA EVAPORAÇÃO – ETAPA 1: CINCO DIFERENTES COBERTURAS

Esta parte inicial dos estudos foi iniciada no dia 10 de janeiro de 2020 e finalizada no dia 29 de agosto do mesmo ano. Utilizou-se cinco reservatórios cobertos com diferentes materiais, comparando-os a um reservatório sem cobertura como referência, com o intuito de avaliar os impactos dessas barreiras nas taxas de evaporação. Os materiais empregados foram as garrafas PET nas cores verde e transparente, caracterizadas como coberturas flutuantes, e telas nas cores branca, verde e preta, que são barreiras suspensas.

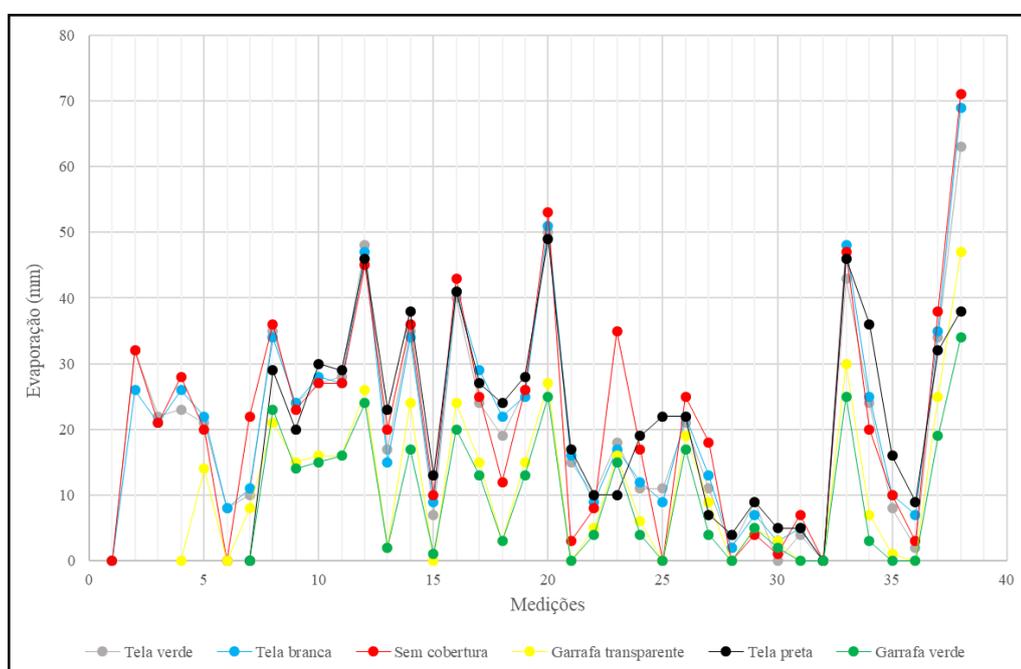
É fundamental pontuar ainda que, predominantemente, esta etapa inicial é caracterizada pelas temperaturas médias do ar mais baixas e pelos maiores índices de precipitações, fatores esses que acarretam diminuição das taxas de evaporação. Nos meses de março a junho ocorreram precipitações basicamente acima de 100 mm.mês⁻¹ (Figura 19), valor relativamente elevado quando comparado aos demais meses do estudo.

Inicialmente, as medições foram sendo feitas a cada dois ou três dias. Como as variações identificadas eram pequenas, o intervalo de análises foi sendo modificado, passando para duas vezes por semana e finalizando com uma medição semanal. É importante acrescentar que a

pandemia de COVID19 e suas conseqüentes dificuldades impostas, também foi um fator que culminou para essa única leitura semanal.

O experimento foi implementado à medida que os materiais foram sendo adquiridos. Iniciou com três reservatórios, o de referência, e os cobertos com as telas verde e branca. Na quarta medição, foi incrementado o de garrafas transparente. Por fim, após a sétima medição foram somados aos outros os cobertos pela tela preta e as garrafas verde. No total, executou-se trinta e oito leituras. Na Figura 20, observam-se os valores das taxas de evaporação, em milímetros, verificadas em cada uma das medições e por reservatório. A medida está em relação a diferença observada no nível do reservatório em relação ao nível anterior.

Gráfico 2 - Valores de evaporação medida, em mm, para cada reservatório na Etapa 1.



Fonte: O Autor (2021).

As linhas relacionadas a todos os reservatórios cobertos apresentaram um comportamento relativamente semelhante ao observado no de referência, ou seja, quando este é crescente (ou decrescente) aquelas também são. É notória ainda, a caracterização de grande variabilidade exposta por todas as linhas.

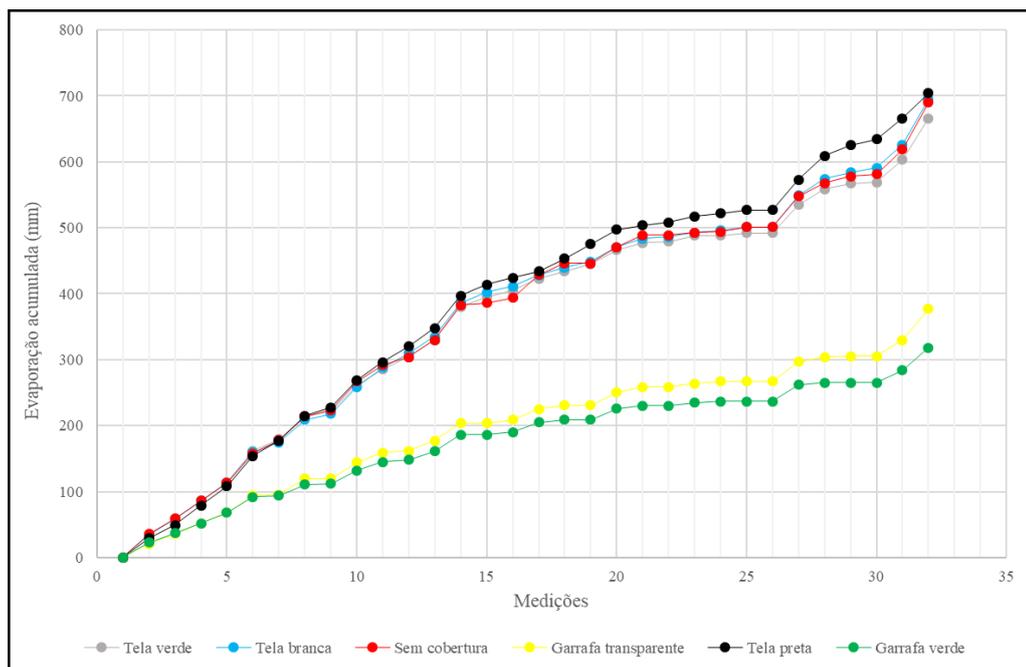
Fica evidente que a tela preta foi o material que mais se aproximou do valor real da evaporação, logo é o material que se destacou pelo pior desempenho na redução das perdas ocasionadas pelo fenômeno. Em contrapartida, as barreiras feitas com as garrafas PET nas cores verde e transparente, ficaram sempre abaixo de todos, evidenciando sua melhor eficiência na

mitigação dos efeitos. Já as telas verde e branca, tiveram reduções próximas, mas não tão significativas quanto as garrafas.

É válido ressaltar que como todos os reservatórios estiveram submetidos as mesmas condições climáticas, os valores de precipitações inicialmente não foram descontados. Logo, quando as linhas dos gráficos se igualam a zero, significa que a precipitação foi maior ou igual que a evaporação para o reservatório em questão, no intervalo entre uma leitura e outra.

Na Figura 21, são exibidas as curvas acumuladas das taxas de evaporação. Pontua-se que como as leituras nos reservatórios foram iniciadas em dias diferentes, a montagem deste gráfico foi feita a partir da sétima medição, que foi quando todos os reservatórios foram implementados, com a finalidade de que o acumulado seja comparado em períodos simultâneos. Com isso, foram utilizados na montagem do gráfico dados de trinta e duas medições para cada reservatório.

Gráfico 3 - Curvas de evaporação acumuladas para os reservatórios testados, Etapa 1.



Fonte: O Autor (2021).

As curvas verde e amarela representadas, respectivamente, pelas garrafas nas cores verde e transparente (Figura 21), destacaram ainda mais a eficiência desses materiais na diminuição das taxas de evaporação, pela não aproximação com a reta representada pelos valores identificados no reservatório de referência. Os valores dos demais materiais estiveram sempre próximos dos observados no reservatório de superfície livre e basicamente não

apresentaram desempenho algum em relação a redução dos efeitos. Curiosamente, a curva que representa o reservatório coberto pela tela preta a evaporação foi superior ao do reservatório de referência na maioria dos pontos.

Na Tabela 2, evidencia-se nitidamente a evaporação total e as eficiências percentuais de cada material na redução das taxas de evaporação. De modo que o comparativo da eficiência é feito em relação ao reservatório de referência. É válido destacar ainda que os valores são alusivos ao período em que também já se tinham todos os seis reservatórios na pesquisa.

Tabela 2 - Eficiência na redução da evaporação para os reservatórios testados na Etapa 1.

Reservatório	Evaporação total	Eficiência
	(mm)	(%)
Referência	690	-
Tela verde	666	3.48
Tela branca	695	-0.72
Tela preta	704	-2.03
Garrafa verde	318	53.91
Garrafa transparente	377	45.36

Fonte: O Autor (2021).

São verificados percentuais de eficiência negativa, nas caixas cobertas pelas telas nas cores branca (-0,72%) e preta (-2,03%), em relação a diminuição das taxas de evaporação. Ou seja, a evaporação total nesses, foi maior que no próprio reservatório de referência. Tal efeito pode ter ocorrido devido a caixa de superfície livre não ter bloqueio algum para receber as águas procedentes das precipitações, enquanto as telas podem reter alguma quantidade de água ou por capilaridade conduzirem determinada quantidade de líquido para fora do reservatório.

A tela verde mostrou um desempenho quase ineficaz para mitigar os efeitos, com apenas cerca de 3,5% de redução. Por sua vez, as garrafas apresentaram um desempenho muito satisfatório com uma redução de cerca de 50%, sendo a de cor verde a mais eficaz superando esse valor.

Acrescenta-se que os índices de precipitação não foram descontados nos cálculos, ou seja, os valores são apenas referentes às diferenças entre as lâminas de água observadas no

período compreendido entre duas medições. Tal questão pode ser a determinante para explicar o fato de as telas não apresentarem eficiência contra a evaporação.

Em toda literatura pesquisada, não foram identificados relatos de materiais que tivessem eficiência negativa na mitigação das taxas de evaporação. Isso significa que a não utilização desses materiais seria teoricamente mais viável que o seu emprego, do ponto de vista das perdas de água.

Os percentuais de redução observados para as telas foram bem diferentes daqueles encontrados por Saraiva *et al.* (2001), que obtiveram 37 % de diminuição da evaporação para a tela de cor verde e 25 % para a tela de cor branca. Os escritores atrelaram o melhor desempenho da verde ao fato de que a cor bloqueia e absorve mais a energia solar, quando comparada com a branca.

Simon *et al* (2016) também avaliaram o uso de garrafas PET como meio de mitigação da evaporação. A redução percentual média percebida foi de 40 %, valor que fica um pouco abaixo do identificado na presente pesquisa de 45,36 % para as garrafas incolores, e principalmente dos 53,91 % para as garrafas verdes.

Foram necessários ainda estudos complementares, devido ao fato de alguns materiais apresentarem uma eficiência tão baixa no bloqueio das taxas de evaporação. Para tanto, utilizou-se um tratamento estatístico dos dados coletados, visando o melhoramento das análises. Nessa perspectiva, calculou-se a evaporação média diária a partir dos valores observados de evaporação nos intervalos de medição, e considerou-se apenas os valores referentes aos dias em que não houveram precipitações superiores a 1 mm, visto que era a folga aproximada que era deixada entre a superfície do líquido e a borda dos reservatórios, após o enchimento.

Dessa maneira, é possível garantir que nesses dias avaliados, com a evaporação média diária e precipitação inferior a 1 mm, houve efetivamente evaporação. Na Tabela 3, identifica-se o valor médio da evaporação e o desvio padrão em torno dessa média, medida essa que indica a dispersão dos valores.

Esse procedimento foi adotado devido ao fato de as medições serem semanais e não ter como prever se aconteceram transbordamentos ou não dos reservatórios, após eventos chuvosos. Outro fator importante a destacar é que algumas coberturas podem, eventualmente, não permitir que a água precipitada seja armazenada pelo reservatório. Assim, uma forma possível de corrigir isso seria com a implementação de medições diárias.

Tabela 3 - Evaporação média diária e desvio padrão da evaporação média diária na Etapa 1.

COBERTURA	Evap méd diária (mm)	DP média diária (mm)
Cobertura: Livre	9.1	1.36
Cobertura: Tela verde	9.1	1.57
Cobertura: Tela branca	9.0	1.30
Cobertura: Tela preta - maior espessura	7.7	1.09
Cobertura: Garrafa transparente	5.3	1.08
Cobertura: Garrafa verde	4.7	0.82

Evap méd diária – Evaporação média diária; DP – desvio padrão.

Fonte: O Autor 2022.

A cobertura de garrafa verde é a que apresenta os menores valores de evaporação média diária e de desvio padrão, indicando, conseqüentemente, a menor dispersão. Já a cobertura de tela verde foi a que se destacou negativamente pela evaporação média diária igual ao reservatório sem cobertura e o desvio padrão ainda mais elevado, resultando em uma dispersão superior dos dados. A tela branca também quase não se mostrou eficiente na redução da evaporação diária.

Uma constatação importante está no melhor desempenho da tela preta em relação as outras telas, caracterizando-se pelo menor valor de perdas de águas diárias. Tal acontecimento era esperado no início da pesquisa, devido ao fato de que essas telas são comumente empregadas para promover sombreamento de áreas, diferente das demais que são utilizadas para proteção contra insetos.

De um modo geral, a análise dos dados de dispersão são satisfatórias e comprovam que a precipitação efetivamente influencia na evaporação.

5.3 AVALIAÇÃO DA EVAPORAÇÃO – ETAPA 2: SETE DIFERENTES COBERTURAS

Avaliou-se aqui sete tipos de materiais diferentes, empregados como coberturas de reservatórios, visando mensurar os efeitos nas taxas de evaporação e comparados com um reservatório de superfície livre. O período de análises foi de 29 de agosto de 2020 até 22 de janeiro de 2021, totalizando vinte leituras em cada reservatório. É imprescindível pontuar ainda que as variáveis climáticas, neste segundo intervalo dos estudos, são favoráveis as elevações das taxas de evaporação. Ou seja, a temperatura média mensal sofre aumento e os índices de precipitações totais decaem significativamente, quando comparados ao período da Etapa 1.

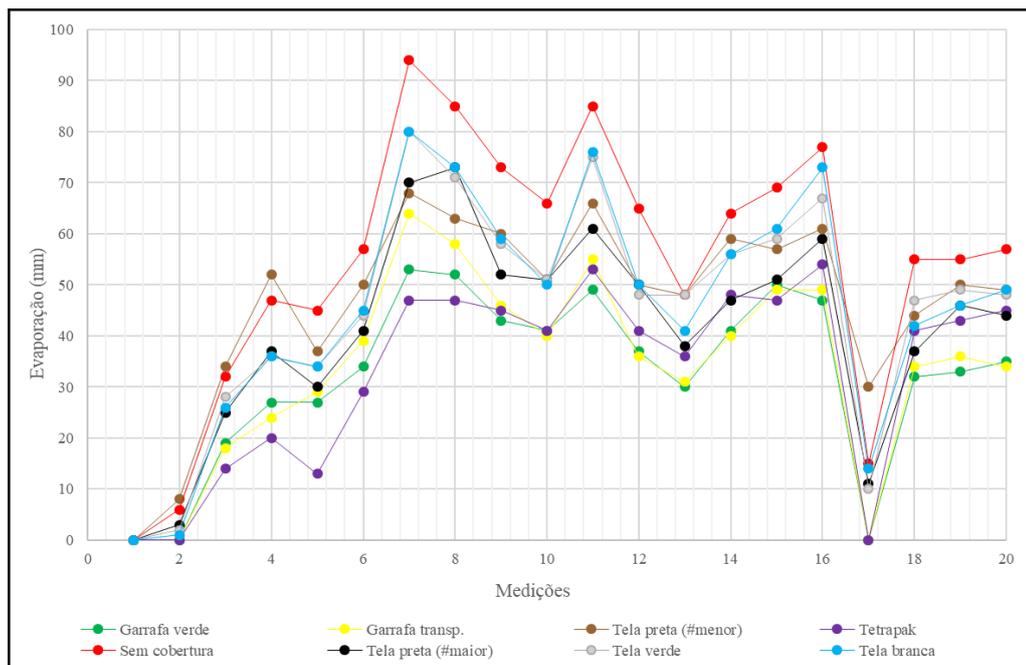
Além das coberturas já implementadas na primeira etapa, acrescentou-se outro tipo de tela preta, com um espaçamento das malhas menores, e a outra feita de embalagens de tetrapak.

É importante destacar ainda que o intervalo entre uma medição e outra foi mantido com leituras semanais.

As telas (branca, verde e preta) que já tinham sido implementadas na primeira parte do experimento, foram trocadas por novas idênticas, para que as análises não sejam afetadas pela degradação devido a exposição ao tempo. Em relação as garrafas, por apresentarem longo tempo de decomposição na natureza, optou-se pela não substituição.

Na Figura 22, são exibidos os valores observados em cada medição da evaporação, por cada reservatório. Em relação ao comportamento das linhas, representativas aos reservatórios cobertos, todas apresentaram uma tendência parecida com o reservatório de referência. Ou seja, são crescentes, ou decrescentes, entre uma leitura e outra, semelhante ao que acontece com o reservatório de superfície livre.

Gráfico 4 - Valores de evaporação medida, em mm, para cada reservatório na Etapa 2.



Fonte: O Autor (2021).

Os dados apresentaram uma menor variabilidade do que aquela identificada na Etapa 1 do experimento. Contudo, expuseram, predominantemente, maiores valores para as taxas de evaporação. Tal questão pode ser justificada pelo fato de que cada uma das etapas dos estudos teve exposição a condições climáticas diferentes. A primeira, ficou compreendida entre o período de maiores precipitações e, conseqüentemente, menor incidência solar. Já a segunda, esteve caracterizada pelas menores precipitações e maiores taxas de energia solar.

É nítido que a linha vermelha, referente ao reservatório de superfície livre, prevaleceu aos demais, exibindo maiores valores, como era esperado. Em relação as coberturas, a composição com tetrapak iniciou com um excelente desempenho, se destacando em relação as outras, por promover um bloqueio total da energia solar na superfície. Contudo, com o passar dos dias seu bom funcionamento foi decaindo. Isso aconteceu devido a rápida degradação do material, como é possível perceber na Figura 23.

Fotografia 14 - Situação da cobertura de tetrapak.

a) momento da implementação;



b) após a degradação.



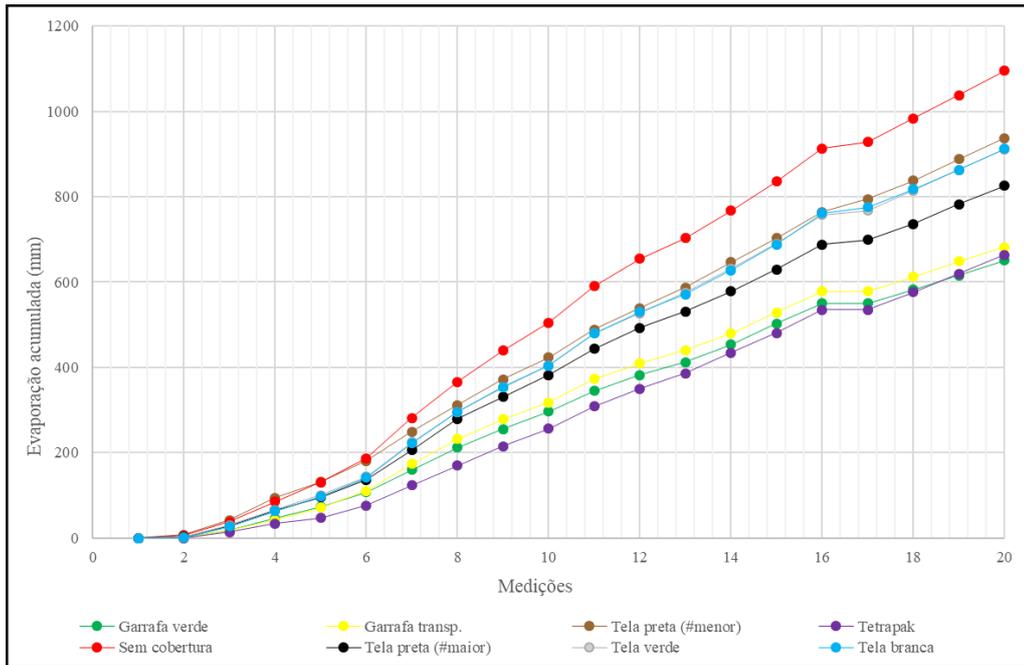
Fonte: O Autor (2021).

Inicialmente caracterizada como uma proteção física suspensa, a barreira de tetrapak rapidamente se degradou e passou a ficar em contato direto com o líquido, com uma parte suspensa e a outra submersa. Com isso, seu desempenho no bloqueio da evaporação foi decaindo durante o estudo na Etapa 2. É necessário mencionar ainda que devido ao sombreamento ocasionado por esse tipo de material na região interna do reservatório, houve um aparecimento significativo de vários anfíbios, mais precisamente rãs. Tal fato só foi evidenciado nesse reservatório.

É importante pontuar que o tetrapak é um material reutilizável e de baixo custo, logo, seria uma alternativa economicamente viável e de fácil implementação como barreira de minimização dos efeitos ocasionados pelo fenômeno. Todavia, a acelerada degradação e a consequente perda de desempenho e necessidade de retrabalhos, podem acarretar em custos adicionais de manutenção e operação que a tornem uma alternativa menos viável que as demais.

Em relação as demais coberturas, as de garrafas ficaram bem abaixo em relação ao de superfície livre, semelhante ao que aconteceu na Etapa 1. Já as linhas que representam as telas, se caracterizam por valores intermediários, estando entre a que simboliza o reservatório de referência, que tem maiores índices, e as que mais diminuem a evaporação, as barreiras de garrafas e a de tetrapak.

Gráfico 5 - Curvas de evaporação acumuladas para os reservatórios testados, Etapa 2.



Fonte: O Autor (2021).

Na Figura 24, foi exibido o comportamento das curvas acumuladas das taxas de evaporação. Evidencia-se o bom desempenho inicial do tetrapak e o posterior decaimento ao longo das análises. As garrafas, se mostram como boas mitigadoras das taxas de evaporação, como já destacado.

Curiosamente, a tela preta com maior espaçamento entre as malhas melhorou significativamente o desempenho, em relação a primeira parte da pesquisa, e obteve destaque sobre as demais telas. Esse fato, pode ser atribuído com o aumento da temperatura média, em comparação com o período anterior, visto que tal material é comumente empregado na agricultura para fornecer sombreamento a diferentes culturas e evitar as perdas de água para a atmosfera por meio da evapotranspiração das plantas.

As linhas representativas das telas branca, verde e a preta, de menor espaçamento entre as malhas, estão no gráfico aproximadamente sobrepostas, não sendo possível identificar uma

diferença significativa entre a eficiência das mesmas na diminuição das taxas. Porém, é visível a redução em comparação ao reservatório de superfície livre.

Na Tabela 4, identifica-se a eficiência dos materiais na redução das taxas de evaporação total, em relação ao reservatório de referência.

Tabela 4 - Eficiência na redução da evaporação para os reservatórios testados na Etapa 2.

Reservatório	Evaporação total	Eficiência
	(mm)	(%)
Referência	1095	-
Tela verde	911	16,80
Tela branca	912	16,71
Tela preta (#maior)	826	24,57
Tela preta (#menor)	937	14,43
Tetrapak	664	39,36
Garrafa verde	650	40,64
Garrafa transparente	682	37,72

Fonte: O Autor (2021).

Identifica-se que todos os reservatórios cobertos apresentaram valores de evaporação total inferiores ao do reservatório de superfície livre, com isso, todas as barreiras mostraram-se eficientes na mitigação das taxas de evaporação, diferentemente do que foi obtido na primeira etapa do experimento.

As garrafas verde e transparente e o tetrapak foram os materiais com maior eficiência na redução com, respectivamente, 40,64%, 37,72% e 39,36%, apesar do rápido desgaste desse último. Entretanto, é fundamental pontuar ainda que o desempenho das barreiras flutuantes diminuiu em relação aquele observado anteriormente. Na verde a eficiência foi de 53,91% para 40,64%, já na cobertura com garrafa transparente foi de 45,36% para 37,72%. Esse enfraquecimento pode ser atribuído a elevação das temperaturas médias ou ao próprio envelhecimento do material, que não foi substituído entre uma etapa e outra, como no caso das telas.

As telas branca e preta de maior espaçamento entre as malhas tiveram uma mudança de comportamento, quando comparadas a etapa inicial dos estudos, pois no início não

apresentaram eficiência no bloqueio da evaporação. A preta, que melhorou ainda mais seu desempenho, foi de uma eficiência negativa de 2,03% para uma positiva de 24,57%. Já a branca, foi de -0,72% para 16,71%. É imprescindível acrescentar aqui que a eficiência negativa significa que os valores de evaporação total medidos nos reservatórios cobertos foram superiores a aqueles observados no reservatório de referência. A tela de cor verde, também se caracterizou por uma variação expressiva nos valores de eficiência, passando de 3,48% para 16,80%.

Ficou evidente que o desempenho das telas, na minimização das perdas de água por evaporação, é alterado diretamente pelas condições climáticas. Assim, quando a temperatura é alta e a precipitação é baixa, favorecendo a elevação das taxas, as telas se mostram com eficiência. Já quando as variáveis climáticas desfavorecem a evaporação, as telas não apresentam um bom desempenho.

Já a cobertura de tela preta com menor espaçamento entre as malhas, foi o material que evidenciou a menor eficiência, com 14,43%. Pelo fato do menor espaçamento entre as malhas (70 % de cobertura) e, conseqüentemente, de proporcionar uma área de cobertura da superfície do líquido maior que a outra tela preta (50 % de cobertura), o resultado foi controverso ao que era esperado. Apesar de não apresentarem uma diferença tão significativa, no percentual de cobertura da superfície do líquido, quanto os 20 % das telas pretas, no caso das garrafas a de menor fechamento também foi a que obteve maior desempenho, sendo que a cobertura proporcionada pelas garrafas verdes foi de 72,8 % e pelas incolores foi de 74,4 %.

As eficiências encontradas para as telas verde e branca ainda foram inferiores as identificadas por Saraiva *et al.* (2001), que a partir de suas análises reduziram em 37 % as perdas de água com a utilização da tela verde e 25 % com a branca. O valor da segunda é bem próximo do verificado na tela de cor preta mais espaçada de 24,57 %.

Alvarez *et al* (2006) que mensuraram a eficiência de diversas coberturas suspensas, ressaltaram que das telas de polietileno, a de cor branca foi a que apresentou o menor desempenho na mitigação da evaporação com 54,7 %, valor muito superior aos 16,71 % constatados no presente estudo. Também avaliaram uma cobertura de tela aluminizada que reduziu 51,5 % das perdas de água, índice maior que os 39,36 % diminuídos pelo tetrapak, como é possível perceber na Tabela 3.

O percentual de diminuição que Simon *et al* (2016) identificaram utilizando garrafas PET foi bem próximo ao percebido no presente estudo para esta segunda etapa. Os escritores conseguiram uma eficiência de 40 %, já aqui foi de 40,64 % para as garrafas verdes e de 37,72 % para as garrafas transparentes.

É possível perceber que os materiais apresentam comportamentos diferentes, quando avaliados com a finalidade de mitigar os efeitos causados pela evaporação, até o mesmo material pode variar quando exposto a condições climáticas distintas. Com isso, são de extrema relevância os estudos que indiquem o material adequado para cada localidade e de acordo com a necessidade de uso.

Nessa segunda etapa das análises, também optou-se por incrementar o estudo estatístico dos dados coletados, mesmo todas as barreiras apresentando alguma eficiência contra a evaporação. Dessa forma, repetiu-se o procedimento da etapa inicial, selecionando os dados de evaporação média diária dos dias com precipitação não superior a 1 mm. Com isso, é possível identificar a dispersão dos dados diários de evaporação.

Tabela 5 - Evaporação média diária e desvio padrão da evaporação média diária na Etapa 2.

COBERTURA	Evap méd diária (mm)	DP média diária (mm)
Cobertura: Livre	9.2	1.14
Cobertura: Tela verde	7.8	1.02
Cobertura: Tela branca	7.8	1.00
Cobertura: Tela preta - menor espessura	7.6	1.13
Cobertura: Tela preta - maior espessura	7.1	0.77
Cobertura: Tetrapak	6.1	1.12
Cobertura: Garrafa transparente	5.8	0.58
Cobertura: Garrafa verde	5.5	0.65

Fonte: O Autor 2022.

Na Tabela 5, percebe-se que o melhor desempenho no bloqueio contra as perdas diárias de água foi da cobertura de garrafas verdes, devido ao menor índice de evaporação média diária, contudo a proteção de garrafas transparentes foi a que apresentou a menor dispersão dos dados coletados, além de uma excelente eficiência em comparação com as demais.

Em relação a cobertura de Tetrapak, apresentou uma boa redução da evaporação diária quando comparada com o reservatório de superfície livre, entretanto a dispersão dos valores foi elevada ao ser equiparada com as demais. Tal efeito pode ser atribuído ao fato de que o material se degradou rapidamente com a ação do tempo, com isso o bloqueio a evaporação ficou comprometido.

Por sua vez, todas as telas apresentaram redução na evaporação diária, com destaque para a tela preta com maior espaçamento entre as malhas, que também apresentou melhor dispersão dos valores. As demais, caracterizam-se por um comportamento bem semelhante nos

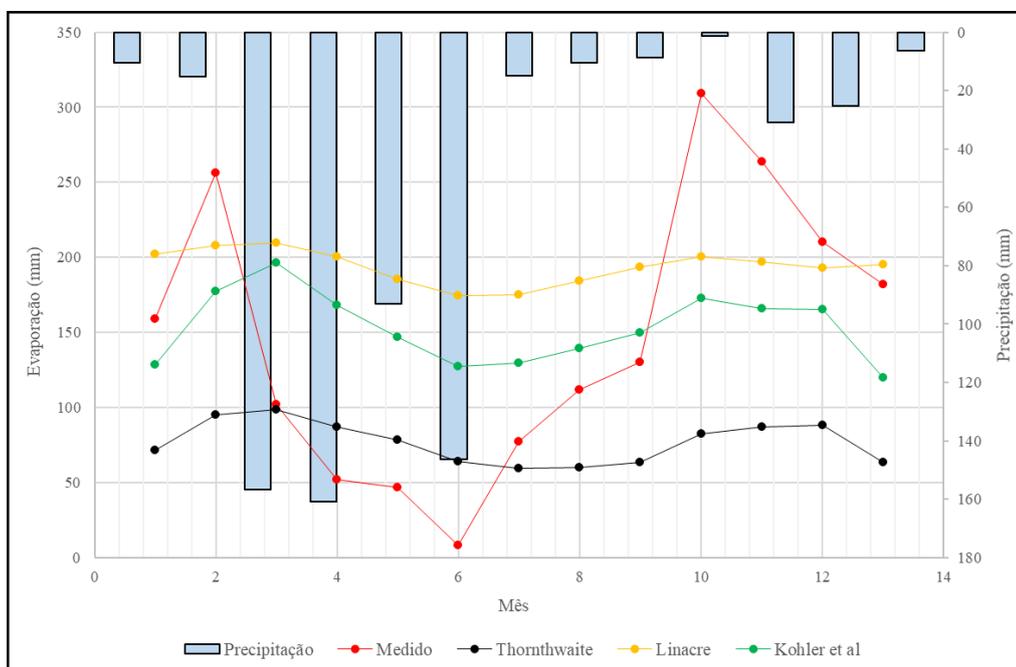
índices de evaporação média diária e a tela preta com menor espaçamento entre as malhas apresentou dados mais dispersos. Com isso, destaca-se que o espaçamento entre as malhas influenciou diretamente no bloqueio das taxas de evaporação, todavia a diferença de cores das telas não causou efeitos, como era esperado.

De um modo geral, a análise dos dados de dispersão na segunda etapa também são satisfatórias e apresentaram valores ainda melhores que na primeira etapa, comprovando assim que a precipitação efetivamente influencia na evaporação.

5.4 AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS ESTIMATIVOS DA EVAPORAÇÃO

Na Figura 25, observam-se as curvas dos métodos estimativos de cálculo da evaporação mensal na região estudada e os valores medidos no reservatório de referência. Os modelos empregados são: Thornthwaite (1948), Linacre (1993) e Kohler *et al* (1955). É possível identificar ainda as precipitações totais de cada mês durante o período de estudo. O intervalo de análises tem início em 10 de janeiro de 2020 e término em 22 de janeiro de 2021.

Gráfico 6 - Comparativo dos métodos estimativos de cálculo da evaporação líquida, no período de janeiro de 2020 até janeiro de 2021.



Fonte: O Autor (2021)

Em uma primeira análise foi possível perceber que os três modelos estimativos da evaporação não demonstram um comportamento semelhante aquele observado pelas medições de campo. Visto que, a elevada variabilidade identificada nos valores das medições, não é

acompanhada pelos métodos. Contudo, dentre os três, o método que mais se aproxima graficamente é o de Kohler *et al.* (1955), pois apresenta valores decrescentes e crescentes em períodos similares ao de referência, com relação aos demais.

Ressalta-se que o modelo de Kohler *et al.* (1955) é o único dos três que utiliza, em sua equação, uma correção para a diferença existente entre a temperatura do ar e a temperatura da superfície do líquido, por meio do coeficiente psicométrico. Atrelado a isso, é também o método que considera o maior número de parâmetros climáticos nos cálculos, exemplos: temperaturas mínima, média e máxima, velocidade do vento, umidade relativa do ar, precipitação, dentre outras. Tais questões podem ser a justificativa para a maior proximidade dos valores observados nesse modelo com aqueles obtidos na prática.

Por sua vez o modelo de Linacre (1993), que superestimou a evaporação, considera apenas as variáveis temperatura média, precipitação e velocidade do vento nos cálculos. Já o de Thornthwaite (1948) adota apenas a temperatura do ar como parâmetro climático, e a isso é atribuído o motivo pelo qual o modelo subestimou a evaporação. Ficou claro que o fato de utilizar apenas a temperatura como variável de cálculo, em uma região que apresenta grande variabilidade climática, pode não ser o ideal. É importante mencionar ainda que são modelos muito relevantes para áreas que carecem de dados climatológicos.

Nos índices de evaporação observados em campo, houve um acréscimo no mês inicial e uma queda brusca durante o período chuvoso de inverno até o mês de junho. Após, os valores aumentaram até outubro, atingindo o pico, e caíram novamente até o fim das análises. Dessa maneira, identifica-se a dispersão nos valores coletados da evaporação medida em campo, que é motivada principalmente pela significativa variabilidade climatológica típica da região. Outro fator modificador dessa dispersão é que os índices de precipitação não foram descontados do valor medido da evaporação. Logo, a escolha por essa forma de análise, se deu visando evitar que precipitações concentradas em poucos dias alterassem significativamente os estudos, ou seja, evitar a contabilização de chuvas que ocasionassem em transbordamentos dos reservatórios.

Nos três modelos estimativos, a evaporação foi crescente do início até o mês de março, atingindo seu valor mais elevado de todo o período de estudos. Baseado no gráfico de caracterização climática (Figura 19), apesar desse mês evidenciar notável precipitação, foi possível perceber que esse é o de maior temperatura média, justificando os altos índices das taxas de evaporação e a interferência direta desse parâmetro nos métodos de cálculo.

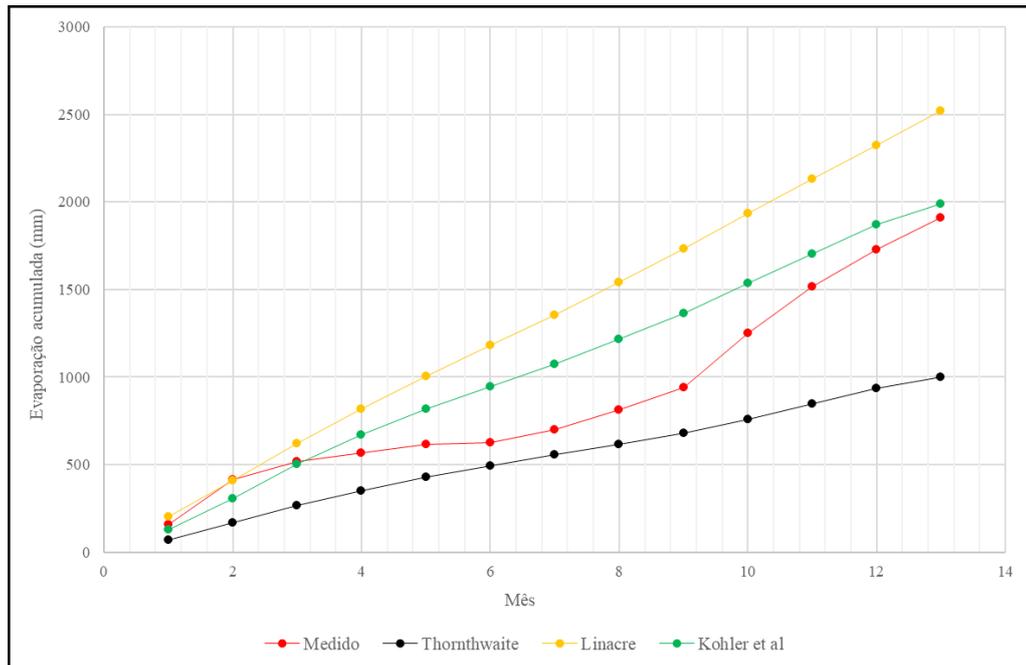
A partir de março acontece um decréscimo nas taxas de evaporação até junho, nos métodos de Linacre (1993) e Kohler *et al.* (1955), como foi percebido na curva dos valores

coletados em campo. Tal efeito pode ser justificado pelo fato de que esse mês exibiu alta precipitação total e baixa temperatura média, além de expressiva velocidade do vento, em comparação aos demais. Já no de Thornthwaite (1948), esse declínio é estendido até o mês de julho. É fundamental destacar que para esse último método era esperado do mês de agosto o menor índice de evaporação, pois a equação leva em consideração apenas a temperatura média mensal do ar.

Entre os meses de junho até outubro, os modelos de Linacre (1993) e Kohler *et al.* (1955), evidenciaram um crescimento nos índices da evaporação. E, desse último mês até o fim dos estudos, os valores tornaram a diminuir novamente. Entretanto, os comportamentos ao final foram um pouco diferentes, pois o método de Kohler *et al.* (1955) apresentou uma variabilidade mais significativa que o de Linacre (1993). Já o de Thornthwaite (1948), foi crescente entre julho e dezembro, e voltou a decair até o fim.

Os valores mínimos de evaporação identificados para os métodos de Kohler *et al.* (1955) e Thornthwaite (1948) aconteceram em janeiro de 2021. É válido salientar que a quantidade de dias estudados nesse mês, assim como no mesmo mês do ano anterior, é inferior aos demais, totalizando 22 dias. Já em Linacre (1993), o mínimo foi detectado no mês de junho.

Gráfico 7 - Curvas acumuladas das taxas de evaporação teóricas e medida.



Fonte: O Autor (2021).

Na Figura 26, pode-se observar a evaporação acumulada durante o período de estudos para os métodos estimativos e os valores medidos em campo. Foi possível verificar a diferença de comportamento entre os modelos e os valores reais. As estimativas de evaporação acumulada exibem uma tendência de crescimento contínuo, enquanto a curva obtida pelos valores coletados expressa uma nítida variabilidade.

A curva de índices colhidos em campo está compreendida, predominantemente, entre os modelos de Thornthwaite (1948) e o de Kohler *et al.* (1955). Na observação conjunta da Figura 26 com a Tabela 4, que expõe a evaporação total no intervalo de estudos, é identificado que o método mais representativo para a região de estudo é o de Kohler *et al.* (1955). A diferença da evaporação total colhida em campo e desse modelo estimativo é de apenas cerca de 80 mm.

Tabela 6 - Valores de evaporação total teórica e medida.

Modelos	Evaporação total (mm)
Medido (em campo)	1908
Thornthwaite	999.62
Linacre	2518.79
Kohler	1988.1

Fonte: O Autor (2021)

O método de Thornthwaite (1948) foi o que minorou os valores de evaporação em comparação aos reais, com uma diferença pouco superior aos 900 mm. Por sua vez, o de Linacre (1993) majorou os valores, sendo superior em cerca de 600mm.

6 CONCLUSÃO

Portanto, a escolha por materiais que mitiguem as taxas de evaporação é de extrema relevância no gerenciamento dos recursos hídricos, evitando perdas de água para a atmosfera, e diversos fatores devem ser levados em consideração na adoção da melhor alternativa, como por exemplo: obtenção, durabilidade, eficiência no bloqueio e comportamento dos materiais diante das condições ambientais locais, custos de implementação, operação e manutenção, dentre outros. A qualidade das águas também é significativa na seleção dos materiais e cuidados adicionais devem ser tomados para evitar modificações indesejadas, devido acúmulo por períodos prolongados.

Diante desse contexto, os materiais empregados na pesquisa demonstraram que podem ser uma poderosa ferramenta aos pequenos produtores rurais do Nordeste brasileiro, impactando diretamente nas perdas de água por evaporação, principalmente no período em que as condições climáticas são mais adversas e, conseqüentemente, favorecem a evaporação. Além do ganho em relação ao recurso hídrico, são meios de baixo custo de aquisição e implementação.

Na etapa 1, na qual as condições climáticas foram mais amenas, as telas de polietileno nas cores verde, branca e preta não se mostraram eficientes no bloqueio da evaporação. Em contrapartida, as garrafas PET transparentes e verdes caracterizaram-se pelo expressivo desempenho, com redução percentual de, respectivamente, 45,36% e 53,91%.

Já na segunda etapa, na qual as condições climáticas foram mais favoráveis as taxas de evaporação e houve o acréscimo de mais dois tipos de coberturas. Além das garrafas PET que se destacaram novamente exibindo reduções de 40,64% para as verdes e 37,72% para as incolores, a proteção de tela aluminizada também obteve alto desempenho, diminuindo 39,36% da evaporação. Entretanto, esse último material demonstrou rápida degradação e sua eficiência inicial foi decaindo, assim seu uso está condicionado a retrabalhos que podem ser não viáveis.

Em relação as telas de polietileno, a tela preta de maior espaçamento entre as malhas melhorou significativamente em relação a primeira etapa dos estudos e minimizou pouco mais de 24,00% da evaporação. Em contrapartida, a tela preta de menor espaçamento foi a de pior eficiência, com apenas 14,43%. Tal evidência foi contrária a expectativa inicial, devido ao maior fechamento da superfície do líquido promovido pela segunda tela. Já as telas verde e branca tiveram desempenhos próximos, reduzindo aproximadamente 17,00%.

O tratamento estatístico dos dados, considerando os dias em que não aconteceram precipitações ou que os índices foram inferiores a 1,0 mm, foi satisfatório para todos os reservatórios. Evidenciou-se os baixos valores de evaporação média diária dos reservatórios

cobertos com garrafas PET em relação aos demais, com valores próximos de 5,0 mm, e também da melhor dispersão dos dados, nas duas etapas. Em relação as telas, de modo geral, apresentaram um comportamento semelhante, com evaporação média diária superior a 7,0 mm. Inclusive, na primeira etapa, a cobertura de tela verde se igualou ao reservatório descoberto, com 9,1 mm. Por meio dessa análise, ficou comprovado que a precipitação efetivamente influencia na evaporação.

Dos métodos analisados e que utilizam os parâmetros climatológicos para estimar a evaporação, o de Kohler *et al.* (1955) foi aquele que mais se aproximou dos valores observados em campo, na área de estudo. O modelo de Thornthwaite (1948), por sua vez, subestimou e muito a evaporação, por levar em conta apenas a temperatura do ar em seus cálculos. E o de Linacre (1993), superestimou as taxas, mesmo considerando mais variáveis que o modelo anterior.

Por fim, outros materiais poderiam ser estudados e analisados com a finalidade de minimizarem as perdas de água por evaporação. Como exemplo, Han *et al.* (2020), citaram esferas de polietileno de alta densidade que diminuiu significativamente a evaporação média em 70,6 %, porém é uma alternativa de alto custo de aquisição, apresentando maior vantagem ecológica do que financeira. Já Zhang *et al.* (2020), mensuraram o uso de células fotovoltaicas flutuantes, que além de mitigar a evaporação são capazes de gerar energia elétrica, todavia exibem elevadas despesas de implementação e manutenção. Além de outros materiais, podem ser percebidas outras formas de emprego dos mesmos materiais. Dessa maneira, Alvarez *et al.* (2006), aplicaram dupla camada de tela de polietileno, na cor preta, e identificaram uma redução de 83,50% das taxas de evaporação.

REFERÊNCIAS

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.

ALMEIDA, H. A. de. **Climatologia aplicada à geografia** [Livro eletrônico]. Campina Grande: Ed. Editora da Universidade Estadual da Paraíba (eduepb), 2016. 317 p.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. da; BAZAME, H. C. Improving methods for estimating small reservoir evaporation in the Brazilian Savanna. **Agricultural Water Management**, v. 216, p. 105-112, 2019.

ALVAREZ, V. M.; BAILLE, A.; MARTÍNEZ, J. M. M.; GONZÁLEZ-REAL, M. M. Efficiency of shading materials in reducing evaporation from free water surfaces. **Agricultural Water Management**, v. 84, n. 3, p. 229–239, 2006.

ALVAREZ, V. M.; BAILLE, A.; MARTÍNEZ, J. M. M.; GONZÁLEZ-REAL, M. M. Effect of black polyethylene shade covers on the evaporation rate of agricultural reservoirs. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 4, p. 280-288, 2006.

ALVAREZ, V. M.; MAESTRE-VALERO, J. F.; MARTIN-GORRIZ, B.; GALLEGO-ELVIRA, B. Experimental assessment of shade-cloth covers on agricultural reservoirs for irrigation in south-eastern Spain. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 2, p. 122-133, 2010.

ANTONOPOULOS, V. Z.; GIANNIOU, S. K.; ANTONOPOULOS, A. V. Artificial neural networks and empirical equations to estimate daily evaporation: application to Lake Vegoritis, Greece. **Hydrological Sciences Journal**, v. 61, n. 14, p. 2590-2599, 2016.

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

BOU-FAKHREDDINE, B.; MOUGHARBEL, I.; FAYE, A.; POLLET, T. Estimating daily evaporation from poorly-monitored lakes using limited meteorological data: A case study within Qaraoun dam – Lebanon. **Journal of Environmental Management**, v. 241, p. 502-513, 2019.

BRITO, L. T. L.; SILVA, A. de S.; PORTO, E. R. Disponibilidade de água e a gestão dos recursos hídricos. In: EMPRAPA SEMIÁRIDO. **Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 12-32, 2007.

BUENO, E. de O., MELLO, C. R. de, ALVES, G. J. Evaporation from Camargos hydropower plant reservoir: water footprint characterization. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 3, p. 570-575, 2016.

CAETANO, T. O. **Disponibilidade hídrica das aluviões e as características de uso e demanda de água em comunidades rurais do semiárido pernambucano**. 2018. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru - Pernambuco, 2018.

CAMPELLO NETTO, M. S. C. et al. Manejo Integrado de Água no Semiárido brasileiro. In: CIRILO, J. A. et al. (org.) **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas**. Recife: ABRH - Editora Universitária UFPE, p.508. 2007.

CAMPOS, A. C. Seca no Semiárido deixa açudes em situação crítica no Nordeste. **Agência Brasil**. Data de publicação: 13.10.2013. Disponível em: <<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2013-10-13/seca-no-semiarido-deixa-acudes-em-situacao-critica-no-nordeste>>. Acesso em: 20.07.2020.

CARUARU. **Dados Socioeconômicos e Geográficos**. Disponível em: <http://visitecaruaru.com.br/pt/Sobre_Caruaru/Dados_Socioeconomicos_e_Geograficos/10/> Acesso em: 09.08.2020.

CASTRO, R. M. **Estudo comparativo das perdas d'água em mesocosmos colonizados ou não por aguapé (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms-Laubach)**. 2008. 77f. Dissertação

(Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – São Paulo, 2008.

CHAPLIN, C. **Vida e pensamentos**. Martin Claret, p. 118, 1997.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; CAMPOS, J. N. B. A questão da água no semiárido brasileiro. In: Bicudo, C. E. de M; Tundisi, J. G.; Scheuenstuhl, M. C. B. (Org.). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, v. 1, p. 81-91, 2010.

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

DAWOOD, K. A.; RASHID, F. L.; HASHIM, A. Reduce Evaporation Losses from Water Reservoirs. **Journal of Applied Physics**, v. 4, n. 6, p. 13-16, 2013.

ERENO, D. Mistura fina – Película protetora reduz evaporação de água doce em reservatórios. **Pesquisa FAPESP** (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). ed. 122, São Paulo, 2006.

FERREIRA, J. D. C. **Condições de preservação dos recursos hídricos em microbacias em brejos de altitude no semiárido pernambucano**. 2018. 91f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia e Geociência, Universidade Federal Pernambuco, Recife - Pernambuco, 2018.

FONTES, A. S.; OLIVEIRA, J. I. R.; MEDEIROS Y. D. P. **A evaporação em açudes no semiárido nordestino do Brasil e a gestão de águas**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – SBRH, Curitiba-PR, 2003.

GALLEGO-ELVIRA, B.; BAILLE, A.; MARTÍN-GORRIZ, B.; MAESTRE-VALERO, J. F.; MARTÍNEZ-ALVAREZ, V. Evaluation of evaporation estimation methods for a covered reservoir in a semi-arid climate (south-eastern Spain). **Journal of Hydrology**, v. 458-459, p. 59-67, 2012.

HAN, K.; SHI, K.; YAN, X. Evaporation loss and energy balance of agricultural reservoirs covered with counterweighted spheres in arid region. **Agricultural Water Management**, v. 238, p. 1-12, 2020.

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, 2012.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. **Semiárido Brasileiro**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974-semiarido-brasileiro.html?t=sobre> Acesso em: 01.08.2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. **Cidades e Estados** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados> Acesso em: 08.08.2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/> Acesso em: 15.01.2021.

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

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

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

LENTERS, J. D.; KRATZ, T. K.; BOWSER, C. J. Effects of climate variability on lake evaporation: Results from a long-term energy budget study of Sparkling Lake, northern Wisconsin (USA). **Journal of Hydrology**, v. 308, n. 1-4, p. 168–195, 2005.

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

LOWE, L. D.; WEBB J. A.; NATHAN, R. J.; ETCHELLS, T.; MALANO, H. M. Evaporation from water supply reservoirs: an assessment of uncertainty. **Journal of Hydrology**, v. 376, p. 261-274, 2009.

MARTINS, D. R. F. **Definição de Layout de Protótipo Industrial Para Separação Gravítica de Embalagens Tetra Pak®**. 2013. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga - Portugal, 2013.

MARTINS, J. A. Evaporação e Evapotranspiração. In: PINTO, N. L. de S. et al. **Hidrologia básica**. ed. Mec, 1976. p. 56-66.

MONFARED, S. A. H.; REZAPOUR, M.; ZHIAN, T. Using Windbreaks for Decreasing Lake and Reservoir Evaporation: A Case Study from Iran. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28, n. 4, p. 2289-2298, 2019.

MORTON, F.I. Operational estimates of areal evaporation and their significance to the science and practice of hydrology. **Journal of hydrology**, v. 66, p. 1-76, 1983.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. E. Clima e Água de Chuva no Semiárido. In: EMPRAPA SEMIÁRIDO. **Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 34-59, 2007.

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.

NUNES, T. H. C.; GALVÃO, C. de O.; RÊGO, C. J. Rule curve for seasonal increasing of water concessions in reservoirs with low regularized discharges. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 21, n. 3, p. 493-501, 2016.

OLIVEIRA, G.M. de; LEITÃO, M de M.V.B.R; GALVÃO, C. de O.; LEITÃO, T.J.V. Estimativa da evaporação e análise do uso do coeficiente (Kp) do tanque “Classe A” nas regiões do Cariri e Sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 73-83, 2005.

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.

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

PEREIRA, S.B.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. da; RAMOS, M.M. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 346-352, 2009.

PAZ, A. R. da. **Hidrologia aplicada**. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Caxias do Sul, 2004.

RODRÍGUEZ, M. P.; PRINCIPE, B. E.; MÁRQUEZ, J. A.; RAFFAINI, G. B. Diversidad de macroinvertebrados fitófilos en arroyos de cabecera en pastizales de altura en Córdoba, Argentina. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 88, n. 4, p. 853-859, 2017.

ROSA, C. S.; ANTUNES, R. D.; PITELLI, R. A.; PITELLI, R. L. C. M. Avaliação comparativa das perdas de água por evapotranspiração em mesocosmos colonizados por diferentes macrófitas aquáticas. **Planta Daninha**, v. 27, n. 3, p. 441-445, 2009.

SARAIVA, F. A. M.; SOUSA, F. de A. S. de. LEITÃO, M. de M. V. B. R. **Redução de evaporação em reservatórios artificiais**. 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semiárido. Campina Grande-PB, 2001.

SOARES, Z. T.; SOARES, E. F.; MARTINS, C. P. Construção de filtros aplicando as espécies macrófitas *Pistia stratiote* e *Nymphaea alba* para o tratamento de efluentes domésticos. **Revista Educação Ambiental em Ação**, v. XIV, n. 55, p. 1-12, 2016.

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

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, 2016.

TANNY, J.; COHEN, S.; BERGER, D.; TELTCH, B.; MEKHMANDAROV, Y.; BAHAR, M.; KATUL, G. G.; ASSOULINE, S. Evaporation from a reservoir with fluctuating water level: Correcting for limited fetch. **Journal of Hydrology**, v. 404, p. 146-156, 2011.

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

TIAN, W.; LIU, X.; WANG, K.; BAI, P.; LIU, C. Estimation of reservoir evaporation losses for China. **Journal of Hydrology**, v. 596, 2021.

TORRES, C. M.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. de T. **Física – Ciência e tecnologia**. v. 2. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2010.

TRINDADE, T. Q. DA.; MARTINI, D. Embalagens tetra pak® alternativa de baixo custo na construção. **2º Jornada Científica da UNEMAT**. Universidade do Estado de Mato Grosso, Barra do Bugres, Mato Grosso, 2009.

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

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2001. 943 p.

TUNDISI, J. G. (Coord.). **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014.

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

VIEIRA, N. P. A. **Estimativa da evaporação nos reservatórios de Três Marias – MG e Sobradinho – BA**. 2015. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – Minas Gerais, 2015.

WURBS, R. A.; AYALA, R. A. Reservoir evaporation in Texas, USA. **Journal of Hydrology**, v. 510, p. 1-9, 2014.

YAO, X.; ZHANG, H.; LEMCKERT, C.; BROOK, A.; SCHOUTEN, P. Evaporation Reduction by Suspended and Floating Covers: Overview, Modelling and Efficiency. **Urban Water Security Research Alliance Technical Report**, n. 28, 2010.

ZHANG, H.; GORELICK, S.; ZIMBA, P.; ZHANG, X. A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss. **Journal of Hydrology**, v. 555, p. 213–227, 2017.

ZHANG, N.; JIANG, T.; GUO, C.; QIAO, L.; JI, Q.; YIN, L.; YU, L.; MURTO, P.; XU, X. High-performance semitransparent polymer solar cells floating on water: Rational analysis of power generation, water evaporation and algal growth. **Nano Energy**. v. 77, p. 1-11, 2020.