



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Evaporação em pequenos reservatórios, com diferentes coberturas, na região do Semiárido brasileiro

Jean Carlo do Nascimento ¹, Maria das Graças Monteiro Almeida de Melo ², Leidjane Maria Maciel Oliveira ³, Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral ⁴, Anderson Luiz Ribeiro de Paiva ⁵

¹ Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Caruaru, Pernambuco, Brasil, jeaneng100@hotmail.com;

² Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM) da UFPE, Av. Marielle Franco, KM 59, s/n, Nova Caruaru CEP: 55014-900, Caruaru, Pernambuco, Brasil, mariadagracasmonteiro@hotmail.com; ³ Doutora e professora Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECIV), do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) da UFPE, membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFPE), leidjane.oliveira@ufpe.br; ⁴ Doutor e professor da Universidade de Pernambuco (UPE), membro permanente do PPGEC/UFPE, jaime.cabral@ufpe.br; ⁵ Doutor e professor do DECIV/CTG/UFPE, membro permanente do PPGECAM/UFPE e do PPGEC/UFPE, anderson.paiva@ufpe.br (autor correspondente). *Parte do mestrado do primeiro autor.

Artigo recebido em 10/10/2023 e aceito em 06/12/2023

RESUMO

O fenômeno da evaporação é responsável por transportar significativas quantidades de água dos mananciais hídricos para a atmosfera, na forma de vapor. Dessa maneira, pequenos produtores rurais, que necessitam das águas armazenadas para a agricultura irrigada, carecem de meios que mitiguem as perdas das águas ocasionadas pelo fenômeno. Diante desse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a utilização de alguns materiais visando reduzir as taxas de evaporação, são eles: 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. Ressalta-se que tais materiais formam uma barreira física protetora na superfície da água e são alternativas de baixo valor agregado, tanto na obtenção, quanto na implementação e operação. Obteve-se relevantes desempenhos dos materiais na redução das taxas, com as garrafas PET apresentando a melhor eficiência média, com cerca de até 50 % de diminuição do volume de água cedido para atmosfera. Por fim, estudou-se três métodos estimativos de cálculo da evaporação, comparando-os com os resultados coletados no local, e o método de Kohler et al. (1955) foi o que mais se aproximou da realidade. Por sua vez, o de Thornthwaite (1948) subestimou as taxas de evaporação e o de Linacre (1993) superestimou.

Palavras-chave: cobertura de reservatórios, garrafa PET, tela de polietileno, Tetrapak, estimativa evaporação.

Evaporation in small reservoirs with different covers in the Brazilian semiarid region

ABSTRACT

The phenomenon of evaporation is responsible for transporting significant amounts of water from water sources to the atmosphere, in the form of steam. In this way, small rural producers, who need stored water for irrigated agriculture, lack the means to mitigate the water losses caused by this phenomenon. Given this context, the present research aimed to evaluate the use of some materials to reduce evaporation rates, they are: two models of PET bottles (Polyethyl Ethylene Terephthalate), one with colorless material (250 mL) and the other with colored green (200 mL); two similar Polyethylene screens in green and white colors; two black Polyethylene screens, differentiated by the spacing between the meshes, one providing 50% shading and the other 80%; and aluminized packages, called Tetrapak. Note that such materials form a protective physical barrier on the surface of the water and are alternatives with low added value, both in obtaining, as well as in implementation and operation. Relevant performances of the materials in reducing rates were obtained, with PET bottles showing the best average efficiency, with about up to 50% reduction in the volume of water released into the atmosphere. Finally, three methods of estimating evaporation were studied, comparing them with the results collected at the site, and the method by Kohler et al. (1955) was the closest to reality. In turn, Thornthwaite (1948) underestimated the evaporation rates and Linacre (1993) overestimated.

Keywords: reservoir coverage, PET bottle, Tetrapak, polyethylene screen, evaporation estimate.

Introdução

A evaporação é um processo de enorme relevância no planejamento e gerenciamento de obras hídricas, devendo estar presente desde a elaboração de estudos preliminares, também na confecção e execução dos projetos até durante toda operação do corpo hídrico. Tal processo, foi conceituado por Lenters, Kratz e Bowser (2005), como sendo um fenômeno natural, integrante do balanço hídrico, que transporta significativas quantidades de água e energia de reservatórios e lagos para a atmosfera. Dessa maneira, mostram-se necessário os estudos sobre o fenômeno, com o intuito de evitar que essa “perda” hídrica cause impactos negativos sobre os múltiplos usos das águas dos mananciais hídricos, como no abastecimento e na irrigação.

O impacto adverso do processo da evaporação é ainda mais significativo em regiões como Semiárido nordestino brasileiro. Dessa maneira, Nunes et al. (2016) mencionaram 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. Assim, nota-se a necessidade por meios que diminuam os efeitos indesejados causados pelo fenômeno.

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. Diante desse contexto, Bezerra (2014) acrescentou que a evaporação ocorre por meio da absorção de calor, sendo fisicamente caracterizada como um processo endotérmico.

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. Esses mesmos autores explicam que 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.

Dessa forma, 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, por consequência, 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.

Os fatores intervenientes são os parâmetros que modificam diretamente as taxas de evaporação. No Quadro 1, são apresentados tais fatores, sua correlação com a evaporação e as referências que destacaram tais efeitos.

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.

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. 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. Tal fato, é ainda mais identificado em atividades que dependem fortemente das águas, como as atividades agrícolas, que são de grande relevância para o desenvolvimento social e econômico de uma 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 avanço social e econômico do Semiárido.

Quadro 1. Fatores intervenientes da evaporação.

Fator	Descrição	Referência
Radiação solar	é a energia motora para o fenômeno acontecer. Assim, quanto maior a radiação solar maior será a evaporação.	Martins (1976)
Temperatura do ar	maiores temperaturas do ar demandam maiores quantidades de vapor de água presente no ar e tal demanda é suprida pelas águas evaporadas.	Collischonn e Dornelles (2015)
Umidade relativa do ar	a umidade indica a quantidade de vapor de água presente no ar, sendo assim quanto maior a umidade, menores serão as taxas de evaporação.	Varejão-Silva (2006)
Vento	os ventos elevam a velocidade de evaporação, por arrastarem o ar que estava próximo a superfície evaporante.	Torres <i>et al.</i> (2010)
Pressão atmosférica	a pressão é atrelada a altitude local, dessa maneira quanto menor a altitude, maior será a pressão e menores serão as taxas de evaporação.	Martins (1976)
Área da superfície evaporante	a velocidade de evaporação será mais elevada para uma maior área de superfície evaporante, pelo maior contato das moléculas de água com o ar	Bezerra (2014)
Presença de cobertura vegetal	depende do tipo de espécie, visto que podem bloquear os fatores meteorológicos que agem na superfície como o vento e a incidência solar. Contudo, podem ceder água para atmosfera por transpiração.	Rosa <i>et al.</i> (2009)

Pereira et al. (2009) estudaram o fenômeno da evaporação no 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) foi o mais eficiente para a região. Tal modelo, estimou a evaporação líquida total anual em 1.330 mm.ano⁻¹. Mencionaram ainda que a construção da barragem ocasionou diminuição na vazão do Rio São Francisco, com a maior parcela dessa perda hídrica atribuída a evaporação, e o restante a outros usos da água como a geração de energia, abastecimento e irrigação.

Bueno et al. (2016) elaboraram um comparativo da evaporação do reservatório 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. Constatou-se que nos períodos de secas prolongadas, 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 estudo de estimativa da evaporação mensal, em 916 grandes

reservatórios de água, localizados na China, no período de 1985 até 2018. Verificaram uma tendência crescente das taxas de evaporação no decorrer dos anos. 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 fato de que na China caracterizam-se como mais profundos e de menores áreas superficiais, diferente dos Estados Unidos.

Bou-Fakhreddinea et al. (2019) realizaram estimativas de evaporação, no Líbano, e avaliaram o impacto financeiro causado em setores da economia. Nas hidrelétricas, a perda financeira, se toda a água cedida para atmosfera fosse destinada à geração de energia, seria de aproximadamente 850 mil dólares, valor correspondente a 5,1% do lucro alcançado. Já na agricultura irrigada, é possível identificar números ainda mais alarmantes com 43 milhões de dólares perdidos de lucro na irrigação.

Os estudos apresentados deixam claro a relevância que o fenômeno da evaporação deve ter no planejamento e gerenciamento da infraestrutura

hídrica, não devendo ser negligenciado, visando minimizar seus impactos em atividades essenciais para a sociedade.

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

No Quadro 2, tem-se exemplos de medidas já estudadas por diferentes autores na tentativa de reduzir as quantidades de águas transferidas para atmosfera, além disso o efeito que os meios selecionados ocasionaram na evaporação.

Quadro 2. Medidas aplicadas com a finalidade de reduzir as taxas de evaporação.

Medidas	Descrição	Efeito	Referência
pó fino (composto de calcário e surfactantes)	despejado na superfície da água, forma uma película ultrafina invisível a olho nu	redução média de 30% nas taxas, com mínimo de 14% e máximo de 55%	Ereno (2006)
monocamadas químicas (compostas pelos álcoois cetílico e estearílico)	a avaliação foi feita também com uma adição de hidróxido de cálcio (aumenta o espalhamento)	reduziu as taxas em até 41% e com o acréscimo da base a diminuição é cerca de 59%.	Mozafari et al. (2019)
telas plásticas, de cores diferentes	analisaram o impacto da diferença de cor da proteção na evaporação	a tela de cor verde reduziu em média 37% da evaporação e a cor branca em 25%, sob o efeito do bloqueio da radiação solar	Saraiva et al. (2001)
telas de polietileno (uma e duas camadas) e telas aluminizadas	avaliaram os efeitos das telas em tipos e cores diferentes, além da quantidade de camadas	alguns resultados de reduções da evaporação: - tela de polietileno: uma camada = 54,7% duas camadas = 83,5% - tela aluminizada: 51,5%	Alvarez et al. (2006)
garrafas de tereftalato de polietileno (PET)	as observações foram feitas em oito tanques, sendo 4 com as garrafas vazias e nos demais com um pouco de solo em seu interior (mitigar a ação dos ventos)	redução média de 40% das taxas; outra constatação relevante é que esse tipo de solução reduz em 1/3 a implementação da medida	Simon et al. (2016)
esferas de polietileno de alta densidade	mesmo apresentando baixo custo de instalação e de manutenção o retorno do investimento é para um longo prazo	taxa média de redução da evaporação foi de 70,6%; as esferas promovem uma cobertura de 76,4% da superfície;	Han et al. (2020)
células fotovoltaicas flutuantes	tal solução agrega a geração de energia solar, contudo acarreta grandes investimentos na implementação	o sombreamento causado pelas placas reduz a temperatura da água e a incidência solar, diminuindo a evaporação	Zhang et al. (2020)

Diante desse contexto, o presente estudo avaliou maneiras de minimizar as taxas de 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. Com isso, é importante mencionar que todos os materiais adotados são de baixo valor agregado, visando baratear os custos de implementação, operação e manutenção das

proteções. Por fim, 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).

Material e métodos

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. Apresenta clima 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 °C a 24,0°C. Janeiro é o mês mais quente (23,3 °C) e julho, o mais frio (19,5 °C) (CARUARU, 2020).

Materiais utilizados

Na sequência serão apresentados e descritos os materiais utilizados como barreiras físicas na superfície dos reservatórios, no intuito de reduzir as taxas de evaporação. Os reservatórios utilizados para medição da evaporação foram caixas retangulares de 37 cm x 60 cm de área, e 14 cm de altura, totalizando um volume máximo de 22 litros. Sendo um dos reservatórios utilizados sem cobertura para servir de referência.

Telas

As telas formam 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.

Inicialmente, a avaliação de diferentes cores de telas, deu-se pela possibilidade de existir variações na irradiação e na absorção da energia solar incidente de acordo com a cor do material. 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. Dessa forma, utilizou-se telas verde e branca do tipo Mosquiteiro. De acordo com o fabricante, a porcentagem de cobrimento que tais telas apresentam é de 14%. Por fim, destaca-se que são comumente empregadas para proteção de ambientes contra insetos e animais.

Além da avaliação de diferentes cores, estudou-se também como o espaçamento das

malhas das telas pode modificar a eficiência da barreira no impedimento aos efeitos do fenômeno. Com isso, utilizou-se dois tipos de telas na cor preta com distintas estruturas, visando identificar como o percentual de cobertura pode interferir nas condições atmosféricas próximas da superfície do líquido e alterar a evaporação. As referidas telas, são denominadas telas de sombreamento. Essas, normalmente, são utilizadas em culturas de frutas, folhas e hortaliças. Assim, os dois tipos de telas de sombreamento selecionadas foram: uma que apresenta maior espaçamento entre as malhas com um sombreamento de 50% da superfície; e outra que promove 80% de fechamento da área.

Todas as telas, de acordo com o fabricante, são compostas por polietileno de elevadas densidade e resistência, com proteção ultravioleta e a confecção é feita um processo de monofilamento, denominado Raschel, que fornece a característica de não desfiar.

Garrafas PET

As garrafas de polietileno tereftalato (PET) são resíduos provenientes da comercialização de itens como água mineral e refrigerantes, dessa forma sua reutilização mostra-se de grande necessidade ambiental.

No experimento, foram empregadas como 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. 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 a capacidade da garrafa na cor verde é de 200 mL, já a transparente é de 250 mL. Com a finalidade de conservar a superfície da água o mais coberta possível, mantem-se as garrafas amarradas umas às outras, evitando que o vento as arraste e deixe parte da superfície descoberta. Com a mesma finalidade de mitigar a ação dos ventos, também foi adicionado água no interior das garrafas, sendo aproximadamente 95 mL nas garrafas verdes e 145ml nos transparentes.

Por fim, menciona-se o percentual de cobertura que as garrafas proporcionam a superfície do líquido. A cobertura de garrafas na cor verde promove um fechamento da superfície de aproximadamente 72,80%, por sua vez, os transparentes cobrem uma área de 74,40%.

Tetrapak

De acordo com Martins (2013), as embalagens denominadas Tetrapak, ou aluminizadas, ou multicamadas, são formadas por três diferentes materiais: papel, plástico (polietileno) e o alumínio. São comumente empregadas nas embalagens de leites, seus derivados, e sucos. Diante desse contexto, Trindade e Martini (2009) citaram que a presença de alumínio auxilia a minimizar significativamente a temperatura ambiente, pelo fato de ser capaz de refletir mais de 95% da radiação solar. Assim, por mitigar um parâmetro meteorológico que eleva as taxas de evaporação, pode ser um material eficiente no combate aos efeitos do fenômeno.

O emprego 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. A confecção da proteção deu-se com algumas embalagens recortadas e costuradas por meio de grampos.

Quantificação da evaporação

A quantificação da evaporação dar-se pela divisão 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.

Medições diretas

O instrumento de medição utilizado para obter a quantificação direta das taxas de evaporação foi uma trena metálica. Tal ferramenta, é colocada em posição vertical e identifica-se a

altura em que a lâmina de água se encontra, observando-se cuidadosamente para evitar inclinações ou curvaturas do objeto de medição, além de sempre medir ao centro do reservatório. No caso das coberturas, é necessário abrir parte das mesmas para executar a medição. Já em relação a periodicidade das medições, são executadas de maneira semanal.

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

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 de referência. Tais estimativas, são baseadas em variáveis climáticas, como: temperatura atmosférica, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, velocidade do vento. No Quadro 3 são indicadas as equações adotadas por cada método.

Os dados climáticos requeridos pelos modelos, foram retirados da plataforma digital do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021) 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.

Quadro 3. Equações dos modelos de cálculo de evaporação.

Método	Equações	Parâmetros de cálculo
Thornthwaite (1948)	$E_L = C \cdot E_p ;$ $E_p = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot T_a}{I} \right)^a$	EL = evap. no lago (mm.mês ⁻¹); C = fator de correção; Ep = evap. padrão (mm.mês ⁻¹); I = índice de calor anual; a = um coeficiente relacionado ao índice "I"
Kohler et al. (1955)	$E_L = \left(\frac{\Delta R_n}{\Delta + \gamma_L} + \frac{\gamma_L \cdot E_a}{\Delta + \gamma_L} \right)$	EL = evap. no lago (mm.mês ⁻¹); γ_L = coeficiente psicrométrico corrigido (kPa.°C ⁻¹); Δ = declividade da curva de pressão de saturação de vapor (kPa.°C ⁻¹); Ea = poder evaporante do ar (mm.d ⁻¹); Rn = saldo de radiação, em equivalente de lâmina de água evaporada, (mm.d ⁻¹).
Linacre (1993)	$E_L = (0,015 + 0,00042T + 10^{-6}h) \cdot (0,8 \cdot R_S - 40 + 2,5 \cdot F \cdot u_2 \cdot (T_a - T_d))$	EL = evap. no lago (mm.mês ⁻¹); Rs = radiação solar na superfície do lago (W. m ⁻²); F = fator de correção devido à altitude do local, adimensional; u2 = veloc. do vento a 2 m de altura (m.s ⁻¹); h = altitude do local (m); Ta = temp. média do ar mensal (°C); Td = temp. média mensal do ponto de orvalho (°C)

Resultados e discussão

É válido destacar que a presente pesquisa foi dividida em três etapas. Na primeira, comparou-se a evaporação em cinco reservatórios cobertos por diferentes materiais, visando diminuir os efeitos do fenômeno, com um reservatório de referência, de superfície livre, 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.

Avaliação da evaporação – Etapa 1: cinco diferentes coberturas

Inicialmente, os cinco materiais empregados na avaliação contra os impactos da evaporação foram: garrafas PET nas cores verde e transparente, caracterizadas como coberturas flutuantes, e telas de polietileno nas cores branca, verde e preta, que são barreiras suspensas. Tais estudos, aconteceram em um período superior a sete meses, entre janeiro e agosto de 2020.

É importante pontuar que as medições foram executadas a cada dois ou três dias. Como as variações identificadas eram pequenas, o intervalo

de análises foi modificado, passando para duas vezes por semana e finalizando com uma medição semanal. Além disso, 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 adicionados os cobertos pela tela preta e as garrafas verde. No total, executou-se trinta e oito leituras.

Na Figura 1, identifica-se as taxas de evaporação medidas em cada reservatório, em milímetros. Nesse, é possível identificar a grande variabilidade nos valores coletados.

Destaca-se a relativa semelhança no comportamento entre as retas representativas do reservatório de superfície livre com os reservatórios cobertos, sendo da mesma forma crescente (ou decrescente) entre medições. Também, ficam evidentes os menores valores de evaporação apresentados com o emprego das coberturas de garrafas PET, sendo assim os materiais mais eficientes na mitigação dos impactos ocasionados pelo fenômeno.

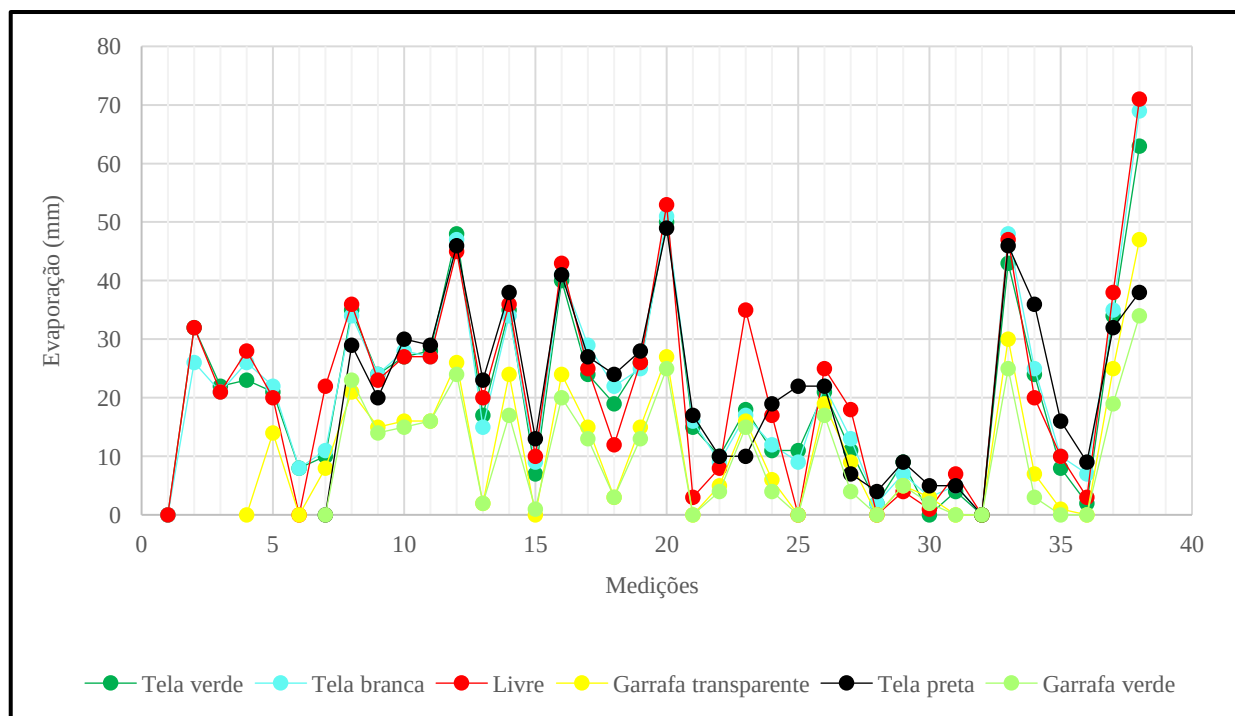


Figura 1. Evaporação medida, em mm, para cada reservatório na Etapa 1.

Outra constatação importante é a observação de valores das taxas evaporação iguais

a zero. Tal efeito é atribuído ao fato de que houve precipitação, e essa foi maior ou igual a evaporação

para o reservatório em questão, no intervalo entre uma leitura e outra.

Na Figura 2, observam-se 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.

Com o intuito de melhor analisar a evaporação acumulada total, a Tabela 1 especifica o somatório da evaporação no período estudado 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.

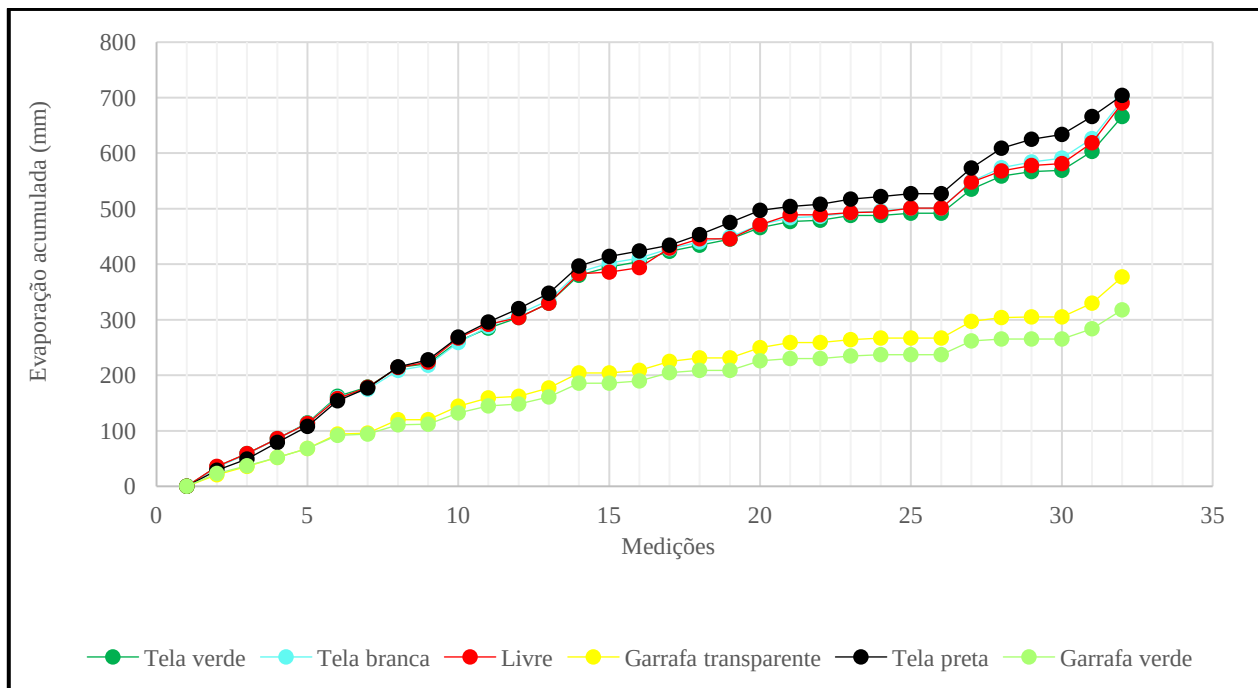


Figura 2. Curvas de evaporação acumuladas na Etapa 1.

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. Assim, 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.

Diante desse contexto, fez-se necessário um tratamento estatístico dos dados coletados, com

o intuito de melhor compreender o efeito dos materiais empregados na evaporação. Nessa perspectiva, calculou-se evaporação média diária considerando apenas os valores referentes aos dias em que não houve 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. Assim, é possível garantir que em tais dias avaliados, com precipitação inferior a 1 mm, houve efetivamente evaporação.

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. Na Tabela 2, identifica-se o valor médio da evaporação e o desvio padrão em torno dessa média, medida essa que indica a dispersão dos valores.

As coberturas elaboradas com as garrafas PET evidenciaram a eficiência na redução das

taxas, com valores médios de evaporação significativamente inferiores ao identificado no reservatório de referência, além de valores também pouco dispersos. As telas branca e verde quase não se mostraram eficientes. Por sua vez, a tela preta demonstrou melhor eficiência quando analisada

somente nos dias de pouca ou nenhuma precipitação.

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

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

Reservatório	Evaporação total (mm)	Eficiência (%)
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

Tabela 2. Evaporação média diária e desvio padrão da evaporação média diária na Etapa 1.

COBERTURA	Evap méd diária (mm)	DP média diária (mm)
Livre (referência)	9,1	1,36
Tela verde	9,1	1,57
Tela branca	9,0	1,30
Tela preta - maior espessura	7,7	1,09
Garrafa transparente	5,3	1,08
Garrafa verde	4,7	0,82

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

Avaliação da evaporação – etapa 2: sete diferentes coberturas

Nesta segunda etapa, além dos materiais já empregados na primeira parte dos estudos para mitigar as perdas de água pela evaporação, incrementou-se ainda mais uma tela preta, com menor espaçamento de suas malhas, e uma cobertura feita por embalagens de tetrapak, totalizando sete barreiras diferentes.

Em relação ao período de análises foi de 29 de agosto de 2020 até 22 de janeiro de 2021, obtendo vinte leituras em cada reservatório. É imprescindível pontuar o relevante papel das variáveis climáticas, neste segundo intervalo dos estudos, pois a temperatura média mensal sofre aumento e os índices de precipitações totais decaem significativamente, quando comparados ao período da Etapa 1.

Na Figura 3, são exibidos os valores pontuais colhidos em cada medição da evaporação, por reservatório. Em relação ao comportamento

das linhas, todas apresentaram uma tendência parecida com o reservatório de referência, ou seja, são crescentes, ou decrescentes, entre uma leitura e outra. Percebeu-se também que os dados apresentaram uma menor variabilidade do que aquela identificada na Etapa 1. 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.

Destaca-se que a cobertura de tetrapak, representada pela linha de cor roxa, inicia com um excelente desempenho na diminuição da evaporação, entretanto sua eficiência logo decaiu. Tal fato é atribuído a rápida degradação do material. Dessa forma, acrescenta-se que mesmo sendo um material reutilizável, o tetrapak pode tornar-se uma alternativa inviável, devido custos adicionais de manutenção e operação que o rápido desgaste pode acarretar.

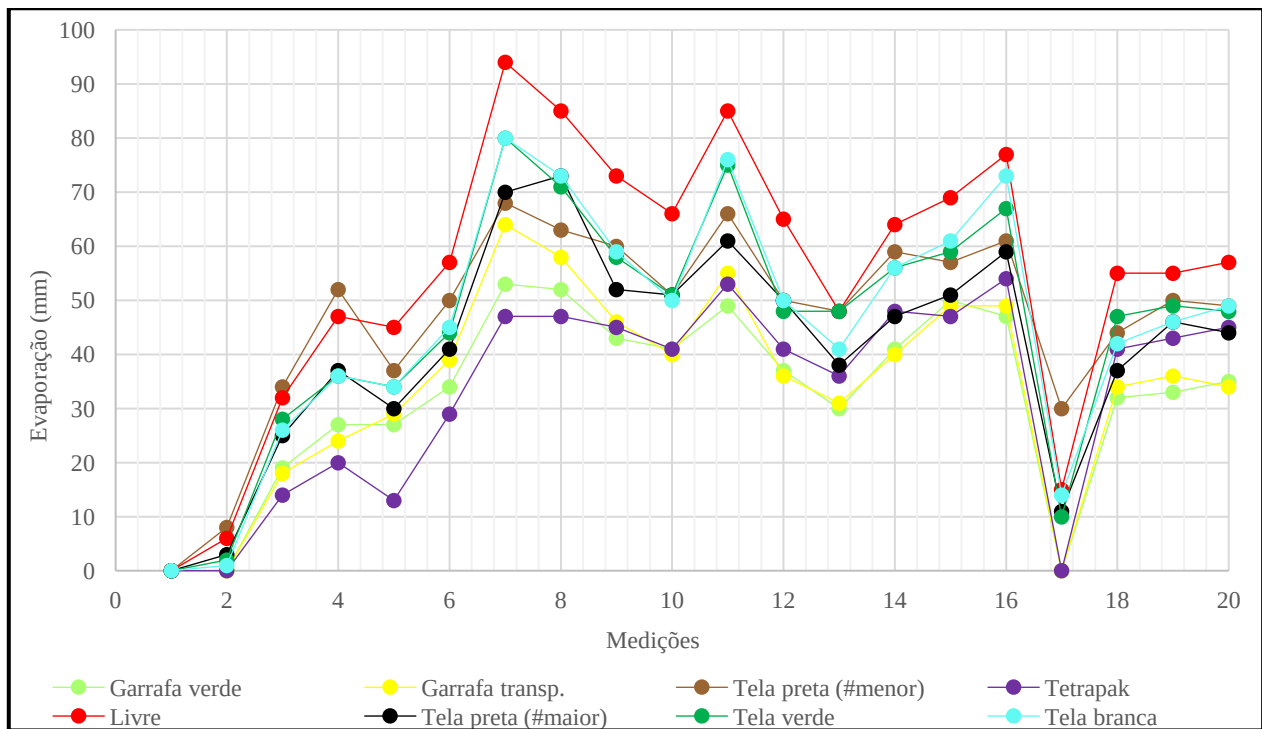


Figura 3. Evaporação medida, em mm, para cada reservatório na Etapa 2.

Em relação as demais coberturas, as de garrafas apresentaram valores de evaporação nitidamente inferiores, semelhante ao ocorrido na Etapa 1. Por sua vez, as telas se caracterizaram por valores intermediários, estando entre a curva representativa do reservatório exposto as condições normais e aqueles mais eficientes na redução.

Na Figura 4, foi exibido o comportamento das curvas acumuladas das taxas de evaporação. Fica evidente que a melhor eficiência na redução da evaporação tem-se com o emprego das coberturas de garrafas e de tetrapak, todavia percebe-se a queda de desempenho no bloqueio destas.

Ficou perceptível que a tela preta com maior espaçamento entre as malhas melhorou significativamente o desempenho, em relação a primeira parte da pesquisa. Tal efeito pode ser justificado pelas modificações nas condições climáticas entre etapas, com aumento da incidência solar e da temperatura ambiente. Em relação as demais telas, não se identifica uma diferença relevante na eficiência contra evaporação entre elas, apesar de ser nítido seus desempenhos quando ao reservatório de superfície livre.

Na Tabela 3, identifica-se a eficiência dos materiais na redução das taxas de evaporação total, em relação ao reservatório de referência.

Diferentemente do que foi obtido na primeira etapa do experimento, todos os materiais obtiveram alguma eficiência na mitigação das taxas de evaporação.

Menciona-se que as barreiras flutuantes, elaboradas com garrafas PET, apesar de estarem entre as mais eficientes, reduziram menos a evaporação que na primeira etapa. Esse resultado, pode ser atribuído a uma diminuição de desempenho do material pelo envelhecimento ou as alterações climáticas. Por sua vez, as telas mostraram-se com melhorias relevantes na eficiência, principalmente a preta com maior espaçamento entre as malhas. Portanto, ficou claro que o desempenho das telas, na minoração das perdas de água por evaporação, é alterado diretamente pelas condições climáticas.

Diante desse contexto, percebe-se que os materiais apresentam comportamentos distintos, quando avaliados com a finalidade de mitigar os efeitos causados pela evaporação, e o mesmo material pode variar quando exposto a condições climáticas distintas. Logo, 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 se optou por incrementar o estudo estatístico dos dados coletados, mesmo todas as barreiras apresentando alguma eficiência contra a evaporação. Na Tabela 4, são exibidos os valores de evaporação média diária, para as medições com precipitação inferior a 1 mm, e o desvio padrão em torno dessa média.

Fica perceptível o melhor desempenho no bloqueio contra as perdas diárias de água das

garrafas PET, sendo mais acentuado para de cor verde, mostrando menores valores médios de evaporação e também menor dispersão de valores. Por sua vez, a cobertura em tetrapak, que também

obteve boa eficiência na redução, evidenciou alto desvio padrão, resultado da rápida degradação do material.

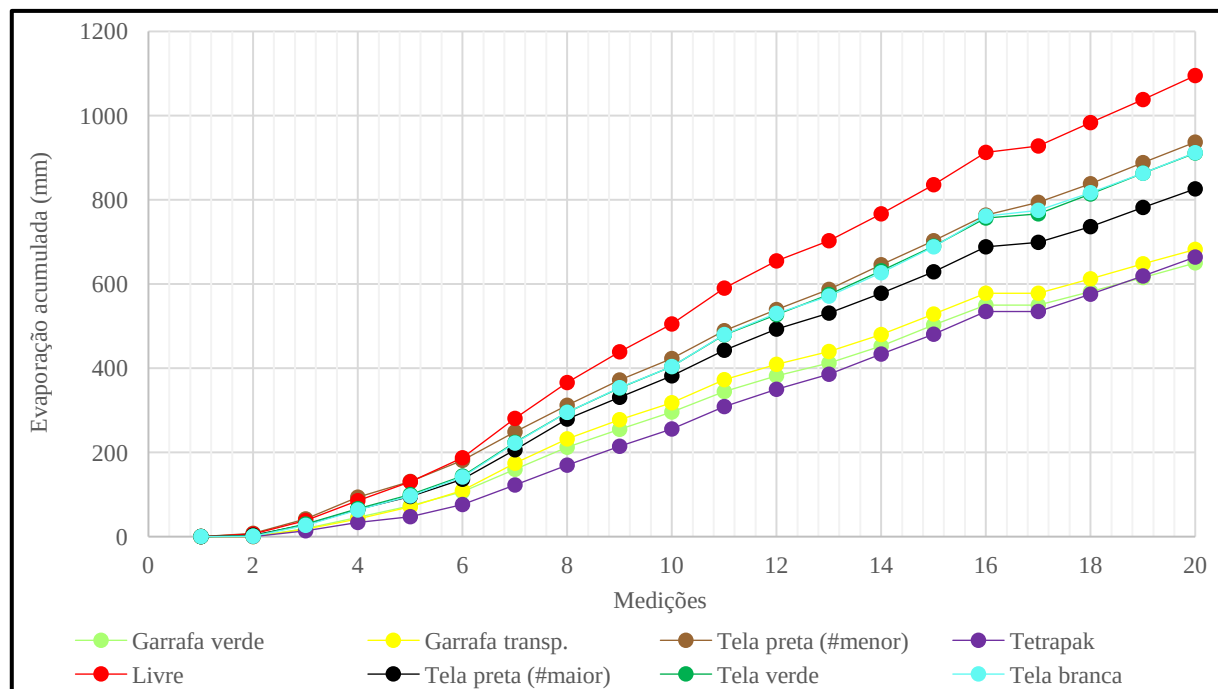


Figura 4. Curvas de evaporação acumuladas na Etapa 2.

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

Reservatório	Evaporação total (mm)	Eficiência (%)
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

Já as telas apresentaram interessante 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. Dessa forma, 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 tantos efeitos na redução, 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.

Avaliação dos métodos estimativos da evaporação

Na Figura 5, 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.

Tabela 4. 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

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

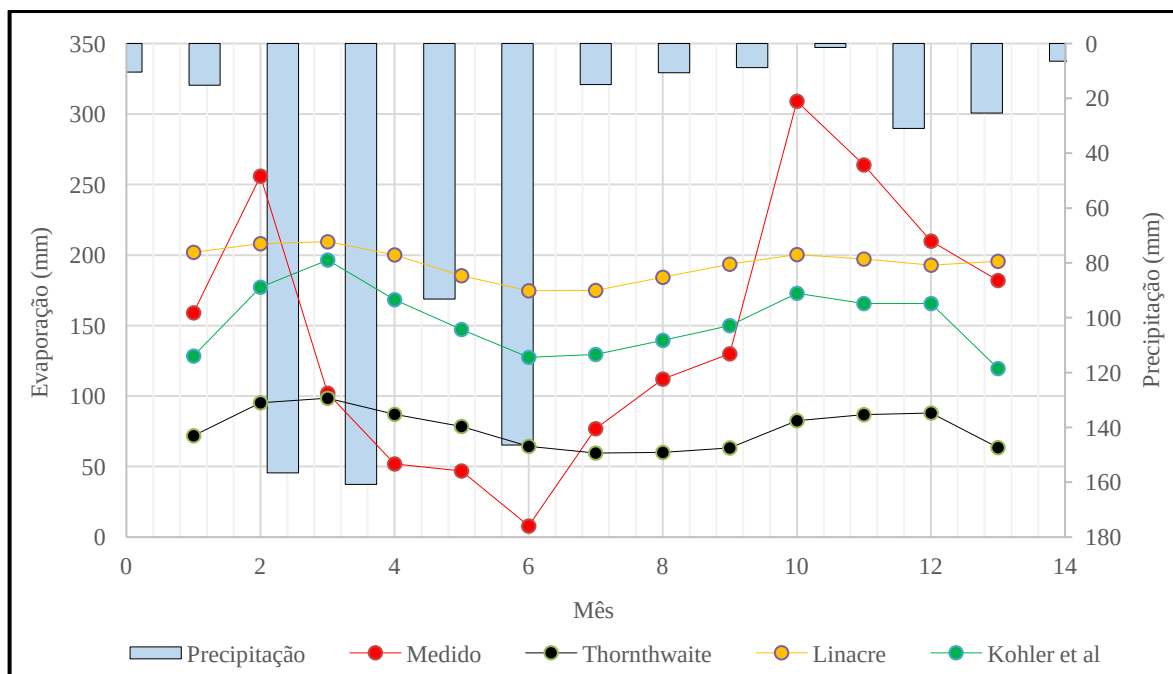


Figura 5. Comparativo dos métodos estimativos de cálculo da evaporação líquida, janeiro/2020 - janeiro/2021.

Em uma primeira análise, percebe-se que os três modelos estimativos da evaporação não acompanham o comportamento real observado pelas medições de campo. Visto que, a elevada variabilidade presenciada nos valores das medições, não é identificada nos 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.

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. Através disso, é também o método que considera o maior número de parâmetros climáticos nos cálculos. 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.

Na Tabela 5, expõe-se a evaporação total nas medições de campo e nos métodos estimativos, para o intervalo de estudo. Identifica-se que o método mais representativo para a região de estudo é o de Kohler et al. (1955), o que corrobora com o observado na Figura 5. A diferença da evaporação total colhida em campo e desse modelo estimativo é de apenas cerca de 80 mm.

Tabela 5. Valores de evaporação total teórica e medida.

Modelos	Evaporação total (mm)
Medido (em campo)	1.908,00
Thornthwaite	999,62
Linacre	2.518,79
Kohler	1.988,10

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 600 mm.

Conclusões

Portanto, um eficaz gerenciamento dos recursos hídricos necessita de meios que reduzam as taxas de evaporação, 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.

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. Além do ganho em relação ao recurso

hídrico, são meios de baixo custo de aquisição e implementação.

De um modo geral, as garrafas PET foram os materiais de melhor desempenho na redução da evaporação, com maior destaque para as de cor verde. Além disso, são atreladas a um ganho sustentável por serem reutilizadas e apresentarem um enorme tempo de degradação, tornando-a uma alternativa longa. Por sua vez, as telas aluminizadas, ou tetrapak, também evidenciaram uma boa eficiência, contudo percebeu-se uma rápida degradação do material, o que pode onerar essa solução pela baixa durabilidade.

Em relação as telas de polietileno, mostraram-se mais eficientes na segunda etapa dos estudos, exatamente quando as condições climáticas eram favoráveis a elevação das taxas de evaporação. Além disso, não se evidenciou diferença significativa na avaliação da eficiência quanto a coloração do material das telas. Já em relação ao espaçamento das malhas, notou-se um melhor desempenho no material mais espaçado.

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.

Agradecimentos

Os Autores agradecem a FACEPE pelo apoio financeiro no desenvolvimento do projeto UNIVERSITAS, APQ-0300-5.03/17, assim como a Direção do Centro Acadêmico do agreste, pela disponibilidade do espaço para os experimentos. Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

- Alvarez, V. M.; Baille, A.; Martínez, J. M. M.; González-Real, M. M. 2006. Efficiency of shading materials in reducing evaporation from free water surfaces. *Agricultural Water Management*, v. 84, 229–239. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.02.006>
- Bezerra, M. E. B. 2014. Um estudo sobre o ensino de evaporação no contexto ciência, tecnologia e sociedade. 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. 2019. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.032>
- Bueno, E. de O., Mello, C. R. de, Alves, G. J. 2016. Evaporation from Camargos hydropower plant reservoir: water footprint characterization. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 3, p. 570-575. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011616021>
- 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.
- Caruaru. 2022 Dados Socioeconômicos e Geográficos. Disponível em: <http://visitecaruaru.com.br/pt/Sobre_Caruaru/Dados_Socioeconomicos_e_Geograficos/10/> Acesso em: 15.12.2022.
- Collischonn, W.; Dornelles, F. (2015). *Hidrologia para engenharias e ciências ambientais*. 2. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH).
- Ereno, D. 2006. *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.
- Ferreira, J. D. C. 2018. Condições de preservação dos recursos hídricos em microbacias em brejos de altitude no semiárido pernambucano. 91f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia e Geociência, Universidade Federal Pernambuco, Recife - Pernambuco.
- Han, K.; Shi, K.; Yan, X. 2020. Evaporation loss and energy balance of agricultural reservoirs covered with counterweighted spheres in arid region. *Agricultural Water Management*, v. 238, p. 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106227>
- 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: 15.12.2022.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2021). Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>> Acesso em: 15.01.2021.
- Kohler, M.A.; Nordensen, T.J.; Fox, W.E. (1955). *Evaporation from pans and lakes*, U.S. Weather Bureau Research, n. 38, p. 1-21.
- Lenters, J. D.; Kratz, T. K.; Bowser, C. J. 2005. 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. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.028>
- Linacre, E.T. 1993. 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. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(93\)90031-C](https://doi.org/10.1016/0168-1923(93)90031-C)
- Martins, J. A. 1976. *Evaporação e Evapotranspiração*. In: PINTO, N. L. de S. et al. *Hidrologia básica*. ed. Mec. p. 56-66.
- Martins, D. R. F. (2013). *Definição de Layout de Protótipo Industrial Para Separação Gravítica de Embalagens Tetra Pak®*. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga - Portugal, 2013.
- Moura, M. S. B.; Galvinctio, J. D.; Brito, L. T. L.; Souza, L. S. B.; Sá, I. I. S.; Silva, T. G. E. 2007. *Clima e Água de Chuva no Semiárido*. In: *Emprapa Semiárido. Potencialidades da água de chuva no Semiárido brasileiro*. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 34-59.
- Mozafari, A.; Mansouri, B.; Chini, S. F. 2019. Effect of wind flow and solar radiation on functionality of water evaporation suppression monolayers. *Water Resources Management*, v. 33, n. 10, p. 3513–3522. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02313-9>
- Nunes, T. H. C.; Galvão, C. de O.; Rêgo, C. J. 2016. 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. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011615146>
- Pereira, S.B.; Pruski, F.F.; Silva, D.D. da; Ramos, M.M. 2009. 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. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000300018>
- Rosa, C. S.; Antunes, R. D.; Pitelli, R. A.; Pitelli, R. L. C. M. 2009. *Avaliação comparativa das*

- perdas de água por evapotranspiração em mesocosmos colonizados por diferentes macrófitas aquáticas. *Planta Daninha*, v. 27, n. 3, p. 441-445. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582009000300003>
- Saraiva, F. A. M.; Sousa, F. de A. S. de; Leitão, M. de M. V. B. R. 2001. Redução de evaporação em reservatórios artificiais. 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semiárido. Campina Grande-PB.
- Simon, K.; Shanbhag, R.; Slocum, A. H. 2016. Reducing evaporative water losses from irrigation ponds through the reuse of polyethylene terephthalate bottles. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 142, n. 2. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000972](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000972)
- Thorntwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geography Review*, v. 38, 55-94.
- Tian, W.; Liu, X.; Wang, K.; Bai, P.; Liu, C. 2021. Estimation of reservoir evaporation losses for China. *Journal of Hydrology*, v. 596. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126142>
- Torres, C. M.; Ferraro, N. G.; Soares, P. A. de T. 2010. Física – Ciência e tecnologia. v. 2. 2 ed. São Paulo: Moderna.
- Trindade, T. Q. da; Martini, D. 2009. 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.
- Tucci, C. E. M.; Beltrame, L. F. S. 2001. 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). p. 253-287.
- Tundisi, J. G. 2014. Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro. Tundisi, J. G. (Coord.). Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências.
- Varejão-Silva, M.A. 2006. Meteorologia e Climatologia. Recife. 443 p. Versão Digital 2.
- Wurbs, R. A.; Ayala, R. A. (2014). Reservoir evaporation in Texas, USA. *Journal of Hydrology*, v. 510, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.011>
- Zhang, H.; Gorelick, S.; Zimba, P.; Zhang, X. 2017. A remote sensing method for estimating regional reservoir area and evaporative loss. *Journal of Hydrology*, v. 555, p. 213–227. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.007>
- Zhang, N.; Jiang, T.; Guo, C.; Qiao, L.; Ji, Q.; Yin, L.; Yu, L.; Murto, P.; Xu, X. 2020. 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. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105111>