

MITIGAÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA POR EVAPORAÇÃO EM PEQUENOS RESERVATÓRIOS NO SEMIÁRIDO ATRAVÉS DE BARREIRAS FLUTUANTES

Vinicius Albuquerque da Silva¹, Kauê Lopes Sousa², Manoel Valnir Júnior³, George Sampaio Martins⁴, Cicero Lima de Almeida⁵

RESUMO: Este estudo avaliou a eficiência de barreiras flutuantes feitas com garrafa PET na mitigação de perda de água por evaporação em pequenos reservatórios no semiárido nordestino. Foram testados quatro níveis de cobertura do espelho d'água (0%, 50%, 75% e 90%) durante um período de 75 dias em caixas d'água de 500 litros expostas a radiação solar, vento, umidade e temperatura do ar. Os resultados obtidos mostraram que a cobertura de 90% foi a mais eficaz na redução da evaporação reduzindo até 3,27 mm dia⁻¹. Assim evidenciando no potencial desta técnica na redução da evaporação em pequenos reservatórios.

PALAVRAS-CHAVE: SEMIÁRIDO; EVAPORAÇÃO; BARREIRAS FLUTUANTES; MITIGAÇÃO.

MITIGATION OF WATER LOSSES BY EVAPORATION IN SMALL RESERVOIRS IN THE SEMIARID REGION THROUGH FLOATING BARRIERS

ABSTRACT: This study evaluated the efficiency of floating barriers made from PET bottles in mitigating water loss due to evaporation in small reservoirs in the northeastern semiarid region of Brazil. Four levels of water surface coverage (0%, 50%, 75%, and 90%) were tested over a 75-day period in 500-liter water tanks exposed to solar radiation, wind, humidity, and air temperature. The results showed that the 90% coverage was the most effective in reducing evaporation, with a decrease of up to 3.27 mm day⁻¹. This highlights the potential of this technique in reducing evaporation in small reservoirs.

KEYWORDS: SEMIARID; EVAPORATION; FLOATING BARRIERS; MITIGATION

¹ Discente do curso de Agronomia, IFCE Campus Sobral, e-mail: albuquerque.vinicius60@aluno.ifce.edu.br.

² Discente em Técnico em Agropecuária, IFCE Campus Sobral,

³ Dr. Engenharia Agrícola, Prof. do IFCE Campus Sobral, e-mail: valnir@ifce.edu.br

⁴ Dr. Desenvolvimento e meio ambiente, Prof. do IFCE Campus Sobral e-mail: georgesampaio@ifce.edu.br

⁵ Dr. Engenharia Agrícola, Técnico de laboratório – LEEI, IFCE campus Sobral e-mail: cicero.almeida@ifce.edu.br

INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica em regiões semiáridas representa um dos maiores desafios enfrentados pelas populações que dependem da agricultura e do abastecimento humano para sua subsistência e desenvolvimento. A escassez de água está diretamente associada a fatores climáticos adversos como irregular distribuição temporal e espacial das precipitações, o que dificulta o armazenamento e a gestão eficiente dos recursos hídricos (LIMA et al., 2011).

Entre os principais processos responsáveis pela redução do volume armazenado nos pequenos reservatórios, destaca-se a evaporação, fenômeno físico que transforma a água líquida em vapor e a transfere para a atmosfera, sendo influenciado por diversas variáveis ambientais. A primeira delas, é o fornecimento de energia originária da radiação solar. 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. 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. 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. (TUCCI, 2001; COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Outro fator são os ventos que causam aumento na velocidade de evaporação, por arrastarem o ar que estava próximo a superfície evaporante, ou seja, 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 (TORRES, 2010)

No contexto do semiárido brasileiro, especialmente na região Nordeste, os impactos da evaporação são agravados por um clima caracterizado por elevadas temperaturas médias anuais (entre 23°C e 27°C), baixa umidade relativa (cerca de 50%), índices pluviométricos inferiores a 800 mm anuais e elevada taxa de evaporação, que pode atingir até 2.000 mm por ano, resultando em um balanço hídrico negativo (NASCIMENTO, 2021). Essa realidade limita significativamente o aproveitamento da água armazenada, intensificando conflitos pelo uso múltiplo da água entre os setores agrícola, doméstico, industrial e de abastecimento animal (ZHANG et al., 2017).

A evaporação em corpos hídricos, como lagos e reservatórios, deve ser cuidadosamente considerada nos processos de planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas, especialmente em regiões sujeitas a estresses hídricos sazonais ou permanentes (LENTERS; KRATZ; BOWSER, 2005). A perda de até 40% do volume de água por esse fenômeno, especialmente em pequenos e médios açudes, segundo estimativas de Fioreze et al. (2012), demonstra a urgência em desenvolver e aplicar métodos eficientes de mitigação que contribuam para o aumento da oferta hídrica, especialmente em comunidades rurais dependentes da agricultura de subsistência.

As barreiras flutuantes possuem vantagens significativas em relação às barreiras suspensas, tanto em termos de custo de implementação quanto de manutenção, além de maior eficiência na reflexão da radiação solar incidente (FIOREZE et al., 2012). Estudos recentes também têm demonstrado que essa técnica pode contribuir de maneira efetiva para a sustentabilidade da irrigação em pequenas propriedades, garantindo maior segurança hídrica e permitindo uma gestão mais racional dos recursos disponíveis (ZHANG et al., 2017; NASCIMENTO, 2021).

Dessa forma, compreender o comportamento da evaporação em pequenos corpos d'água, identificar os fatores que influenciam sua intensidade e propor soluções mitigadoras simples, baratas e ambientalmente responsáveis se apresenta como um caminho promissor para ampliar a disponibilidade hídrica na região semiárida brasileira.

Portanto, o presente estudo propõe-se a avaliar a eficiência de materiais flutuantes recicláveis, como garrafas PET, na redução da evaporação em pequenos reservatórios no semiárido nordestino. A utilização de garrafas PET como barreiras flutuantes representa uma solução inovadora de dupla finalidade, ao mesmo tempo em que contribui para a mitigação da perda de água por evaporação, promove o reaproveitamento de resíduos sólidos, reduzindo o impacto ambiental decorrente do descarte inadequado de plásticos (NUNES et al., 2016). Desse modo, contribuir para o desenvolvimento de tecnologias sociais adaptadas às realidades locais, promovendo o uso sustentável da água e a melhoria da qualidade de vida das populações que vivem em regiões de escassez hídrica

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizada em uma área experimental dentro do Campus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE – Sobral), localizado sob as coordenadas

geográficas de 3°41'03" de latitude Sul e 40°20'24" de longitude a Oeste Greenwich, altitude de 70 m. O clima da região é do tipo Aw', quente, com chuvas de verão e máximas em outono (OLIVEIRA FILHO, 2018).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado 4 x 3 x 4. Sendo quatro percentuais de cobertura da superfície da água (C0 – sem cobertura; C50 – cobertura de 50% da superfície; C75 – cobertura de 75% da superfície; C90 – cobertura de 90% da superfície) em em três períodos de 25 dias (D 0-25; D 25-50; D 50-75) e com quatro repetições totalizando 16 unidades experimentais.

O monitoramento das condições ambientais foi realizado por meio de datalogger digital com registro horário da temperatura e da umidade relativa do ar amntido em abrigo meteorológico, de um tanque Classe A para registro da evaporação e de um pluviômetro para registrar os eventos de chuva.

Os módulos experimentais de evaporação foi composto por uma caixa d'água de 500 litros com superfície evaporante de 1,0 m², nas caixas foram colocados pocos tranquilizadores para realizar a medição da evaporação, por meio de parafuso micrométrico, com registros a cada 24 horas. As caixas d'água foram instaladas sobre paletes com 20 cm de altura. O manejo de operação seguiu os preconizados pelo tanque Classe A (Figura 1). A cobertura da superfície foi realizada com o reaproveitamento de embalagens plásticas do tipo PET, originalmente utilizadas para refrigerantes, na cor verde com volume de 2000 ml. Essas embalagens são compostas por um polímero termoplástico conhecido como polietileno tereftalato.

O tempo total de avaliação foi de 75 dias, subdividido em três períodos de 25 dias, com monitoramento realizado entre os meses de setembro e dezembro de 2024 (meses de máxima irradiância solar na região). O dados foram submetidos a análise de variância e teste de comparação de média de Tukey com duplo fatorial entre a cobertura x período para obtenção de qual tratamento irá reduzir significamente a evaporação. O software utilizado para performace das análises foi o R[®].



Figura 1. A esquerda vista panorâmica da área experimental; e direita detalhe da cobertura com barreira flutuante (C90%) na caixa d'água com garrafas PET, no IFCE-Campus Sobral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições climáticas durante o período analisado registradas foram: temperatura média de 30,34°C, umidade relativa do ar de 52,53%, evaporação do tanque Classe A de 8,39 mm dia⁻¹ e precipitação total de 72,95 mm, com chuva máxima registrada de 64,70 mm.

Os resultados obtidos demonstraram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os diferentes níveis de cobertura do espelho d'água para os três períodos analisados (D 0-25; D 25-50; e D 50-75 dias). Observa-se ainda uma tendência para a redução da evaporação com o acréscimo de barreiras flutuantes. Indicando assim, a eficácia das barreiras na mitigação da perda de água por evaporação.

A cobertura 4 que corresponde a 90% da área do espelho da água coberta, obteve os maiores valores de redução da evaporação ao longo dos períodos em comparação com a cobertura 1 (sem cobertura). A cobertura 4 reduziu a evaporação em 3,27 mm dia⁻¹ no período de 0–25 dias, 3,16 mm dia⁻¹ entre 25–50 dias e 2,66 mm dia⁻¹ no intervalo de 50–75 dias. As demais coberturas apresentaram diferenças significativas na evaporação. A cobertura 2 reduziu a evaporação em 1,53, 1,34 e 1,11 mm dia⁻¹ nos períodos de 0–25, 25–50 e 50–75 dias, respectivamente. Já a cobertura 3 apresentou uma redução de 2,67; 2,39 e 2,09 mm dia⁻¹ nos mesmos períodos (Figura 2).

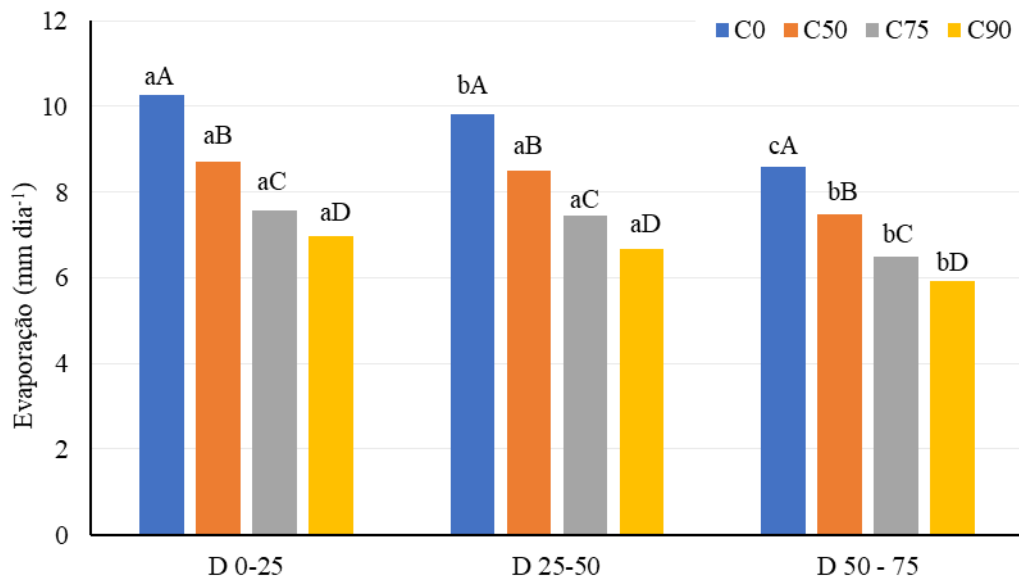


Figura 2. Evaporação média diária de cada período para quatro percentuais de cobertura da superfície com garrafas PTEs da cor verde na cidade de Sobral -CE, Brasil no período de setembro a dezembro de 2024.

* letras minúsculas iguais não diferem significativamente ($p < 0,05$) entre si dentro de cada tratamento (cobertura) nos diferentes períodos; letras maiúsculas iguais não diferem significativamente ($p < 0,05$) entre si nos tratamentos (cobertura) dentro de cada período.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com Rodrigues (2021), que avaliou o uso de garrafas de tereftalato de polietileno (PET) como barreiras protetoras com o objetivo de minimizar as taxas de evaporação. Em seu experimento, foram utilizados tanques, sendo mantidos em condições naturais e os outros cobertos com garrafas PET Assim como observado na presente pesquisa, Rodrigues (2021) identificou uma redução significativa na evaporação diária, demonstrando que o uso de garrafas PET é uma alternativa viável e de baixo custo para mitigar a perda de água por evaporação.

Van Seters, et al (2019) comprovou que, o uso das chamadas *shade balls* também reduz as taxas de evaporação. O autor atribuiu esse efeito principalmente à diminuição da radiação solar incidente sobre a superfície da água, o que leva à redução da temperatura e, conseqüentemente, da evaporação. reforçando a eficácia de barreiras flutuantes na mitigação da evaporação. No trabalho ora apresentado, foi detectado um aumento de até 2 °C na temperatura da superfície da água com a cobertura de 90%. Credita-se isto à redução do efeito tampão das garrafas no fluxo evaporativo, sugerindo pesquisas complementares futuras sobre tal comportamento.

Geraldo (2020) destacou a aplicabilidade social e ambiental do uso de garrafas PET como tecnologia de baixo custo. Seu estudo aponta que, além da eficácia na redução da evaporação,

essa solução apresenta baixa interferência nos ecossistemas aquáticos e pode ser facilmente implementada por comunidades, o que reforça seu caráter sustentável e acessível.

A próxima etapa da pesquisa consiste em aplicar a tecnologia de mitigação da evaporação com garrafas PET em um reservatório revestido com geomembrana. O objetivo é comprovar, em escala ampliada e em condições mais próximas da realidade de campo, os dados obtidos no experimento. A utilização da geomembrana, evita perdas por infiltração, e com isso permite uma medição mais precisa da evaporação, assim avaliando os efeitos da cobertura com garrafas PET.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na pesquisa demonstram de forma consistente a eficácia do uso de garrafas PET como barreiras flutuantes na mitigação da evaporação em pequenos reservatórios, especialmente em regiões semiáridas como o Nordeste brasileiro. A redução significativa das perdas por evaporação nos diferentes níveis de cobertura testados evidencia o potencial dessa tecnologia de baixo custo, acessível e ambientalmente sustentável como estratégia complementar para a conservação dos recursos hídricos.

A cobertura de 90% do espelho d'água apresentou os menores valores de evaporação, confirmando a relação direta entre o aumento da área coberta e a diminuição das taxas de evaporação. Esses dados reforçam a viabilidade da tecnologia de mitigação de evaporação com garrafa PET, além da relevância do reaproveitamento de resíduos sólidos e a facilidade de implementação em comunidades rurais.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical-INCTAGriS (CNPq/Funcap/Capes) e ao Laboratório de Ensaio em Equipamentos de Irrigação e ao Laboratório Solos do IFCE/Campus Sobral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONOPOULOS, V. Z. et al. Effect of reservoir geometry on evaporation losses under semi-arid conditions. **Water Resources Management**, v. 30, n. 6, p. 2081–2096, 2016.
- BOU-FAKHREDDINE, R. et al. Understanding the drivers of evaporation from lakes and reservoirs. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 7, p. 074018, 2019.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. C. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2015.
- FIGUEIREDO, C. A. et al. Evaporação em pequenos reservatórios do semiárido brasileiro: perdas significativas e estratégias de contenção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 4, p. 145–154, 2012.
- GERALDO, Luana Pinheiro. **AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE REDUÇÃO DE EVAPORAÇÃO PARA RESERVATÓRIO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- IPCC. Relatório de Síntese do Sexto Ciclo de Avaliação (AR6). **Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas**, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Acesso em: 10 abr. 2025.
- 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, p. 168–195, 2005.
- LIMA, J. R. S. et al. A desertificação no Semiárido brasileiro: caracterização e desafios. **Revista GeoNordeste**, v. 22, n. 1, p. 13–22, 2011.
- NASCIMENTO, A. C. **Avaliação das perdas por evaporação em reservatórios do Semiárido: implicações para a gestão de recursos hídricos**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.
- NUNES, R. F. et al. Gestão hídrica no Semiárido brasileiro: desafios e estratégias adaptativas. **Cadernos de Geografia**, v. 26, n. 2, p. 213–230, 2016.
- OLIVEIRA FILHO, P.; VALNIR JÚNIOR, M.; COSTA, J. N.; ALMEIDA, C. L.; LIMA, J. S.; ROCHA, J. P. A. **O efeito do potássio sobre o desenvolvimento inicial de variedades de pimentão**. V WINOTEC, Sobral – CE, 2018, 5 p.

RODRIGUES, Manuel Serpa. **Tecnologia de contenção da evaporação em manancial superficial visando ampliar a oferta de água para o semiárido**. 2021.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

VAN SETERS, T. et al. Data synthesis and design considerations for stormwater thermal mitigation measures. **Sustainable Technologies Evaluation Program**. Ontario., 2019.

ZHANG, Q. et al. Evaporation from reservoirs and its impact on water availability in arid and semi-arid regions. **Water Resources Research**, v. 53, n. 6, p. 4570–4589, 2017.