

SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO DE ÁGUA EM AÇUDES E PEQUENAS BARRAGENS

Eduardo Maurício Gadelha¹; Thales Henrique Silva Costa²; Edinaldo Diniz de Souza Junior³; Jefferson Lucas de Medeiros Vieira⁴; Ingrid Lourrany Barreto Freitas⁵; Valder Adriano Gomes de Matos Rocha⁶

Resumo – O presente trabalho tem como objetivo avaliar materiais que possam reduzir a evaporação da água em superfícies livremente expostas à atmosfera, aumentando assim a disponibilidade hídrica de regiões semiáridas. Foi conduzido um experimento utilizando tanques evaporimétricos e dados meteorológicos disponíveis na Estação Meteorológica Automática da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA. Foram analisadas quatro combinações diferentes de materiais, que recobriam 85% da área superficial dos tanques evaporimétricos, e sua correlação com o Tanque Classe A. Os resultados demonstram que a aplicação de garrafas PET (tereftalato de polietileno) preenchidas com papelão em tiras, podem reduzir em até 53,28 % a evaporação. Pode-se concluir que este resultado se deu, principalmente, pela atuação do papelão como isolante térmico, impedindo que parte da radiação pudesse ser transferida para a superfície da água. É incentivado, portanto, a adoção desta metodologia para diminuir consideravelmente a evaporação em reservatórios de acumulação, além de tratar-se de materiais recicláveis, sendo uma alternativa sustentável.

Palavras-Chave – Tanque classe A. Redução da evaporação. Garrafas PET.

TECHNICAL SOLUTIONS TO REDUCE THE WATER EVAPORATION ON SMALL DAMS

Abstract – The follow project aimed to evaluate materials which can reduce the water evaporation on open-water surfaces, increasing, thus, the water availability on semi-arid regions. It was conducted an experiment using evaporimetric tanks and weather data available at the Automatic Meteorological Station of the Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA. Were analyzed four different combination of materials, which covered 85% of the evaporimetric tanks' surface area, and their correlation with the Class A tank. The results demonstrated that the insertion of PET (Polyethylene terephthalate) bottles filled with cardboard strips can reduce the water evaporation in up to 53,28%. It can be concluded that this result occurred mainly by the cardboard acting as a thermic insulating, preventing that part of the radiation could be transferred to the water surface. Therefore, it is encouraged the adoption of this methodology to reduce extensively the water evaporation on accumulation reservoirs, besides being recyclable materials, being a sustainable alternative.

Keywords – Class A tank. Reduction of evaporation. PET bottles.

¹ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brasil, dudu_tab@hotmail.com.

² Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brasil, thales.costa@ufersa.edu.br.

³ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brasil, edinaldodiniz@outlook.com

⁴ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brasil, jefferson_lucas_01@hotmail.com

⁵ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brasil, ilourranybf@gmail.com

⁶ Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN, Brasil, gomesdematos@hotmail.com.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo encontrar uma alternativa de baixo custo para reduzir a evaporação de água em açudes e pequenas barragens.

INTRODUÇÃO

Lima *et al.* (2011) afirma que o espaço geográfico mais vulnerável no Brasil aos efeitos da desertificação e das mudanças climáticas é a região semiárida. Compreendendo 969.589,4 km² ou 11% do território nacional, é caracterizada pelas elevadas médias anuais de temperatura (27°C) e evaporação (2.000 mm), com precipitações pluviométricas de até 800 mm ao ano, concentrada em poucos meses e irregularmente distribuída no tempo e no espaço. Decorre ainda dessa combinação um balanço hídrico negativo em grande parte do ano, a presença de rios e riachos intermitentes e a ocorrência de secas periódicas e avassaladoras.

Para Fioreze *et al.* (2012) é estimado que pequenos e médios açudes percam cerca de 40% da água acumulada através deste fenômeno. Portanto, deve-se assegurar que a água esteja disponível para as diferentes formas de consumo, sendo necessário viabilizar investimentos de pesquisa e gerenciar cuidadosamente sua oferta e uso. Isso se torna mais complexo diante da realidade climática do Nordeste, além de vários interesses que envolvem desde as instâncias de governo até as diversas categorias de usuários.

METODOLOGIA

Localização

Utilizou-se dados meteorológicos da estação climatológica automática da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), no município de Mossoró – RN, cujas coordenadas geográficas são: 5°12'48"S e 37°18'43"O, com altitude de 38 metros. Os dados foram referentes ao período de 20/02/2017 à 05/05/2017. Segundo W. Köeppen, citado por Carmo Filho *et al.* (1991), a classificação climática local é do tipo clima seco e quente. Pela classificação de Thornthwaite (1948), o clima de Mossoró é do tipo semiárido, megatérmico, com pequeno ou nenhum excesso de água durante o ano.

O Tanque Classe A e os quatro minitanques (denominados “T1”, “T2”, “T3” e “T4”) usados no experimento estavam localizados ao lado da estação climatológica automática da UFERSA, a fim de que os dados obtidos na estação correspondessem exatamente às condições climáticas nas quais os tanques estavam expostos. Os tanques permaneceram dispostos distanciados uns dos outros para que o vento incidisse o mais uniformemente possível sobre eles, conforme a Figura 1.

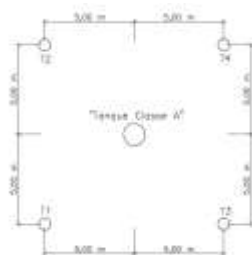


Figura 1 - Disposição dos tanques.

Ferramentas utilizadas

Antes da realização das medições, os tanques foram testados para detecção de eventuais vazamentos. Para evitar possíveis erros de leitura, a área experimental foi aplainada e, em seu entorno, foi realizada a sistematização e limpeza do terreno, visando contribuir para a homogeneidade das medições.

Procedeu-se, então, com a colocação de *pallets* de madeira, pintados na cor branca, com 15 centímetros de altura, conforme indicado por Freire e Omena (2005), a fim de evitar o contato direto dos tanques com o solo, o que poderia interferir no processo de evaporação.

Os minitanques, denominados de “T1”, “T2”, “T3” e “T4” são tanques circulares em polietileno, com diâmetro de 0,68 m, altura de 0,32 m, área superficial de 0,363 m² e volume de 0,116 m³.

As medições da lâmina de água evaporada (em milímetros) nos tanques foram realizadas com o auxílio do poço tranquilizador e do parafuso micrométrico de gancho (com precisão de 0,01mm), efetuada diariamente às 9:00 horas. Houve o cuidado para que a lâmina de água no Tanque Classe A e nos demais tanques variassem de 5 a 7,5 cm da borda, procedendo com a calibração da lâmina de água dos tanques caso esse limite fosse ultrapassado.

Foi necessário, também, a limpeza semanal dos tanques, para evitar que a turbidez da água interferisse no processo de evaporação. A medição da temperatura da água na superfície e no fundo dos tanques foi realizada através do termômetro químico do fabricante Incoterm, modelo L002/13.

Material avaliado

1ª Etapa: correlação dos tanques

Do dia 20/02/2017 ao dia 18/03/2017 foram feitas a leitura e o registro da lâmina de água evaporada no Tanque Classe A e nos minitanques, com a finalidade de realizar uma correlação entre a lâmina de água evaporada no Tanque Classe A e a lâmina evaporada em cada um dos minitanques, através de regressão linear dos dados.

2ª Etapa: avaliação dos materiais

Após a conclusão da 1ª Etapa, iniciou-se o cobrimento do espelho d'água dos minitanques com garrafas PET (politereftalato de etileno) de diferentes tipos, enquanto o Tanque Classe A permaneceu com sua lâmina d'água livremente exposta à atmosfera.

Para avaliação de qual tipo de material ocasionou maior redução da evaporação nos tanques foi necessária a avaliação e comparação diária dos dados evaporimétricos dos tanques. Esta etapa do experimento foi realizada do dia 20/03/2017 ao dia 05/05/2017.

A nomenclatura dos tanques e os materiais situados em sua superfície são descritos a seguir:

- “T1”: Utilizou-se garrafas PET transparentes, sem nenhum tipo de preenchimento ou pintura em seu interior, que permaneceram boiando na superfície do tanque referido.
- “T2”: Neste tanque foram utilizadas garrafas PET transparentes, com papelão recortado em tiras preenchendo seu interior, que permaneceram boiando na superfície.
- “T3”: Usou-se garrafas PET com seu interior pintado na cor preta, permanecendo boiando na superfície do tanque.

- “T4”: Foram utilizadas garrafas PET com seu interior pintado na cor branca, permanecendo boiando na superfície do tanque.

Foram usadas em cada minitanque 6 garrafas com capacidade de 2 litros, 8 garrafas com capacidade de 600 ml e 1 garrafa com capacidade de 350 ml e através da utilização de um paquímetro para medição da área superficial das garrafas verificou-se que estas ocupavam cerca de 85% da área de cada um dos minitanques.

Os materiais estudados foram escolhidos com a finalidade de avaliar o que seria mais eficiente: o bloqueio de parte dos raios solares pela cor preta; a reflexão da radiação pela cor branca; a utilização de um isolante térmico (papelão) ou simplesmente a disposição das garrafas cobrindo parte do espelho d’água.

Determinação direta da evaporação

A determinação direta da evaporação diária estimada pela evaporação da lâmina de água do Tanque Classe A (Ev_{TCA}) consiste em multiplicar o valor da ECA (Evaporação medida no Tanque Classe A, em mm) pelo coeficiente do tanque Kp , obtido através da Equação 1.

$$Kp_{TCA,T1,T2,T3,T4} = \frac{Ev_{PN}}{Ev_{diária}} \quad (1)$$

em que $Kp_{TCA,T1,T2,T3,T4}$ é o coeficiente diário calculado para o Tanque Classe A, T1, T2, T3 e T4; Ev_{PN} é a evaporação calculada pelo Método Combinado ou Penman, em mm/dia e $Ev_{diária}$ é a evaporação diária medida em cada um dos tanques, em mm/dia.

O Método de Penman foi escolhido pois, além de combinar efeitos da radiação solar e do vento, é amplamente utilizado na literatura como método de referência para se estimar a evaporação a partir de métodos indiretos.

A lâmina de água evaporada em cada minitanque precisou ser inserida nas respectivas regressões lineares que correlacionaram cada minitanque com o Tanque Classe A. Assim, calculou-se o Kp para os tanques T1, T2, T3 e T4 através da relação entre a evaporação calculada pelo Método de Penman e a lâmina de água correlacionada.

Para obtenção do valor da evaporação potencial diária, o valor obtido de Kp foi multiplicado pela lâmina de água que realmente evaporou de cada minitanque. Como o coeficiente Kp possui equações e fundamentações teóricas apropriadas para o Tanque Classe A, os minitanques não poderiam seguir esse embasamento, por ser composto de material diferente e também por possuir diferentes dimensões. Dessa maneira, para o cálculo do Kp diário de cada minitanque foi necessário utilizar-se das relações entre a lâmina de água evaporada no Tanque Classe A e em cada um dos minitanques.

Foram efetuadas leituras diárias manuais em todos os tanques. O cálculo da lâmina de água evaporada ocorreu conforme a Equação 2:

$$LE = (L_{an} - L_{at}) + P \quad (2)$$

sendo LE a lâmina d’água evaporada, em mm; L_{an} a leitura do dia anterior, em mm; L_{at} a leitura do dia atual, em mm e P a precipitação, em mm.

Após a confecção de tabelas e análises dos dados, é possível determinar qual combinação de diferentes materiais apresenta maior eficiência na redução da evaporação da lâmina d’água. A depender dos resultados, este material poderia ser utilizado como solução em maior escala: a sua

implementação em açudes e pequenas barragens com a finalidade de melhorar a disponibilidade hídrica para usos consuntivos e não consuntivos.

Temperatura da água nos evaporímetros

Em vista da importância da temperatura da água no processo de evaporação, e considerando a possibilidade dos corpos d'água apresentarem regimes térmicos diferentes devido às variadas condições de exposição, fez-se a comparação da temperatura da água na superfície e próxima ao fundo de cada evaporímetro, para analisar a variância da temperatura com a profundidade. Foram plotados gráficos para conseqüente análises dos resultados.

RESULTADOS OBTIDOS

Após a análise da lâmina de água evaporada no período em que as superfícies dos tanques estavam livremente expostas, pôde-se obter as correlações expressas na Tabela 1.

Tabela 1. Correlações entre os tanques evaporimétricos

Tanques correlacionados	Correlação	R ²
T1 e Tanque Classe A	$y = 0,5788x + 3,1407$	0,9218
T2 e Tanque Classe A	$y = 0,6131x + 2,8412$	0,9208
T3 e Tanque Classe A	$y = 0,6526x + 2,4205$	0,9053
T4 e Tanque Classe A	$y = 0,6524x + 2,2404$	0,9219

Obtenção do K_p médio

Utilizou-se o valor do albedo igual a 0,065. Foi escolhido este valor por ser a média do intervalo recomendado para a água (de 0,03 a 0,1).

Pela disponibilidade de dados meteorológicos da velocidade do vento medidos a 2 metros de altura do solo, foi adotado z_2 (altura de medição da velocidade do vento) igual a 2 metros. O valor de z_1 (altura de rugosidade da superfície natural) foi de 0,05 metros, visto que essa era a altura da rugosidade do local do experimento.

O K_p médio foi obtido através da Equação 3:

$$K_{p\text{médio}}_{TCA,T1,T2,T3,T4} = \frac{\sum K_{pTCA,T1,T2,T3,T4}}{n} \quad (3)$$

Os resultados para cada tanque são mostrados na Tabela 2:

Tabela 2. Valores médios de K_p para os tanques evaporimétricos

Valores médios de K_p			
Tanque Classe A	1,66	T3	2,63
T1	2,03	T4	2,85
T2	2,36		

Cálculo da evaporação

A evaporação no período considerado foi obtida através da multiplicação do $Kp_{\text{médio}}$ pela soma das lâminas de água evaporadas efetivamente em cada tanque, levando em consideração os índices pluviométricos diários (Equação 4).

$$Ep = Kp_{\text{médio}}_{TCA,T1,T2,T3,T4} \cdot \sum LE \quad (4)$$

sendo LE a lâmina de água evaporada, em mm.

Ressalta-se que, em alguns dias, as leituras pluviométricas obtidas através do pluviógrafo não corresponderam à realidade, sendo, portanto, descartadas.

Os valores da evaporação ocorrida em cada tanque no período analisado estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3. Evaporação potencial dos tanques e percentagem de redução da evaporação

Evaporímetro	Evaporação potencial total	Porcentagem de redução (%)	Evaporação potencial média
Tanque Classe A	187,12 mm	-	9,85 mm/dia
T1	107,35 mm	42,63%	5,65 mm/dia
T2	87,42 mm	53,28%	4,60 mm/dia
T3	96,40 mm	48,48%	5,07 mm/dia
T4	92,75 mm	50,43%	4,88 mm/dia

Temperatura da água nos evaporímetros

Na Tabela 4 estão contidas as informações referentes às temperaturas médias, máximas e mínimas, na superfície e próximas ao fundo dos tanques evaporimétricos.

Tabela 4. Temperaturas médias, máximas e mínimas da superfície e próximas ao fundo dos tanques

T(°C)	TCA		T1		T2		T3		T4	
	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo	Sup.	Fundo
Média	33,98	34,61	36,02	35,87	33,65	31,70	33,80	29,98	33,90	32,24
Máxima	35,50	36,50	38,50	38,50	35,50	33,50	36,00	31,50	36,00	34,00
Mínima	32,00	32,50	34,00	33,00	32,00	30,00	32,00	28,50	32,00	30,00

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir das correlações dispostas na Tabela 1 efetuou-se a regressão linear e encontrou-se coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,90. Quanto mais esse valor se aproxima de 1,0 mais explicativo é o modelo, ou seja, melhor ele se ajusta à amostra.

Os valores obtidos para o $Kp_{\text{médio}}$ foram relativamente altos para os minitanques, isso deve-se ao fato de que os mesmos possuíam pequeno índice de evaporação diária ($Ev_{\text{diária}}$), quando comparados ao Tanque Classe A. Ao observarmos a Equação 1, é possível perceber que quanto menor for este índice, maior será o Kp .

No cálculo da evaporação, tomando como referência a evaporação potencial total do Tanque Classe A, sendo essa uma estimativa direta da evaporação de um corpo d'água submetido às mesmas condições meteorológicas, pôde-se determinar qual a combinação de materiais de baixo custo apresentou maior eficiência na redução da evaporação da água: garrafas transparentes preenchidas com papelão em tiras, ocupando 85% da área superficial do evaporímetro. Este material estava presente no tanque "T2" e apresentou uma redução de 53,28% na evaporação potencial total, sendo, também, o responsável pela menor evaporação potencial média diária (4,60 mm/dia).

Por ser um excelente isolante térmico, o papelão contribuiu para a redução da evaporação, pois parte da radiação incidente não conseguia ser transmitida até a superfície da água. Como consequência, houve a redução na temperatura na superfície da lâmina de água do minitanque. A principal vantagem em se utilizar garrafas PET e papelão como alternativa à diminuição da evaporação está no fato de que são materiais reciclados, possuindo baixíssimo ou nenhum custo para sua obtenção.

Como segunda alternativa para redução da evaporação, estão as garrafas PET pintadas em seu interior na cor branca. O branco aumenta a porcentagem da radiação refletida, diminuindo, assim, a porção da radiação líquida incidente na água. Com um menor valor de radiação líquida, há uma redução na temperatura tanto superficial quanto em profundidade da água, acarretando em menores índices de evaporação.

A terceira alternativa foram as garrafas PET pintadas de preto. A cor preta bloqueia a passagem dos raios solares, diminuindo a temperatura na superfície da água e, mais ainda, em profundidade.

Por fim, as garrafas PET transparentes apresentaram-se como quarta alternativa para reduzir a evaporação em corpos d'água. Com 42,63% de redução, é uma alternativa viável principalmente quando não há disponibilidade de tintas para pintura das garrafas ou mesmo quando não se dispõe de grande quantidade de papelão para ser inserido no interior das mesmas, e deseja-se obter uma redução considerável dos índices evaporimétricos.

Avaliando as medições da temperatura tendo como parâmetro de referência a superfície livremente exposta à atmosfera do Tanque Classe A, é possível concluir que a maior temperatura tanto superficial como próxima ao fundo ocorre no tanque "T1". Este fato promoveu maiores índices de evaporação entre os minitanques. Pode-se explicar tal ocorrência pelo fato de que a garrafa transparente não refletiu a radiação e, além disso, ainda absorvia parte dela e transmitia o calor para a superfície da água.

Em contrapartida, os tanques "T2", "T3" e "T4" apresentaram temperaturas médias, tanto superficial quanto em profundidade, menores que aquela do tanque livremente exposto. Ou seja, a colocação desses materiais amenizou os efeitos da temperatura no processo de evaporação.

As menores temperaturas superficiais ocorreram no tanque “T2” devido à associação com o papelão, excelente isolante térmico. As menores temperaturas em profundidade encontraram-se no tanque “T3”, pelo fato do bloqueio da radiação solar ser tanto mais eficaz quanto maior a profundidade. O valor intermediário de temperaturas do tanque “T4” tanto na superfície quanto no fundo pode ser atribuído ao fato de que parte da radiação refletida incide diretamente na superfície d’água, devido ao espaçamento presente entre as garrafas.

CONCLUSÕES

Foram observadas ótimas correlações lineares entre os valores da evaporação dos minitanques e do Tanque Classe A, permitindo a estimativa da lâmina de água evaporada neste.

A utilização de garrafas PET transparentes com seu interior preenchidos de tiras de papelão mostrou-se a melhor alternativa para a redução da evaporação em um corpo d’água, principalmente, pela presença de um eficiente isolante térmico (o papelão), reduzindo os efeitos da radiação incidente sobre o aumento da temperatura da água e sua consequente evaporação.

Sua utilização deve ser incentivada pois, além de se tratarem de materiais recicláveis, são uma forma de aumentar a disponibilidade hídrica em regiões que apresentam condições climáticas desfavoráveis.

As demais combinações de materiais presentes neste trabalho também reduziram consideravelmente a evaporação, podendo-se utilizar apenas as garrafas PET transparentes e, ainda assim, obter resultados satisfatórios.

REFERÊNCIAS

- CARMO FILHO, F. do; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MAIA NETO, J. M. (1991). *Dados meteorológicos de Mossoró (janeiro de 1988 a dezembro de 1990)*. Mossoró: ESAM. v. 4, 470 p.
- FREIRE, C. C.; OMENA, S. P. F. de. (2005). *Princípios de hidrologia ambiental*. 1 ed. Santa Catarina: UFSC/UFAL. 197p.
- FIGUEIREDO, A. P. *et al.* (2012). *A questão da água no Nordeste*. Brasília: CGEE. 432 p.
- LIMA, R. C. C. *et al.* (2011). *Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro*. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido. 209 p.
- THORNTWAITE, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, New York, n. 1, p. 55-94.