REÚSO HIDROAGRÍCOLA E COBERTURA MORTA COMO ESTRATÉGIAS ADAPTATIVAS PARA O CONSÓRCIO PALMA–SORGO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Raví Emanoel de Melo[1]; Julio César Calixto Costa[2]; Ana Virgínia Marinho Silveira[3]; Thayná Alice Brito Almeida[4]; Vitória Gabriele Chagas Silva[5]; Ademir de Oliveira Ferreira[6] & Abelardo Antônio de Assunção Montenegro[7]

RESUMO – O Semiárido brasileiro apresenta limitações hídricas que demandam estratégias capazes de aumentar a resiliência dos sistemas produtivos. Este estudo avaliou o desempenho do consórcio palma–sorgo irrigado com diferentes qualidades de água e manejado com e sem cobertura morta. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 × 2, avaliando água tratada (AT), efluente tratado (ET) e efluente tratado clorado (EC). Foram determinados o armazenamento de água no solo, a produtividade das forrageiras e a qualidade microbiológica da palma e do sorgo. A cobertura morta promoveu maior armazenamento hídrico no solo, enquanto os tratamentos irrigados com efluente tratado apresentaram tendência de maior produtividade. As maiores contagens de *Escherichia coli* e coliformes totais ocorreram sob irrigação com efluente tratado, ao passo que o efluente tratado clorado reduziu esses indicadores microbiológicos. Os resultados evidenciam o potencial da integração entre reúso hidroagrícola, cobertura morta e desinfecção do efluente como estratégia para o manejo sustentável no Semiárido.

ABSTRACT – The Brazilian semiarid region faces water limitations that require strategies to enhance the resilience of agricultural systems. This study evaluated the performance of a cactus pear–sorghum intercropping system irrigated with different water qualities and managed with and without mulch. The experiment was conducted using a randomized block design in a 3 × 2 factorial scheme, evaluating treated water (TW), treated wastewater (TWW), and chlorinated treated wastewater (CTWW). Soil water storage, forage productivity, and the microbiological quality of cactus pear and sorghum were evaluated. Mulch promoted greater soil water storage, while treatments irrigated with treated wastewater showed a tendency toward higher productivity. The highest counts of *Escherichia coli* and total coliforms were observed under treated wastewater irrigation, whereas chlorinated treated wastewater reduced these microbiological indicators. The results highlight the potential of integrating hydro-agricultural wastewater reuse, mulch, and effluent disinfection as a sustainable strategy for agricultural management in the Brazilian semiarid region.

Palavras-Chave – resiliência hídrica; águas residuárias tratadas; produção de biomassa.

[1]) Doutorando em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Recife, PE, Brasil, e-mail: ravi.melo@ufrpe.br
[2]) Doutorando em Ciência do Solo. Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Recife, PE, Brasil, e-mail: julio.calixto@ufrpe.br
[3]) Doutora em Ciência Animal Tropical. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, e-mail: marinho_av@hotmail.com
[4]) Doutora em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Recife, PE, Brasil, e-mail: thayna.britoalmeida@ufrpe.br
[5]) Graduanda. Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, PE, Brasil; e-mail: vichagas26@gmail.com
[6]) Professor. Departamento de Agronomia. Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Brasil. e-mail: ademir.oliveiraferreira@ufrpe.br
[7]) Professor Titular em Recursos hídricos. Departamento de Engenharia agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Brasil. e-mail: abelardo.montenegro@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro (SAB) é caracterizado pela elevada variabilidade pluviométrica, altas temperaturas e elevadas taxas de evapotranspiração, fatores que limitam a disponibilidade hídrica e comprometem a sustentabilidade dos sistemas agropecuários (Tinôco, 2019). Nesse cenário, as mudanças climáticas tendem a intensificar os eventos de seca e ampliar os desafios relacionados à produção agrícola, exigindo estratégias voltadas ao uso eficiente da água e à conservação do solo (IPCC, 2021).

O reúso hidroagrícola de efluentes tratados tem se destacado como alternativa para ampliar a oferta hídrica e promover o reaproveitamento de nutrientes em regiões sujeitas à escassez de água (Obijianya et al., 2025). Associado a essa prática, o uso de cobertura morta reduz a evaporação e favorece a conservação da umidade do solo, aumentando a resiliência dos sistemas agrícolas (Montenegro et al., 2013; Montenegro et al., 2020). Além dos aspectos agronômicos, a avaliação da qualidade microbiológica das forrageiras produzidas sob irrigação com águas de diferentes qualidades é fundamental para verificar a segurança sanitária do sistema e fortalecer a adoção sustentável do reúso hidroagrícola.

Entre os sistemas produtivos adaptados às condições da Caatinga, destaca-se o consórcio palma–sorgo, que alia elevada eficiência no uso da água e alta produção de biomassa, constituindo uma alternativa para a alimentação animal em regiões semiáridas (Carvalho et al., 2020; Medeiros et al., 2024). Entretanto, ainda são escassos os estudos que avaliam de forma integrada o desempenho agronômico desse sistema sob diferentes qualidades de água, associadas à cobertura morta e à carga microbiológica das forrageiras produzidas sob diferentes qualidades de água de irrigação.

Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho do consórcio palma–sorgo submetido à irrigação com diferentes qualidades de água associadas à presença e ausência de cobertura morta, bem como caracterizar microbiologicamente as forrageiras irrigadas, visando compreender o potencial dessas estratégias para o manejo sustentável da água e do solo no Semiárido pernambucano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido na Unidade Experimental de Reúso Hidroagrícola da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Rendeiras, localizada no município de Caruaru, Pernambuco, inserido no Agreste de Pernambuco. O clima da região é classificado como BSh segundo Köppen-Geiger

(1928), caracterizado por precipitações irregulares, elevadas temperaturas e alta demanda evaporativa. A localização da área experimental é apresentada na Figura 1.

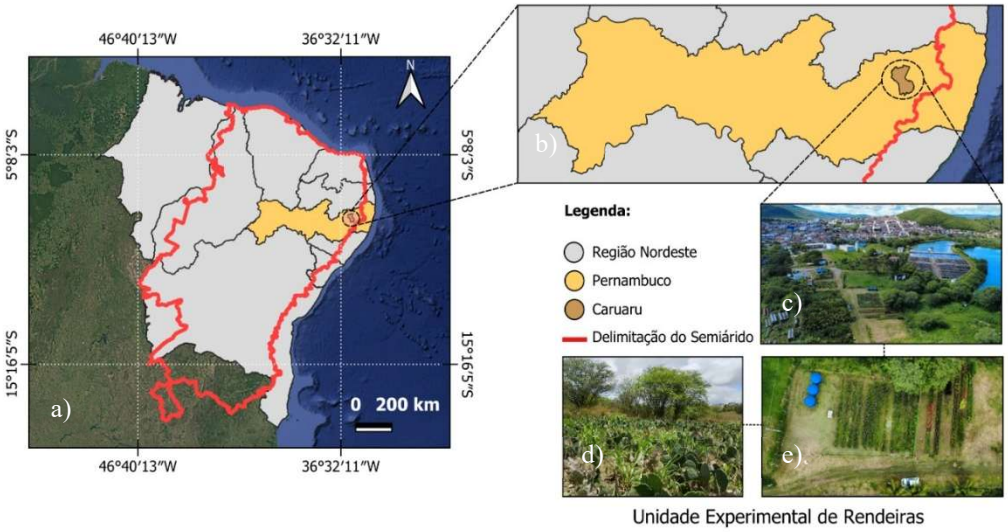


Figura 1 - Localização da Unidade Experimental de Rendeiras. (a) Delimitação da Região Nordeste, do Estado de Pernambuco e do Semiárido brasileiro; (b) localização do município de Caruaru-PE; (c) Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Rendeiras; (d) consórcio palma–sorgo; e (e) vista aérea da área experimental.

2.2. Delineamento experimental e condução do estudo

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 × 2, com quatro repetições, avaliando três qualidades de água de irrigação: água tratada (AT), efluente tratado (ET) e efluente tratado clorado (EC), combinadas com duas condições de manejo do solo: presença (CC) e ausência (SC) de cobertura morta com pó de coco aplicado na dose de 8 Mg ha^{-1} (Figura 2).



Figura 2 – Unidade Experimental de Reúso Hidroagrícola de Rendeiras. (a) Vista geral da área experimental com o consórcio palma–sorgo e os reservatórios de irrigação ao fundo; (b) vista lateral dos reservatórios de armazenamento das diferentes qualidades de água.

O sistema produtivo foi constituído pelo consórcio entre palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) e sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench cv. SF-15), espécies amplamente utilizadas. O experimento foi desenvolvido entre maio e dezembro de 2025, abrangendo dois ciclos de cultivo do sorgo forrageiro, correspondentes às duas campanhas de monitoramento realizadas.

2.3. Manejo da irrigação e monitoramento meteorológico

A irrigação foi realizada por sistema de gotejamento, sendo a lâmina aplicada determinada a partir da evapotranspiração de referência (ET_0), estimada pelo método de Penman–Monteith FAO-56 (Allen et al., 1998), utilizando coeficientes de cultura para o sorgo descritos por Costa et al. (2017).

Durante o período experimental foram monitoradas precipitação pluvial, evapotranspiração de referência e temperaturas máxima, mínima e média do ar, utilizando dados da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), código A341, localizada em Caruaru-PE (Figura 3).

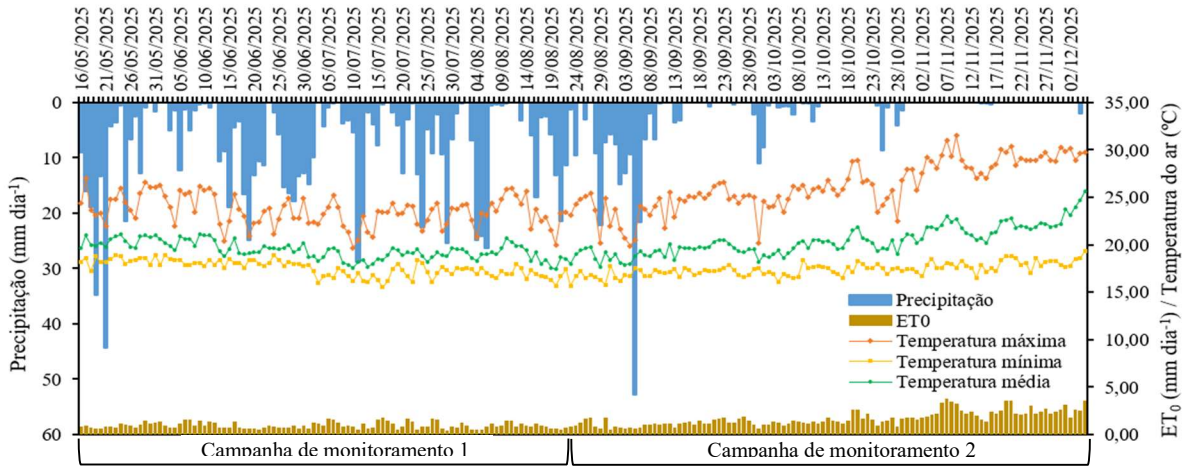


Figura 3 - Precipitação pluvial diária, evapotranspiração de referência (ET_0) e temperaturas máxima, mínima e média do ar registradas durante o período experimental (Campanhas de monitoramento 1 e 2).

2.4. Variáveis avaliadas

Foram avaliadas a umidade gravimétrica do solo, determinada conforme metodologia descrita pela EMBRAPA (2017), e a produtividade em massa seca da palma forrageira e do sorgo, estimada a partir de 5 plantas da área útil das parcelas e extrapolada para hectare. Além disso, foi realizado o armazenamento de água no solo nas camadas avaliadas a partir da umidade volumétrica, multiplicada pela espessura da camada correspondente. Adicionalmente, foi realizada a caracterização microbiológica da palma forrageira e do sorgo forrageiro, por meio da quantificação de *Escherichia coli* e coliformes totais utilizando placas Petrifilm™ (3M).

2.5. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, adotando-se nível de significância de 5%, utilizando o software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2015). Quando verificado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), sendo também avaliada a interação entre os fatores estudados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade gravimétrica do solo apresentou maiores valores nos tratamentos com cobertura morta em ambas as campanhas de monitoramento, independentemente da qualidade da água utilizada (Figura 4).

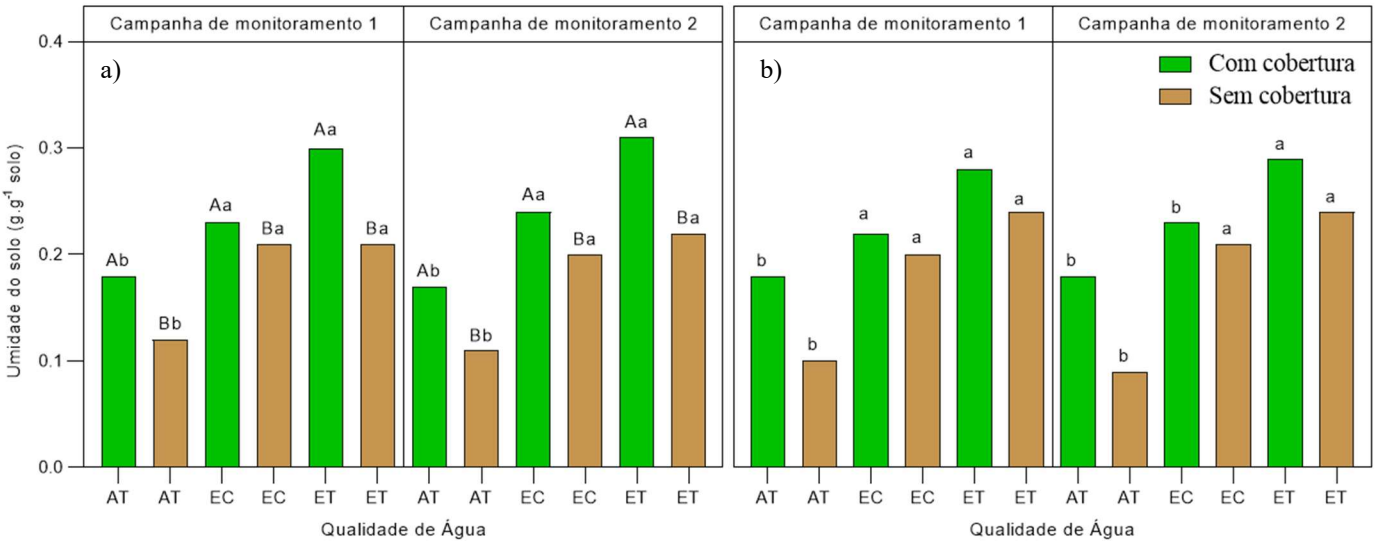


Figura 4 – Umidade gravimétrica do solo nas camadas de 0–10 cm (a) e 10–20 cm (b), sob condições com cobertura morta e sem cobertura morta, irrigadas com água tratada (AT), efluente tratado (ET) e efluente clorado (EC), durante as Campanhas 1 e 2. Letras maiúsculas comparam os manejos do solo e letras minúsculas as qualidades de água, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

As maiores umidades observadas nos tratamentos irrigados com ET podem estar associadas ao maior aporte de nutrientes fornecido pela água residuária, favorecendo o desenvolvimento das culturas e a manutenção de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, o que contribui para reduzir as perdas de água e aumentar a retenção hídrica ao longo do tempo. Além disso, a maior umidade verificada nos tratamentos com cobertura morta evidencia a eficiência dessa prática na redução da evaporação e na conservação da água no solo. Esses resultados corroboram os obtidos por dos Santos et al. (2024) e Hayat et al. (2026), que destacam a integração entre reúso hidroagrícola e cobertura do

solo como estratégia eficaz para aumentar a disponibilidade hídrica e a resiliência dos sistemas agrícolas em regiões semiáridas.

O armazenamento de água no solo variou em função da qualidade da água de irrigação e da condição de manejo, sendo, de modo geral, superior nos tratamentos com cobertura morta e irrigados com efluente tratado (Tabela 1).

Tabela 1. Armazenamento de água no solo (mm) nas camadas de 0–10 e 10–20 cm sob diferentes qualidades de água de irrigação e condições de manejo durante as Campanhas 1 e 2.

Condição de manejo	Campanha de monitoramento	Camada (cm)	Armazenamento de água no solo (mm)		
			AT	ET	EC
Com cobertura	1	0–10	30,49	46,20	38,75
	2		28,06	46,95	41,95
	1	10–20	28,12	43,28	37,11
	2		29,39	47,95	36,39
Sem cobertura	1	0–10	21,22	34,17	34,23
	2		22,40	38,44	35,64
	1	10–20	20,75	39,60	33,13
	2		23,79	44,08	32,73

Na camada de 0–10 cm, os maiores valores de armazenamento de água foram registrados no tratamento ET com cobertura morta, atingindo 46,20 mm na Campanha 1 e 46,95 mm na Campanha 2, correspondendo a incrementos de 117,7% e 109,6%, respectivamente, em relação ao tratamento AT sem cobertura (21,22 e 22,40 mm). Na camada de 10–20 cm, o ET com cobertura também apresentou os maiores valores, alcançando 43,28 mm na Campanha 1 e 47,95 mm na Campanha 2, representando aumentos de 108,6% e 101,6%, respectivamente, quando comparado ao AT sem cobertura (20,75 e 23,79 mm).

A associação entre cobertura morta e efluente tratado favoreceu o maior armazenamento de água no solo, evidenciando o efeito sinérgico dessas práticas na conservação hídrica em ambiente semiárido. Esse comportamento está associado à maior conservação da umidade promovida pela cobertura, reduzindo as perdas por evaporação e favorecendo o armazenamento de água, em concordância com os resultados reportados por Montenegro et al. (2020).

Os tratamentos com cobertura morta apresentaram, de modo geral, maiores produtividades de matéria seca da palma forrageira e do sorgo em comparação aos tratamentos sem cobertura (Figura 5). Na Campanha 2, a associação entre cobertura morta e efluente tratado (ET) proporcionou produtividade aproximada de 7,2 Mg ha^{-1} para a palma forrageira e 19,0 Mg ha^{-1} para o sorgo, representando incrementos de 50% e 31%, respectivamente, em relação aos tratamentos irrigados

com água tratada sem cobertura (AT). Em relação à Campanha 1, o ET sob cobertura apresentou aumento de aproximadamente 10,8% na produtividade da palma forrageira e 11,8% na produtividade do sorgo.

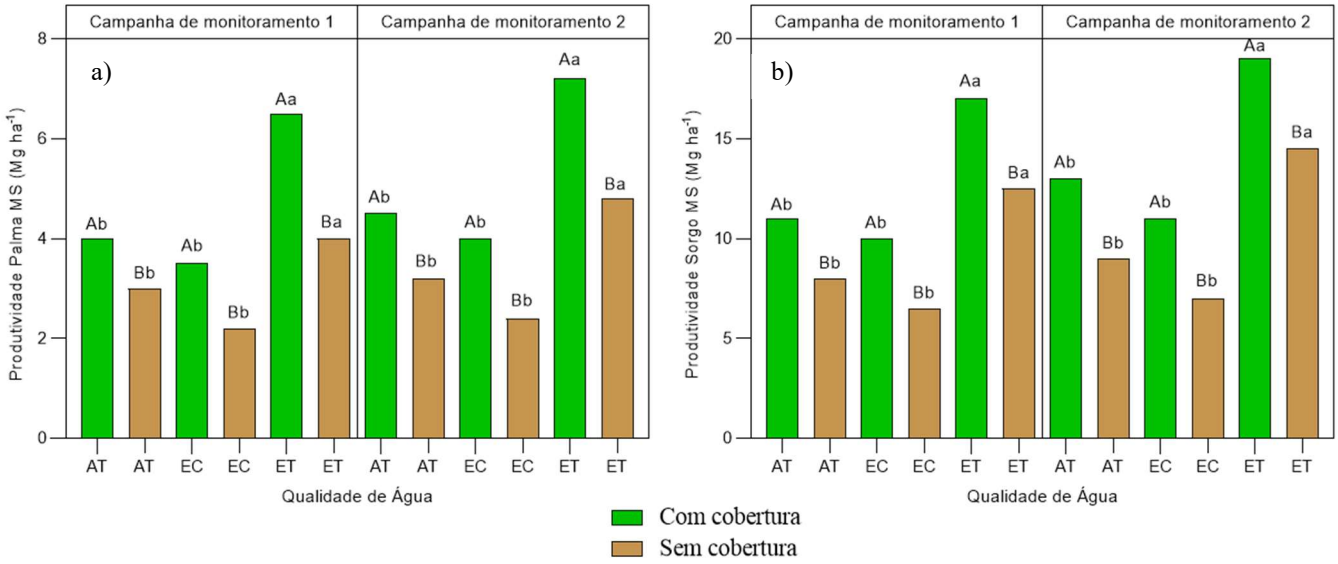


Figura 5 – Evolução temporal da produtividade de matéria seca da palma forrageira (a) e sorgo forrageiro (b), sob condições com cobertura morta e sem cobertura morta, irrigadas com água tratada (AT), efluente tratado (ET) e efluente clorado (EC), durante as Campanhas 1 e 2. Letras maiúsculas comparam os manejos do solo e letras minúsculas as qualidades de água, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O maior desempenho produtivo observado nos tratamentos com cobertura morta evidencia o papel dessa prática na conservação da água no solo e na criação de condições mais favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Além disso, a superioridade do efluente tratado sugere que o aporte adicional de nutrientes presentes na água residuária contribuiu para o incremento da produção de biomassa, resultado compatível com estudos que relatam benefícios agronômicos do reúso hidroagrícola em sistemas agrícolas (Shanmugam et al., 2022).

A carga microbiológica da palma forrageira variou conforme a qualidade da água de irrigação (Figura 6a-b). As maiores contagens de coliformes totais e *Escherichia coli* foram observadas no tratamento com ET, enquanto AT não apresentou detecção desses indicadores. O EC apresentou apenas baixas contagens microbiológicas, evidenciando o efeito da desinfecção na redução da carga microbiana.

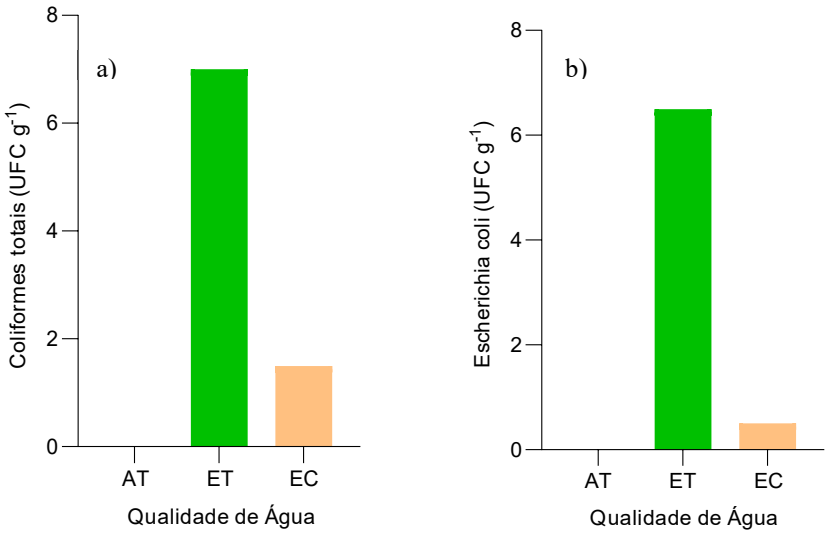


Figura 6 - Contagem de coliformes totais (a) e *Escherichia coli* (b) na palma forrageira sob diferentes qualidades de água de irrigação (AT, ET e EC). Valores expressos em UFC g^{-1}.

A carga microbiológica do sorgo forrageiro apresentou comportamento semelhante ao observado para a palma forrageira (Figura 7). As maiores contagens de coliformes totais e *Escherichia coli* foram registradas no tratamento irrigado com ET, enquanto AT não apresentou detecção desses indicadores microbiológicos. O EC apresentou baixas contagens, evidenciando a eficiência da cloração na redução da carga microbiana.

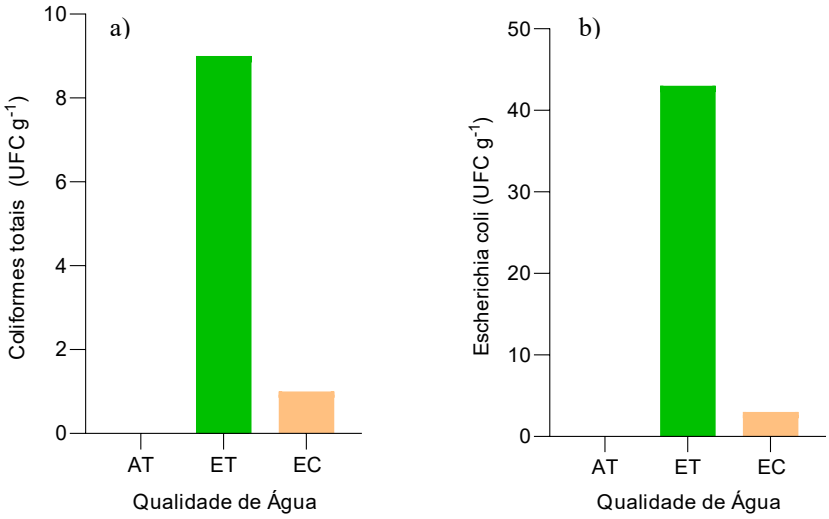


Figura 7 - Contagem de coliformes totais (a) e *Escherichia coli* (b) no sorgo forrageiro sob diferentes qualidades de água de irrigação (AT, ET e EC). Valores expressos em UFC g^{-1}.

A redução das contagens de *Escherichia coli* e coliformes totais observada nas forrageiras irrigadas com EC evidencia a eficiência da desinfecção na mitigação dos riscos microbiológicos associados ao reúso agrícola, em concordância com Ofori et al. (2025).

4. CONCLUSÕES

A cobertura morta promoveu maior conservação da umidade e armazenamento de água no solo ao longo das campanhas de monitoramento, independentemente da qualidade da água utilizada.

O efluente tratado associado à cobertura morta apresentou tendência de maior produtividade da palma forrageira e do sorgo em relação aos demais tratamentos.

O uso de efluente clorado reduziu as contagens de *E. coli* e coliformes totais nas forrageiras, evidenciando a importância da desinfecção para a segurança microbiológica do reúso hidroagrícola.

A integração entre reúso hidroagrícola, cobertura morta e desinfecção do efluente configura uma estratégia promissora para o manejo sustentável da água e do solo no Semiárido pernambucano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA/UFRPE), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de doutorado, ao Laboratório de Água e Solo (LAS/UFRPE), ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados meteorológicos, à COMPESA pelo apoio à Unidade Experimental de Reúso Hidroagrícola de Rendeiras, à TPF Engenharia pelo suporte ao projeto e à Verd'Fica Paisagismo pela cessão do pó de coco utilizado como cobertura morta.

REFERÊNCIAS

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). **Crop evapotranspiration**: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper n. 56, FAO, Rome, Italy.

Carvalho, A. A., de Assunção Montenegro, A. A., José Silva, L., Soares Costa, R., & Cruz Almeida, G. (2020). Análise do crescimento fisiológico do sorgo irrigado com água residuária tratada associado com cobertura morta. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 14, n. 5.

Costa, J. P. N., Medeiros, J. F., Nunes, R. M. D. A., Cavalcante Júnior, E. G., Lira, J. F. B. (2017). Crescimento e produção da primeira rebrota de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação. **Rev. Bras. Milho Sorgo**, v. 16, p. 449.

dos Santos, M. R., Araújo, J. S., Donato, S. L. R., de Souza, J. A. A., de Lira, E. C., & Aspiazú, I. (2024). Forage Cactus Pear Cultivars Irrigated with Wastewater in a Semi-Arid Region. **Water**, v. 16, n. 18, p. 2632.

EMBRAPA. (2017). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 574 p.

Ferreira, D. F. (2015). **Sisvar**. Versão 5.6. Lavras: UFLA/DEX. Disponível em: http://www.dex.ufla.br/~danielff/programas/sisvar.html. Acesso em: 28 mai. 2025.

Hayat F, AL-Zayadneh W, Khan U, Asghar S, Rehman T, Kandhan K and Alyafei M (2026) Treated wastewater irrigation: unlocking sustainability in agriculture and food security-a comprehensive review. Front. Sustain. **Food Syst**. v. 9, p. 1595066.

IPCC. (2021). **Climate Change 2021**: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC (V. Masson-Delmotte et al., Eds.). Cambridge: Cambridge University Press.

Köppen, W.; Geiger, R. (1928). **Klimate der Erde. Gotha**: Verlag condicionadas. Justus Perthes.

Medeiros, R. L. S., Nunes, J. A., Leal, L. Y. C., Santos, M. A., Montenegro, A. A. A., & Souza, E. R. (2024). Gas exchange dynamics and leaf water potential in sorghum intercropped with prickly pear and irrigated with reused water. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 54, p. e79527.

Mishra, S., Kumar, R., Kumar, M. (2023). Use of Treated Sewage or Wastewater as an Irrigation Water for Agricultural Purposes- Environmental, Health, and Economic Impacts. **Total Environ. Res. Themes**, v. 6, p. 100051.

Montenegro, A. A. A., Abrantes, J. R. C. B., de Lima, J. L. M. P., Singh, V. P., Santos, T. E. M. (2013). Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Catena**, v. 109, p. 139–149.

Montenegro, A. A. A., Almeida, T. A. B., Lima, C. A. d., Abrantes, J. R. C. B., & de Lima, J. L. M. P. (2020). Evaluating Mulch Cover with Coir Dust and Cover Crop with Palma Cactus as Soil and Water Conservation Techniques for Semiarid Environments: Laboratory Soil Flume Study under Simulated Rainfall. **Hydrology**, v. 7, n. 3, p. 61.

Obijianya, C. C., Yakamercan, E., Karimi, M., Veluru, S., Simko, I., Eshkabilov, S., & Simsek, H. (2025). Agricultural Irrigation Using Treated Wastewater: Challenges and Opportunities. **Water**, v. 17, n. 14, p. 2083.

Ofori, S.; Di Leto, Y.; Smrčková, Š.; Lopez Marin, M. A.; Gallo, G.; Růžičková, I.; Wanner, J. (2025). Treated wastewater reuse for crop irrigation: a comprehensive health risk assessment. **Environmental Science**: **Advances**, v. 4, p. 252–269.

Shanmugam, K., Gadhamshetty, V., Tysklind, M., Bhattacharyya, D., Upadhyayula, V. K. K. (2022). A Sustainable Performance Assessment Framework for Circular Management of Municipal Wastewater Treatment Plants. **J. Clean. Prod**., v. 339, p. 130657.

Tinôco, I. C. M., Bezerra, B. G., Lucio, P. S., & Barbosa, L. de M. (2019). Characterization of Rainfall Patterns in the Semiarid Brazil. **Anuário Do Instituto De Geociências**, v. 41, n. 2, p. 397-409.