DESEMPENHO BIOMÉTRICO E PRODUTIVO DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS SOB MANEJO CONSERVACIONISTA E IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Eline Dias Barbosa[1]; Thayná Alice Brito Almeida[2]; Eric Gabriel Fernandez Albuquerque da Silva[3]; Vitória Gabriele Chagas Silva[4]; Raví Emanoel de Melo[5]; José Henrique de Souza Júnior[6] & Abelardo Antônio de Assunção Montenegro[7]

RESUMO

A agricultura no semiárido enfrenta desafios relacionados à escassez hídrica, à variabilidade climática e à crescente degradação dos solos. Nesse contexto, práticas conservacionistas associadas ao reúso hidroagrícola podem contribuir para a sustentabilidade dos sistemas produtivos da agricultura familiar. Dessa forma, o presente estudo avaliou o desempenho biométrico e produtivo de um sistema consorciado de palma forrageira, gliricídia e moringa, irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido pernambucano. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos ao acaso, comparando solo descoberto e cobertura morta com palha de milho. A cobertura morta elevou o índice de área de cladódio da palma de 0,37 para 1,34 $m^2\ m^{-2}$ (262%), a altura das plantas de 40 para 80 cm (100%) e a produtividade de massa seca de 3,5 para 8,0 Mg ha^{-1} (129%), em comparação ao solo descoberto. A gliricídia e a moringa também apresentaram incrementos de 74% e 78% na altura, respectivamente. Os resultados destacam o potencial da cobertura morta e do reúso de água como estratégias para aumentar a produtividade e a resiliência de sistemas agrícolas familiares no semiárido.

Palavras-Chave – Sistema consorciado; manejo conservacionista do solo; região semiárida.

ABSTRACT

Agriculture in semi-arid regions faces challenges related to water scarcity, climate variability, and soil degradation. In this context, conservation practices associated with agricultural water reuse can contribute to the sustainability of family farming systems. This study evaluated the biometric and productive performance of an intercropping system composed of forage cactus, gliricidia, and moringa irrigated with treated domestic wastewater in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. The experiment was conducted in a randomized complete block design, comparing bare soil and corn straw mulch treatments. Mulching increased the forage cactus cladode area index from 0.37 to 1.34 $m^2\ m^{-2}$ (262%), plant height from 40 to 80 cm (100%), and dry matter yield from 3.5 to 8.0 Mg ha^{-1} (129%) compared to bare soil. Gliricidia and moringa also showed increases of 74% and 78% in plant height, respectively. The results highlight the potential of mulching and water reuse as strategies to enhance productivity and resilience in family farming systems in semi-arid regions.

Keywords - Intercropping system; soil conservation management; semi-arid region.

[1]) Doutoranda em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, e-mail: elinediasbarbosa@gmail.com
[2]) Doutora em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, e-mail: thayna.britoalmeida@ufrpe.br
[3]) Mestrando em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, e-mail: eric.fernandez@ufrpe.br
[4]) Graduanda em Engenharia Agrícola E Ambiental. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, e-mail: vichagas26@gmail.com
[5]) Doutorando em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, e-mail: ravi.melo@ufrpe.br
[6]) Doutorando em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, e-mail: talita.xgouveia@gmail.com
[7]) Professor Titular. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, e-mail: montenegro.ufrpe@gmail.com

1 – INTRODUÇÃO

A agricultura no semiárido brasileiro (SAB) enfrenta desafios estruturais associados à limitada disponibilidade hídrica, à irregularidade das precipitações pluviométricas e às elevadas taxas de evapotranspiração. Esses fatores restringem o crescimento das culturas e comprometem a estabilidade dos sistemas produtivos, sobretudo em áreas de relevo acidentado, onde os riscos de degradação do solo e de perdas de água são intensos (Mayer e Cushman, 2019).

Diante desse cenário, estratégias voltadas à conservação do solo e ao uso eficiente da água tornam-se fundamentais para a sustentabilidade da agricultura familiar. Além de contribuírem para a manutenção da produtividade agrícola, essas práticas favorecem a adaptabilidade dos sistemas produtivos às condições de estresse hídrico, cuja intensidade tende a aumentar em decorrência das mudanças climáticas (Netti et al., 2024).

Entre as alternativas para ampliar a disponibilidade de água na agricultura, o reúso de efluentes domésticos tratados têm se destacado por possibilitar o aproveitamento de recursos hídricos não convencionais e a reciclagem de nutrientes. Quando realizado de forma adequada, esse manejo pode favorecer o crescimento das plantas e contribuir para o aumento da produtividade agrícola (Obijianya et al., 2025). Nesse contexto, destaca-se o Sistema de Aproveitamento de Águas Residuais (SARA), desenvolvido pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA), uma tecnologia social destinada ao tratamento descentralizado de efluentes domésticos e à sua reutilização segura na irrigação agrícola (INSA, 2023; MCTI, 2024). Além dos benefícios relacionados ao tratamento de efluentes e à disponibilidade hídrica, o SARA se destaca por seu caráter de tecnologia social, promovendo soluções descentralizadas de saneamento e reúso da água adaptadas à realidade da agricultura familiar do semiárido.

Paralelamente, a adoção de espécies adaptadas às condições edafoclimáticas do semiárido representa uma estratégia importante para aumentar a eficiência dos sistemas produtivos. Entre elas, a palma forrageira destaca-se pela elevada eficiência no uso da água, pela capacidade de produção de biomassa e pela importância para a alimentação animal em regiões sujeitas à escassez hídrica (Medeiros et al., 2024). Além disso, o cultivo consorciado têm sido apontado como uma alternativa capaz de otimizar o aproveitamento dos recursos disponíveis e favorecer interações ecológicas positivas entre as espécies. Nesse sentido, a associação da palma forrageira com gliricídia (*Gliricidia sepium* L.) e moringa (*Moringa oleifera* L.) pode favorecer o desempenho agronômico do sistema.

Associadas a essas estratégias, práticas conservacionistas como a utilização de cobertura morta desempenham papel relevante na redução da evaporação da água do solo, na manutenção da umidade

e no controle dos processos erosivos, especialmente em áreas de encosta (Montenegro et al., 2013). Dessa forma, a integração entre manejo conservacionista, reúso de água e sistemas de cultivo adaptados às condições semiáridas constitui uma alternativa promissora para o fortalecimento da produção agrícola em ambientes com restrição hídrica.

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a resposta biométrica e produtiva de um sistema consorciado composto por palma forrageira, gliricídia e moringa, submetido a diferentes manejos do solo e irrigado com água de reúso, em condições de encosta no semiárido pernambucano.

2 - METODOLOGIA

O experimento foi realizado no Assentamento Nossa Senhora do Rosário, localizado no município de Pesqueira, no Estado de Pernambuco, inserido na bacia representativa do Mimoso, entre as coordenadas geográficas 08°34'17" e 08°18'11" de latitude Sul e 37°01'35" e 36°47'20" de longitude Oeste (Figura 1). O clima da região é classificado como BSh (semiárido quente), segundo a classificação de Köppen. A evapotranspiração potencial de referência média anual é de aproximadamente 2.000 mm, a temperatura média anual é de 23 °C e a precipitação média anual é de 686 mm (Almeida et al., 2024; Coelho et al., 2017).

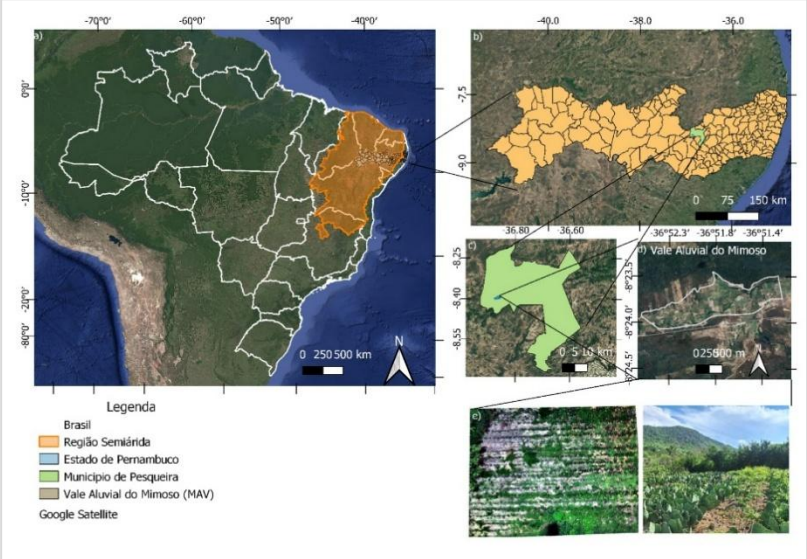


Figura 1- Mapa de localização da unidade em relação ao Brasil (a); a Pernambuco (b); à cidade de Pesqueira (c); ao vale Aluvial do Mimoso (d) e imagem da área obtida através de voo de drone (e).

A área experimental está localizada em uma encosta inserida em um lote de agricultura familiar e foi implantada em 2022 (Figura 2). O desenvolvimento da pesquisa contou com a participação do agricultor responsável pela propriedade, que acompanhou as atividades de implantação, manejo e monitoramento das culturas, fortalecendo a integração entre o conhecimento científico e a realidade produtiva local. O período de monitoramento experimental compreendeu os meses de janeiro a abril de 2026.



Figura 2 - Área experimental cultivada com palma forrageira em 2022, implantada em unidade experimental unifamiliar de reúso hidroagrícola, Pesqueira–PE.

Na Figura 3 estão apresentados os dados de precipitação pluvial diária, evapotranspiração de referência (ETo) e temperaturas máxima, mínima e média do ar registradas durante o período experimental.

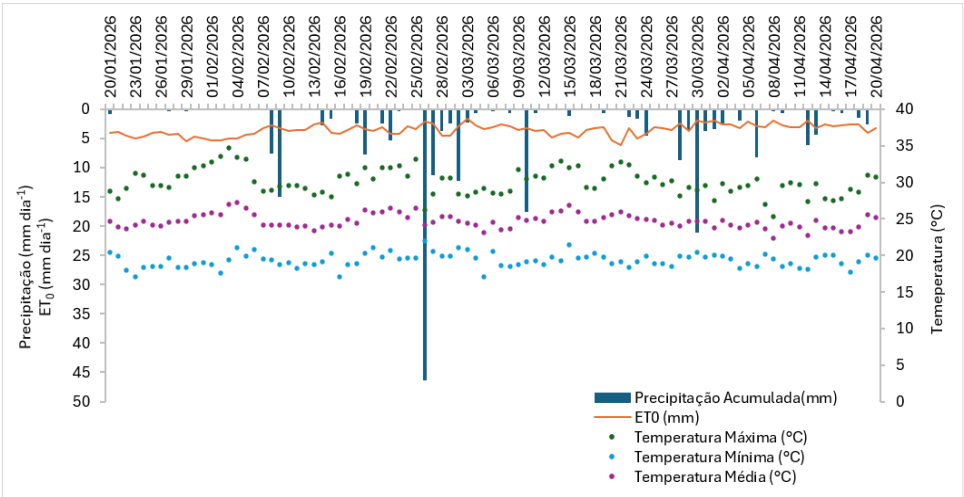


Figura 3- Precipitação diária, evapotranspiração de referência (ETo) e temperaturas máxima, mínima e média do ar registradas durante o período experimental na região de Pesqueira, PE.

A área experimental possui 456 m² (24,0 × 19,0 m), delimitado em blocos ao acaso, constituído por cinco blocos. Cada bloco foi composto por quatro parcelas experimentais com dimensões de 3,0 × 4,0 m, totalizando 20 parcelas. Os tratamentos resultaram da combinação de dois manejos do solo:

solo descoberto (SD) e solo com cobertura morta (CM) utilizando palha de milho. A CM foi aplicada na taxa de 8 Mg ha^{-1} nas parcelas correspondentes. Foram utilizadas duas espécies consorciadas à palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), sendo Gliricídia (*Gliricidia sepium* L.) e Moringa (*Moringa oleifera* L.). As espécies foram transplantadas entre as linhas da cultura principal, no espaçamento de 2,0 × 1,0 m, com quatro plantas por parcela.

O manejo da irrigação foi realizado utilizando efluente tratado proveniente do sistema SARA (Saneamento Ambiental e Reúso de Água), desenvolvido pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA) (Figura 4). O sistema apresenta capacidade para 2.650 L e é composto por caixa de gordura, tanque de equalização, reator UASB e lagoas de polimento para remoção da matéria orgânica, conforme descrito por Mayer et al. (2021). O efluente tratado é direcionado ao sistema de reúso, sendo posteriormente utilizado na irrigação agrícola.

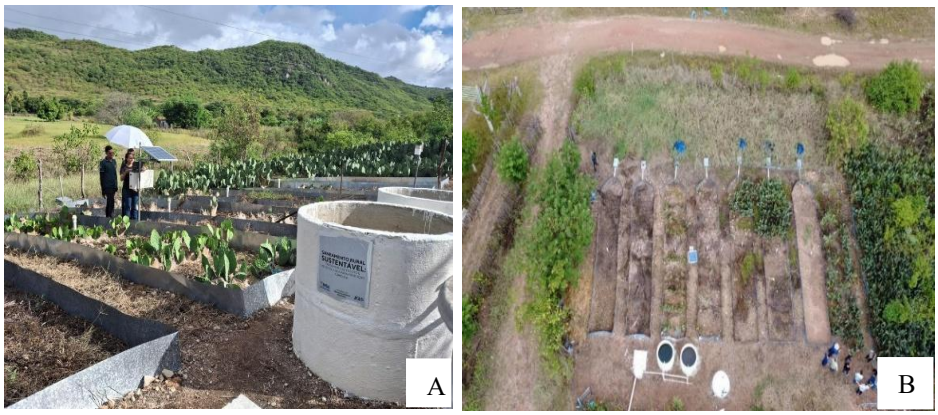


Figura 4 - Vista lateral do Sistema SARA (A); Vista aérea do Sistema SARA (B) implementado em unidade experimental de reúso hidroagrícola unifamiliar, Pesqueira-PE.

O coeficiente da cultura (Kc) adotado foi de 0,52, conforme proposto por Queiroz et al. (2016). A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada pelo método de Penman-Monteith, padronizado pela FAO-56 (Allen et al., 1998).

Para a palma forrageira foram avaliados a altura da planta (AP), o índice de área de cladódio (IAC) e a produtividade de massa seca.

$$IAC = \left(\sum_{n}^{i=1} AC \right) / \, 10.000 \, / (E1 \times E2) \qquad (1)$$

em que, IAC = índice de área do cladódio observado, em m^2 m^{-2}; 10.000 = fator de conversão de cm^2 para m^2; e E1×E2 é o espaçamento entre fileiras e plantas da palma. Para a moringa e a gliricídia, foi avaliada a altura da planta (AP), segundo Costa et al. (2013).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), após verificação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade dos resíduos. Quando constatado efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste F a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), utilizando o software Sisvar versão 5.8.

3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para todas as variáveis avaliadas, com superioridade da cobertura morta em relação ao solo descoberto. O índice de área do cladódio (IAC) da palma forrageira foi superior nos tratamentos com cobertura morta (CM) em comparação ao solo descoberto (SD), com médias de 1,34 e 0,37 $m^2\ m^{-2}$, respectivamente. Da mesma forma, a altura das plantas foi favorecida pela cobertura morta, apresentando média de 80 cm, enquanto em solo descoberto (SD) a média foi de 40 cm. A produtividade de massa seca da palma também foi maior nos tratamentos com cobertura morta, com média de 8,0 Mg ha^{-1}, enquanto em SD foi de 3,5 Mg ha^{-1} (Figura 5).

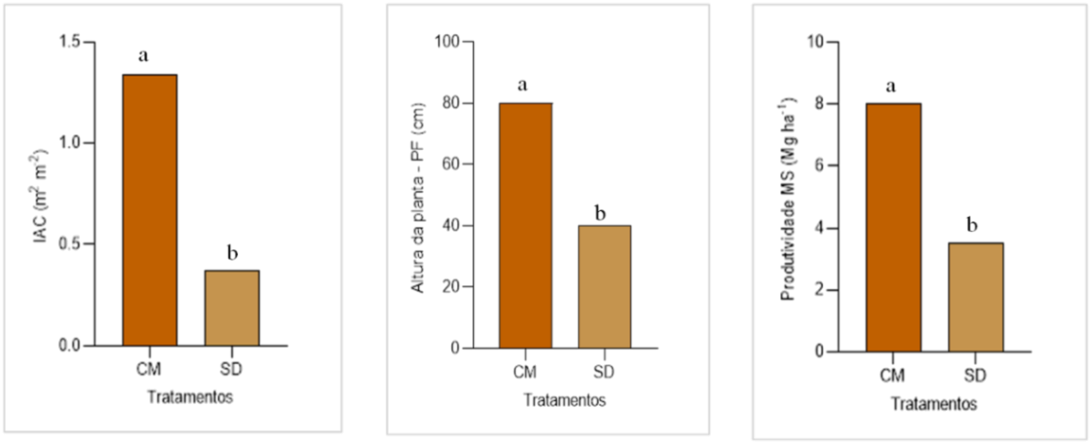


Figura 5 – Índice de área de cladódio (IAC) e produtividade de massa seca da palma forrageira em função dos manejos do solo avaliados em Pesqueira, PE.

A altura das culturas consorciadas foi superior nos tratamentos com cobertura morta (CM) em comparação ao solo descoberto (SD). Para a gliricídia, as médias de altura foram de 71,8 cm em CM e 41,2 cm em SD. De forma semelhante, a moringa apresentou médias de 75,2 cm em CM e 42,2 cm em SD, evidenciando o efeito positivo da cobertura morta sobre o crescimento das espécies (Figura 6).

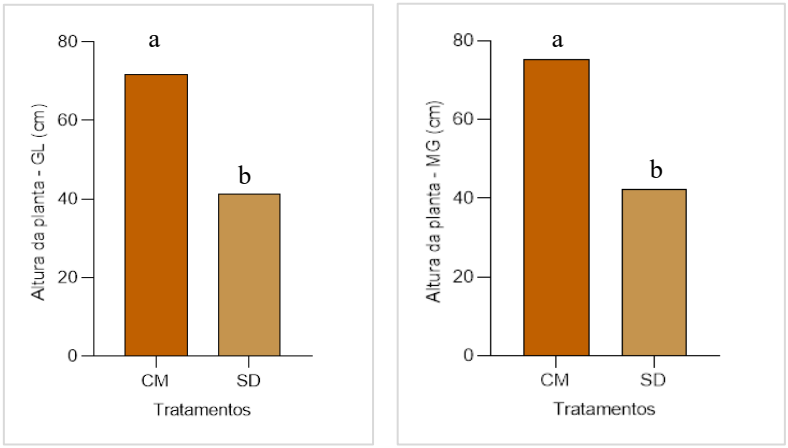


Figura 6 – Altura de plantas de gliricídia (A) e moringa (B) sob diferentes manejos do solo em sistema consorciado irrigado com água de reúso. Pesqueira, PE.

Esses resultados corroboram achados da literatura que apontam efeitos positivos do consórcio e do manejo do solo sobre o desempenho da palma forrageira. Sousa et al. (2025) verificaram que o cultivo consorciado, especialmente com gliricídia, promove incrementos significativos na produtividade, além de melhorias em características biométricas, como a altura das plantas. Os autores também destacam que variáveis de crescimento, como altura e desenvolvimento dos cladódios, apresentam forte correlação positiva com o acúmulo de biomassa, indicando que maior crescimento vegetativo resulta em maior produtividade da cultura. Araújo Júnior et al. (2024) observaram produtividade de até 21,8 Mg ha^{-1} em palma irrigada sob condições controladas, indicando que maiores valores de IAC favorecem a produção de biomassa em ambientes semiáridos

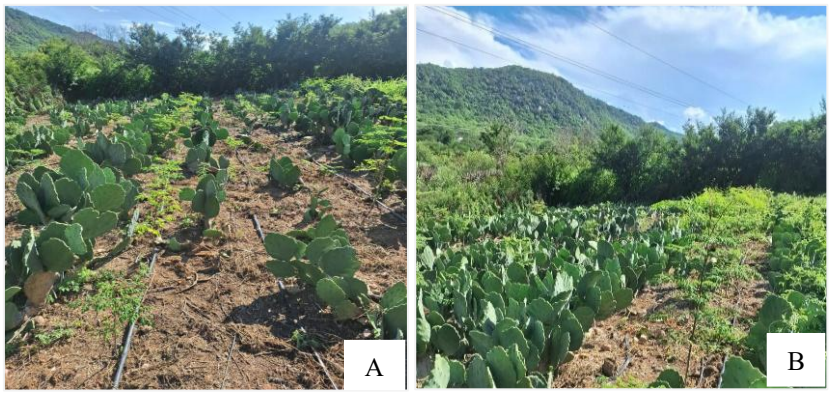


Figura 7 – (A) Fase inicial de implantação e estabelecimento do sistema consorciado composto por palma forrageira, gliricídia e moringa. (B) Área após o estabelecimento das culturas, durante a campanha de monitoramento em abril de 2026.

Desde sua implantação, a unidade experimental vem apresentando resultados positivos quanto ao aproveitamento da água e ao desempenho do sistema produtivo. A participação ativa do agricultor na implantação, manejo e acompanhamento da área reforçou o caráter social da tecnologia e favoreceu sua aplicação em condições reais de produção (Figura 8).



Figura 8 – (A) Registro das atividades de acompanhamento da área experimental com participação dos parceiros e agricultor. (B) Produtor rural junto ao sistema SARA na unidade experimental de reúso hidroagrícola em Pesqueira–PE.

4- CONCLUSÕES

O sistema consorciado aliado ao manejo conservacionista do solo e ao uso de água de reúso promoveu melhorias no desempenho biométrico e produtivo da palma forrageira.

A cobertura morta se destacou como fator determinante, proporcionando maior eficiência produtiva e melhores condições de crescimento para a cultura principal e as espécies consorciadas.

Assim, a integração dessas práticas configura-se como estratégia viável e sustentável para aumentar a resiliência e a produtividade de sistemas agrícolas no semiárido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pelo suporte acadêmico e institucional; ao Programa MAI DAI/UFRPE – CNPq (403.622/2020-4), à COMPESA, PROEXT, TPF Engenharia, INSA, e CAPES pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. A. B. et al. Evaluating Daily Water Stress Index (DWSI) Using Thermal Imaging of NeemTree Canopies under Bare Soil and Mulching Conditions. *Remote Sens*. 2024, 16, 2782. DOI:https://doi.org/10.3390/rs16152782.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; & SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper n. 56, FAO, Rome, Italy, 1998.

ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N.; LEITE, R. M. C.; MORAIS, J. E. F. D.; ALVES, C. P.; SOUZA, C. A. A. D.; ALMEIDA, A. C. D. S.; JARDIM, A. M. D. R. F.; SOUZA, L. S. B. D.; EUGENIO, D. D. S.; SILVA, T. G. F. Growth dynamic, productivity, evapotranspiration, and water-economic indices of forage cactus under different irrigation depths. *Agronomy*, v. 14, n. 4, p. 691, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy14040691.

ASA BRASIL – ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. ASA avalia panorama do reúso de águas no semiárido. Campina Grande, 2025. Disponível em: https://asabrasil.org.br/2025/04/24/asa-avalia-panorama-do-reuso-de-aguas-no-semiarido/. Acesso em: 03 jun. 2026.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S.; ALMEIDA, C. N.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M.; GUSMÃO, A. C. V.; FREITAS, E. S.; MONTENEGRO, A. A. A. "Alluvial groundwater recharge estimation in semi-arid environment using remotely sensed data". Journal of Hydrology, v. 548, p. 1-15, May 2017. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.02.054.

COSTA, G. G. da *et al.* Avaliação do crescimento de espécies arbóreas utilizadas em sistemas agroflorestais no semiárido.*Revista Árvore*, v. 37, n. 2, p. 237–245, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rarv/a/pLzLTb34gHHD9wLRNVMHqcF/. Acesso em: 01 jun 2026.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). O semiárido brasileiro. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/insa/pt-br/semiaridobrasileir. Acesso em: 01 jun. 2026.

LIMA, C. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. L. M. P.; ALMEIDA, T. A. B.; SANTOS, J. C. N. Use of alternative soil covers to control soil losses in semiarid regions. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 3, p. 531-542, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/s1413-41522020202412.

MAYER, J. A.; CUSHMAN, J. C. Nutritional and mineral content of prickly pear cactus: A highly water-use efficient forage, fodder and food species. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 205, n. 6, p. 625-634, 2019. https://doi.org/10.1111/jac.12353.

MEDEIROS, R. L. S.; NUNES, J. A.; LEAL, L. Y. C.; SANTOS, M. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; SOUZA, E. R. 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, 2024. https://doi.org/10.1590/1983-40632024v5479527

MONTENEGRO, A. A. A.; ABRANTES, J. R. C. B.; LIMA, J. L. M. P.; SINGH, V. P.; SANTOS, T. E. M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*, v. 109, p. 139-149, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.03.018.

MCTI – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Tecnologias sociais para o semiárido: experiências de inovação sustentável. Brasília, DF: MCTI, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mcti. Acesso em: 01 jun. 2026.

NETTI, A. M.; ABDELWAHAB, O. M. M.; DATOLA, G.; RICCI, G. F.; DAMIANI, P.; OPPIO, A.; GENTILE, F. Assessment of nature-based solutions for water resource management in agricultural environments: A stakeholders' perspective in Southern Italy. *Scientific Reports*, v. 14, p. 24668, 2024. https://doi.org/10.1038/s41598-024-76346-5

OFORI, S.; ABEBRESE, D. K.; RŮŽIČKOVÁ, I.; WANNER, J. Reuse of treated wastewater for crop irrigation: water suitability, fertilization potential, and impact on selected soil physicochemical properties. *Water*, v. 16, n. 3, art. 484, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/w16030484.

OBIJIANYA, C. C.; YAKAMERCAN, E.; KARIMI, M.; VELURU, S.; SIMKO, I.; ESHKABILOV, S.; SIMSEK, H. Agricultural irrigation using treated wastewater. Challenges and opportunities. *Water*, v. 17, n. 14, p. 2083, 2025. https://doi.org/10.3390/w17142083.

SOUSA, L. B. et al. Monitoring soil conservation techniques via UAV for sustainable production of intercropped forage cactus with reuse water in the Brazilian semiarid region. *Field Crops Research*, v. 334, p. 110120, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.110120.