DINÂMICA DE CARBONO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO CULTIVADO COM PALMA FORRAGEIRA IRRIGADA COM ÁGUA RESIDUÁRIA SOB MANEJO CONSERVACIONISTA

Filipe Alexandre Pereira Alves[1] *; Thayná Alice Brito Almeida* [2] *& Abelardo Antônio de Assunção Montenegro* [3]

RESUMO – A escassez hídrica e a degradação dos solos são fatores que limitam a agricultura no semiárido brasileiro, tornando necessária a adoção de práticas conservacionistas que promovam a sustentabilidade dos agroecossistemas. Neste contexto, o presente estudo avaliou os efeitos da cobertura morta e da associação entre cobertura morta e biochar sobre atributos químicos e estoques de carbono do solo cultivado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) irrigada com água residuária. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos, considerando três condições de cobertura do solo: solo descoberto, cobertura morta e cobertura morta associada ao biochar. Foram avaliados o carbono orgânico total e atributos químicos do solo em três períodos distintos. Os resultados mostraram incremento significativo do carbono orgânico total nos tratamentos com cobertura, especialmente na associação cobertura morta + biochar, que apresentou aumento de 30% em relação ao solo descoberto. A irrigação com água residuária promoveu aumento da condutividade elétrica do solo, porém os tratamentos com cobertura apresentaram menores incrementos desse atributo. Também foi observado ainda redução dos teores de Na nesses tratamentos. De modo geral, a utilização de cobertura morta associada ao biochar contribuiu para a melhoria da qualidade química do solo, favorecendo o acúmulo de carbono e mitigando potenciais efeitos da irrigação com água residuária.

Palavras-Chave – agricultura conservacionista, cobertura morta, semiárido

ABSTRACT– Water scarcity and soil degradation are major constraints to agricultural production in the Brazilian semiarid region, highlighting the need for conservation practices that promote the sustainability of agroecosystems. In this context, this study evaluated the effects of mulch and the combination of mulch and biochar on soil chemical attributes and carbon stocks in forage cactus (Opuntia stricta) cultivated under reclaimed wastewater irrigation. The experiment was conducted using a randomized block design with three soil cover treatments: bare soil, mulch, and mulch combined with biochar. Total organic carbon and soil chemical attributes were evaluated over three assessment periods. The results showed a significant increase in total organic carbon under soil cover treatments, especially in the mulch + biochar treatment, which presented a 30% increase compared

[1]) Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Departamento de Engenharia Agrícola. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil. CEP: 52.171-900. Fone: (81) 99688-5414. E-mail: felipealexandrealves1501@gmail.com
[2]) Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Departamento de Engenharia Agrícola. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil. CEP: 52.171-900. Fone: (81) 98318-0434. E-mail: thaynaalicee@gmail.com
[3]) Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Departamento de Engenharia Agrícola. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil. CEP: 52.171-900. Fone: (81) 98172-5157. E-mail: montenegro.ufrpe@gmail.com

with bare soil. Wastewater irrigation promoted an increase in soil electrical conductivity; however, lower increments were observed in the treatments with soil cover. In addition, reductions in sodium concentrations were observed in these treatments. Overall, the combined use of mulch and biochar improved soil chemical quality, promoted carbon accumulation, and mitigated potential adverse effects associated with wastewater irrigation. These findings demonstrate the potential of conservation practices to enhance soil quality and contribute to sustainable agricultural production in semiarid environments.

Keywords – conservation agriculture, mulching, semiarid

INTRODUÇÃO

As características ambientais do semiárido, como distribuição pluviométrica irregular e solos rasos com baixa capacidade de retenção de água, tornam a região altamente suscetível à erosão e baixa disponibilidade hídrica (Montenegro *et al*., 2020). Devido a essas características, os solos tornam-se suscetíveis ao processo de desertificação, causando impactos como perda de nutrientes, compactação e salinização do solo, o que põe em risco o desenvolvimento da agricultura na região (Lima *et al*., 2018).

Nesse sentido, faz-se necessário a adoção de práticas conservacionistas para um manejo adequado do solo. De acordo com Souza Neto (2022), a agricultura conservacionista surge como uma alternativa que permite a conservação dos recursos naturais ao mesmo tempo que mantém a produtividade e estabilidade dos agroecossistemas. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2026), a agricultura conservacionista se baseia nos princípios de mínimo revolvimento do solo, cobertura orgânica do solo e diversidade de culturas. Entre esses princípios, a utilização de cobertura orgânica no solo tem se mostrado uma ótima alternativa para conservação do solo e da água, conforme observado por Fonseca *et al*. (2025) ao analisarem a eficiência do uso de cobertura morta sob chuva simulada em solos do semiárido, observando a redução do escoamento superficial, bem como a redução da taxa de desagregação e perda de solo.

Além disso, de acordo com Sun *et al*. (2021), a aplicação de matéria orgânica influência na ciclagem de nutrientes, melhorando as propriedades do solo através da decomposição desse material e aumentando diretamente a quantidade de carbono orgânico no solo (COS). O aumento do COS auxilia na produtividade agrícola e na resiliência dos agroecossistemas, tendo em vista que ocorre a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas (Oliveira *et al.*, 2025; Page *et al.*, 2020). A melhoria dessas propriedades promove uma melhor retenção de água, além de aumentar a disponibilidade de nutrientes para a planta. Nesse sentido, outro material que pode ser aplicado sob o solo em prol da sua conservação é o biochar. De acordo com Diatta *et al*. (2020), o biochar é um

material resultante da pirólise de matéria orgânica (agrícola, industrial ou doméstica) em condições anaeróbicas e em temperaturas entre 300 e 1000ºC. Alguns dos benefícios agronômicos transformadores conhecidos do biochar incluem: alta área superficial e porosidade; capacidade de reduzir pH; retenção de água e nutrientes; redução da densidade do solo (Kabir *et al*., 2023). Veloso *et al*. (2026) também observaram que a aplicação de biochar alterou propriedades químicas do solo, como a disponibilidade de nutrientes e a redução da mobilidade de metais pesados. Segundo os autores, o biochar é uma alternativa sustentável e de baixo custo como ferramenta para recuperação de solos contaminados principalmente por metais pesados. Já Lau *et al*. (2017) apresentam a aplicação de biochar na retenção de poluentes em águas de drenagem.

No que se refere à erosão, outras técnicas conservacionistas também têm se mostrado eficientes. Montenegro *et al*. (2020) avaliando a utilização de palma forrageira (Opuntia sp.) como cordão vegetativo em áreas de semiárido constataram que a utilização de cordão vegetativo de palma propiciou um barramento ao fluxo de água, devido à morfologia da palma, e consequentemente um fluxo superficial mais lento, devido à diminuição da velocidade de escoamento.

Ademais, tendo em vista a baixa disponibilidade de água na região semiárida é necessário, além do uso de técnicas conservacionistas, buscar fontes alternativas de água para a agricultura. Uma dessas alternativas é a utilização de águas residuais (Santos *et al.*, 2020). De acordo com Guimarães *et al.* (2018), o uso de água residuária na agricultura permite uma otimização do uso da água, além de promover melhorias nas propriedades químicas e físicas do solo, evitando o impacto ambiental decorrente do descarte incorreto desse material.

Embora diversos estudos tenham demonstrado os benefícios isolados dessas práticas, ainda são limitadas as investigações que avaliam simultaneamente essas técnicas conservacionistas e seus efeitos nos atributos do solo em condições de semiárido. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes condições de cobertura do solo sobre os atributos químicos, a dinâmica do carbono orgânico e a conservação do solo em cultivo de palma forrageira irrigado com água residuária.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Os experimentos foram realizados no município de Pesqueira -PE, em um lote agrícola inserido no Assentamento Nossa Senhora do Rosário, na bacia representativa do Mimoso, localizada no município de Pesqueira-PE, 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. A bacia do Mimoso é parte da bacia do Alto Ipanema, localizada no semiárido do Estado de Pernambuco (Figura 1).

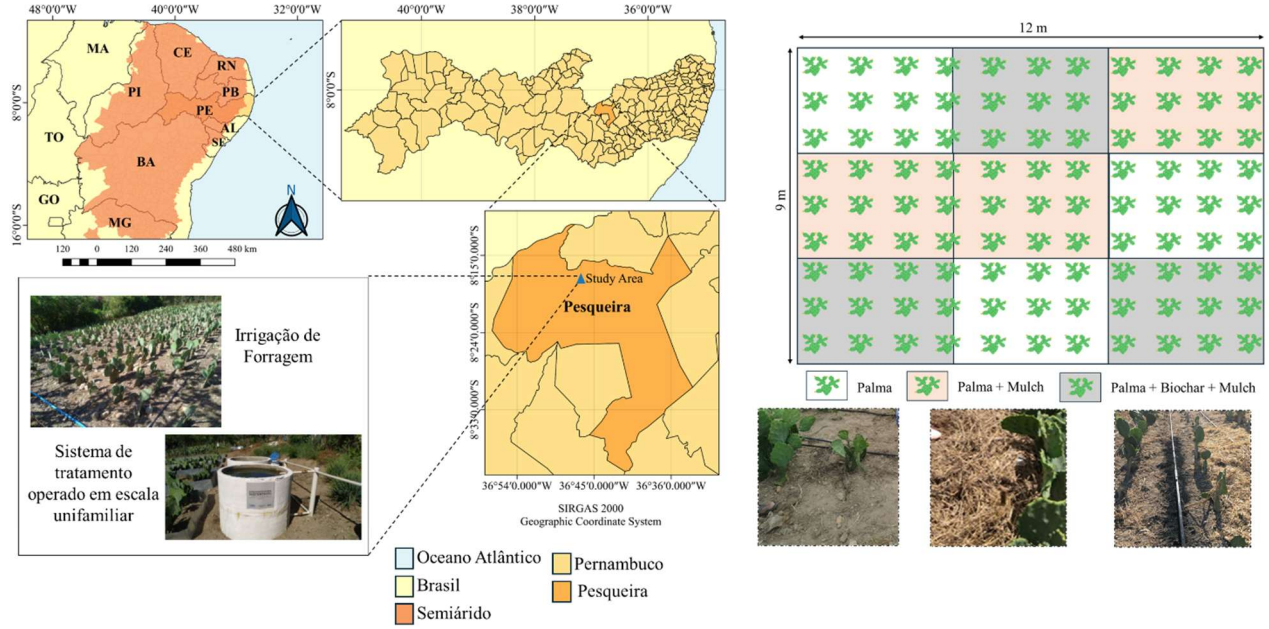


Figura 1 – Mapa de localização da bacia do Alto Ipanema, município de Pesqueira-PE, e área de estudo, e esboço (não escala) das parcelas experimentais e suas respectivas condições de cobertura do solo.

Delineamento Experimental

A unidade experimental foi implementada em uma encosta, com área aproximada de 340 m^2, onde estão dispostas duas parcelas retangulares de 12,0 m de largura e 9,0 m de comprimento (Figura 1). Em ambas as parcelas foi implementada a palma forrageira (variedade Orelha de Elefante (*Opuntia stricta* (Haw) Haw). O espaçamento entre linhas de Palma é de 1 metro, com o plantio adensado de 0,20 metros entre plantas. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos, considerando três condições condições de cobertura, sendo elas: i) parcela sem cobertura (solo exposto); ii) Parcela com cobertura morta (cobertura de silagem de capim aplicada a uma taxa nominal de 4 ton ha^{-1}); e iii) Parcela com cobertura morta + biochar (cobertura de silagem de capim aplicada a uma taxa nominal de 4 ton ha^{-1} sobreposta a uma cobertura morta biochar proveniente da pirólise de madeira de cajueiro aplicada a uma taxa de 2 ton ha^{-1}).

O efluente utilizado para irrigação no experimento foi obtido através do sistema SARA (Mayer *et al.*, 2020). O sistema de reúso inclui um reservatório com capacidade total de 2.650 litros para armazenamento de efluente tratado, uma bomba motorizada de 0,50 hp e um sistema de irrigação por gotejamento localizado. A estação de tratamento de efluentes (ETE) trata aproximadamente 6 m^3 por dia de efluente doméstico. O desempenho do sistema de tratamento foi avaliado com base em sua

eficiência na remoção de matéria orgânica e organismos patogênicos, bem como na manutenção dos níveis de nutrientes.

Monitoramento do teor de matéria orgânica e da salinidade do solo

Para a determinação dos teores de carbono e matéria orgânica do solo, a metodologia usada é a proposta por Yeomans & Bremner (1988). As frações de areia, argila e silte do solo do escoado serão determinadas pelo Método do densímetro de Boyoucus, seguindo a metodologia proposta por Teixeira *et al*. (2017). A condutividade elétrica foi avaliada com auxílio de um condutivímetro (HANNA-HI 9835) ajustado à temperatura da amostra, e os teores de sódio e potássio determinados por fotometria de emissão de chama e teores de cálcio e magnésio, por espectrofotometria de absorção atômica nas amostras diluídas com cloreto de estrôncio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as concentrações de carbono orgânico e os teores de condutividade elétrica para três períodos do experimento: no início (C1), 81 dias após a implementação (C2) e 111 dias após a implementação (C3), de acordo com tratamentos utilizados. Para as três condições de cobertura, os valores médios de carbono orgânico total (COT) no início do período de avaliação foram semelhantes em todos os blocos distribuídos aleatoriamente.

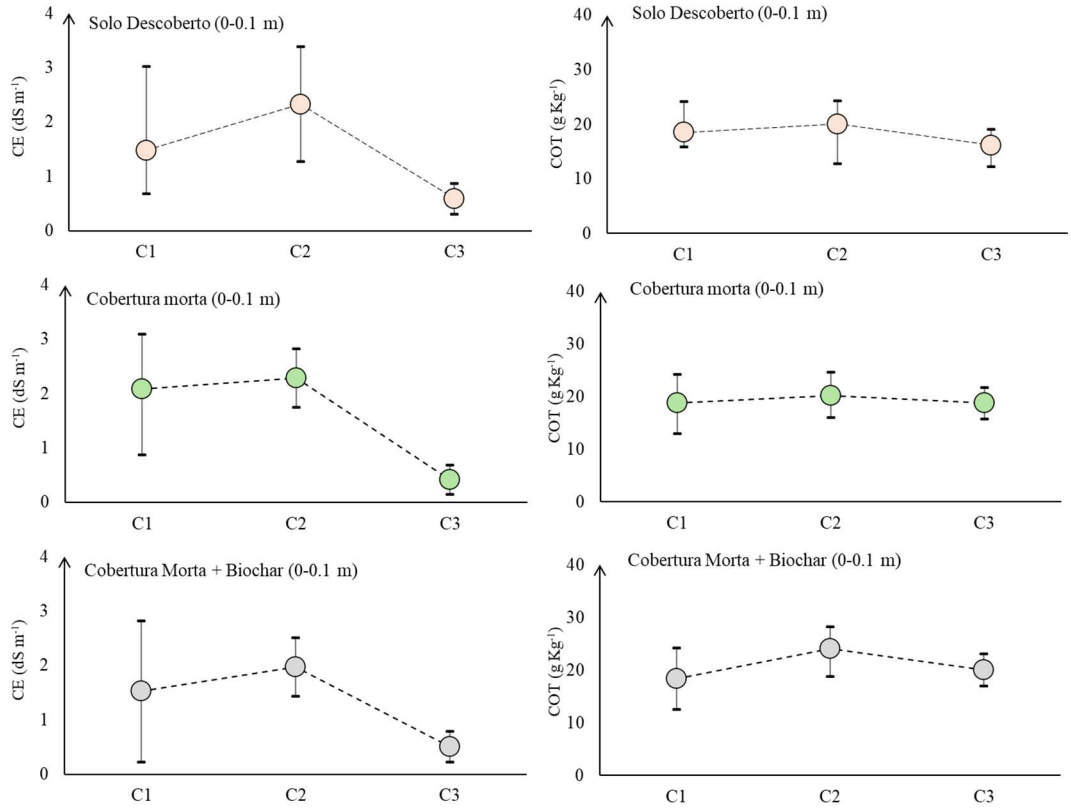


Figura 2 - Valores médios de carbono orgânico e condutividade elétrica do solo para cada tratamento utilizado.

Após os primeiros 81 dias de aplicação dos tratamentos foi observado um aumento no carbono orgânico total, com diferenças significativas entre as condições de cobertura do solo. Os valores mais altos foram observados nos tratamentos com cobertura morta + biochar e cobertura morta sozinha, mostrando aumentos de 30% e 7%, respectivamente, em comparação com a área sem aplicação de cobertura morta. Ganhos semelhantes no conteúdo de carbono orgânico total (COT) também foram observados por Kun *et al*. (2022), que avaliaram os efeitos da irrigação com água reutilizada e cobertura morta no conteúdo de matéria orgânica do solo. Os autores constataram que, comparado ao solo descoberto, o uso de cobertura morta promoveu uma maior entrada de detritos orgânicos no sistema solo-água-planta em comparação com o solo nu. Além disso, o maior incremento de COT observado resulta não apenas da adição de cobertura morta, mas também da adição de biochar. Veloso *et al*. (2026) também observaram o aumento dos teores de matéria orgânica do solo ao analisarem os efeitos da aplicação de diferentes tipos de biochar no solo. Segundo os autores, esses resultados refletem a rica composição orgânica do biochar e a sua capacidade de melhorar a qualidade do solo. Durante o período C3, após uma precipitação acumulada de 81 mm, o conteúdo total de carbono diminuiu em todos os tratamentos provavelmente devido à perda de solo. No entanto, o tratamento com cobertura morta + biochar ainda manteve o solo em melhor condição do que seu estado inicial. Segundo Joseph *et al*. (2021), o biochar protege a matéria orgânica da decomposição ao promover a formação de organominerais e ao armazenar compostos orgânicos em seus poros, reduzindo sua decomposição microbiana e favorecendo a estabilização de carbono no solo por longos períodos.

Já a condutividade elétrica do solo (CE) apresentou alta variabilidade no primeiro período de avaliação, com valores médios variando de 0,5 a 1 dS m^{-1}. Ao final da segunda avaliação, houve aumentos na CE do solo, com médias variando de 1,3 a 1,8 dS m^{-1}. Resultados semelhantes foram obtidos por Mascarella *et al*. (2024) também observaram o aumento da CE devido a adição de sais em plantio de tomate irrigado com água de reuso. No entanto, os tratamentos com cobertura morta e cobertura morta + biochar apresentaram os menores percentuais de aumento da CE em comparação com o solo descoberto. Isso ocorre devido à barreira física que a cobertura morta forma na superfície do solo, reduzindo a troca de energia entre o solo e a atmosfera. Resultados semelhantes foram observados por Deng *et al*. (2021), onde a pesquisa destaca que o biochar afeta as condições físico-químicas, hidráulicas e biológicas do solo, mostrando o potencial para melhorar a eficiência do tratamento de águas residuais. Ademais, Barbosa *et al*. (2021) também observaram a redução da condutividade elétrica com a aplicação da cobertura morta no cultivo de feijão de corda. Para o

período C3, a precipitação acumulada de 81 mm pode explicar a redução da CE, tendo em vista que a precipitação favorece a lixiviação dos sais (Mascarella *et al*., 2024)

Segundo Joseph *et al*. (2021) os efeitos que o biochar pode ocasionar nos solos e nas plantas podem ser observados em períodos curtos (1-3 semanas), médios (1-6 meses) e longos (> 6 meses). Esses efeitos estão atrelados a diversos processos bióticos a abióticos que explicam como as propriedades químicas e físicas do biochar irão atuar. Os valores médios dos demais parâmetros químicos do solo estão apresentados na Tabela 1. Os valores de soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC) foram similares para as três condições de cobertura. A ausência de incrementos expressivos na CTC pode estar relacionada ao curto período experimental, uma vez que a aplicação de biochar não causa o aumento da CTC imediatamente, mas sim ao longo do tempo (Kharel *et al.*, 2019).

Tabela 1 – Valores médios dos atributos químicos do solo sob as três condições de cobertura (CC) para os três períodos avaliados.

Parâmetros			P	pH	Ca	Mg	Na	K	Al	H	SB	CTC	V
	CC	Camada	mg dm^3	($H_2$0)				cmol$_c$ dm^3					%
C1	SD	0.1	34	5.7	3.5	1.7	0.51	0.69	0.05	2.75	6.4	9.3	70
	CM	0.1	45	5.8	3.8	1.6	0.6	0.7	0.05	2.83	6.7	9.4	69
	CM + B	0.1	43	6	5.2	1.3	0.6	0.8	0	2.39	7.9	10.3	77
C2	SD	0.1	34	5.7	3.9	1.0	0.56	0.8	0.05	2.5	6.3	8.8	71
	CM	0.1	45	6	3.59	1.41	0.37	0.9	0	2.06	6.3	8.6	76
	CM + B	0.1	40	5.6	3.7	1.2	0.42	0.7	0.05	1.93	6.2	8.4	77
C3	SD	0.1	43	6.6	4	1.9	0.27	0.7	0	1.48	6.9	8.4	82
	CM	0.1	38	6.8	3.5	1.65	0.28	0.73	0	1.4	6.2	7.6	81
	CM + B	0.1	34	6	3.75	1	0.23	0.62	0	2.64	5.6	8.2	68

No período C2 foi observada a redução nos teores de Ca, Mg, P e K, o que pode estar associado à absorção desses nutrientes pela palma forrageira durante seu desenvolvimento (Amorim *et al*., 2019), bem como à dinâmica natural de ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta. Com relação aos teores de Na, a adição de biochar no solo promoveu a redução de 42% no conteúdo de sódio, enquanto que a cobertura reduziu o conteúdo em 62%. Segundo Joseph *et al*. (2021), os efeitos do biochar resultam de diversos processos bióticos e abióticos. Entre esses processos destacam-se a retenção de cátions e o preenchimento gradual dos poros do biochar por matéria orgânica e minerais, mecanismos que contribuem para a redução da sodicidade e para alterações na disponibilidade de nutrientes

De modo geral, os resultados observados indicam que a associação entre cobertura morta e biochar favoreceu a manutenção do carbono orgânico do solo e contribuiu para a mitigação dos efeitos da irrigação com água residuária sobre a qualidade química do solo

AGRADECIMENTOS - Os autores gostariam de agradecer à FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), à FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - BFP-0092-5.03/24), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 200278/2026-6) e à Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA) pelo apoio concedido.

REFERÊNCIAS

AMORIM, M. S.; COELHO, E. F.; MELO, D. M.; LIMA, D. M.; LIMA, L. W. F. (2019). "*Cultivo orgânico da bananeira 'BRS Tropical' sob irrigação e uso de cobertura orgânica no solo"*. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 13, n. 3, pp. 3487.

BARBOSA, I. J.; SOUSA, H. C.; SCHNEIDER, F.; SOUSA, G. G.; LESSA, C. I. N.; SANÓ, L. (2021). "*Mulch with sugarcane bagasse and bamboo straw attenuates salt stress in cowpea cultivation"*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 25, pp. 485-491.

DENG, S.; CHEN, J.; CHANG, J. (2021). "*Application of biochar as an innovative substrate in constructed wetlands/biofilters for wastewater treatment: Performance and ecological benefits"*. Journal of Cleaner Production, v. 293, pp. 126156.

DIATTA, A. A.; FIKE, J. H.; BATTAGLIA, M. L.; GALBRAITH, J. M.; BAIG, M. B. (2020). "*Effects of biochar on soil fertility and crop productivity in arid regions: a review"*. Arabian Journal of Geosciences, v. 13, pp. 595-617.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). "*Conservation Agriculture"*. Disponível em: https://www.fao.org/conservation-agriculture/en/. Acesso em: 10 maio 2026.

FONSECA, C. S.; SANTOS, I. B.; CAVALCANTE, J. C. S.; COSTA, J. C. C.; BARBOSA, A. L. P.; SANTOS, C. G. (2025). "*Erosão hídrica em Neossolos de referência no estado de Alagoas sob diferentes taxas de cobertura morta"*. Revista Ambientale, v. 17, n. 1, pp. 14-22.

GUIMARÃES, T. R. F. da C. S.; COSTA, J. P. N. da; MEDEIROS, J. F. de (2018). "*Uso de água de esgoto doméstico tratado na produção de sorgo soca"*. Water Resources and Irrigation Management, v. 7, n. 1, pp. 1-7.

JOSEPH, S.; COWIE, A. L.; VAN ZWIETEN, L.; BOLAN, N.; BUDAI, A.; BUSS, W.; CAYUELA, M. L.; GRABER, E. R.; IPPOLITO, J. A.; KUZYAKOV, Y.; LUO, Y.; OK, Y. S.; PALANSOORIYA, K. N.; SHEPHERD, J.; STEPHENS, S.; WENG, Z. H.; LEHMANN, J. (2021). "*How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar"*. GCB Bioenergy, v. 13, n. 11, pp. 1731-1764.

KABIR, E.; KIM, K.-H.; KWON, E. E. (2023). "*Biochar as a tool for the improvement of soil and environment"*. Frontiers in Environmental Science, v. 11, pp. 1324533.

KHAREL, G.; SACKO, O.; FENG, X.; MORRIS, J. R.; PHILLIPS, C. L.; TRIPPE, K.; KUMAR, S.; LEE, J. W. (2019). "*Biochar surface oxygenation by ozonization for super high cation exchange capacity"*. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, v. 7, n. 19, pp. 16410-16418.

LAU, A. Y. T.; TSANG, D. C. W.; GRAHAM, N. J. D.; OK, Y. S.; YANG, X.; LI, X. D. (2017). "*Surface-modified biochar in a bioretention system for Escherichia coli removal from stormwater"*. Chemosphere, v. 169, pp. 89-98.

LIMA, C. A. de; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. L. M. P. de; ALMEIDA, T. A. B.; SANTOS, J. C. N. (2020). "*Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas"*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, pp. 531-542.

MAYER, M. C.; BARBOSA, R. A.; LAMBAIS, J. R.; MEDEIROS, S. de S.; VAN HAANDEL, A. C.; SANTOS, S. L. dos. (2020). "*Tecnologia de tratamento de esgoto: uma alternativa de saneamento básico rural e produção de água para reuso agrícola no Semiárido Brasileiro"*. In: Investimentos transformadores para um estilo de desenvolvimento sustentável: estudos de casos de grande impulso (Big Push) para a sustentabilidade no Brasil, pp. 103-112.

MONTENEGRO, A. A. A.; LOPES, I.; ALMEIDA, T. A. B.; LIMA, J. L. M. P. de; MONTENEGRO, H. G. L. A.; ARAÚJO, B. G. (2020). "*Impacto de métodos naturais para conservação de água e solo no semiárido brasileiro"*. FAVE - Sección Ciencias Agrarias, v. 19, n. 2, pp. 45-59.

MUSCARELLA, S. M.; ALDUINA, R.; BADALUCCO, L.; CAPRI, F. C.; DI LETO, Y.; GALLO, G.; LAUDICINA, V. A.; PALIAGA, S.; MANN, G. (2024). "*Water reuse of treated domestic wastewater in agriculture: Effects on tomato plants, soil nutrient availability and microbial community structure"*. Science of the Total Environment, v. 928, pp. 172259.

PAGE, K. L.; DANG, Y. P.; DALAL, R. C. (2020). "*The ability of conservation agriculture to conserve soil organic carbon and the subsequent impact on soil physical, chemical, and biological properties and yield"*. Frontiers in Sustainable Food Systems, v. 4, pp. 31.

SANTOS, A. S.; RODRIGUES, M. H. B. S.; SILVA, G. V. da; GOMES, F. A. L.; SILVA, J. N. da; CARTAXO, P. H. A. (2020). "*Importância do reuso de água para irrigação no Semiárido"*. Meio Ambiente (Brasil), v. 2, n. 3.

SOUZA NETO, J. G.; TUPPER, V. T. B.; ROSA, R. C.; RODRIGUES, J. B.; COSTA, T. J.; ROCHA, F. Z. (2022). *A agricultura conservacionista: uma revisão*. In: Desenvolvimento Rural e Sustentabilidade: energia, produção e novos mercados. Editora Científica Digital, p. 25-37.

SUN, X.; WANG, G.; MA, Q.; LIAO, J.; WANG, D.; GUAN, Q.; JONES, D. L. (2021). "*Organic mulching promotes soil organic carbon accumulation to deep soil layer in an urban plantation forest"*. Forest Ecosystems, v. 8, n. 1, pp. 1-11.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (2017). "*Manual de Métodos de Análise de Solo"*. Brasília: Embrapa. 577 p.

VELOSO, V. L.; SILVA, F. B. V.; SANTOS, N. M.; XIMENES, D. H. de S. V.; SILVA, W. R. da; SILVA, H. M. C. S.; BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A. do. (2026). "*Biochar reduces the mobility of Pb and Cd while decreasing micronutrient availability in soil impacted by metallurgical waste"*. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 48, n. 1, pp. e77694.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. (1988). "*A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil"*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 19, n. 13, pp. 1467-1476.