

Agronomic performance of forage sorghum in soils affected by salts and subjected to phosphate fertilization

Desempenho agrônômico do sorgo forrageiro em solos afetados por sais e submetidos à adubação fosfatada

LINS, Witória Maria Cavalcante⁽¹⁾; SANTOS, José Matheus Gonzaga⁽²⁾; SILVA, Rayanne Flávia Costa da⁽³⁾; SILVA, Matheus Filipe Alves da⁽⁴⁾; OLIVEIRA, João Tiago Correia⁽⁵⁾; ROCHA, Alexandre Tavares da⁽⁶⁾

(1)  0009-0009-5852-4740; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. witoriamclins@gmail.com.

(2)  0009-0001-6339-9077; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. matheusgonzaga961@gmail.com.

(3)  0009-0002-8382-5958; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. rayannecosta567@gmail.com.

(4)  0009-0001-0529-1033; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. matheus_ufrpe@outlook.com.

(5)  0000-0001-7469-5106; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. joao.oliveira@ufape.edu.br.

(6)  0000-0001-6070-1958; Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE). Garanhuns, PE, Brasil. alexandre.rocha@ufape.edu.br.

O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

ABSTRACT

Beef cattle production on pasture in the Semi-Arid region is impacted by irregular rainfall, requiring drought-tolerant forage, with forage sorghum standing out as a strategic alternative. This study evaluated the agronomic performance of forage sorghum cv. Sudan-4202 grown on saline Cambisols under different doses of phosphorus fertilization. The experiment was conducted in the field, in the Brazilian semi-arid region, using a randomized block design with five doses of P₂O₅ (0, 30, 60, 90, and 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅), and irrigation with brackish water. Dry matter production showed a positive response to fertilization, but salinity restricted growth, reflected in the reduction of height, number of leaves, and productivity. Fresh mass ranged from 16 to 21.13 Mg ha⁻¹, while maximum dry biomass reached 2.79 Mg ha⁻¹, values below the productive potential of the crop in the region. The results indicate that, in saline environments, the effect of phosphate fertilization is limited, being insufficient to overcome the constraints imposed by salt stress. Therefore, it is recommended to adopt more tolerant cultivars, implement water management that minimizes salt accumulation, and use phosphorus sources with higher agronomic efficiency, aiming to optimize crop performance and productive sustainability in areas affected by salinity.

RESUMO

A produção de carne bovina a pasto no Semiárido é impactada pela irregularidade das chuvas, exigindo forrageiras tolerantes à seca, o sorgo forrageiro destaca-se como alternativa estratégica. Este estudo avaliou o desempenho agrônômico do sorgo forrageiro cv. Sudan-4202 cultivado em Cambissolos salinos sob diferentes doses de adubação fosfatada. O experimento foi realizado em campo, no semiárido brasileiro, utilizando delineamento em blocos casualizados com cinco doses de P₂O₅ (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹) e irrigação com água salobra. A produção de massa seca apresentou resposta positiva à adubação, porém a salinidade restringiu o crescimento, refletindo-se na redução da altura, número de folhas e produtividade. A massa fresca variou de 16 a 21,13 Mg ha⁻¹, enquanto a massa seca máxima atingiu 2,79 Mg ha⁻¹, valores inferiores ao potencial produtivo da cultura na região. Os resultados indicam que, em ambientes salinos, o efeito da adubação fosfatada é limitado, não sendo suficiente para superar as restrições impostas pelo estresse salino. Recomenda-se, portanto, a adoção de cultivares mais tolerantes, manejo hídrico que minimize o acúmulo de sais e utilização de fontes de fósforo com maior eficiência agrônômica, visando otimizar o desempenho da cultura e a sustentabilidade produtiva em áreas afetadas pela salinidade.

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Histórico do Artigo:

Submetido: 29/11/2025

Aprovado: 06/03/2026

Publicação: 30/06/2026



Keywords:

Soil salinity, Brazilian semi-arid, crop management.

Palavras-Chave:

Salinidade do solo, semiárido brasileiro, manejo de culturas.

Introdução

A produção de carne bovina a pasto no Semiárido é impactada com a irregularidade das chuvas, o que exige o uso de forrageiras tolerantes à seca. Nesse contexto, o sorgo destaca-se como alternativa estratégica por ser altamente produtivo, energético, de boa digestibilidade e bem adaptado a regiões secas e quentes, garantindo maior estabilidade na produção animal ao longo do ano (Lima et al., 2017). Além da escolha da forrageira, a avaliação do teor de matéria seca (MS) das forragens é fundamental para a formulação de dietas precisas, uma vez que os nutrientes essenciais como proteína bruta, fibra e energia são calculados com base na MS (Ritz et al., 2020).

As regiões áridas e semiáridas apresentam maior vulnerabilidade a problemas de salinização do solo, pois a intensa evapotranspiração e as baixas precipitações ao longo do ano, comprometem a disponibilidade hídrica para as culturas e limita a lixiviação dos sais da zona radicular, resultando em uma salinização acentuada (Valença et al., 2023).

A salinidade do solo afeta a disponibilidade de P, o que ocasiona um problema crescente em solos agrícolas, especialmente em terras áridas, semiáridas e irrigadas, causado pela acumulação de sais solúveis. Essa redução ocorre principalmente devido à alteração nas propriedades químicas do solo, como o aumento da força iônica e a competição por sítios de adsorção, afetando a solubilidade e a mobilidade do fósforo (Xie et al., 2022; Ye et al., 2025; Mishra et al., 2023).

Embora existam diversos estudos sobre a dinâmica de P em solos afetados por sais, os resultados experimentais variam conforme o tipo de fertilizante fosfatado (P), a dosagem aplicada e outros fatores. Além disso, condições como salinidade, pH do solo e espécies cultivadas influenciam diretamente a eficiência do P no solo e nas plantas. Em solos com alta salinidade ou pH elevado, ocorre maior fixação (precipitação) do P, reduzindo ainda mais sua disponibilidade para as culturas (Xie et al., 2022). Pesquisas indicam que os níveis ideais de P-disponível para o trigo de inverno e o milho de verão são de 16,1 e 14,6 mg.kg⁻¹, respectivamente. No entanto, em solos salinos, a concentração média de P-disponível é de apenas 5 mg.kg⁻¹, insuficiente para suprir as demandas das plantas. A disponibilidade desse nutriente também é afetada pela salinidade e pelo pH do solo, além da forma e da quantidade de fertilizante aplicada. Análises demonstram que a resposta do P-disponível à adubação fosfatada varia significativamente em solos com diferentes graus de salinidade e alcalinidade (Liu et al., 2024).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico do sorgo forrageiro cultivado em solos afetados por sais, submetidos a diferentes doses de adubação fosfatada.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no ano de 2014 em condições de campo na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Serra Talhada, Pernambuco (7,96°S, 38,30°O e 507 m de altitude). O clima local segue a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo BShw, caracterizado como semiárido quente com chuvas concentradas no final do verão e início do outono. A temperatura média anual gira em torno de 25,9°C, e a precipitação média anual varia entre 630 e 680 mm, com aproximadamente 70% a 85% das chuvas ocorrendo entre os meses de janeiro a abril (da Rosa et al., 2019; Silva et al., 2023).

O ensaio foi conduzido em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições, com os tratamentos compostos por cinco doses de fósforo na fundação da área (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅). A lâmina de irrigação foi determinada com base na evapotranspiração de referência (ET₀), calculada pelo método de Penman-Monteith, conforme recomendado pelo Boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998), sendo aplicada de 2 a 3 vezes por semana. A água de irrigação foi classificada como C3S1 - Água com salinidade alta (CE entre 0,75 e 2,25 dS/m, a 25 °C), água com baixa concentração de sódio. A área utilizada foi no Campus da UAST (7,9521° de latitude sul e 38,2949 de longitude oeste), em um terreno de relevo plano, o solo é classificado como Cambissolos solódicos. A partir da coleta do solo foi realizada a caracterização química (Da Silva, 2009) e física (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997) (Ver a tabela 1).

Tabela 1.

Caracterização do solo estudado: teores de Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺), Sódio (Na⁺) e Potássio (K⁺) trocáveis, Fósforo (P) disponível (mehlich-1), Fósforo remanescente (Prem), Saturação por bases (V%) e Percentagem de Sódio trocável (PST) e teor de argila.

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	(H ⁺ Al)	P	P-rem	V	PST	Argila
(H ₂ O)	----- cmol _c dm ⁻³ -----					mg L ⁻¹		dag kg ⁻¹		g kg ⁻¹
7,3	4,35	1,25	1,30	1,92	2,85	65,9	42,4	75,59	11,16	80

Fonte: Marques (2014).

O plantio foi realizado manualmente, com espaçamento de 0,20 × 0,80 m. O controle de plantas daninhas foi feito por capinas manuais. Cada parcela foi composta por quatro linhas de 4 m de comprimento, sendo consideradas para a área útil as duas linhas centrais, com descarte de 1,0 m em cada extremidade, totalizando 20 plantas úteis por parcela.

As sementes de Sorgo Sudão forrageiro (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf), variedade SUDAN-4202, foram fornecidas pelo Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA).

A fonte de fósforo utilizada foi o fosfato monoamônico (MAP), foi aplicada no sulco 5 dias antes do plantio. A necessidade de adubação com nitrogênio e potássio foi verificada por meio de análise, seguindo as recomendações do Manual de Adubação do Estado de Pernambuco (2008). O Nitrogênio adicionado pelas doses de MAP foi equiparado a partir da adição de Ureia.

A colheita do sorgo foi realizada na fase de emborrachamento, que ocorreu aos 55 dias após o plantio. Na ocasião, foram mensuradas a altura das plantas e o número de folhas, e foi determinada a massa fresca (MS) da parte aérea. Em seguida, o material foi seco em estufa com circulação forçada de ar, a 65–70 °C, até o peso constante, sendo, então, obtida a massa seca. Estimou-se a produtividade de massa fresca e massa seca, expressa em megagramas por hectare (Mg ha^{-1}).

As variáveis analisadas foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e, quando pertinente, foram ajustados modelos de regressão para descrever a relação entre a produtividade do sorgo e as doses de fósforo (P) aplicadas.

Resultados e discussão

A produtividade do sorgo, variou entre 16 a 21,13 Mg ha^{-1} de massa fresca, não houve diferença significativa entre as doses de P, tampouco foi possível ajustar um modelo de regressão. Esses valores se enquadram dentro da faixa média observada em solos em boas condições. Entre os genótipos de sorgo avaliados por Oliveira et al. (2024), dois apresentaram destaque, com produtividade média de 31,12 Mg ha^{-1} e variação de 14,29 a 68,88 Mg ha^{-1} .

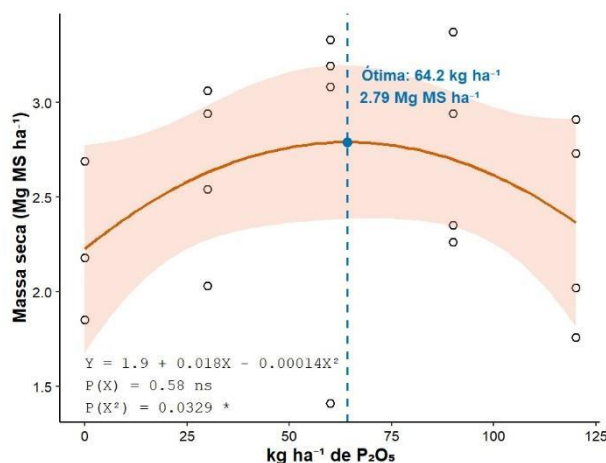
Considerando que as doses crescentes de P não influenciaram a produtividade de baixo desempenho pode-se estar relacionada com a combinação entre a alcalinidade do solo e o uso de água da irrigação salobra com pH elevado (7,2) e PST de mais de 11%. Foi observado por Pessoa et al. (2022) um aumento da salinidade do solo em áreas cultivadas e desertificadas, que ocorreu devido à elevação da composição catiônica e aniônica da solução do solo. A alta concentração de íons intensifica a força iônica e, consequentemente, a condutividade elétrica (Black e Campbell, 1982). No caso específico, esse processo resulta da agricultura irrigada sem sistema de drenagem, favorecendo o acúmulo de sais ao longo do perfil do solo (Liu et al., 2020). Além disso, a irrigação com águas salobras e o uso contínuo de fertilizantes minerais agravam ainda mais essa condição.

Na análise MS do sorgo cultivado, foi possível ajustar um modelo de regressão significativo em função das doses crescentes de P aplicadas (Ver figura 1). Da Silva et al. (2018), constataram que o aumento das doses de superfosfato simples estimulou a massa seca total de forma independente usando um sistema de irrigação com água salina. Em Lima et al. (2017), foram avaliados 24 genótipos de sorgo em quatro municípios, sob diferentes condições de cultivo, os resultados mostraram diferenças significativas entre os genótipos em todos os

locais, com produtividades variando de 12,23 a 23,15 Mg ha⁻¹, correspondendo aos genótipos 12F39006 e 12F37005.

Figura 1.

Produtividade do sorgo em campo em Mg ha⁻¹ de massa seca em função das doses crescentes de P, produtividade máxima (ótima) e ponto de máximo do modelo significativo.



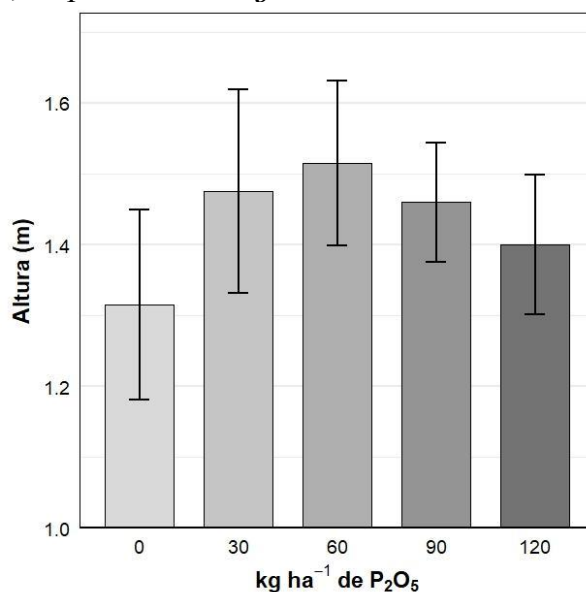
Fonte: Dados da pesquisa, Marques (2014).

A produtividade máxima de MS do sorgo obtida foi de, aproximadamente, 2,79 Mg ha⁻¹ (Ver figura 1), um valor inferior à média esperada de 5 Mg ha⁻¹, conforme manual de recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (2008), o que demonstra a baixa produtividade quando comparada a um padrão regional de produtividade em solos sem limitações químicas. Por outro lado, resultados semelhantes foram encontrados por Alves et al. (2016), que relataram produtividades com valores médios variando de 2,02 a 6,05 Mg ha⁻¹ ao avaliarem quatro cultivares de sorgo (BRS 655, BRS 700, BRS 810 e IPA 2502) em condições de plantio direto no semiárido brasileiro.

Na análise da altura das plantas, observou-se variação de 131 a 151 cm, com média de 143 cm (Ver figura 2), não havendo diferença significativa entre as doses de P. de forma semelhante, Ngidi et al. (2024), que ao avaliarem 50 genótipos de sorgo, registraram alturas variando de 107,06 a 223,28 cm, com média geral de 156,01 cm, destacando os genótipos AS205, AS391, AS109, AS113 e AS11, com altura média superior a 180 cm. Em Lima et al. (2017) avaliaram 24 genótipos de sorgo em quatro municípios em condições de cultivos diferentes, obtiveram uma variação mais ampla de 172 a 283 cm, sendo que os genótipos 12F38006, 12F40006 e 12F37016 apresentaram as maiores médias (204 a 268 cm) em todos os locais, evidenciando influência significativa do ambiente sobre o crescimento desses genótipos.

Figura 2.

Altura média (m) de plantas de sorgo submetidas a doses crescentes de P_2O_5 .

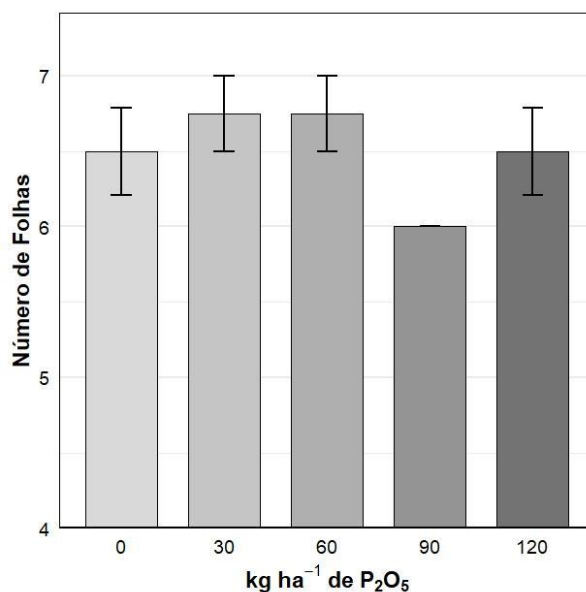


Fonte: Dados da pesquisa, Marques (2014).

O número médio de folhas no presente estudo foi de 6,50, sem diferença significativa entre as doses de P (Ver Figura 3). De forma comparativa, Perazzo et al. (2017) avaliaram 21 híbridos experimentais de sorgo e três híbridos comerciais e, no primeiro corte, observaram variação de 5,33 a 9,83 folhas, com média de 7,28, formando quatro grupos distintos. Dois híbridos se destacaram, apresentando os maiores valores para essa variável (9,83 e 9,33 folhas, respectivamente). No segundo corte, foram formados dois grupos, com número de folhas variando de 6,00 a 8,67 e média de 7,40 folhas.

Figura 3.

Número médio de folhas de plantas de sorgo submetidas a doses crescentes de P_2O_5 .



Fonte: Dados da pesquisa, Marques (2014).

Conclusão

A adubação fosfatada elevou a produção de massa seca do sorgo forrageiro, mesmo em solo salino e sob irrigação com água salobra. Contudo, a adubação não elimina a necessidade de práticas complementares de manejo que visem reduzir os efeitos da salinidade e garantir maior sustentabilidade da produção.

REFERÊNCIAS

- Allen, R. G. (1998). Crop evapotranspiration. FAO irrigation and drainage paper, 56, 60-64.
- Alves, O. F., Elias, S., Leite, M. L. D. M. V., Azevedo, J. M., de Souza Silva, J. P. S., Do Nascimento, G. F., & Simplicio, J. B. (2016). Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema de plantio direto no Semiárido de Pernambuco. *Revista Ciência Agrícola*, 14(1), 29-36. DOI: <https://doi.org/10.28998/rca.v14i1.2318>.
- Black, AS, & Campbell, AS (1982). Força iônica da solução do solo e seu efeito nas propriedades de carga de alguns solos da Nova Zelândia. *Journal of Soil Science*, 33 (2), 249-262. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01763.x>.
- Da Silva Sá, F. V., De Mesquita, E. F., De Melo, U. A., De Paiva, E. P., Bertino, A. M. P., & Moreira, R. C. L. (2018). Crescimento e biomassa em plantas de sorgo sacarino irrigados com água salina sob adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12(2), 2561. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n200826>.
- Da Silva, F. C. (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. de Pesquisa Agropecuária, I. E. P. (2008). *Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco* (2ª aproximação).
- Da Rosa Ferraz Jardim, A. M., Gabriela de Queiroz, M., Do Nascimento Araújo Júnior, G., José da Silva, M., & Freire da Silva, T. G. (2019). Estudos climáticos do número de dias de precipitação pluvial para o município de Serra Talhada - PE. *Engenharia na Agricultura*, 27(4). DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i4.875>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos.
- Lima, L. O. B., Pires, D. A. D. A., Moura, M. M. A., Rodrigues, J. A. S., Tolentino, D. C., & Viana, M. C. M. (2017). Agronomic traits and nutritional value of forage sorghum genotypes. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 39(1), 7-12. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i1.32356>.
- Liu, Q., Hanati, G., Danierhan, S., Liu, G., Zhang, Y., & Zhang, Z. (2020). Identifying seasonal accumulation of soil salinity with three-dimensional mapping - a case study in cold and semiarid irrigated fields. *Sustainability*, 12(16), 6645. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12166645>.
- Liu, Tong et al. Effects of fertilizer types and application levels on phosphorus availability of saline soils and crops: A meta-analysis. *Land Degradation & Development*, v. 35, n. 13, p. 4068-4080, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.5205>.

- Marques, R. P. (2014). Disponibilidade e fracionamento do fósforo em solos afetados por sais e cultivados com sorgo forrageiro no Sertão do Pajeú, da dissertação de mestrado em Produção vegetal, Unidade acadêmica de Serra Talhada – UFRPE.
- Mishra, A. K., Das, R., George Kerry, R., Biswal, B., Sinha, T., Sharma, S., & Kumar, M. (2023). Promising management strategies to improve crop sustainability and to amend soil salinity. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 962581. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.962581>.
- Ngidi, A., Shimelis, H., Abady, S., Figlan, S., & Chaplot, V. (2024). Response of Sorghum bicolor genotypes for yield and yield components and organic carbon storage in the shoot and root systems. *Scientific Reports*, 14(1), 9499. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59956-x>.
- Oliveira, R. F., Perazzo, A. F., Dos S. Pina, D., Alba, H. D., Leite, V. M., Dos Santos, M. M., & de Carvalho, G. G. (2024). Productive and Qualitative Traits of Sorghum Genotypes Used for Silage under Tropical Conditions. *Crops*, 4(2), 256-269. DOI: <https://doi.org/10.3390/crops4020019>.
- Perazzo, A. F., Carvalho, G. G., Santos, E. M., Bezerra, H. F., Silva, T. C., Pereira, G. A., & Rodrigues, J. A. (2017). Agronomic evaluation of sorghum hybrids for silage production cultivated in semiarid conditions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1088. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01088>.
- Pessoa, L. G., Freire, M. B. D. S., Green, C. H., Miranda, M. F., De A. Filho, J. C., & Pessoa, W. R. (2022). Assessment of soil salinity status under different land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. *Ecological Indicators*, 141, 109139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolond.2022.109139>.
- Ritz, Kathryn E. et al. Forage yield and nutritive value of cool-season and warm-season forages for grazing organic dairy cattle. *Agronomy*, v. 10, n. 12, p. 1963, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10121963>.
- Silva, G. R., Oliveira, D. V. C. DE, Junior, A. I. De O., & Carvalho, I. J. de. (2023). Análise das precipitações pluviométricas do município de Serra Talhada - PE e determinação da equação de chuvas intensas por meio de distribuição probabilística. *Revista de Geografia*, 40(1), 306-333. DOI: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.257465>.
- Valença, P. K. L. Da S., Neto, M. F., Sá, F. V. Da S., Rosário, P. C. DE M., Peixoto, T. D. C., & Carlos, K. G. Da S. (2023). Gesso agrícola e biochar na recuperação de solos afetados por sais. In: Anais do 8º Inovagri International Meeting e 32º CONIRD (Fortaleza). Inovagri.
- Xie, W., Yang, J., Gao, S., Yao, R., & Wang, X. (2022). The effect and influence mechanism of soil salinity on phosphorus availability in coastal salt-affected soils. *Water*, 14(18), 2804. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14182804>.
- Ye, Y., Guo, X., LI, Y., Min, W., & Guo, H. (2025). Biochar and straw amendments drive microbial regulation of phosphorus dynamics in saline-irrigated cotton fields. *Frontiers in Microbiomes*, 4, 1508717. DOI: <https://doi.org/10.3389/frmbi.2025.1508717>.