

SALINO-SODICIDADE DO SOLO E SEUS IMPACTOS EM AMBIENTE DE PRODUÇÃO DE MILHO PARA SILAGEM, NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Everton Kauan Elias Batista¹, Mateus Lima da Silva², Kaio Emanuel Macedo de Lima³, Ygor Ferreira Barros³, Alexandre Reuber Almeida da Silva⁴, Carlos Newdmar Vieira Fernandes⁴.

RESUMO: A salinização e/ou a sodificação do solo representam uma ameaça crítica à produtividade agrícola e à resiliência dos ambientes de produção vegetal. Assim, objetivou-se, investigar as variações espaciais do *status* de salino-sodicidade do solo em um ambiente de produção comercial de milho para silagem, bem como analisar as relações entre os atributos químicos indicativos de salinização e/ou sodificação e seus impactos sobre o crescimento e o rendimento de biomassa da cultura. O estudo foi realizado em área cultivada com milho para silagem, sob manejo convencional e irrigação por pivô central (23 ha), na Fazenda Canteiros, em Iguatu, Ceará. As amostragens de solo (0 – 20 cm) e de plantas foram realizadas ao final do ciclo. Em cada ponto, foram coletadas amostras não deformadas de solo e avaliadas variáveis agrônômicas em dez plantas. A classificação da salinidade e da sodicidade do solo foi feita com base em critérios estabelecidos na literatura, e a distribuição percentual das classes foi determinada pela frequência dos pontos amostrados. Os dados obtidos foram analisados por meio de estatística descritiva, com apresentação das médias aritméticas das variáveis para cada classe de salino-sodicidade. No geral, os solos avaliados apresentaram baixa salinidade, mas níveis elevados de percentagem de sódio trocável (PST), com alcalinização progressiva associada ao aumento do pH com a elevação da PST. A crescente sodicidade comprometeu o desempenho agrônômico do milho, refletido em reduções acentuadas no crescimento vegetativo e na produtividade de biomassa fresca e seca, mostrando-se como um fator limitante à produção de milho-silagem na área estudada.

PALAVRAS-CHAVE: risco de degradação do solo; respostas dos vegetais, gestão sustentável do solo.

¹ Graduando em Engenharia Agrícola, IFCE – campus Iguatu, Rodovia Iguatu / Várzea Alegre, km 05, s/n, Vila Cajazeiras, Iguatu, Ceará – Brasil, CEP: 63503-790. Fone: (88) 98182-6991. Email: everton.kauan08@aluno.ifce.edu.br.

² Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP.

³ Graduanda em Engenharia Agrícola, Departamento de Ensino, IFCE – campus Iguatu, Iguatu, Ceará.

⁴ Prof. Doutor, Departamento de Ensino, IFCE – campus Iguatu, Iguatu, Ceará.

SOIL SALINE-SODICITY AND ITS IMPACTS IN THE ENVIRONMENT OF CORN PRODUCTION FOR SILAGE, IN THE SEMI-ARID REGION OF CEARÁ

ABSTRACT: Soil salinization and/or sodification pose a critical threat to agricultural productivity and the resilience of crop production environments. Therefore, the objective was to investigate the spatial variations in soil salinity and sodicity *status* in a commercial corn silage production environment, as well as to analyze the relationships between chemical attributes indicative of salinization and/or sodification and their impacts on crop growth and biomass yield. The study was conducted in a 23-ha area cultivated with corn silage under conventional management and central pivot irrigation at Canteiros Farm in Iguatu, Ceará. Soil (0–20 cm) and plant samples were collected at the end of the growing season. Undisturbed soil samples were collected at each point, and agronomic variables were evaluated in ten plants. Soil salinity and sodicity were classified based on criteria established in the literature, and the percentage distribution of classes was determined by the frequency of the sampled points. The data obtained were analyzed using descriptive statistics, with presentation of the arithmetic means of the variables for each saline-sodic class. In general, the evaluated soils presented low salinity, but high levels of exchangeable sodium percentage (PST), with progressive alkalization associated with an increase in pH with the increase in PST. The increasing sodicity compromised the agronomic performance of corn, reflected in sharp reductions in vegetative growth and in the productivity of fresh and dry biomass, proving to be a limiting factor for corn silage production in the studied area.

KEYWORDS: risk of soil degradation; plant responses, sustainable soil management.

INTRODUÇÃO

Solos salinos e sódicos ocupam cerca de 11,7 milhões de km² no mundo, concentrando-se em regiões áridas e semiáridas, onde aproximadamente 23% das terras cultivadas são consideradas salinas e 37% sódicas. Em suma, a salinidade impõe estresse osmótico e toxicidade iônica às plantas, enquanto a sodicidade degrada a estrutura do solo, dificultando o movimento de água e ar, comprometendo a produtividade agrícola (Yin et al., 2021).

A intensificação da agricultura irrigada tem ampliado os riscos de salinização, sodificação e alcalinização dos solos, especialmente, em regiões semiáridas, especialmente, devido ao ineficiente manejo da água e as condições imperfeitas de drenagem. O enfrentamento desse

problema demanda diagnóstico preciso e contínuo por meio do monitoramento dos atributos indicativos da salino – sodicidade do solo, aliado ao entendimento das respostas das culturas e à formulação de estratégias eficazes de manejo, visando o controle e, caso necessário, a remediação dos solos afetados por sais (Wang et al., 2025).

O milho (*Zea mays* L.), importante fonte para a produção de grãos e de silagem no semiárido brasileiro, é considerado como moderadamente sensível à salinidade e à sodicidade, que de forma isoladas ou combinadas podem reduzir o crescimento e a produtividade da cultura (Ouf et al., 2024).

Embora existam registros na literatura de alguns avanços no monitoramento da salinização do solo em ambientes comerciais de produção comercial, ainda são escassos os estudos que avaliaram a interação entre atributos químicos associados à salinização/ sodificação do solo e o desempenho do milho em condições reais. Diante disso, objetivou-se, com este estudo, investigar as variações espaciais do *status* de salino-sodicidade do solo em um ambiente de produção comercial de milho para silagem, bem como analisar as relações entre os atributos químicos indicativos de salinização e/ou sodificação e seus impactos sobre o crescimento e o rendimento de biomassa da cultura, no semiárido cearense.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma área cultivada com milho de forma convencional, visando a produção de silagem de planta inteira, irrigada por um pivô central de 23 ha, na Fazenda Canteiros, localizada em Iguatu, Ceará (latitude 6°21' S, longitude 39°21' W, altitude 232,53 m). O clima local classifica-se como semiárido quente (BSh), segundo Köppen.

O material genético utilizado na área foi o híbrido K7510 VIP3, cultivado em um solo Neossolo Flúvico de textura franco - arenosa (0 – 20 cm). A área possui histórico de cinco anos de cultivo contínuo de dois ciclos ao ano (um na época seca e outro na chuvosa), com preparo convencional do solo a cada ciclo e adubação NPK, conforme recomendações baseadas em análises químicas do solo, exigências da cultura e experiências empíricas com a cultura.

As amostragens de solo e das plantas foram realizadas em dezembro de 2024 (ao final da época seca), aos 79 dias após a semeadura, justamente um dia anterior à realização das operações de colheita mecanizada do milho visando a produção de silagem, em nove pontos na área cultivada, distribuídos em grade regular com espaçamento de 50 m, conforme a metodologia de Cherubin et al. (2016). Em cada ponto amostral, foram coletadas amostras não

deformadas do solo (0 – 20 cm) e foram avaliadas variáveis agronômicas em dez plantas, por meio das obtenções da altura total da planta, da altura de inserção da espiga e do diâmetro do colmo.

A produtividade de biomassa fresca e seca foram estimadas por coleta da produção de biomassa da parte aérea em área de 0,25 m² em cada ponto amostrado, com pesagem e secagem em estufa a 65 °C até peso constante e posterior extrapolação dos resultados para kg ha⁻¹. As análises químicas do solo consistiram na condutividade elétrica do extrato de saturação (CE), na porcentagem de sódio trocável (PST) e no pH, segundo os métodos descritos por Teixeira et al. (2017). A classificação dos solos quanto à salinidade foi feita com base em critérios de Rasool et al. (2012) e Wicke et al. (2011), conforme citado por Ayub et al. (2020), enquanto a classificação quanto à sodicidade seguiu Massoud (1971), citado por Amorim et al. (2010).

A distribuição percentual das classes foi calculada a partir da frequência dos pontos amostrados. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva no Microsoft Excel, apresentando-se as médias aritméticas dos dados de solo e de plantas dentre os pontos enquadrados para cada respectiva classe de salino-sodicidade do solo, conforme os critérios anteriormente descritos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE) evidenciaram ausência de salinidade nos solos amostrados, com valores médios de CE variando entre 0,67 e 1,36 dS m⁻¹ dentre as classes, situando-se, no geral, abaixo do limiar crítico de 2 dS m⁻¹ para serem classificados como salinos (Rasool et al., 2012; Wicke et al., 2011 citados por Ayub et al., 2020).

Em contrapartida, os níveis de porcentagem de sódio trocável (PST) foram considerados elevados na área, permitindo a classificação dos solos como ligeiramente, medianamente e fortemente sódicos, segundo os critérios de Massoud (1971) citados por Amorim et al. (2010), de tal forma que as áreas amostradas foram classificadas em termos percentuais como 33% de solos ligeiramente sódicos, 44% medianamente sódicos e 22% fortemente sódicos.

Observou-se, ainda, que o aumento da sodicidade, evidenciado pelo incremento da PST de 9,5% para 25,0% dentre as classes, foi acompanhado por uma elevação do pH do solo de 7,40 para 9,00, indicando alcalinização progressiva nas classes com o aumento da sodicidade do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos solos quanto à salinidade e a sodicidade (Classe), valores médios de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE, dS m^{-1}), porcentagem de sódio trocável (PST, %), potencial hidrogeniônico (pH, adimensional), percentual da área classificada na respectiva classe (Área, %), altura das plantas e de inserção da espiga (ALT, cm), diâmetro do colmo (\varnothing , mm), produtividades de biomassa fresca e seca das plantas (PROD, t ha^{-1}) em um ambiente de produção comercial de milho – silagem, híbrido K7510 VIP3, sob cultivo convencional irrigado por pivô central, em Iguatu, Ceará*.

CE	PST	pH	Área	ALT		\varnothing	PROD	
				Planta	Espiga		Fresca	Seca
(dS m^{-1})	(%)	(-)	(%)	(cm)	(cm)	(mm)	(t ha^{-1})	
Classe: Não salinos/ Ligeiramente sódicos*								
1,16	9,50	7,40	33,00	146,00	91,75	22,16	62,60	20,17
Classe: Não salinos/ Medianamente sódicos*								
0,67	14,00	7,75	44,00	108,5	55,5	20,79	24,6	8,79
Classe: Não salinos/ Fortemente sódicos*								
1,36	25,00	9,00	22,00	81,00	39,50	15,42	18,51	6,56

*Classificação da salinidade conforme Rasool et al. (2012) e Wicke et al. (2011), citados por Ayub et al. (2020); e da sodicidade segundo Massoud (1971), citado por Amorim et al. (2010).

A análise das variáveis agronômicas mensuradas na cultura do milho (Tabela 1) evidenciou que o aumento da sodicidade e da alcalinidade do solo comprometeu significativamente o crescimento e a produtividade da cultura. De tal forma que na classe “ligeiramente sódica” (PST = 9,5%), observou-se o melhor desempenho das plantas, com altura média de 146 cm, altura de inserção da espiga de 91,75 cm, diâmetro do colmo de 22,16 mm e produtividades de biomassa fresca e seca de 62,60 e 20,17 t ha^{-1} , respectivamente.

Por outro lado, na classe extrema, classificada como “fortemente sódica” (PST = 25%), a altura das plantas foi reduzida para 81 cm, a altura de inserção da espiga para 39,5 cm, o diâmetro do colmo para 15,42 mm, e as produtividades de biomassa fresca e seca para 18,51 e 6,56 t ha^{-1} , respectivamente. Essas reduções representam decréscimos percentuais das ordens de 44,5% na altura das plantas, 57,0% na inserção da espiga, 30,4% no diâmetro do colmo, 70,4% na produtividade de biomassa fresca e 67,5% na produtividade de biomassa seca, quando comparadas às médias obtidas na classe de menor sodicidade (PST = 9,5%).

Os presentes resultados indicam que a presença excessiva de sódio interfere negativamente no desenvolvimento vegetativo e na capacidade de acúmulo de biomassa da cultura do milho, sobretudo, pela degradação da estrutura do solo e pela elevação do pH, que compromete a disponibilidade e a assimilação de nutrientes essenciais, sobretudo, de micronutrientes (Ouf et al., 2024; Wang et al., 2025; Yin et al., 2021), reforçando que ambientes de produção com menor grau de sodificação favorecem um crescimento mais vigoroso, refletindo-se em maior acúmulo de biomassa na parte aérea por parte das plantas de milho, aspecto que é determinante à produção de silagem.

Em suma, denota-se que a expressiva redução do crescimento e rendimento do milho em solos com maior PST e pH mais elevado evidenciam que a sodificação e a alcalinização comprometem drasticamente o potencial de crescimento vegetativo e, por conseguinte, o potencial produtivo da espécie em questão. Adicionalmente, infere-se que a “baixa” CE observada em toda a área descarta a salinidade como um fator limitante ao desempenho agrônomo das plantas, reforçando a necessidade de atenção especial à sodicidade e à alcalinidade nos ambientes de produção de milho do semiárido.

CONCLUSÕES

Os solos avaliados apresentaram baixa salinidade. Em contrapartida, os elevados valores de percentagem de sódio trocável indicaram acentuada sodicidade, acompanhada de tendência à alcalinização, evidenciada pelo aumento do pH do solo. A sodicidade crescente comprometeu o desempenho agrônomo da cultura, resultando em reduções significativas no crescimento vegetativo e na produtividade de biomassa fresca e seca do milho. A salinidade não se configurou como fator limitante à produção; entretanto, a sodicidade e a alcalinidade devem ser monitoradas e adequadamente manejadas para garantir a sustentabilidade da produção agrícola do milho – silagem neste ambiente de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, J.R.A.; CRUZ, M.A.S.; RESENDE, R.S.; BASSÓI, L.H.; SILVA FILHO, J.G. **Espacialização da porcentagem de sódio trocável do solo no perímetro irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2010. 17p.
- AYUB, M. A.; AHMAD, H. R.; ALI, M.; RIZWAN, M.; ALI, S.; REHMAN, M. Z.; WARIS, A. A. Salinity and its tolerance strategies in plants. In: TRIPATHI, Durgesh Kumar et al. (Ed.). **Plant Life Under Changing Environment**. Academic Press, 2020. p. 47 - 76.
- CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; FRANCO, A. L. C.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C.. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. **Geoderma (Amsterdam)**, v. 267, p. 156 - 168, 2016.

OUF, S. A.; EL-AMRITI, F. A.; EL-YASERGY, K. F.; ABU-ELGHAIT, M.; EL-HUSSEIN, Ahmed; MOHAMED, Mahmoud S.M. Enhancing *Zea mays* L. seedling growth with HeNe laser-irradiated *Alcaligenes* sp. E1 to mitigate salinity stress. **South African Journal of Botany**, v. 173, p. 208 – 216, 2024.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª Edição revista e ampliada. Embrapa: Brasília-DF, 2017, 574 p.

WANG, J.; DING, J.; WANG, Y.; G.E., X.; LIZAGA, I.; CHEN, Xiangyue.

Soil salinization in drylands: Measure, monitor, and manage. **Ecological Indicators**, v. 175, 2025, art. 113608.

YIN, S.; ZHAO, Q.; JIANG, Z.; FAN, Y.; QIN, Yue; HE, Bin.

Global trends and future prospects of soil salinization: a bibliometric analysis. **Journal of Hydrology**, [S.l.], v. 603, art. 127036, 2021.