

Fertirrigação de capineira com efluente de laticínios

Fertirrigation of grass with dairy effluent

José Antonio Rodrigues de Souza¹, Debora Astoni Moreira², Ellen Lemes Silva³, Janine Mesquita Gonçalves⁴, Soraya Novaes Thomazini⁵, Nelson Donizete Ferreira⁶

RESUMO: O elevado consumo de água e a geração de água residuária decorrentes das atividades de processamento de leite resultam em preocupações quanto à sua disposição adequada. A destinação inadequada de água residuária pode acarretar efeitos adversos nas características naturais do solo, no crescimento das culturas e na qualidade dos corpos hídricos. No entanto, quando se refere à aplicação de água residuária ao solo, ainda faltam informações referentes à dosagem, bem como dos efeitos causados após sua utilização. Assim, objetivou-se avaliar as alterações nas propriedades químicas referentes a argila dispersa e ISNa do solo cultivado com capim Mombaça tratado com doses de água residuária de laticínios. Para isso, testou aplicações de doses de água residuária de laticínios, baseando em teores de sódio, variando de 75 a 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Na⁺. Os resultados obtidos indicaram que não houve alterações nas propriedades do solo, e que a taxa de 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹ pode ser utilizada sem gerar problemas de salinidade no solo, como a dispersão de argila e o índice de saturação por sódio. Esses resultados possuem relevância significativa tanto para a prática agrícola quanto para a preservação ambiental. A constatação de que essa taxa de aplicação é considerada segura nas condições experimentais oferece uma orientação importante para o manejo da água residuária de laticínios, assegurando que sua utilização não resulte em problemas de salinidade no solo.

Palavras-chave: Impacto ambiental; Fertirrigação de capim mombaça; Qualidade do solo; Salinidade.

ABSTRACT: The high consumption of water and the generation of effluents from dairy processing activities give rise to concerns about their appropriate destination. Inadequate destination of these effluents can have adverse effects on the natural characteristics of the soil, crop growth, and the quality of water bodies. However, in the case of the application of effluents to the soil, there is still a lack of information regarding dosage and the effects caused after use. The objective of this study was to assess the impact of dairy effluent on clay dispersion and the sodium saturation index in soil cultivated with Mombaça grass. To achieve this, experiments were conducted, testing the effects of varying doses of dairy wastewater, based on sodium content. The doses tested ranged from 75 to 600 kg ha⁻¹ year⁻¹ of Na⁺. The results indicated that there were no changes in soil properties and that the rate of 600 kg ha⁻¹ year⁻¹ can be used without generating salinity problems in the soil, such as clay dispersion and the sodium saturation index. These results have significant relevance for both agricultural practice and environmental preservation. The observation that this application rate is considered safe under the experimental conditions provides important guidance for the management of dairy effluent, ensuring that its use does not result in soil salinity problems.

Keywords: Environmental impact; Fertigation of mombaça grass; Salinity; Soil quality.

Autor correspondente: José Antonio Rodrigues de Souza

E-mail: jose.antonio@ifgoiano.edu.br

Recebido em: 11/01/2023

Aceito em: 14/05/2024

¹ Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Coordenador do laboratório de Pesquisa e Análises Químicas do Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí (GO).

² Doutora em Engenharia Agrícola. Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado do Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí (GO).

³ Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Campus Cascavel (PR), Brasil.

⁴ Doutora em Solos e Nutrição de Plantas pela ESALQ/USP. Responsável pelo Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí (GO).

⁵ Mestra em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado pelo Instituto Federal Goiano.

⁶ Mestrando em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado do Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí (GO).

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, como terceiro maior produtor mundial de leite, tem o potencial de se tornar um dos principais exportadores de lácteos (Vilela *et al.*, 2022). No entanto, as indústrias de laticínios enfrentam desafios significativos no processamento do leite, como alto consumo de água e produção de efluentes ricos em matéria orgânica (Patrício; Boas; Galdino, 2021), além da destinação dessas águas residuárias.

A composição da água residuária de laticínios varia de acordo com o tipo de processo e inclui gorduras, sais, sólidos suspensos e nutrientes (Vourch *et al.*, 2008; Stasinakis; Charalambous; Vyrides, 2022). Como estratégia para disposição de água residuárias e redução da poluição da água tem sido adotada a aplicação de águas residuárias no solo agrícola, oferecendo benefícios como o aumento nutrientes para as culturas, impulsionando a produção agrícola e redução de consumo de água (Hernández-Sancho *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2019).

Embora tenham sido realizados estudos sobre o uso agrícola de diversas águas residuárias (Silva *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2019; Chojnacka *et al.*, 2020), há uma falta de informações específicas sobre as doses adequadas de água residuária de laticínios, especialmente considerando o sódio como elemento químico de referência para esse efluente, bem como os efeitos resultantes na qualidade do solo. Assim, objetivou-se, com este estudo, determinar as alterações nas propriedades químicas do solo, em especial nos atributos dispersão de argila e no índice de saturação por sódio, em solo cultivado com capim Mombaça com doses crescentes de água residuária de laticínios.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental do Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí (IF Goiano), localizado em Urutaí, GO, situado a 17°29'6" S, 48°12'27" O e a uma altitude de 712 m. O clima da região é do tipo Cwa conforme classificação de Köppen, caracterizado por precipitação e temperatura médias anuais de 2000 mm e 28 °C, respectivamente (Souza *et al.*, 2023). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico conforme EMBRAPA (1999).

Foram coletadas amostras de solo da área experimental em diferentes profundidades (0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m; e 0,90-1,00 m) e encaminhadas ao Laboratório de Pesquisa e Análises Químicas do Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, para caracterização física (Tabela 1) e química (Tabela 2), conforme procedimentos descritos pela EMBRAPA (1997).

A água residuária foi coletada no laticínio localizado em Orizona, GO (Laticínios Valeza), e transportada semanalmente até o IFGoiano, onde foi armazenada em um reservatório de 200 L. As características químicas foram analisadas antes da aplicação no solo, conforme metodologia APHA (2012). Na Tabela 3 estão apresentadas as características médias da água residuária de laticínios utilizadas nos ensaios experimentais.

Tabela 1. Propriedades químicas do solo nas diferentes camadas avaliadas

Prof.(m)	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	MOS	SB	T	t	V	M	IS _{Na}
	mg dm ⁻³						cmol _c dm ⁻³	g kg ⁻¹	cmol _c dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³			%		
0,00-0,10	4,99	0,00	0,00	0,22	0,51	4,04	0,20	4,62	21324	0,74	5,36	0,94	13,85	21,22	0,33
0,10-0,20	5,04	0,00	0,00	0,23	0,53	4,48	0,20	3,46	14445	0,78	4,24	0,98	18,31	20,48	0,46
0,20-0,30	5,19	0,00	0,00	0,22	0,43	4,05	0,10	3,63	17197	0,66	4,29	0,76	15,44	13,11	0,41
0,90-1,00	5,18	0,00	0,00	0,29	0,55	4,73	0,20	3,30	17197	0,86	4,16	1,06	20,66	18,88	0,49

Prof. Profundidade; pH - acidez ativa, P - fósforo total, K - potássio total, Ca - cálcio trocável, Mg - magnésio trocável, Na - sódio trocável, Al - acidez trocável, H+Al - acidez potencial, MOS - matéria orgânica, SB - soma de bases, T - CTC potencial, t - CTC efetiva, V - saturação por bases, M - saturação por alumínio, IS_{Na} - índice de saturação por sódio.

Tabela 2. Propriedades físicas do solo nas diferentes camadas avaliadas

Prof.(m)	AD	Ds	DP	VTP	K0
	g kg ⁻¹	g cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	cm h ⁻¹	g cm ⁻³
0,00- 0,10	228,8	2,18	2,74	0,20	10,07
0,10-0,20	128,8	1,93	2,70	0,29	7,91
0,20-0,30	148,8	1,96	2,60	0,25	15,29
0,90-1,00	130,0	1,53	2,56	0,40	10,07

Prof. Profundidade; AD - argila dispersa em água, Ds - massa específica do solo, VTP - volume total de poros, K0 - condutividade hidráulica.

Tabela 3. Caracterização físico-química das amostras dos água residuária de laticínios utilizados nos ensaios experimentais

Parâmetros	Valores	Parâmetros	Valores
Temperatura (°C)	29,60 ± 0,50	DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	8.437,00 ± 1.536,0
pH	4,70 ± 0,70	DBO ₅ (mgO ₂ L ⁻¹)	3.374,80 ± 952,0
Sódio total (mg L ⁻¹)	2534,70 ± 509,91	Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	115,50 ± 31,04
Condutividade Elétrica (µS cm ⁻¹)	2.025,50 ± 607,30	Fósforo total (mg L ⁻¹)	393,35 ± 74,50
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	8.437,00 ± 1.536,0	Potássio total (mg L ⁻¹)	218,56 ± 11,71
DBO ₅ (mgO ₂ L ⁻¹)	3.374,80 ± 952,0	Cálcio total (mg L ⁻¹)	41,43 ± 7,33
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	115,50 ± 31,04	Magnésio Total (mg L ⁻¹)	184,39 ± 53,85
Fósforo total (mg L ⁻¹)	393,35 ± 74,50	RAS ((mmolc L ⁻¹) ^{1/2})	23,90 ± 8,66

pH - potencial hidrogeniônico, DQO - demanda química de oxigênio, DBO - demanda bioquímica de oxigênio, RAS - relação de adsorção de sódio.

Os tratamentos foram constituídos pela fertirrigação com lâminas de água residuária de laticínios na cultura do capim Mombaça, sendo: 0 kg ha⁻¹ de Na⁺ - aplicação de água de irrigação suprindo a demanda hídrica (testemunha); e doses de água residuária de laticínios baseadas na concentração de sódio 75 kg ha⁻¹; 150 kg ha⁻¹; 300 kg ha⁻¹ e 600 kg ha⁻¹ de Na⁺. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com quatro repetições. A fim de simular a irrigação por aspersão, as lâminas foram aplicadas com auxílio de regador sobre as folhas do capim.

Após preparo do solo (aragem e gradagem), sementes de capim Mombaça foram distribuídas manualmente a uma taxa de 15 kg por hectare, seguido de rastelamento para garantir o contato adequado entre as sementes e o solo. Após a germinação das sementes e corte de nivelamento (70 dias após semeio - DAS), foram delimitadas 20 parcelas experimentais de 9 m² cada (3 x 3) com bordaduras de 1,5 m, separadas por ruas de 0,90 m.

O capim Mombaça foi utilizado devido à sua exigência por condições de solo fértil, bem drenado, clima quente e precipitação superior a 1000 mm ano⁻¹, semelhantes às da área de estudo, e ser utilizado na criação de gado de leite e corte (Jank, 2008). O sistema de irrigação por pivô central foi adotado, suprimindo a demanda evapotranspirativa da cultura a cada dois dias, com base em dados meteorológicos coletados por uma estação automática próxima à área experimental.

Após segundo corte de nivelamento, ocorrido aos 110 DAS, as lâminas de água residuária foram aplicadas em três parcelas com intervalos quinzenais (155, 170 e 185 DAS). No dia seguinte da aplicação, foram coletadas amostras de solo das camadas 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,90-1,00 m para caracterização conforme metodologias descritas em EMBRAPA (1997). Para monitorar o efeito do efluente ao longo do tempo, também foram coletadas amostras de solo decorridos dois meses (245 DAS) e cinco meses (335 DAS) após finalizado as aplicações de água residuária da laticínios.

Os dados foram submetidos a análises de regressão, e os modelos (superfícies de respostas) foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão e no valor do coeficiente de determinação (R²). Para a realização das análises estatísticas, utilizou-se o programa estatístico SAEG 9.1 (2006) e para os plots de gráficos o SIGMAPLOT (versão 10).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das equações de regressão (Tabela 4) foi possível plotar os gráficos de superfície de resposta (Figura 1). As regressões foram realizadas sendo a variável dependente a argila dispersa (AD) e independentes profundidade (PROF) e dias após o semeio (DAS). De modo geral observa-se que os modelos propostos explicam mais de 70% do comportamento da argila dispersa.

Tabela 4. Equações de regressão da argila dispersa

Equação	R ²
AD (0) = -0.633351E+02 - 0.481513E+01 * PROF + 0.218540E-01 * PROF ² + 0.354712E+01 * DAS - 0.799723E-02 * DAS ² + 0.498177E-02 * PROF * DAS	0.70
AD (75) = -0.101397E+03 - 0.188901E+00 * PROF - 0.137713E-01 * PROF ² + 0.331666E+01 * DAS - 0.685081E-02 * DAS ² + 0.150199E-02 * PROF * DAS	0.72
AD (150) = -0.270164E+03 - 0.413759E+01 * PROF + 0.286164E-01 * PROF ² + 0.505137E+01 * DAS - 0.101578E-01 * DAS ²	0.75
AD (300) = -0.812390E+02 - 0.283860E+01 * PROF + 0.157478E-01 * PROF ² + 0.307202E+01 * DAS - 0.570048E-02 * DAS ²	0.70
AD (600) = -0.386929E+03 + 0.530943E+01 * PROF - 0.542336E-01 * PROF ² + 0.491895E+01 * DAS - 0.960485E-02 * DAS ² - 0.781605E-04 * PROF * DAS	0.73

PROF- profundidade; DAS- dias após semeio.

A argila dispersa relacionada com a profundidade do solo e o tempo apresentaram variações em função da dose de efluente aplicada (Figura 1). Isto era esperado, pois essas variações sofrem influência do tempo, quantidade e frequência de aplicação (Urbano *et al.*, 2017).

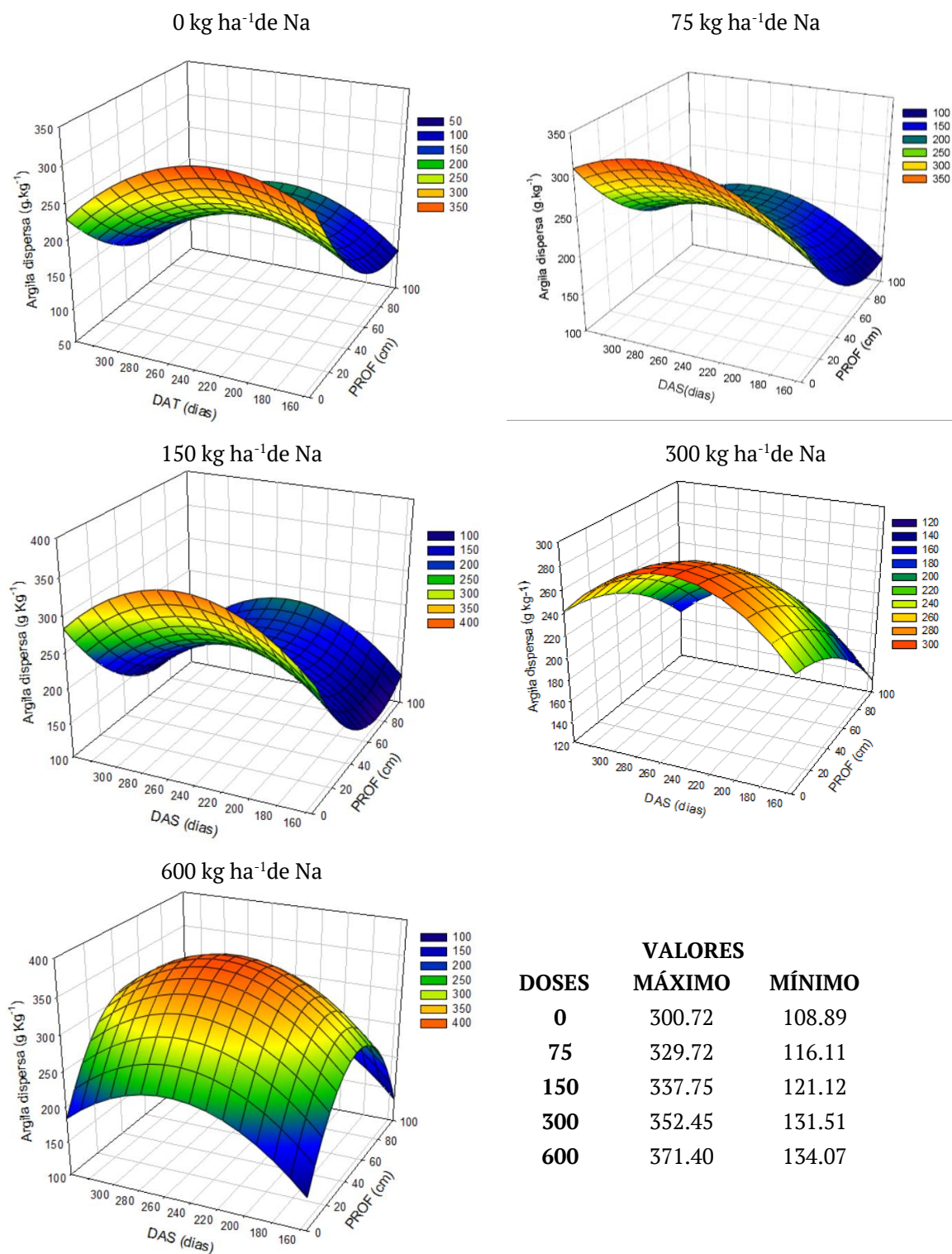


Figura 1. Variação nos valores de argila dispersa, em função da profundidade (PROF) e dias após o semeio (DAS), nos solos submetidos as doses de 0 kg ha⁻¹ de Na⁺ (A); 75 kg ha⁻¹ de Na⁺ (B); 150 kg ha⁻¹ de Na⁺ (C); 300 kg ha⁻¹ de Na⁺ (D) e 600 kg ha⁻¹ de Na⁺ (E)

É possível observar que, em todas as doses avaliadas, houve relação quadrática com o tempo (DAS), ou seja, no decorrer dos dias avaliados inicialmente tem um leve aumento do parâmetro AD e posteriormente ocorre uma redução. O efeito quadrático em relação ao tempo pode ser atribuído ao processo de lixiviação e percolação do efluente no perfil do solo ao longo do tempo após a aplicação. Assim, os elementos químicos no efluente compostos por cátions trocáveis, em especial o sódio, propiciam a dispersão das argilas e degradação da estrutura do solo (Rengasamy *et al.*, 2023).

Em relação à profundidade, as doses de 0, 75 e 150 kg ha⁻¹ de Na⁺ exibiram relação quadrática positiva, enquanto as doses de 300 e 600 kg ha⁻¹ de Na⁺ demonstraram uma relação quadrática negativa. Os pontos máximos das curvas representam os altos teores de argila dispersa observados em relação ao tempo, como observado por Messias *et al.* (2006). Isto pode ser explicada pelo ponto máximo de percolação do efluente no solo, pois a composição e concentração da solução de percolação afetam a estabilidade estrutural e a condutividade hidráulica do solo (Ali *et al.*, 2018).

Em relação ao efeito de diminuição do teor de argila dispersa para camadas mais profundas observadas para as doses de 0, 75 e 150 kg ha⁻¹ de Na⁺ (Figura 1), podem ser associados à profundidade com maior concentração das raízes e, conseqüentemente, de maior absorção de nutrientes, incluindo o sódio, principal causador do efeito de dispersão de argila. Em contraste, a estrutura do solo deteriora quando os íons monovalentes aumentam na solução de percolação (Menezes *et al.*, 2014; Zhu; Bennet; Marchuk, 2019).

Para as doses de 300 e 600 kg ha⁻¹ de Na⁺, o comportamento quadrático negativo pode referir aos maiores valores de argila dispersa na profundidade de 0,20 – 0,40 m de Latossolos, assim como verificado por Santos *et al.* (2010). Além disso, isto pode estar relacionada à ação cimentante da matéria orgânica que, conseqüentemente, melhora a estabilidade dos agregados (Bertagnoli *et al.*, 2020) e a capacidade de interagir com os íons presentes no solo, como o sódio (Freire; Freire, 2007).

A argila dispersa aumentou em função da dose aplicada, variando de 108 a 371 g kg⁻¹. Os acréscimos para dispersão de argila na profundidade de 0,10 m referentes as doses 0; 150 e 300 kg ha⁻¹ de Na⁺ respectivamente, de 4,9; 25,12; e 9,34%, já na dose 75 kg ha⁻¹ de Na⁺ houve uma redução de 4,7%. Assim, os resultados contrariam a perspectiva que o sódio de altas taxas de efluente de laticínio não seria absorvido pelas plantas e, conseqüentemente, ocasionaria aumento significativo na dispersão de argila (Larcher, 2006).

A água residuária proveniente da indústria de laticínios possui uma salinidade elevada, atingindo o valor de 2.025 µScm⁻¹ (Tabela 3). Essa alta salinidade é indicada como nível moderado de restrição para sua utilização na irrigação, pois impacta negativamente a disponibilidade de água para as plantas (Tanveer *et al.*, 2020). Além disso, a alta relação de adsorção de sódio (RAS = 23,90 mmolc L⁻¹) associada à salinidade elevada, possui potencial de prejudicar significativamente a infiltração de água no solo (Liu *et al.*, 2022).

As regressões para o parâmetro ISNa foram realizadas gerando as equações (Tabela 5) e posteriormente plotadas (Figura 2). Os modelos gerados são capazes de explicar em média 72% do comportamento do parâmetro ISNa.

Tabela 5. Equações de regressão da argila dispersa e suas respectivas significâncias

Equação	R ²
ISNA (0) = 5,1424 - 0,0229*PROF - 0,0318*DAS + 0,0002*PROF ² + 5,7257E-005*DAS ²	0.73
ISNA (75) = 2,6126 - 0,0075*PROF - 0,0075*DAS - 1,2074E-005*PROF ² + 1,2073E-005*DAS ²	0.70
ISNA (150) = 1,5440 - 0,0153*PROF + 0,0032*DAS + 0,0001*PROF ² - 1,0523E-005*DAS ²	0.70
ISNA (300) = 1,3445 - 0,0301*PROF - 0,0013*DAS + 0,0003*PROF ² + 1,9110E-007*DAS ²	0.72
ISNA (600) = 1,0292 - 0,0183*PROF + 0,0010*DAS + 0,0002*PROF ² - 7,5503E-006*DAS ²	0.75

PROF- profundidade; DAS- dias após semeio.

Variações no índice de saturação por sódio (ISNa) em função da profundidade do solo e do tempo foram observadas em solos tratados com diferentes doses de efluente de laticínio (Figura 2). Em todos os tratamentos, o ISNa apresentou uma relação quadrática tanto com a profundidade quanto com o tempo, indicando que as variações são proporcionais ao quadrado de cada variável. Essa tendência pode ser atribuída à aplicação das doses de efluente e de água de irrigação, além da influência da densidade de raízes, que contribuíram para elevar o ISNa nas camadas superficiais do solo. O padrão quadrático observado em relação à profundidade sugere um acúmulo de sais, introduzidos pela fertirrigação com o efluente, que foram absorvidos pelas plantas nas camadas medianas e, posteriormente, percolados para as camadas mais profundas. A alta concentração de sódio nos efluentes de laticínios pode intensificar os efeitos de salinidade no solo, os quais alteram as propriedades físicas do mesmo, afetando os processos de floculação e dispersão de argila e resultando em uma redução na condutividade hidráulica do solo (Ali *et al.*, 2019).

O efeito quadrático do ISNa em relação ao tempo pode estar associado à lixiviação causada pelas precipitações, verificado aos 245 dias, pois coincidiu com o período chuvoso da região. A interação entre fatores climáticos, condições edáficas e métodos de irrigação pode levar ao acúmulo ou ao deslocamento de sais dissolvidos na solução do solo ao longo do perfil (Rodrigues *et al.*, 2007; Su *et al.*, 2022). Desta forma, os efeitos no ISNa sugerem que as chuvas intensas resultam em movimentações dos sais no perfil do solo.

O maior valor de ISNa foi registrado na testemunha, atingindo a profundidade de 0,20 m aos 171 dias. Sendo o contrário da hipótese inicial, de que fertirrigação com água de laticínios aumentaria a salinidade do solo. No entanto, conforme Pizarro Cabello (1990), valores de ISNa inferiores a 7% geralmente não resultam em problemas de dispersão de argilas. Essa afirmação fundamenta os resultados obtidos na Figura 1, onde o valor máximo observado foi de 1,44%, encontrado nos solos sem aplicação de efluente, com 0 aplicação de efluente.

A recomendação técnica baseada apenas na concentração de Na⁺ apresenta como valor máximo de 150 kg ha⁻¹ por ano em culturas halófitas (Larcher, 2006). Em contraste, essa recomendação é frequentemente aplicada limitando a utilização em quantidade de efluentes em solos agrícolas. Assim, os resultados desta pesquisa indicam que o efluente de laticínios pode ser utilizado na fertirrigação de capim Mombaça, em condições experimentais parecidas, com doses de até 600 kg ha⁻¹ de Na⁺, sem causar impactos negativos físicos ou químicos ao solo.

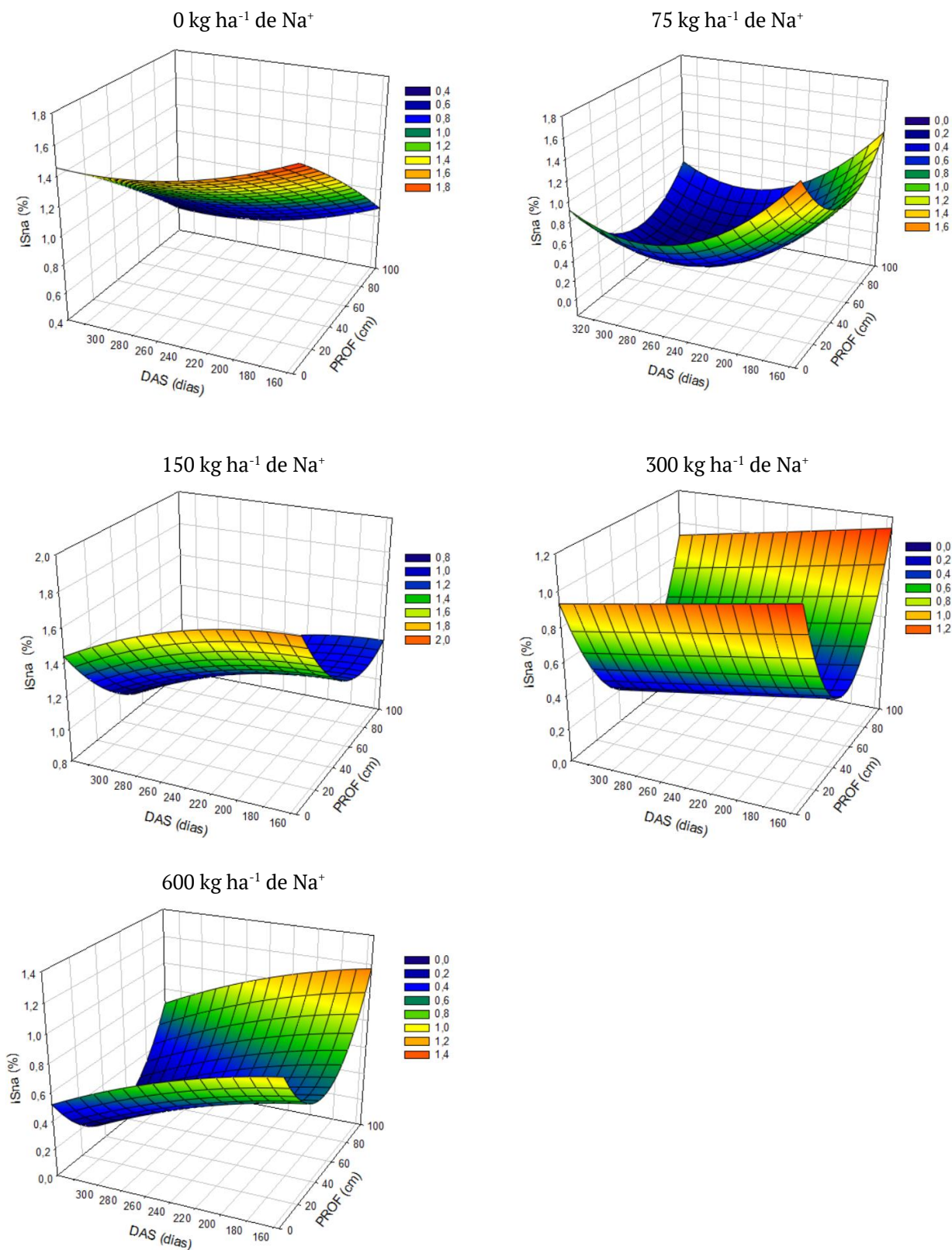


Figura 2. Variação nos valores de índice de saturação por sódio (IS_{Na}), em função da profundidade (PROF) e dias após o semeio (DAS), nos solos submetidos às doses 0 kg ha^{-1} de Na^+ ; 75 kg ha^{-1} de Na^+ ; 150 kg ha^{-1} de Na^+ ; 300 kg ha^{-1} de Na^+ e 600 kg ha^{-1} de Na^+

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água residuária de laticínios possui salinidade e adsorção de sódio alta, indicando moderado grau de restrição de uso na irrigação. Apesar da alta concentração de sódio na água residuária, os valores de ISNa permaneceram abaixo do limite crítico para dispersão de argilas. Portanto, com base na ausência de alterações significativas dos resultados de dispersão de argila e Índice de Saturação por Sódio, recomenda-se a aplicação de efluentes de laticínio com até 600 kg ha⁻¹ de sódio em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico, cultivado com capim Mombaça em condições de clima quente e úmido.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal Goiano pelo apoio na pesquisa e publicação deste artigo. A CAPES pela concessão de bolsa de estudos - 'Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001'

REFERÊNCIAS

ALI, A.; BIGGS, A. J.; MARCHUK, A.; BENNETT, J. M. Effect of irrigation water pH on saturated hydraulic conductivity and electrokinetic properties of acidic, neutral, and alkaline soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 83, n. 6, p. 1672-1682, 2019. <https://doi.org/10.2136/sssaj2019.04.0123>

ALI, A.; BENNETT, J. M.; MARCHUK, A.; WATSON, C. Laboratory evaluation of soil amendments to limit structural degradation under a sequential irrigation with coal seam gas and rain water. **Soil Science Society of America Journal**, v. 82, n. 1, p. 214-222, 2018. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.07.0217>

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. New York: APHA, AWWA, WPCR, 2012.

BERTAGNOLI, B. G. *et al.* Poultry litter and liquid swine slurry applications stimulate glomalin, extraradicular mycelium production, and aggregation in soils. **Soil and Tillage Research**, v. 202, p. 104657, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104657>

CHOJNACKA, K. *et al.* A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: Prospects and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 130, p. 1-14, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109959>

EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007.

JANK, L. *et al.* Melhoramento genético de *Panicum maximum*. In: RESENDE, R. M. S. *et al.* **Melhoramento de forrageiras tropicais**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rimas Artes e Textos, 2006.

LIU, X. *et al.* Effects of sodium adsorption ratio and electrolyte concentration on soil saturated hydraulic conductivity. **Geoderma**, v. 414, p. 115772, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115772>

MENEZES, H. R. D. *et al.* Use of threshold electrolyte concentration analysis to determine salinity and sodicity limit of irrigation water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 53-58, 2014.

MESSIAS, A. S. *et al.* Percolação de sódio através de solos do Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, n. 1, 2006.

OLIVEIRA, J. F. *et al.* Efeitos da água residual de laticínios na respiração basal do solo, produtividade e remoção de nutrientes por Tifton 85 (*Cynodon sp.*). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, p. 155-165, 2019. <https://doi.org/10.19084/RCA17237>

PATRÍCIO, A. R.; BOAS, R. M. R. P. V.; GALDINO, M. T. Gerenciamento e tratamento de efluentes líquidos da produção de produtos de laticínios de qualidade superior com dimensionamento de uma estação de tratamento de efluentes a ser implantada em uma indústria localizada em Uberaba-MG, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 37278-37292, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-272>

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersion e exudacion**. Madrid: Mundi Prensa, 1990. 471p.

RENGASAMY, P. *et al.* Managing Multiple Constraints to Crop Production in Dispersive Soils. In: **Soil Constraints and Productivity**. CRC Press, 2023. p. 319-341.

RODRIGUES, J. O. *et al.* Modelos da concentração iônica em águas subterrâneas no Distrito de Irrigação Baixo Acaraú. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, p. 360-365, 2007.

SAEG. **Sistema de análises estatísticas e genéticas**: Versão 9.1. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006.

SANTOS, L. N. S. *et al.* Avaliação de alguns atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 940-947, 2010.

SILVA, E. A. DA *et al.* Adição de água residuária de laticínio em substrato para produção de mudas de maracujazeiro 'amarelo'. **Agrarian**, n. 7, v. 23, p. 49–59, 2013.

SOUZA, J. A. R. *et al.* Chemical Variation in Soil Fertirrigated With Effluent. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. e03208-e03208, 2023.
<https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n2-003>

STASINAKIS, A. S. *et al.* Dairy wastewater management in EU: Produced amounts, existing legislation, applied treatment processes and future challenges. **Journal of environmental management**, v. 303, p. 114152, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114152>

SU, F. *et al.* Moisture movement, soil salt migration, and nitrogen transformation under different irrigation conditions: Field experimental research. **Chemosphere**, v. 300, p. 134569, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134569>

TANVEER, K. *et al.* Effect of salt stress on tomato plant and the role of calcium. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, p. 28–35, 2020.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659324>

URBANO, V. R. *et al.* Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 108-115, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.001>

VILELA, D. *et al.* Produção de leite no cerrado: Conjuntura e análises. In: HOTT, M. C. *et al.* **Geotecnologias**: aplicações na cadeia produtiva do leite. 1 ed. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2022. v. 1, p. 77-81.

VOURCH, M. *et al.* Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, v. 219, p. 190-202, 2008.

ZHU, Y.; BENNETT, J. M.; MARCHUK, A. Reduction of hydraulic conductivity and loss of organic carbon in non-dispersive soils of different clay mineralogy is related to magnesium induced disaggregation. **Geoderma**, v. 349, p. 1-10, 2019.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.04.019>