

Alterações químicas em solo fertirrigado com efluentes de laticínios

A indústria de laticínios representa atividade de grande importância na economia brasileira e mundial, não apenas devido ao volume de oferta e geração de divisas, mas, também, pela composição na dieta alimentar humana. Trata-se de uma atividade que gera elevadas quantidades de efluentes que, se manejado de forma inadequada, pode causar efeitos deletérios às plantas, ao curso de água e ao solo. Nesse sentido, a fertirrigação de culturas tem se tornado uma forma alternativa de tratamento. Assim, com este estudo, objetivou-se determinar as alterações químicas no solo cultivado com capim Mombaça ao aplicar-se diferentes doses de efluente de laticínios de modo a fornecer teores de sódio iguais a 75, 150, 300 e 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹. De acordo com os resultados, pôde-se concluir que, em relação às condições iniciais, o pH, matéria orgânica e CTC do solo não apresentaram variações significativas. Todavia, houve reduções nas concentrações de fósforo disponível e incrementos na concentração de potássio. Assim, de acordo com as condições experimentais, e visando conservação ambiental, a aplicação de efluente de laticínios fornecendo 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de sódio em solo cultivado com capim Mombaça pode se tornar uma recomendação técnica para tratamento e reaproveitamento destes efluentes.

Palavras-chave: Reuso; Alteração no solo; Dispersão de argila; Água residuária.

Chemical changes in soil fertigated with dairy effluents

The dairy industry represents an activity of great importance in the Brazilian and world economy, not only due to the volume of supply and generation of foreign currency, but also due to the composition in the human food diet. It is an activity that generates high amounts of effluents that, if handled improperly, can cause deleterious effects to plants, the watercourse and the soil. In this sense, crop fertigation has become an alternative form of treatment. Thus, this study aimed to determine the chemical changes in the soil cultivated with Mombaça grass by applying different doses of dairy effluent in order to provide sodium content equal to 75, 150, 300 and 600 kg ha⁻¹ year⁻¹. According to the results, it could be concluded that, in relation to the initial conditions, the pH, organic matter and CTC of the soil did not show significant variations. However, there were reductions in the concentrations of available phosphorus and increases in potassium concentration. Thus, according to the experimental conditions, and aiming environmental conservation, the application of dairy effluent providing 600 kg ha⁻¹ year⁻¹ of sodium in soil cultivated with Mombaça grass can become a technical recommendation for treatment and reuse of these effluents.

Keywords: Reuse; Soil alteration; Clay dispersion; Wastewater.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **10/09/2022**

Approved: **27/09/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Debora Astoni Moreira 
Instituto Federal Goiano, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0892554192927049>
<http://orcid.org/0000-0002-8658-1269>
debora.astoni@ifgoiano.edu.br

José Antonio Rodrigues de Souza 
Instituto Federal Goiano, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1637300776838940>
<http://orcid.org/0000-0003-3024-9424>
jose.antonio@ifgoiano.edu.br

Janine Mesquita Gonçalves 
Instituto Federal Goiano, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6297254122829148>
<http://orcid.org/0000-0003-1367-4488>
janine.goncalves@ifgoiano.edu.br

Soraya Carmelita Novaes Thomazini 
Instituto Federal Goiano, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5776093542731373>
<http://orcid.org/0000-0002-7443-1052>
sorayathomazini@yahoo.com.br

Ellen Lemes Silva 
Instituto Federal Goiano, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2020996967548069>
<http://orcid.org/0000-0001-5649-5055>
ellen_cbba@hotmail.com

Nelson Donizete Ferreira 
Instituto Federal Goiano, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5746136868599483>
<http://orcid.org/0000-0001-5123-9116>
nelson.ferreira@ifgoiano.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.009.0015

Referencing this:

MOREIRA, D. A.; SOUZA, J. A. R.; GONÇALVES, J. M.; THOMAZINI, S. C. N.; SILVA, E. L.; FERREIRA, N. D.. Alterações químicas em solo fertirrigado com efluentes de laticínios. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.9, p.182-195, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.009.0015>

INTRODUÇÃO

A indústria de laticínios é uma atividade que consome muita água e gera grande quantidade de efluentes, cujos volumes dependem do tipo de processo utilizado, dos produtos produzidos, da qualidade da água requerida e das práticas de gestão aplicadas (VOURCH et al., 2008). De acordo com Oliveira et al. (2014), a relação entre o volume de leite processado e o volume de efluente gerado, chamada de coeficiente volumétrico de efluente líquido, pode oscilar entre 0,2 e 111 litros de efluente por litro de leite processado.

Os efluentes gerados durante o processo apresentam elevados teores de matéria orgânica, gorduras, sais, sólidos suspensos e nutrientes, e são considerados a principal fonte de poluição dessas indústrias. Diversos problemas durante o tratamento convencional desses efluentes têm sido relatados, e estão relacionados à elevada produção de espuma, à baixa sedimentabilidade do lodo, à baixa resistência a choques de carga, às dificuldades na remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e aos problemas na degradação de gorduras, óleos e outros tipos específicos de poluentes, como corantes (CAMMAROTA et al., 2006).

Assim, dentre as tecnologias disponíveis para a disposição final destes efluentes, a fertirrigação de culturas agrícolas tem apresentado papel de destaque, seja para resolver o problema da falta de tratamento dos efluentes, da degradação dos cursos de água ou por sua escassez. De acordo com Matos (2014), as maiores vantagens do aproveitamento das águas residuárias estão ligadas à conservação da água disponível, à sua grande disponibilidade, à sua capacidade de possibilitar o aporte e a reciclagem de nutrientes, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos comerciais, além de concorrer para a preservação ambiental.

Diversos estudos têm sido realizados com aplicação de efluente de laticínios no solo tais como os de Macan et al. (2017), Melo et al. (2015), Rossi et al. (2015) e Oliveira et al. (2014), porém, sem se preocupar com os aspectos ambientais. Segundo Aguilar et al. (2010) águas de irrigação com predomínio de HCO_3 elevada, condutividade elétrica baixa e razão de adsorção de sódio, a exemplo das águas residuárias de laticínios, podem acarretar aumento do pH do solo, conseqüentemente diminuindo a disponibilidade dos nutrientes do solo, podendo acentuar a deficiência dos nutrientes, principalmente de micronutrientes. Também, a presença de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas e pode tornar os solos inadequados ao cultivo (AYERS et al., 1999).

Embora estudos sobre o aproveitamento agrícola de diversos tipos de efluentes já tenham sido realizados, pouco se conhece a respeito das doses a serem aplicadas da água residuária de laticínios, considerando-se o sódio como elemento químico referencial, de forma a não comprometer a qualidade química e física do solo, de produtividade da cultura e não contaminar as águas subterrâneas, fazendo com que, dessa forma, a prática de aproveitamento da água residuária seja agrônômica e ambientalmente sustentável. De acordo Larcher (2006), o valor máximo de sódio absorvido pelas plantas em habitat halófito é de $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Sabendo-se do grande impacto ambiental negativo provocado pela disposição inadequada dos efluentes de laticínios e do potencial para ser aproveitado na fertirrigação de culturas agrícolas, objetivou-

se, com a realização deste trabalho, avaliar as alterações químicas no solo cultivado com capim Mombaça, quando submetido a diferentes doses de efluente de laticínios, tendo-se o sódio como fator limitante.

METODOLOGIA

O trabalho foi conduzido no Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí (IFGoiano), em Urutaí - GO, localizado a 17°29'6"S, 48°12'27"O e altitude de 712 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, caracterizado como úmido tropical com inverno seco e verão chuvoso, com precipitação e temperatura média anual de 2000 mm e 28 °C, respectivamente (SILVA, 2015).

Amostras de solo da área experimental, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 90-100cm, foram coletadas e conduzidas ao Laboratórios de Pesquisa e Análises Químicas do IFGoiano, para determinação das características físicas e químicas, conforme metodologias descritas em EMBRAPA (1997). Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da caracterização do solo utilizado nos ensaios experimentais, que foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico.

Tabela 1: Caracterização física e química do solo nas diferentes camadas da área experimental.

Prof.	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	MOS	SB
		mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³		g kg ⁻¹	cmol _c dm ⁻³
0-10	4,99	0,00	0	0,221	0,504	4,04	0,2	4,62	21,324	0,74
10-20	5,04	0,00	0	0,227	0,53	4,48	0,2	3,465	14,445	0,78
20-30	5,19	0,00	0	0,219	0,426	4,05	0,1	3,63	17,197	0,66
90-100	5,18	0,00	0	0,288	0,551	4,73	0,2	3,3	17,197	0,86

Prof.	T	t	V	M	ISNa	AD	Ds	DP	VTP	K0
	cmol _c dm ⁻³		%			g kg ⁻¹	g cm ⁻³	cm ³ cm ⁻³	cm h ⁻¹	g cm ⁻³
0-10	5,36	0,94	13,85	21,22	0,33	228,8	2,18	2,74	0,20	10,07
10-20	4,24	0,98	18,31	20,48	0,46	128,8	1,93	2,70	0,29	7,91
20-30	4,29	0,76	15,44	13,11	0,41	148,8	1,96	2,60	0,25	15,29
90-100	4,16	1,06	20,66	18,88	0,49	130	1,53	2,56	0,40	10,07

Sendo: 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, ISNa – índice de saturação por sódio, AD = argila dispersa em água, Ds – massa específica do solo, VTP – volume total de poros, K0 – condutividade hidráulica.

Após aragem, gradeamento e correção do solo quanto à acidez e fertilidade, sementes de capim Mombaça foram lançadas à mão na proporção de 15 kg de sementes por hectare, rastelando-se, posteriormente, o solo de modo a promover o enterramento das sementes. O capim foi irrigado por pivô central com turno de rega de dois dias, sendo a demanda evapotranspirométrica determinada a partir de dados meteorológicos obtidos em uma estação automática instalada próxima à área experimental. A utilização do capim Mombaça ocorreu em virtude de ser uma forrageira bastante utilizada para criação de gado de leite e ser exigente por solo fértil, profundo, bem drenado, clima quente e precipitação superior a 1000 mm ano⁻¹ (JANK., 2008), condições semelhantes às aquelas encontradas na área de estudo.

Após germinação das sementes e corte de nivelamento aos 70 dias após semeio (DAS), foram delimitadas 20 parcelas experimentais de 9 m² cada (3m x 3m) com bordaduras de 1m, separadas por ruas de 0,70 m. Os tratamentos avaliados foram constituídos por aplicações de lâminas de efluente de laticínios na cultura do capim Mombaça (fertirrigações), com quatro repetições, em delineamento inteiramente ao

acaso.

As lâminas de fertirrigações foram definidas baseando-se na concentração de sódio, por ser o constituinte presente em maior concentração relativa no efluente de laticínios, e foram aplicadas sobre as folhas utilizando-se um regador, de forma a simular a aplicação por aspersão. Os Tratamentos foram compostos pelas aplicações de fertirrigações fornecendo sódio nas concentrações de 75 kg ha⁻¹ (T1), 150 kg ha⁻¹ (T2), 300 kg ha⁻¹ (T3) e 600 kg ha⁻¹ (T4), além do Tratamento Testemunha, com apenas aplicações de água de irrigação (T5).

Foram utilizadas efluente de laticínios proveniente da região, as quais eram transportadas, quinzenalmente, até o IFGoiano e acondicionadas em reservatório de 500 L, tendo suas características químicas determinadas antes de serem aplicadas no solo, conforme metodologias recomendadas pela APHA (2012). Na Tabela 2 estão apresentadas as características médias dos efluentes de laticínios utilizadas nos ensaios experimentais.

Tabela 2: Caracterização físico-química das amostras dos efluentes de laticínios utilizados nos ensaios experimentais.

Parâmetros	Valores	Parâmetros	Valores
Temperatura (°C)	29,60 ± 0,50	DBO ₅ (mgO ₂ L ⁻¹)	3.374,80 ± 952,0
pH	4,70 ± 0,70	Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	115,50 ± 31,04
Sódio total (mg L ⁻¹)	2534,70 ± 509,91	Fósforo total (mg L ⁻¹)	393,35 ± 74,50
CE (µS cm ⁻¹)	2.025,50 ± 607,30	Potássio total (mg L ⁻¹)	218,56 ± 11,71
ST (mg L ⁻¹)	6.333,00 ± 1.195,00	Cálcio total (mg L ⁻¹)	41,43 ± 7,33
SST totais (mg L ⁻¹)	767,00 ± 456,50	Magnésio Total (mg L ⁻¹)	184,39 ± 53,85
SD (mL L ⁻¹)	28,00 ± 9,50	RAS ((mmolc L ⁻¹) ^{1/2})	23,90 ± 8,66
Turbidez (UNT)	1.104,00 ± 313,9	CT (NMP 100 mL ⁻¹)	2,42 ± 10 ⁹
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	8.437,00 ± 1.536,0	CF (NMP 100 mL ⁻¹)	7,70 ± 10 ⁵

Sendo: pH – potencial hidrogeniônico, CE – condutividade elétrica, ST – sólidos totais, SST – sólidos totais em suspensão, SD- sólidos dissolvidos, DQO – demanda química de oxigênio, DBO₅ – demanda bioquímica de oxigênio, RAS – relação de adsorção de sódio, CT – coliformes totais, CF – coliformes termotolerantes.

Após o segundo corte de nivelamento, ocorrido aos 110 DAS, as diferentes lâminas de efluentes foram aplicadas em três parcelas, com intervalos quinzenais (155, 170, 185 DAS). No dia seguinte a aplicação, amostras de solo nas camadas 0-10, 10-20, 20-30 e 90-100 cm foram coletadas e levadas Laboratórios de Pesquisa e Análises Químicas do IFGoiano para caracterização química, conforme metodologias descritas em EMBRAPA (1997) e APHA (2012). Para monitorar o efeito do efluente ao longo do tempo, também foram coletadas amostras de solo decorridos dois meses (245 dias) e cinco meses (335 dias) após finalizado as aplicações do efluente de laticínios.

Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão, sendo as médias comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Nas análises de regressão, os modelos 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).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A acidez do solo (pH) geralmente é um índice de extrema importância, pois possibilita a determinação da disponibilidade dos nutrientes contidos no solo ou a ele adicionados, além da assimilação dos nutrientes pelas plantas. A grande maioria dos nutrientes como o K, Ca, Mg, N, S, B e P estão menos disponíveis em

valores baixos de pH, enquanto outros como Fe, Cu, Mn e Zn apresentam comportamento inverso (LOPES, 1998).

Analisando a variação do pH do solo com profundidade e o tempo, para os solos submetidos aos diferentes tratamentos avaliados (Figura 1), observa-se que o pH apresentou relação quadrática com a profundidade, à exceção do T1, o qual apresentou relação linear positiva. Quando analisada com o tempo, a relação foi linear positiva com o T3 e T5, e no T1, T2 e T4, apresentou relação quadrática. Verifica-se, ainda, que em relação às condições iniciais do solo, na profundidade de 10 cm, os solos de todas as parcelas experimentais não apresentaram aumento significativo nos valores do pH ao final do período experimental

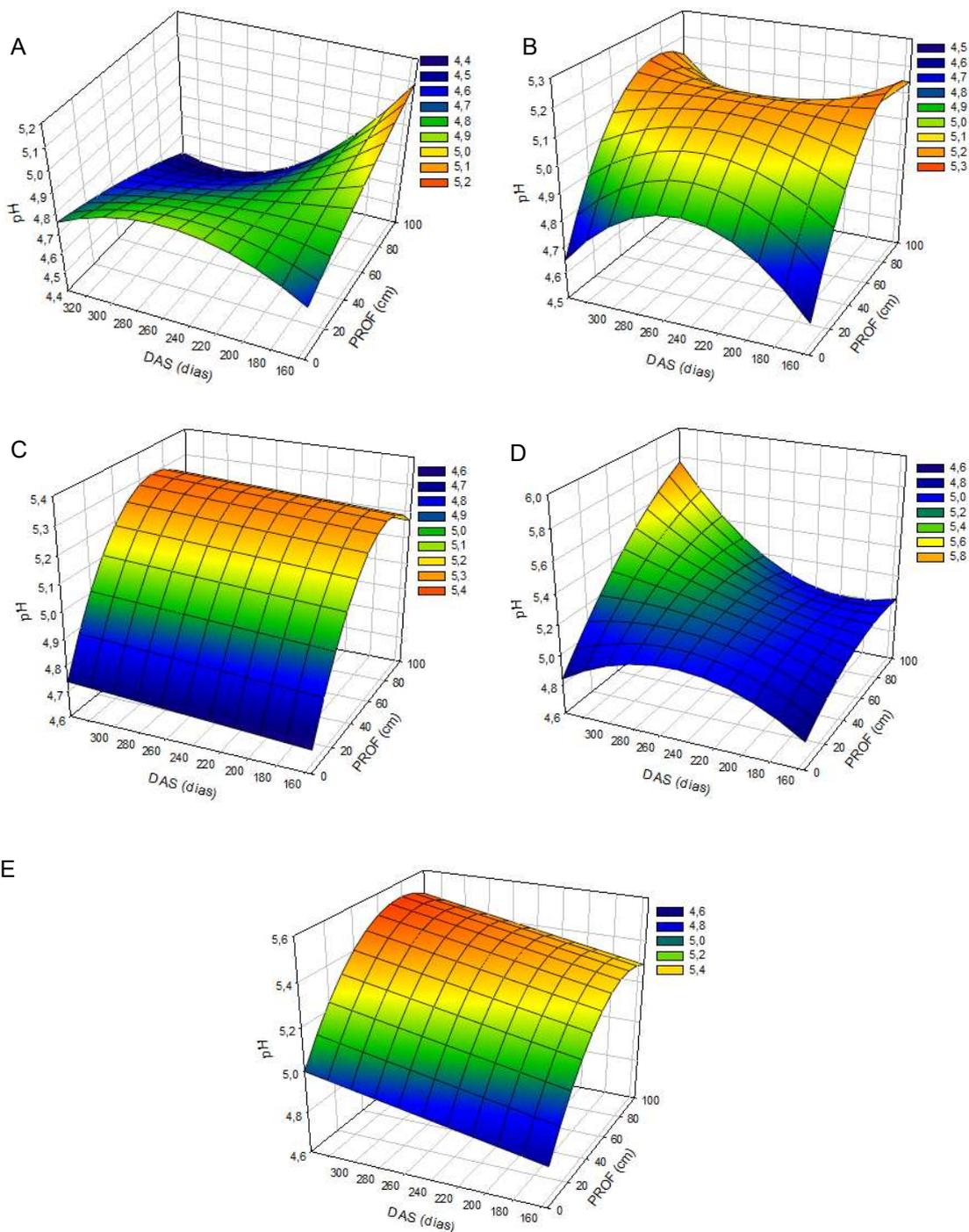


Figura 1: Variação nos valores do potencial hidrogeniônico (pH), em função da profundidade (PROF) e dias após o semeio (DAS), nos solos submetidos aos tratamentos 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D), e 5 (E).

O comportamento quadrático do pH com o perfil do solo, observado nos solos submetidos ao T2, T3, T4 e T5, podem estar relacionados com maiores concentrações de alumínio e acidez potencial obtidas nas camadas intermediárias dos solos, sendo maiores os valores quando submetido ao T2.

Avaliando-se os dados, foi possível observar baixa interação da aplicação e o pH, apesar de existirem relatos de outros estudos em que ocorreram aumento do pH em razão da aplicação de adubos orgânicos (SILVA et al., 2008; PIMENTEL et al., 2009), sendo que essa variação de pH seria proporcionada pela adsorção de íons H⁺ por ânions dos compostos orgânicos (Mantovani et al., 2005).

Ao final do período experimental, na profundidade de 10 cm, foram observados incrementos nos valores de pH de 0,01% e 0,03%, nos solos submetidos ao T3 e T4, respectivamente, e diminuição do valor de pH de 0,004% e 0,009%, nos solos submetidos ao T1 e T4, em relação à testemunha (T5). Sendo assim, as taxas de aplicação do efluente no decorrer do tempo não tiveram interferência significativa de pH no perfil de 0,10 m do solo.

Dal Bosco et al. (2008), estudando os efeitos da aplicação de água residuária por oito anos consecutivos em solo agricultável, e Oliveira (2006), aplicando água residuária com alto teor de matéria orgânica em diferentes espécies de forrageiras, observaram acréscimo do pH com adição da água residuária e redução no valor com a profundidade no perfil do solo. Todavia, Coraucci Filho (1992) e Queiroz et al. (2004), observaram reduções no valor do pH com aplicação, que foram atribuídas à grande quantidade de matéria orgânica aplicada, redução na saturação por bases e o aumento da concentração de alumínio trocável.

Segundo Matos (2007), a incorporação de matéria orgânica no solo, dependendo da etapa de degradação que se encontra, pode contribuir para elevação ou redução nos valores de pH. Segundo o autor, na fase inicial de degradação da matéria orgânica, por ser ácida, contribui para abaixamento de pH, enquanto na decomposição sob condições aeróbias, são disponibilizados cátions de reação alcalina no meio, concorrendo para elevar o pH, pelo menos temporariamente.

Os valores extremos do pH variaram entre 4,29 a 5,68, abaixo, portanto, do pH ideal para absorção de nutrientes pelas culturas, que deve estar entre 5,5 e 6,5 para o pH com leitura em água. Algumas forrageiras apresentam tolerância a pH mais baixo, porém podem não ter um bom desenvolvimento devido ao problema da disponibilidade de nutrientes. O pH permaneceu na faixa aceitável para crescimento da maioria das forrageiras, dentro dos valores médios dos solos do Cerrado. Segundo Malavolta (1985) e Matos (2004), o valor mínimo observado não afetou, significativamente, a disponibilidade de nutrientes no solo às plantas.

O fósforo (P) é fundamental no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese (LOPES, 1998). É também componente estrutural dos ácidos nucleicos de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídios. As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P até alcançar níveis adequados (GRANT et al., 2001).

Na Figura 2 está apresentada a variação do fósforo disponível com o tempo e a profundidade, nos solos submetidos aos diferentes tratamentos. Pode-se verificar que a concentração de fósforo apresentou relação linear negativa com o tempo, a exceção dos Tratamentos T2 e T3, cuja relação foi quadrática e, todos os tratamentos tiveram relação quadrática com a profundidade. Observa-se, ainda, que em comparação com as condições iniciais, houve acréscimo na concentração de fósforo disponível, sobretudo nas camadas superficiais e com a dose de 75 kg ha⁻¹.

Segundo Scaloppi et al. (1986) e Ceretta et al. (2005), menores concentrações de fósforo disponível nas camadas inferiores devem-se à baixa mobilidade deste nutriente no solo, sendo, provavelmente, este adsorvido pelas partículas do solo, absorvido pelas plantas e o restante precipitado. Para Tomé Júnior (1997), o teor de fósforo disponível tende, normalmente, a diminuir com a profundidade, acompanhando o teor de matéria orgânica do solo.

A aplicação de lâminas do efluente foi responsável pelo aumento da quantidade de fósforo no solo quando comparada com a quantidade inicial encontrada na testemunha. O efeito linear negativo em relação ao tempo, provavelmente, se dá pelo fato de a cultura absorver mais fósforo do solo conforme se desenvolve, sendo que o aumento da densidade radicular é um importante mecanismo de absorção de fósforo de acordo com Grant et al. (2001). O efeito quadrático com a profundidade se dá em razão da raiz da cultura não alcançar as camadas mais profundas do solo, visto que segundo Alencar et. al. (2010), a média da profundidade efetiva da raiz do capim Mombaça de pastejo é de 37,92 cm.

Chateaubriand (1988), estudando os efeitos da aplicação de diferentes lâminas de águas residuárias em solo cultivado com milho e, King et al. (1985), Montavalli et al. (2002), Ceretta et al. (2003), Queiroz et al. (2014), Oliveira (2014) e Berwanger (2006), em solos cultivados com forrageiras, também, observaram acréscimos na concentração de fósforo disponível nas camadas superficiais, obtendo maiores valores, quando se aplicaram as maiores lâminas, e também se deve à mobilidade do fósforo ser muito baixa, onde ele se move cerca de 2 cm ao ano.

Ao final do período experimental, na profundidade de 10 cm, foram observadas reduções nas concentrações de fósforo disponível em relação ao Tratamento Testemunha (T5), com exceção do Tratamento T2, tendo sido obtidas reduções de 21,98%, 31,38% e 33,97% nos solos submetidos aos Tratamentos T1, T3 e T4, respectivamente, e acréscimo de 3,23% nos solos submetidos ao Tratamento T2. Assim, observou-se que maiores concentrações do efluente proporcionaram incrementos na absorção do P pela cultura.

O potássio (K) é um dos elementos essenciais às plantas, sendo absorvido pelas raízes na forma iônica de K⁺. Desempenha várias funções na planta e, dentre elas, podem-se citar, a melhor eficiência do uso da água, em consequência do controle da abertura e fechamento dos estômatos, maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para outros órgãos da planta, maior eficiência enzimática, melhoria da qualidade comercial da planta (MALAVOLTA et al., 1997) e aumento da resistência natural das plantas às pragas e doenças fúngicas.

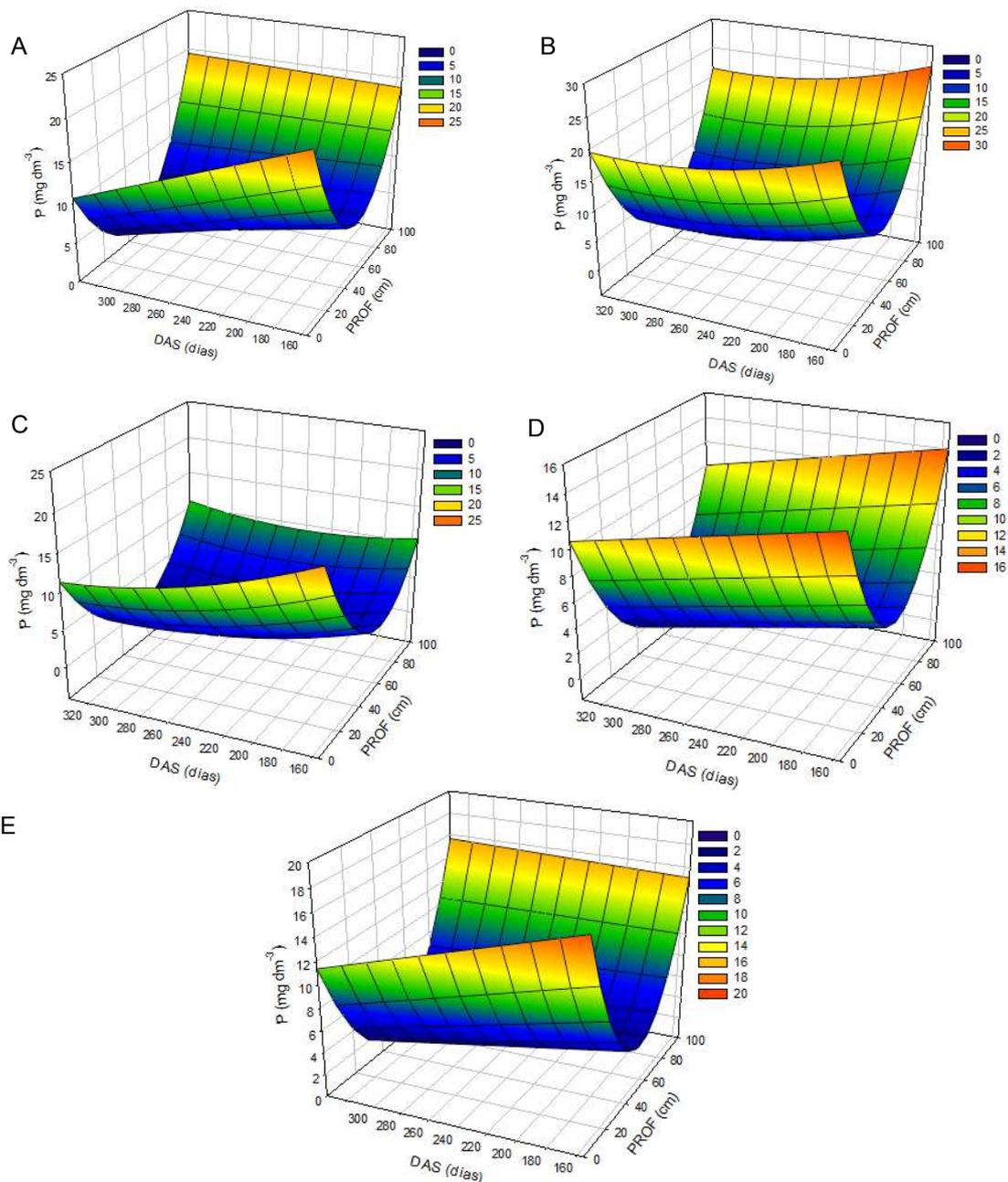


Figura 2: Variação nos valores de fósforo total (P), em função da profundidade (PROF) e dias após o semeio (DAS), nos solos submetidos aos tratamentos 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D), e 5 (E).

Analisando a variação na concentração de potássio no perfil do solo em função da profundidade e do tempo (Figura 3), pode-se observar que a concentração de potássio apresentou relação quadrática com a profundidade, com exceção do Tratamento T1, que foi linear negativa. A relação com o tempo nos tratamentos foi quadrática, à exceção dos Tratamentos T3 e T5, cujas relações foram lineares positivas. Verifica-se, também, que os incrementos das doses das lâminas aplicadas do efluente resultaram em maiores concentrações de potássio, sobretudo nas camadas superficiais do solo.

As maiores concentrações de potássio nas camadas mais superficiais do solo se devem principalmente à sua adsorção direta e com o deslocamento de outros cátions do complexo de troca do solo. Já, o efeito quadrático negativo em relação a profundidade e ao tempo, se dá graças a uma redução de potássio de acordo com ao aumento da quantidade de raízes do capim com o passar do tempo, que pode ocasionar um maior consumo de potássio, justamente nas camadas próximas de 0,30m onde existe maior

ocorrência raízes. O efeito linear negativo em relação ao tempo nos Tratamentos T3 e T5, segundo Costa et al. (1986) pode ser resultado da baixa mobilidade do potássio em solos argilosos e de textura média, o que dificulta a penetração no solo com o decorrer do tempo e do aumento da saturação.

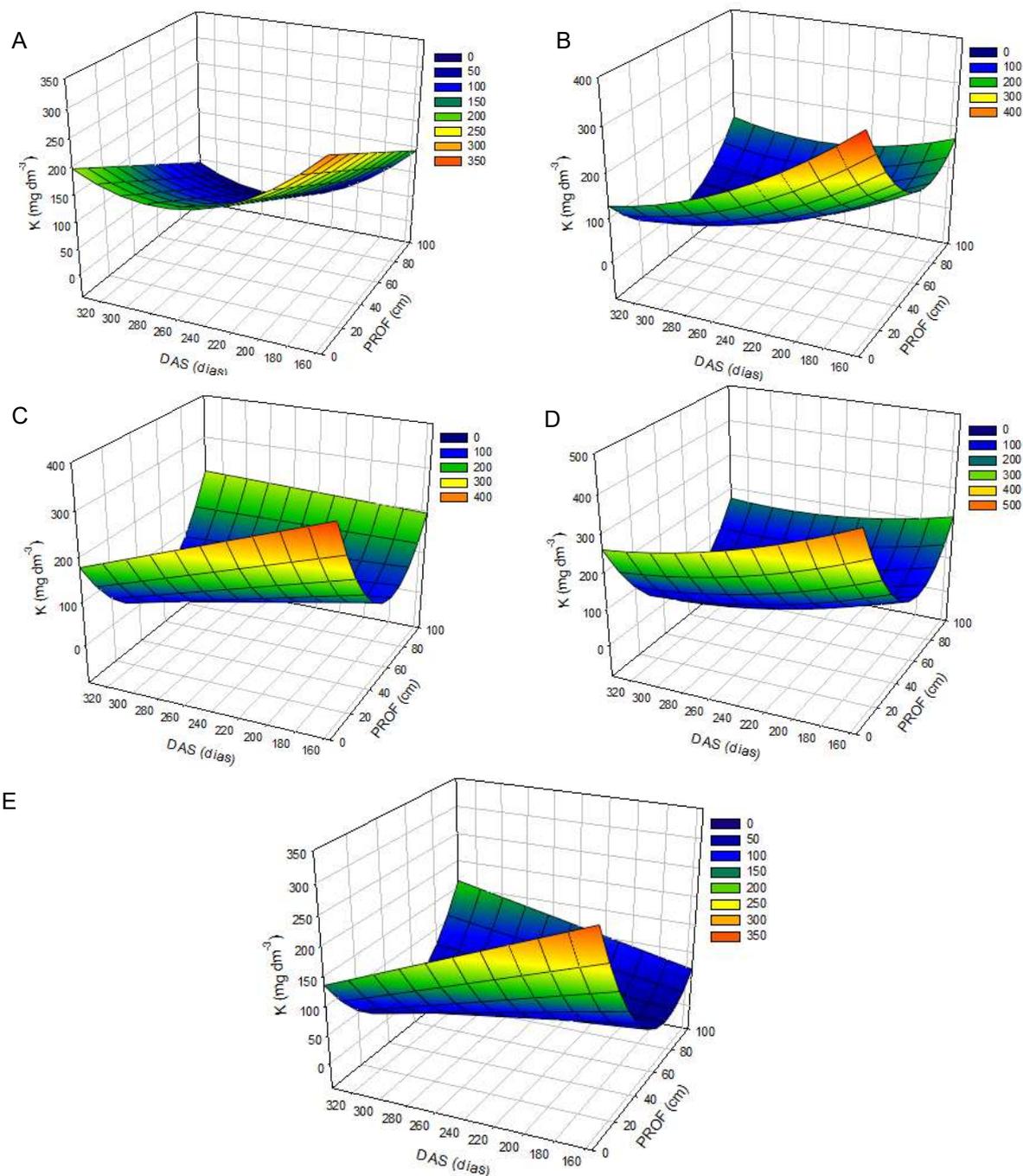


Figura 3: Variação nos valores de potássio total (K), em função da profundidade (PROF) e dias após o semeio (DAS), nos solos submetidos aos tratamentos 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D), e 5 (E).

Ao final do período experimental, na profundidade de 10 cm, foi observado incremento na concentração de potássio trocável no solo quando comparado ao solo do Tratamento Testemunha (T5) apenas no Tratamento 3 (11,48%), e redução de (43,44%; 55,49% e 33,38%) nos Tratamentos 1, 2 e 4, respectivamente. Assim, pode se observar que, apesar de uma redução inicial, incrementos nas lâminas do efluente proporcionaram reposição de concentrações de K nos solos com o aumento das doses, sendo que o pico ocorreu na dosagem de 300 kg ha⁻¹.

Silva et al. (2012) e Oliveira (2014), avaliando alterações dos atributos químicos em solos cultivados com gramíneas, decorrente da aplicação de efluente, observaram incrementos na concentração do K nas camadas superficiais, sendo estes valores maiores quando se aplicaram maiores lâminas. Analisando a Figura 3, é possível verificar que apesar de uma redução inicial, a concentração de K apresentou incrementos gradativos com a dose e, se tornando mais expressiva em maiores profundidades quando comparada com a Testemunha (T5).

Em relação às classes de interpretação da disponibilidade de K sugerida por CFSEMG (1999), antes do período experimental, nos solos de todas as parcelas experimentais, a disponibilidade de K era muito baixa ($\leq 15 \text{ mg dm}^{-3}$) e, após este período, na profundidade 10 cm, passaram a apresentar alta disponibilidade, à exceção do T1, que apresentou média disponibilidade.

O teor de matéria orgânica possui grande importância, pois apresenta apreciável influência sobre as propriedades físicas do solo, tais como modificações na estrutura do solo, aumento na capacidade de retenção de água, redução da plasticidade, coesão e uniformização da temperatura (KIEHL, 1985; MATOS, 2007).

Estudos realizados por Felton (1992) mostraram que a incorporação de matéria orgânica no perfil do solo, resultou em aumento na condutividade hidráulica, da capacidade de retenção de água, da porosidade e redução na densidade do solo. Para Kiehl (1985), os efeitos proporcionados pela matéria orgânica nas propriedades físicas, por si só, já justificariam a aplicação de efluentes com alto teor de matéria orgânica no solo.

Todavia, conforme análises dos dados obtidos neste trabalho, as diferenças no conteúdo de matéria orgânica dos solos submetidos aos diferentes tratamentos não foram elevadas como esperado, tampouco nos parâmetros físicos. Ao final do período experimental, na profundidade 10 cm, foi constatada redução de 10,13%, 1,14% e 4,64% nos Tratamentos T1, T2 e T3, respectivamente, e aumento de 6,23% no Tratamento T4 (Tabela 3). Segundo Matos (2007), as principais alterações decorrentes da aplicação de águas residuárias, em geral, costumam ser químicas, o que pode, inclusive, vir a proporcionar alterações físicas no solo.

Segundo Reddy et al. (1979), o efeito de efluentes no acréscimo de matéria orgânica do solo é pequeno, pois além de ser relativamente baixo este conteúdo, os componentes orgânicos são de fácil mineralização e podem desaparecer em questão de dias ou semanas. Para Scherer et al. (1994), seria necessária a aplicação de doses elevadas de material orgânico de difícil degradação para que conteúdo de matéria orgânica no solo aumente, o que não acontece com a maioria das águas residuárias, como, por exemplo, dos laticínios, como demonstrado na Tabela 3 do valor médio da matéria orgânica em cada tratamento analisado.

A capacidade de troca catiônica (CTC) é uma das propriedades físico-químicas mais importantes dos solos, pois é responsável pela retenção dos cátions nutrientes das plantas, tais como o Ca, Mg e o K, os quais ficam adsorvidos nos sítios de carga negativa dos colóides minerais e orgânicos dos solos (LOPES, 1998).

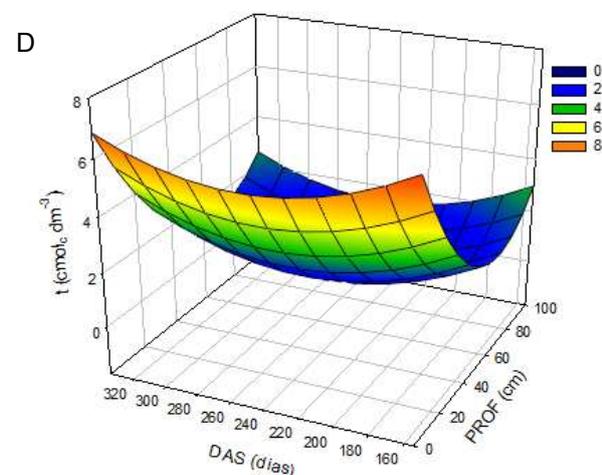
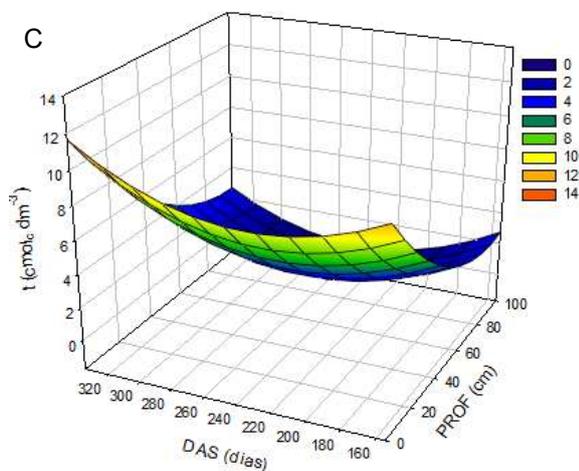
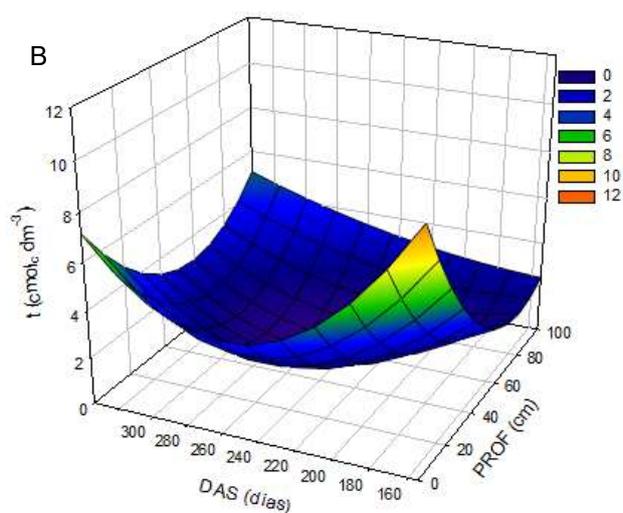
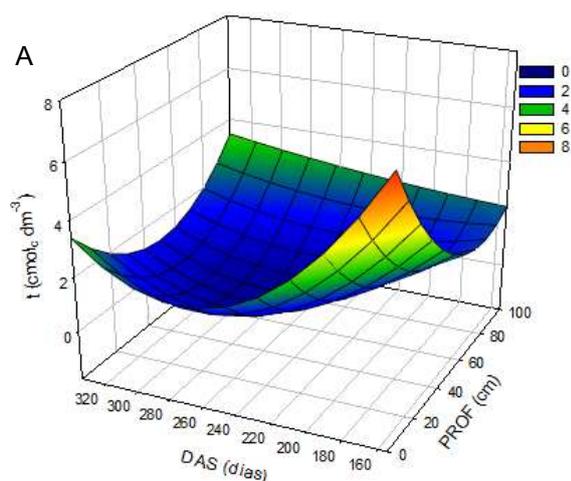
Pode-se observar pela Figura 4, que a CTC efetiva apresentou relação quadrática com a profundidade e com o tempo. Os menores valores de CTC efetiva foram obtidos nas camadas profundas do solo, o que

pode estar relacionado à maior absorção de Ca e Mg pelo capim e a um menor deslocamento no complexo de troca por outros cátions. O comportamento quadrático no tempo, a efeito do que ocorreu com as bases, pode estar relacionado com a aplicação diária de lâminas de efluente e sua supressão após o 185 DAS.

Tabela 3: valores médios da concentração de matéria orgânica nos solos submetidos aos diferentes tratamentos.

Tratamento	Valores Médios
T1	$\hat{m}_o = \bar{m}_o = 23,5270$
T2	$\hat{m}_o = \bar{m}_o = 23,7228$
T3	$\hat{m}_o = \bar{m}_o = 23,5799$
T4	$\hat{m}_o = \bar{m}_o = 23,5523$
T5	$\hat{m}_o = \bar{m}_o = 24,7932$

Ao final do período experimental, na profundidade de 0,10 m, nos solos submetidos aos Tratamentos T2, T3 e T4 foi verificada redução no valor da CTC efetiva em relação às condições iniciais. Desta forma, verifica-se que a aplicação de efluente de laticínio resultou em incrementos na CTC efetiva apenas no Tratamento T1. Em relação à Testemunha, verificaram-se incremento de 6% no solo submetidos ao Tratamento T1, e redução de 3,4%, 13,08% e 8,01% nos Tratamentos T2, T3 e T4, respectivamente.



E

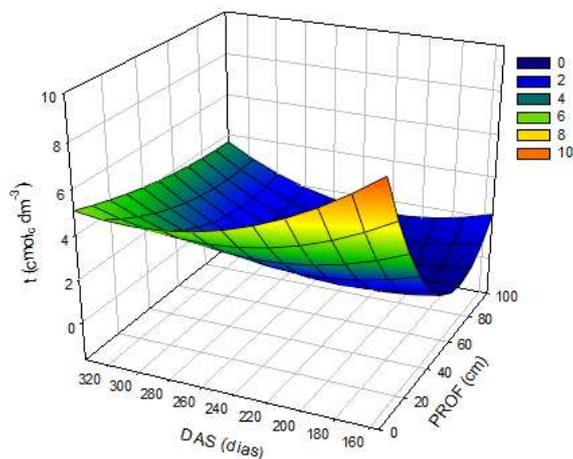


Figura 4: Variação nos valores de capacidade de troca catiônica efetiva (E), em função da profundidade (PROF) e dias após o semeio (DAS), nos solos submetidos aos Tratamentos 1 (A), 2 (B), 3 (C), 4 (D), e 5 (E).

Em relação às classes de interpretação da CTC efetiva, sugerida por CFSEMG (1999), ao final do período experimental, na profundidade de 0,10 m, os solos dos tratamentos que receberam água residuária mantiveram média CTC efetiva. Segundo Scherer et al. (1994), para que ocorresse efeito significativo na CTC, em decorrência à aplicação de efluentes, seria necessária aplicação de lâminas elevadas, de modo a aumentar o conteúdo de material orgânico de difícil degradação (ácidos fúlvicos, húmicos e húmica), o que não é o caso de águas residuárias submetidas ao tratamento prévio. Dessa forma, não seria esperado que, pelo menos em curto prazo, ocorressem aumentos significativos nos valores de CTC do solo pela aplicação de águas residuárias (MATOS, 2007; MATOS, 2014).

CONCLUSÕES

O efluente de laticínios apresenta salinidade alta ($CE = 2.025 \mu S \text{ cm}^{-1}$), indicado moderado grau de restrição de uso na irrigação por afetar a disponibilidade hídrica às plantas e, uma relação de adsorção de sódio alta ($RAS = 23,90$) que associada à elevada salinidade, o que causaria severa redução da infiltração de água no solo.

Em relação aos atributos avaliados, verificou-se que em relação às condições iniciais, o pH, matéria orgânica e CTC do solo não apresentaram variações significativas. Todavia, houve reduções nas concentrações de fósforo disponível e incrementos na concentração de potássio.

Assim, de acordo com as condições experimentais, e visando conservação ambiental, aplicação de efluente de laticínios fornecendo $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de sódio em solo cultivado com capim Mombaça pode se tornar uma recomendação técnica para tratamento e reaproveitamento destes efluentes.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, L. A. V.; REED, D. W.. Growth and nutrition of young bean plants under high alkalinity as affected by mixtures of ammonium, potassium, and sodium. *Journal of Plant Nutrition*, n.33, p.1472-1488, 2010.

ALENCAR, C. A. B.; OLIVEIRA, R. A.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; CUNHA, F. F.. Comportamento do sistema radicular de

capins manejados por pastejo submetidos a diferentes lâminas de irrigação. *Engenharia na agricultura*, Viçosa, v.18, n.5, p.429-437, 2010.

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. New York: APHA; AWWA; WPCR, 2012.

- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W.. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999.
- BERWANGER, A. L.. **Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com o uso de dejetos líquidos de suínos**. Santa maria, SC. 2006. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- CALVALCANTI, J. E. W. A.. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. 2 ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica, 2012.
- CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. M. G.. A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. **Bioresource Technology**, New York, v.97, n.17, p.2195-2210, 2006.
- CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L.; BERWANGER, A. L.. Dejetos líquidos de suínos: I - perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1296-1304, 2005.
- CHATEAUBRIAND, A. D.. **Efeito de dejetos de suínos, aplicados em irrigação por sulco, na cultura do milho (Zea mays L)**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; Engenharia Agrícola; 1988.
- COSTA, F. A.; FRAÇA, G. E.; ALVES, V. M. C.. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Inf. Agropec.**, Belo Horizonte, v.12, n.139, 1986.
- CORAUCCI FILHO, B.. **Tratamento de esgoto doméstico por escoamento superficial**. Tese (Doutorado em Engenharia civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- DAL BOSCO, T. C. D.; IOST, C.; NOVAES, S. L.; CARNELLOSI, F. C.; EBERT, D. C.; SCHREINER, J. S.; SAMPAIO, S. S.. Utilização de água residuária de suinocultura em propriedade agrícola – Estudo de caso. **Irriga**, v.13, n.1, p.139-144, 2008
- DAUFIN, G.; ESCUDIER, J.P.; CARRERE, H.; BEROT, S.; FILLAUDEAU, L.; DECLOUX, M.. Recent and emerging applications of membrane processes in the food and dairy industry. **Food and Bioproducts Processing**, Orlando, v.79, n.2, p.89-102, 2001
- EMBRAPA. Centro Nacional De Pesquisa De Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.
- ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.467-477, 2010
- FELTON, G. K.. Soil hydraulic properties of reclaimed prime farmland. **Amer. Soc. Agric. Eng. Trans.**, v.35, n.3, p.871-877, 1992.
- FONSECA, A. F.; HERPIM, U.; PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J.. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agrícola**, v.64, n.2, p.194-209, 2007.
- GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C.. **A Importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Piracicaba: Informações agronômicas, 2001.
- JANK, L.; RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B.; RESENDE, M. D. V.; CHIARI, L.; CANÇADO, L. J.; SIMIONI, C.. Melhoramento genético de *Panicum maximum*. In: RESENDE, R. M. S.; VALLE, C. B.; JANK, L.. **Melhoramento de forrageiras tropicais**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2008. p.55-87.
- KIEHL, J. E.. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.
- KING, L. D. et al. Swine lagoon effluent applied to 'Coastal' Bermudagrass: II. Effects on soil. **Journal of Environmental Quality**, v.14, n.1, p.14-21, 1985.
- LARCHER, W.. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, Rimas Artes e Textos, 2006.
- LOPES, A. S.. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2 ed. Revisão e aplicação. Piracicaba: Potafos, 1998.
- MACAN, N. P. F.; GOMES, T. M.; ROSSI, F.; TOMMASO, G.. Desempenho da irrigação por gotejamento com o uso de efluente de laticínio tratado por processo biológico. **Irriga**, v.22, n.3, p.575-590, 2017.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A.. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.
- MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, v.23, p.758-762, 2005.
- MATOS, A. T.. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa: UFV, 2014.
- MATOS, A. T.. Disposição de águas residuárias no solo. **Engenharia na agricultura: Caderno Didático 38**. Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Viçosa: UFV, 2007.
- MELO, J. P. R.; JÚNIOR, J. A. S. O.; GONÇALVES, E. P.; VIANA, J. S.. Emergência e crescimento inicial do milho submetido à adubação com efluentes de origem láctea. **Global Science And Technology**, v.7, n.3, p.44-52, 2015.
- MESSIAS, A. S.; TÁVORA, B. E.; SILVA, R. C. R.; NASCIMENTO, A. E.. Percolação de sódio através de solos do Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, n.1, 2006.
- MONTAVALLI, P. P.; MILES, R. J.. Soil phosphorus fractions alter 111 years of animal manure and fertilizer applications. **Biologic Fertility Soils**, v.36, p.35-42, 2002.
- NILDO, S. D.; BLANCO, F. F.. Efeito dos sais no solo e na planta. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010.
- OLIVEIRA, J. F.; ALVES, S. M.; BATISTA, R. O.; LIMA, V. I.; DI

SOUZA, L.. Avaliação de sistema de tratamento de laticínio e o efeito do efluente gerado nos atributos físico-químico de um argissolo vermelho. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v.22, n.1, p.58-66, 2014.

OLIVEIRA, W.. **Uso de água residuária da suinocultura em pastagem da *Brachiária Decumbens* e Grama Estrela *Cynodom Plecctostachyum***. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

PIMENTEL, M. S.; POLLI, H.; LANA, Â. M. Q.. Atributos químicos do solo utilizando composto orgânico em consórcio de alface-cenoura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, p.225-232, 2009.

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A.. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1487-1492, 2004.

REDDY, K. R.. Land areas receiving organic wastes: Transformations and transport in relation to nonpoint source pollution. Environmental Impact of Nonpoint Source Pollution (eds. M. R. Overcash and J. M. Davidson). **Ann Arbor Sci., Ann Arbor, MI**, p.243-274, 1979.

ROSSI, F.; GOMES, T. M.; TOL, J. C. D. H. B.; FERRAZ, M. R.; AMBROSANO, E. J.. Fitoextração de sódio pelo cultivo do milho em sucessão a produção da beterraba irrigada com águas residuárias de origem agroindustrial. **Cadernos de Agroecologia**, v.9, n.4, 2015.

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

SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. N.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A.. Avaliação de alguns atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.26, n.6, p.940-947, 2010.

SARAIVA, C. B.; MENDONÇA, R. C. S.; SANTOS, A. L.; PEREIRA, D. A.. Consumo de água e geração de efluentes em uma

indústria de laticínios. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v.64, p.10-18, n.367-368, 2009.

SCALOPPI, E. J.. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.139, p.54-63, 1986.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.. Aproveitamento dos dejetos de suínos como fertilizante. In: **Dia de campo sobre manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA, 1994. p.33-37.

SILVA, A. A. F.; SOUZA, J. A. R.; CARVALHO, W. B.; MENDONÇA, R. B.; MOREIRA, D. A.. Distribuição da umidade do solo num sistema irrigado por gotejamento superficial com diferentes inclinações do terreno. **Engenharia na agricultura REVENG**, v.23 n.3, p.261-269, 2015.

SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V., FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S.; VELOSO, C. M.; SILVA, L. F. C.. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um Latossolo Bruno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p.2563-2572, 2008.

SILVA, J. G. D.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C.; PREVIERO, C. A.. Composição químico-bromatológica e produtividade do capim-Mombaça cultivado em diferentes lâminas de efluente do tratamento primário de esgoto sanitário. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 59, n.5, p. 606-613, 2012.

TOMÉ JÚNIOR, J. B.. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1997.

VELOSO, M. E. C.. **Efeito de diferentes qualidades de água sobre algumas propriedades físico-químicas de um Brunizem Avermelhado**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

VOURCH, M.; BALANNEC, B.; CHAUFER, B.; DORANGE, G.. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, Orlando, v.219, p.190-202, 2008.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.