

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM NITOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO APÓS A APLICAÇÃO DE EFLUENTE DOMÉSTICO TRATADO**Liliane Scabora Miotto¹, Paulo Sérgio Lourenço de Freitas², Juliana Voroniak³, João Danilo Barbieri⁴ & Ana Claudia Sossai Souza⁵

1 - Engenheira Agrícola, docente na UEM/Cidade Gaúcha – PR, liliscabora@hotmail.com.

2 - Engenheiro Agrícola, docente na UEM/Maringá – PR, psfрейtas@uem.br.

3 - Engenheira Agrônoma, doutoranda em agronomia pela UEM/Maringá – PR, juliana.voroniak@hotmail.com.

4 - Engenheiro Agrônomo, doutorando em agronomia pela UEM/Maringá – PR, joaodanilobarbieri@hotmail.com.

5 - Engenheira Agrônoma, doutoranda em agronomia pela UEM/Maringá – PR, ana_sossai87@hotmail.com.

Palavras-chave:

fertilidade
resíduo líquido
reúso

RESUMO

O reúso de efluente doméstico tratado no sistema solo-planta pode minimizar os impactos ambientais nas águas superficiais ou subterrâneas e complementar a adubação para as culturas agrícolas. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de doses crescentes de efluente doméstico sobre os atributos químicos (pH, sódio, cálcio, magnésio, potássio e fósforo) de um Nitossolo Vermelho Distroférico e a produção de matéria seca de plantas de milho do híbrido Biomatrix 3063 PRO 2. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se tubos de Policloreto de polivinila (PVC) com 0,25 m de diâmetro e 1 m de altura, preenchido com solo. Usou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas, sendo os fatores: cinco doses de efluente doméstico (0, 150, 300, 450 e 600 m³ ha⁻¹) e cinco profundidades (0–0,05; 0,05–0,10; 0,10–0,20; 0,20–0,40; 0,40–0,60 m), com quatro repetições. A semeadura do híbrido de milho de ciclo precoce foi realizada em 03/10/2014. As doses de efluente doméstico foram aplicadas após 15 dias da emergência das plantas. A aplicação do efluente doméstico não influenciou os parâmetros químicos do solo como pH, fósforo e potássio, entretanto elevou o teor de sódio. As doses crescentes do efluente doméstico não interferiram na produção de matéria seca da parte aérea do milho.

Keywords:

fertility
liquid waste
reuse

CHEMICAL ATTRIBUTES OF A RED DYSTROFERRIC NITOSOL AFTER APPLICATION OF TREATED DOMESTIC EFFLUENT**ABSTRACT**

Reusing domestic effluent treated in the soil-plant system can minimize impacts on surface water or groundwater and supplement fertilization for agriculture. In this sense, the objective of the present work was to evaluate the effects of the application of increasing doses of domestic effluent on the chemical attributes (pH and content of sodium, calcium, magnesium, potassium and phosphorus) of a Red Dystrophic Nitosol and the dry-matter yield of plants of the hybrid Biomatrix 3063 PRO 2 maize. The experiment was conducted in a greenhouse using Polyvinyl chloride (PVC) with 0.25 m in diameter and 1 m in height, pipes filled with soil. The experiment was arranged in a completely randomized design, in a subdivided plot scheme, with the following factors: five doses of domestic effluent (0, 150, 300, 450 and 600 m³ ha⁻¹) and five depths (0 -0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20, 0.20-0.40, 0.40-0.60 m), with four replicates. Early cycle hybrid corn sowing was carried out on 03/10/2014. The doses of treated domestic effluent were applied 15 days after emergence of the plants. The application of the domestic effluent did not influence the soil chemical parameters such as pH, phosphorus and potassium, however, the sodium content increased. Increasing doses of the domestic effluent did not interfere in the production of the aerial part of maize dry-matter.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o descarte de resíduos líquidos gerados no processo industrial, urbano e agrícola tornou-se uma questão constantemente discutida, principalmente devido aos impactos negativos que a disposição inadequada desses resíduos pode gerar ao ambiente. Neste contexto, o reúso desses resíduos na agricultura destaca-se como uma prática sustentável ao descarte final, visto que o solo funciona como elemento purificador, em que o sistema solo-planta atua como um reator renovável (AZEVEDO et al., 2013; COSTA et al., 2014).

O uso de fontes alternativas de água na agricultura reitera o grande potencial de minimizar a poluição dos recursos hídricos. Outro benefício a ser destacado é que, quando essa atividade é realizada de forma adequada, pode complementar a necessidade de adubação, em virtude do fornecimento de nutrientes como K^+ , P , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Na^+ e o incremento do pH do solo (SILVA et al., 2014; PRIOR et al., 2015; ESPER NETO et al., 2016).

O efluente doméstico tratado é um resíduo líquido gerado diariamente e em grandes volumes pelas estações de tratamento de esgoto. Este resíduo se destaca por possuir nutrientes em sua composição, que podem auxiliar no desenvolvimento das plantas, e conseqüentemente reduzir custos com a aquisição de fertilizantes agrícolas pelos agricultores (ANDRADE FILHO et al., 2013; MALAFAIA et al., 2016).

Diversas pesquisas têm evidenciado o potencial uso desse efluente na agricultura, por estas águas aumentarem, por exemplo, concentrações de P , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} trocáveis, MO e N -total (ANDRADE FILHO et al., 2013; MENDES et al., 2016; NASCIMENTO & FIDELES FILHO, 2015).

Mendes et al. (2016) constataram que a aplicação de efluente doméstico tratado promoveu aumento do teor de macronutrientes no solo, especialmente em relação a fósforo e potássio, e da razão de adsorção de sódio e percentagem de sódio trocável do solo. Entretanto, esse aumento de sódio não apresentou risco de salinização e sodificação do solo.

De acordo com Costa et al. (2014), a aplicação de esgoto doméstico primário na cultura do milho

proporcionou maiores valores de altura de planta, número de folhas e produtividade de grãos. Costa et al. (2012) ressaltam que a adubação mineral do milho pode ser substituída em parte pela adição de água residuária doméstica tratada.

Apesar dos benefícios que o uso de resíduos pode proporcionar à agricultura, paralelamente, existe o risco de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, além de causar toxicidade às plantas, principalmente quando o efluente doméstico tratado é disposto no solo sem especificações agronômicas e ambientais. Um das principais limitações do efluente doméstico é a alta concentração de sódio (acima de 60 mg L^{-1}), o que pode ocasionar problemas de salinidade, especificamente quando aplicado em grandes quantidades e frequência ao solo (LEAL et al., 2009; BLUM et al., 2013).

Dependendo do grau de salinidade gerada pela disposição inadequada do efluente doméstico no solo, poderá afetar negativamente o crescimento das plantas, devido ao aumento da pressão osmótica do meio de cultivo, que atua negativamente sobre os processos fisiológicos das plantas, reduzindo a absorção de água pelas raízes (LIMA et al., 2015).

Além disso, a aplicação constante de efluentes, durante longos períodos, pode resultar em acúmulo de nutrientes acima das necessidades nutricionais das plantas (PRIOR et al., 2015).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivos avaliar os efeitos da aplicação de doses crescentes (0 a $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) de efluente doméstico tratado, em colunas de solo no interior de casa de vegetação, sobre os atributos químicos de cinco camadas do solo ($0,0-0,05$; $0,05-0,10$; $0,10-0,20$; $0,20-0,40$ e $0,40-0,60 \text{ m}$) e sobre a matéria seca das plantas de milho (*Zea mays* L.).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro Técnico de Irrigação (CTI) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil, no período de setembro a dezembro de 2014, sendo as coordenadas geográficas $23^\circ 23' 57''$ latitude sul e $51^\circ 57' 05''$ longitude oeste.

O clima da região é do tipo Cfa Mesotérmico Úmido, caracterizado por chuvas abundantes no

verão e invernos secos, segundo a classificação de Köppen's (ALVARES, 2014). As médias de precipitação pluviométrica anual são de 1500 mm, mantendo temperatura média de 28 a 29° C (CAVIGLIONE *et al.*, 2000).

O solo utilizado no experimento é classificado pela Embrapa (2013) como Nitossolo Vermelho Distroférico, com textura argilosa (71% de argila, 23% de areia e 6% de silte).

O solo foi coletado em setembro de 2014 nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, e posteriormente foi seco, destorroado, peneirado (malha de 4 mm) e homogeneizado. As análises químicas iniciais das camadas de solo (Tabela 1) foram realizadas no Laboratório de Agroquímica e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Maringá.

As colunas de solo foram acondicionadas no interior de tubos de PVC (0,25 m de diâmetro, 1 m de altura), constituindo as unidades experimentais. Estas estruturas foram dispostas na vertical sobre uma estrutura de apoio de 0,15 m de altura e distribuídas em duas linhas.

Na base das colunas, foram adaptadas telas de náilon (malha de 1 mm), sob uma camada de lâmina de material filtrante (Bidim), para evitar extravasamento de material sólido. Após 36 horas, as colunas foram então preenchidas com as cinco camadas de solo (0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m), que foram depositadas de forma gradual, restabelecendo-se por compactação a densidade aparente natural das amostras. Posteriormente, foram adicionados 5,0

L de água de poço profundo em cada coluna para acomodar o solo.

Vinte dias após a instalação das colunas de solo, o híbrido de milho Biomatrix 3063 PRO 2, de ciclo precoce, destinado para a produção de silagem, foi semeado (03/10/2014) manualmente nas colunas, sendo dispostas seis sementes por vaso (tubo de PVC) a 3 cm de profundidade. Decorridos cinco dias da semeadura (08/10/2014), ocorreu a emergência das plântulas, e, no estágio V1, foi realizado o desbaste, deixando-se uma planta de milho por vaso. Após 15 dias da emergência, realizou-se a aplicação dos tratamentos.

Os tratamentos foram constituídos por doses crescentes de efluente doméstico tratado (ED), equivalentes a 0, 150, 300, 450 e 600 m³ ha⁻¹. A aplicação do efluente nos tratamentos ocorreu manualmente sobre a superfície das colunas de solo com auxílio de regador e sem incorporação.

O ED aplicado foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto Sul (ETE - Sul) da SANEPAR de Maringá – Paraná, proveniente da última fase do tratamento do esgoto doméstico (lagoa de maturação). Na retirada do efluente doméstico da lagoa, foi utilizada uma bomba submersa, e, para o transporte até a área experimental, utilizaram-se galões de 100 L.

A análise química do efluente foi realizada no Laboratório de Caracterização e Reciclagem de Resíduos, do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá (DAG/UEM), por meio das metodologias Apha, Awwa e Wef (2012), cujas características são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1. Caracterização química inicial do solo em diferentes camadas

Parâmetros	Camadas (m)				
	0–0,05	0,05–0,10	0,10–0,20	0,20–0,40	0,40–0,60
pH água	5,66	5,49	5,29	5,01	4,85
Al ³⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,02	0,07	0,14	0,16	0,15
C (g.dm ⁻³)	15,89	15,42	15,21	15,13	15,15
P (mg.dm ⁻³)	43,26	25,46	22,56	22,07	20,70
Ca ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	7,34	6,81	6,41	6,44	6,57
Mg ²⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	5,07	4,43	4,33	4,41	4,51
K ⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	0,95	0,80	0,69	0,76	0,82
Na ⁺ (cmol _c .dm ⁻³)	1,14	0,95	0,78	0,66	0,54

pH: potencial hidrogeniônico, Al³⁺: alumínio, C: carbono, P: fósforo, Ca²⁺: cálcio, Mg²⁺: magnésio, K⁺: potássio, Na⁺: sódio.

Tabela 2. Caracterização química do efluente doméstico tratado utilizado no experimento

Parâmetros	Efluente doméstico
Temperatura	22 °C
pH	7,2
CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	842,8
P ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	3,18
K ⁺ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	20,0
Ca ²⁺ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	8,8
Mg ²⁺ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	0,84
N – total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	28,0
Na ⁺ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	76,0

A umidade do solo durante o período entre a semeadura do milho e o término do experimento foi mantida por meio de irrigação manual periódica. A quantidade de água a ser repostada foi medida pesando-se uma coluna de solo controle, diariamente. O peso definido como padrão para o cálculo da quantidade de água foi determinado pesando-se a coluna de solo controle após três dias de sua saturação, ou seja, quando o solo atingiu sua capacidade campo. Não houve percolação durante as irrigações.

Sessenta e seis dias após a semeadura, foram retiradas amostras de solo, por meio de um trado holandês, em cinco profundidades do perfil: 0–0,05; 0,05–0,10; 0,10–0,20; 0,20–0,40; 0,40–0,60 m. Posteriormente, as amostras de solo foram enviadas ao Laboratório de Análise de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual de Maringá (UEM) – Maringá – PR, para determinação de pH, Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺), Potássio (K⁺), Fósforo (P) e Sódio (Na⁺), de acordo com as metodologias descritas pela Embrapa (2013).

A coleta da parte aérea das plantas de milho foi realizada no dia 08/12/2014, 66 dias após a semeadura. As plantas foram cortadas rentes ao solo, sendo separados caule, folha e espiga. Em seguida, o material foi colocado em estufa de circulação forçada de ar, em temperatura de 65 °C, até peso constante, para a obtenção da Matéria Seca total (MS). Ao todo, foram coletadas 20 plantas, correspondentes ao número de tratamentos

e repetições.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas foram avaliadas cinco doses de efluente doméstico (0, 150, 300, 450 e 600 m³.ha⁻¹) e, na subparcela, cinco profundidades de amostragem (0–0,05; 0,05–0,10; 0,10–0,20; 0,20–0,40; 0,40–0,60 m).

Os resultados de atributos químicos do solo e matéria seca foram submetidos à ANOVA e os fatores qualitativos significativos foram submetidos ao teste Tukey em nível de 5% de probabilidade, já os fatores quantitativos foram submetidos à análise de regressão ($p < 0,5$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH do solo foi significativo somente para o fator camada, já a aplicação de crescentes doses de efluente doméstico não promoveu efeitos significativos sobre os valores de pH da solução do solo (Tabela 3), este fato pode ter ocorrido devido ao poder tampão do solo, em razão da elevada CTC, que é em torno de 13 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$.

Outra possível explicação para a ausência de efeito no pH se deve à ausência de compostos de consumo de prótons em quantidade suficiente para causar um impacto significativo na acidez do solo, conforme foi observado por Silvano et al. (2018), ao aplicar lodo de indústria de gelatina em solo tipo Nitossolo no cultivo de milho.

Tabela 3. Análise de variância para o pH, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e P do solo do interior das colunas

Fonte de Variação	GL	Valores calculados de F					
		pH	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P
Dose de efluente (A)	4	0,0692 ^{NS}	0,0025*	0,0044*	0,0006*	0,0945 ^{NS}	0,3017 ^{NS}
Camada de solo (B)	4	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*	0,0000*
A*B	16	0,1335 ^{NS}	0,4254 ^{NS}	0,0056*	0,0086*	0,2368 ^{NS}	0,0820 ^{NS}
Média geral		5,8	1,09	4,3	3,1	0,29	25,2
CV (%) 1		7,9	36,5	18,2	8,2	34,2	35,3
CV (%) 2		5,1	20,7	6,1	6,3	38,5	27,4

NS não significativo e *significativo ao nível de 5% pelo teste f. CV 1 - Coeficiente de variação da parcela (dose); CV 2 - Coeficiente de variação da subparcela (profundidade).

Estes resultados corroboram os estudos realizados por Cabral *et al.* (2014), com a aplicação de esterco líquido suíno (0 150, 300, 450, 600, 750 m³ ha⁻¹); Andrade Filho *et al.* (2013), com águas residuárias de origem doméstica (diluições do efluente doméstico (25% - T1, 50% - T2, 75% - T3 e 100% das águas residuárias - T4 e abastecimento de água + adubação mineral do solo - T5), em Latossolo; e Barreto *et al.* (2013), com aplicação de água residuária doméstica (T1 - irrigação com água residuária + cultivo de mamoneira; T2 - irrigação com uma mistura de água residuária e água de abastecimento, na proporção 1:1 (v/v) + cultivo de mamoneira; T3 - irrigação com água de abastecimento, + cultivo da mamoneira; T4 - aplicação de água residuária, sem cultivo de mamoneira), em Neossolo Flúvico cultivado com mamoneira.

O pH no perfil do solo diminuiu significativamente com o aumento da profundidade, sendo que a camada de 0–0,05 m apresentou valor de pH superior às demais; já a camada 0,05–0,10 m foi maior que as camadas de 0,10–0,20, 0,20–0,40 e 0,40–0,60 e a camada de 0,10–0,20 m foi maior que as de 0,20–0,40 e 0,40–0,60 m. Este comportamento corrobora a condição inicial do perfil do solo (Tabela 1), no qual apresenta decréscimo dos valores de pH em profundidade.

Os fatores dose de efluente e profundidade foram significativos sobre o teor de sódio. O ajuste do modelo de regressão para a dose foi linear crescente, significativo em nível de 5% (Figura 1).

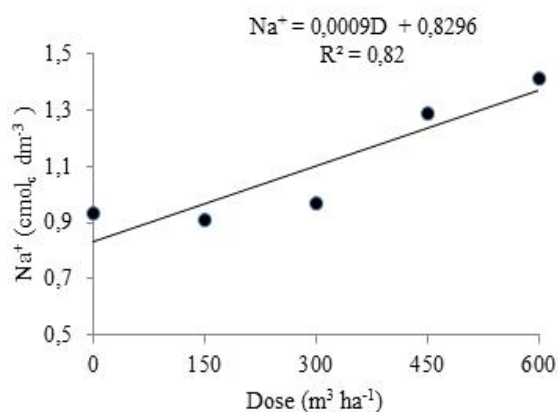


Figura 1. Valores médios de sódio em função da aplicação de efluente doméstico em Nitossolo nas doses: 0, 150, 300, 450 e 600 m³ ha⁻¹.

Excesso de sais no solo, sobretudo o Na⁺, podem aumentar a salinidade e a sodicidade deste, acarretando alterações em suas características físicas e químicas, devido à dispersão de argilas, o que não ocorreu no presente estudo. A quantidade de Na⁺ aplicado em cada tratamento, cuja concentração no ED era de 76 mg.dm⁻³, totalizou nos tratamentos 150, 300, 450 e 600 m³ ha⁻¹ as quantidades de 55,96, 111,47, 167,8 e 223,44 mg de Na⁺, respectivamente, por unidade experimental.

A elevada concentração de Na⁺ aplicada via efluente, em relação à concentração de Ca²⁺ e Mg²⁺, pode originar trocas destes dois últimos cátions pelo íon sódio no solo, como foi observado por Hayes *et al.* (1990), promovendo a redução da disponibilidade destes nutrientes e possível sodificação do solo.

Incrementos nos teores de Na⁺ do solo também

foram obtidos em estudos com efluente doméstico (AZEVEDO et al., 2013; MENDES et al., 2016), água residuária de suinocultura (HOMEN et al., 2014) e manípueira (DUARTE et al., 2013), demonstrando dessa forma que a aplicação de resíduos deve ser realizada em volumes controlados, para que não ocorra a sodificação do solo.

O Na⁺ no perfil do solo diminuiu significativamente conforme o aumento da profundidade. As camadas de 0–0,05 e 0,05–0,10 apresentaram valores estatisticamente superiores às demais; já na camada 0,10–0,20, o valor de Na⁺ foi superior às de 0,20–0,40 e 0,40–0,60 m, fato que pode ser justificado pela aplicação do efluente na camada superficial e baixa mobilidade do sódio no perfil do solo.

Os efeitos da aplicação de ED sobre a

concentração de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo foram significativos para todos os fatores analisados (Tabela 3). Como a interação foi significativa, isso indica que os fatores dose e camada agem de modo dependente sobre a concentração de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo.

Para estudar o comportamento das doses dentro de cada camada, foi realizada a análise de variância das concentrações de Ca²⁺ e Mg²⁺ no solo para o desdobramento dose dentro de cada nível de camada. Para a variável Ca²⁺, houve efeito significativo das doses para as camadas 0–0,05, 0,10–0,20 e 0,40–0,60 m (Figuras 2A, 2B, 2C). Para o Mg²⁺, houve efeito significativo das doses apenas para as camadas 0,10–0,20 e 0,40–0,60 m (Figuras 2D e 2E). O modelo de regressão ajustável foi o linear decrescente.

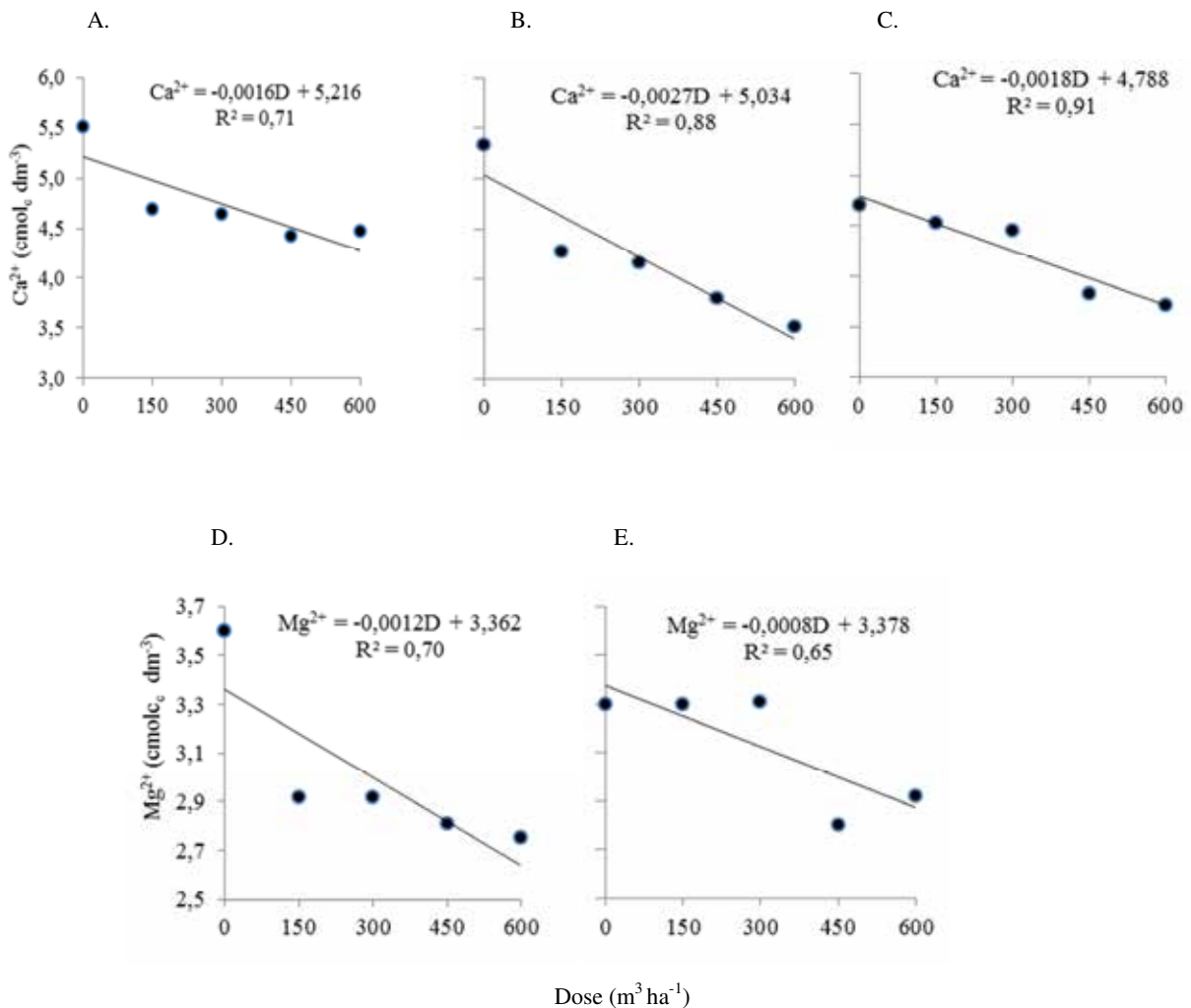


Figura 2. Valores médios de Ca²⁺ em função das doses de ED nas camadas 0–0,05 m (A), 0,10–0,20 m (B) e 0,40–0,60 m (C) e de Mg²⁺ nas camadas 0,10–0,20 m (D) e 0,40–0,60 m (E).

Os valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} decrescem linearmente em função das doses crescentes de ED, que se deve à entrada de Na^+ via efluente, que pode substituir o Ca^{2+} e o Mg^{2+} na superfície dos coloides, com redução da disponibilidade destes nutrientes. Outra provável explicação é a maior absorção de Ca^{2+} e Mg^{2+} pelas plantas nos tratamentos que receberam as maiores doses, pois se verificou uma tendência de acréscimo na produção de MS nos tratamentos que receberam as maiores doses.

Embora a aplicação de doses crescentes de efluente doméstico tenha reduzido os valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , verifica-se que não foram observados prejuízos à fertilidade do solo, visto que mesmo as menores concentrações ($3,52 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} , na dose $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ na camada de $0,10\text{--}0,20$, e $2,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg^{2+} , na dose $450 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ na camada $0,40\text{--}0,60$ m) ainda são níveis adequados, segundo Serrat *et al.* (2006).

As concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram menores nos tratamentos T4 e T5 (450 e $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$); comportamento contrário foi observado para o Na^+ , no qual a concentração deste foi maior para os tratamentos T4 e T5.

Hayes *et al.* (1990), ao estudarem a aplicação de efluente de esgoto doméstico no solo, verificaram que os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram reduzidos devido ao aumento de Na^+ , que deslocou os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} do complexo de troca. Esper Neto *et al.* (2016) também constataram redução dos teores de Ca^{2+} nas camadas de $0\text{--}0,20$ e $0,20\text{--}0,40$ m com a aplicação de efluente de indústria farmacêutica.

A disposição de águas residuárias no meio agrícola pode promover problemas com sodicidade, principalmente quando o resíduo aplicado é o ED, devido à concentração de sódio que, normalmente, tal resíduo apresenta. Em virtude disso, a razão de adsorção de sódio (RAS) tem sido utilizada para

a caracterização de solos sódicos e águas para irrigação. A seguir (Tabela 4), são apresentados os valores de RAS do estrato aquoso do solo do presente estudo.

Os tratamentos que receberam as doses de 400 e $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de ED apresentaram RAS mais elevadas, isso ocorre em virtude da maior proporção de sódio em relação ao Ca^{2+} e Mg^{2+} , em comparação aos outros tratamentos. Esse fato é explicado pela maior dosagem de Na^+ adicionado via efluente doméstico nesses tratamentos. As camadas superficiais ($0,0\text{--}0,05$ e $0,05\text{--}0,10$ m) apresentam RAS mais elevadas, em comparação às camadas mais profundas, ou seja, a concentração de Na^+ na solução do solo é maior quando relacionada com as concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} nas camadas superficiais, possivelmente devido à disposição do resíduo em superfície.

De acordo com Rengasamy (2010), um solo é considerado sódico se a RAS for superior a 6 mmol L^{-1} , fato que não ocorreu no presente estudo, indicando que as doses crescentes de ED não promoveram problemas de sodicidade no solo.

A aplicação de doses crescentes de ED não apresentou efeito nos teores de K^+ do solo. Existem vários estudos que avaliam os teores de K^+ no solo, correlacionando-os com a aplicação de efluentes tratados na agricultura, entretanto, por vezes, os resultados são antagônicos em virtude da dinâmica do K^+ no sistema solo-planta.

Resultados semelhantes ao presente trabalho foram encontrados por Kouraa *et al.* (2002) e Mendes *et al.* (2016), que não verificaram diferença estatística nos teores de K^+ entre os tratamentos com água de abastecimento e efluente de esgoto doméstico tratado. Entretanto, Garcia *et al.* (2012) constataram acréscimo no teor de K^+ , com a aplicação de doses crescentes de esgoto doméstico

Tabela 4. Razão de adsorção de sódio no solo (mmol L^{-1})^{0,5}, sob tratamento com ED

Dose ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Camadas de solo (m)				
	0,0 - 0,05	0,05 - 0,10	0,10 - 0,20	0,20 - 0,40	0,40 - 0,60
0	2,02	2,25	1,52	0,84	0,48
150	2,44	2,13	1,40	0,65	0,58
300	2,70	2,09	1,74	0,82	0,58
450	2,74	2,70	2,16	1,68	1,54
600	3,27	3,27	2,18	1,63	1,49

tratado, em solos cultivados com Tifton 85 e Capim Marandu.

A concentração de K^+ na camada de solo de 0–0,05 m foi superior às demais, já a camada 0,40–0,60 m foi maior e diferiu de 0,10–0,20 m. Tanto a camada 0–0,05 m quanto a de 0,40–0,60 m apresentaram concentrações de K^+ maiores que $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, constatando-se a ocorrência de lixiviação deste íon no perfil do solo. O K^+ é considerado móvel no solo, estando sujeito a lixiviação. A lixiviação de K^+ será maior quanto mais expressiva for a presença em solução de ânions, com menor capacidade de adsorção (MAGGI et al., 2011).

A concentração de P no solo não apresentou variações significativas com a aplicação de doses crescentes de ED, o mesmo foi observado por Kouraa et al. (2002), que, ao irrigarem batatinha e alface com esgoto bruto, água residuária tratada e água potável, constataram que, em um ano de cultivo, não houve alterações nos teores de P do solo.

Para ocorrer mudanças nas características químicas do solo, são necessários vários anos de irrigação, pois a dinâmica do P ocorre lentamente (KOURAA et al., 2002), fato observado no presente estudo, pois houve apenas uma aplicação de ED no solo após a semeadura da cultura do milho e a condução do experimento foi em curto prazo (apenas 61 dias). Desse modo, tornam-se necessários estudos em longo prazo, para melhor compreender a dinâmica do P no solo. No entanto, Nascimento & Fideles Filho (2015) relatam que, mesmo em pequeno tempo de aplicação, observaram acréscimos nos teores de P após aplicação de água residuária doméstica proveniente do reator UASB e filtro em série, e Esper Neto et al. (2016) com efluente de indústria farmacêutica.

A concentração de P na camada de 0–0,05 m foi maior que nas demais camadas de solo, provavelmente devido à disposição do efluente na camada superficial e à textura argilosa do solo, que possui alto grau de adsorção específica de P, prejudicando a movimentação no perfil do solo. Esse resultado é importante na perspectiva ambiental, visto que evidencia o baixo risco de contaminação das águas subterrâneas por P, elemento diretamente envolvido no processo de

eutrofização (SILVANO et al., 2018).

Esper Neto et al. (2016) registraram incrementos de P basicamente na camada superficial de um Latossolo Vermelho Distroférico com aplicação de efluente de indústria farmacêutica. Silvano et al. (2018) constataram que os efeitos da aplicação de lodo de indústria de gelatina ficaram restritos basicamente à camada mais superficial de um Nitossolo, não havendo significativa migração do nutriente para camadas inferiores do perfil.

A produção de matéria seca do milho até 66 dias após a semeadura não apresentou diferenças com a aplicação de doses crescentes de ED (Tabela 5), provavelmente devido à fertilidade inicial do solo ser adequada ao cultivo do milho, aliado à baixa concentração de alguns elementos químicos no ED, como de Ca^{2+} , P e Mg^{2+} , que apresentaram concentrações de 8,8, 3,18 e 0,84 mg L^{-1} respectivamente (Tabela 2).

Tabela 5. Análise de variância para a produção de matéria seca (MS) da parte aérea do milho, sob tratamento de ED em colunas de solo aos 66 dias após a semeadura

Fonte de Variação	G.L	Valor calculado de F
Doses	4	0,2300 ^{NS}
Erro	15	
CV (%)		16,17

NS: não significativo ao nível de 5% pelo teste f.

Entretanto, constatou-se tendência de aumento de MS, em função das maiores doses de ED, em que se observa uma variação de 7.800 kg ha^{-1} na dose de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (156 g por planta) até 9.950 kg ha^{-1} para a dose de $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (199 g por planta).

Já em um estudo realizado por Costa et al. (2014) com o objetivo de verificar a produção do milho fertirrigado com esgoto doméstico com tratamento primário, constataram-se maiores valores de altura de planta, diâmetro do caule e número de folhas, quando comparado aos tratamentos que receberam água do poço artesiano. Rebouças et al. (2010) observaram que, com o aumento da taxa do efluente doméstico aplicado ao Feijão-Caupi, as plantas apresentaram incremento na produção de matéria seca da raiz, caule e folha. Entretanto, Fonseca (2001) verificou que, quando as plantas foram

adequadamente fertilizadas, a produção de matéria seca da cultura do milho não foi influenciada pela irrigação com diferentes proporções de efluente de esgoto tratado.

CONCLUSÕES

- A aplicação de doses crescentes do efluente doméstico tratado elevou os teores de sódio no solo.
- Os valores de cálcio nas camadas 0-0,05, 0,10-0,20 e 0,40-0,60 m e de magnésio nas camadas 0,10-0,20 e 0,40-0,60 m reduziram-se com a aplicação de doses crescentes de efluente doméstico tratado.
- A aplicação de efluente doméstico não interferiu na quantidade de matéria seca da parte aérea do milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2014.
- ANDRADE FILHO, J.; SOUSA NETO, O.N.; DIAS, N.S.; NASCIMENTO, I.B.; MEDEIROS, J.F.; COSME, C.R. Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. **Irriga**, Botucatu, v.18, n.4, p.661-674, 2013.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22 nd ed. Washington: American Public Health Association, 2012, 1360.
- AZEVEDO, J.; DUTRA, I.C.B.; COSTA, F.G.B.; BATISTA, R.O.; COSTA, L.R. Alterações químicas de cambissolo fertirrigado com água residuária doméstica tratada. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Patos, v.9, n.2, p.66-76, 2013.
- BARRETO, N.A.; NASCIMENTO, J.J.V.R.; MEDEIROS, E.P.; NÓBREGA, J.A.; BEZERRA, J.R.C. Changes in chemical attributes of a Fluvent cultivated with castor bean and irrigated with wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.5, p.480-486, 2013.
- BLUM, J.; MELFI, A.J.; MONTES, C.R.; GOMES, T.M. Nitrogen and phosphorus leaching in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.117, p.115-122, 2013.
- CABRAL, J.R.; FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R.; MUNIZ, A.S.; BERTONHA, A. Changes in chemical properties of dystrophic Red Latosol as result of swine wastewater application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.2, p.210-216, 2014.
- CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.
- COSTA, M.S.; COSTA, Z.V.B.; ALVES, S.M.C.; FERREIRA NETO, M.; MARINHO, M.J.C. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, edição especial, v.1, n.1, p.12-26, 2012.
- COSTA, Z.V.B.; GURGEL, M.T.; COSTA, L.R.; ALVES, S.M.C.; FERREIRA NETO, M.; BATISTA, R.O. Efeito da aplicação de esgoto doméstico primário na produção de milho no assentamento Milagres (Apodi-RN). **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.9, n.4, p.737-751, 2014.
- DUARTE, A.S.; ROLIM, M.M.; SILVA, E.F.F.; PEDROSA, E.M.R.; ALBUQUERQUE, F.S. Alterações dos atributos físicos e químicos de um neossolo após aplicação de doses de manipueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.9, p.938-946, 2013.

- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 a edição. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013, 353p.
- ESPER NETO, M.; BATISTA, M.A.; INOUE, T.T.; BERTONHA, A.; COSTA, A.C.S. Soil chemical attributes of a dystroferic red latossol (oxisol) treated with na alkaline effluente from a pharmaceutical industry. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.37, n.5, p.3037-3046, 2016.
- FONSECA, A.F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. 2001. 110f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2001.
- GARCIA, G.O.; RIGO, M.M.; CECÍLIO, R.A.; REIS, E.F.; BAUER, M.O.; RANGEL, O.J.P. Propriedades químicas de um solo cultivado com duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, 7 (suplemento), p.737-742, 2012.
- HAYES, A.R.; MANCINO, C.F.; PEPPER, I.L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: I. Soil and leachate water quality. *Agronomy Journal*, v.82, n.5, p.939-946, 1990.
- HOMEN, B.G.C.; ALMENIDA NETO, O.B.; CONDÉ M.S.; SILVA, M.D.; FERREIRA, I.M. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um latossolo vermelho-amarelo. *Científica*, Jaboticabal, v.42, n.2, p.299-309, 2014.
- KOURAA, A.; FETHI, F.; LAHLOU, A.; OUZZANI, N. Reuse of urban wastewater by combined stabilization pond system en Benslimane (Marocco). *Urban Water*, Amsterdam, v.4, n.4, p.373-378, 2002.
- LEAL, R.M.P.; HERPIN, U.; FONSECA, A.F.; FIRME, L.P.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J. Sodicity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management*, Amsterdam v.96, n.2, p.307-316, 2009.
- LIMA, L.A.; OLIVEIRA, F.A.; ALVES, R.C.; LINHARES, P.S.F.; MEDEIROS, A.M.A.; BEZERRA, F.M.S. Tolerância da berinjela à salinidade da água de irrigação. *Revista Agro@mbiente*, Boa Vista, v.9, n.1, p.27-34, 2015.
- MAGGI, C.F.; FREITAS, S.P.L.; SAMPAIO, S.C.; DIETER, J. Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, v.15, n.2, p.170-177, 2011.
- MALAFAIA, G.; ARAÚJO, F.G.; LEANDRO, W.M.; RODRIGUES, A.S.L. Teor de nutrientes em folhas de milho fertilizado com vermicomposto de lodo de curtume e irrigado com água residuária doméstica. *Revista Ambiente e Água*, Taubaté, v.11, n.4, p.799-809, 2016.
- MENDES, P.E.F.; BASTOS, R.G.; SOUZA, C.F. Efluente tratado na agricultura: aspectos agronômicos e sanitários no cultivo do rabanete. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, v.10, n.1, p.428-438, 2016.
- NASCIMENTO, J.S.; FIDELES FILHO, J. Crescimento, produção e alterações químicas do solo em algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. *Revista Caatinga*, Mossoró, v.28, n.2, p.36-45, 2015.
- PRIOR, M.; SAMPAIO, S.C.; NÓBREGA, L.H. P.; DIETER, J.; COSTA, M.S.S.M. Estudo da associação de água residuária de suinocultura e adubação mineral na cultura do milho e no solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.35, n.4, p.744-755, 2015.
- REBOUÇAS, J.R.L.; DIAS, N.S.; GONZAGA, M.I.S.; GHEYI, H.R.; NETO, O.N.S. Crescimento do Feijão-Caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. *Revista Caatinga*, Mossoró, v.23, n.1, p.97-102, 2010.

RENGASAMY P. Soil processes affecting crop production in salt-affected soils. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v.37, n.7, p.613-620, 2010.

SERRAT, B.M.; KRIEGER, K.; MOTTA, A.C.V. Considerações sobre interpretação de análise de solos (com exemplos). **In:** LIMA, M.R. (Ed.) Manual de diagnóstico da fertilidade e manejo dos solos agrícolas. Curitiba, UFPR/Setor de Ciências Agrárias. p.125-142, 2006.

SILVA, A.P.M.; BONO, J.A.M.; PEREIRA, F.A.R.

Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.1, p.38-43, 2014.

SILVANO, C.; FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R.; MIOTO, L.S.; DALLACORT, R. Application effect of different rates of wastewater from gelatin production in the chemical attributes of the soil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.38, n.4, p.606-615, 2018.