

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

**JERÔNIMO ANDRADE FILHO¹; OSVALDO NOGUEIRA DE SOUSA NETO²;
NILDO DA SILVA DIAS²; IARAJANE BEZERRA DO NASCIMENTO²; JOSÉ
FRANCISMAR DE MEDEIROS² E CHRISTIANO REBOUÇAS COSME²**

¹Universidade Potiguar, UNP, Av João da Escóssia, 1561, CEP 59607-330, Mossoró, RN. Fone: (84) 3323-8200. E-mail: jeronimoandrade@hotmail.com.

²Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Ciências Ambientais, Caixa Postal 137, CEP 59625-900, Mossoró, RN. Fone: (84) 3315-1741. E-mail: neto_ufersa@hotmail.com, nildo@ufersa.edu.br, iarajane@hotmail.com, jfmedeir@ufersa.edu.br e christianoreboucas@ufersa.edu.br.

1 RESUMO

A escassez de água no mundo motivada pelo rápido crescimento populacional, pela ausência de uma política efetiva de gerenciamento dos recursos hídricos e pela intensificação das atividades produtivas tem motivado o desenvolvimento de práticas que viabilizem a diminuição do consumo. O uso de água residuária na agricultura surge como uma alternativa viável, visto que esta prática diminui a captação de águas de boa qualidade para o consumo potável, a contaminação de corpos d'água pela deposição de esgotos, além apresentar características fertilizantes. O presente trabalho objetivou analisar as alterações químicas de solo fertirrigado com água residuária cultivado com algodoeiro em região semiárida brasileira. Os experimentos foram desenvolvidos com esgoto urbano de lagoa de estabilização, em Mossoró-RN. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo que em nível de parcelas foram testadas as diluições do efluente doméstico [25% - T₁, 50% - T₂, 75% - T₃ e 100% de água residuária - T₄ e água de abastecimento + adubação mineral no solo - T₅] e as subparcelas constituíram-se de dois solos (Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolo). A aplicação de água residuária de esgoto doméstico provocou alterações químicas no solo com textura mais argilosa (Cambissolo) e no latossolo apenas o cálcio. Todas as características avaliadas no Cambissolo foram alteradas pelas proporções de água residuária, exceto o cálcio.

Palavras-chave: meio ambiente, reuso de água, sustentabilidade.

**ANDRADE FILHO, J.; SOUSA NETO, O. N.; DIAS, N. S.; NASCIMENTO, I. B.;
MEDEIROS, J. F.; COSME, C. R.
CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL FERTIGATED WITH URBAN SEWAGE IN
THE SEMIARID BRAZILIAN REGION**

2 ABSTRACT

Water scarcity throughout the world driven by rapid population growth, lack of an effective management policy of water resources, and the growing production activities has fostered the development of practices which make possible a decrease in consumption. The use of

wastewater in agriculture emerges as a viable alternative, as this practice reduces the uptake of water of good quality for drinking consumption and the pollution of bodies of water by sewage disposal. Moreover, it has fertilizing properties. In light of these considerations, the objective of this study was to analyze chemical characteristics of soil fertigated with urban sewage cultivated with cotton in the semiarid region of Brazil. The experiments were conducted with urban sewage from a stabilization pond in Mossoró-RN. The experimental design was randomized blocks with split plots. Dilutions of wastewater reuse were tested in the plots [25% - T1, 50% - T2, 75% - T3, 100% of wastewater – T4, and water supply + mineral fertilizer in the soil T5] and 2 soils (Oxisol and Cambisol) in the subplots. The application of wastewater from sewage caused chemical changes in the soil with more clay texture (Cambisol), and calcium changes in the latosol soil. All characteristics in the Cambisol soil were altered by the levels of wastewater, except for the calcium.

Keywords: environment, water reuse, sustainability.

3 INTRODUÇÃO

A utilização de efluentes na agricultura cresceu consideravelmente nos últimos anos, principalmente devido à escassez de recursos hídricos, o avanço do conhecimento técnico-científico e a legislação ambiental mais rigorosa. Além disso, o maior controle da poluição ambiental, com redução de problemas à saúde humana e animal, a diminuição dos custos de tratamento devido à atuação do solo como forma de disposição e fornecimento de nutrientes e matéria orgânica às plantas, reduzindo os custos com fertilizantes químicos (Sandri, 2006).

O reuso de águas para a irrigação é uma prática amplamente estudada e recomendada por diversos pesquisadores como alternativa viável para suprir as necessidades hídricas e, em grande parte, nutricionais das plantas (Capra & Scicolone, 2007; Souza et al., 2010; Costa et al., 2012). Vários estudos realizados no mundo comprovam que a aplicação de esgoto urbano no solo proporciona alteração de várias características químicas de solos cultivados (Santos et al., 2006; Gloaguen et al., 2007; Bebé et al., 2010).

Apesar dos vários benefícios evidenciados, a utilização de esgotos tratados na agricultura requer práticas tecnicamente adequadas de tratamento e de disposição no ambiente, pois as águas residuárias, além de apresentarem consideráveis concentrações de íons dissolvidos como o sódio, o boro e cloretos, contêm grande variedade de organismos patogênicos como bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Tais características tem se constituído como cenário dificultador na utilização de esgotos domésticos tratados na agricultura (Deon et al., 2010).

A incorporação de resíduos antrópicos no solo pode acarretar a alteração dos teores de metais pesados no sistema solo-planta (Brito et al., 2009; Sampaio et al., 2010; Bebé et al., 2010). Tais fatos incentivam o desenvolvimento de técnicas de tratamento e manejo dos resíduos antrópicos para a minimização dos impactos ambientais e possibilidade de geração de renda com a prática do uso agrícola dos resíduos antrópicos.

O presente trabalho objetivou analisar as alterações químicas de solo fertirrigado com esgoto sanitário urbano cultivado com algodoeiro em região semiárida brasileira.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em área experimental do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), localizada em Mossoró, RN, com coordenadas geográficas de 5° 11' de latitude Sul e 37° 20' de longitude Oeste de Greenwich e, altitude média de 18 m. O clima local é do tipo BSw^h com base na classificação de Köppen e a média anual de precipitação é da ordem de 678 mm. As médias anuais de temperatura, insolação e umidade relativa são 27,4 °C; 2360 horas anuais e 68,9%, respectivamente.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo que em nível de parcelas foram testadas as diluições do efluente doméstico (25% - T₁, 50% - T₂, 75% - T₃ e 100% de água residuária - T₄ e água de abastecimento + adubação mineral no solo - T₅) e as subparcelas constituíram-se de dois solos de textura contrastante, Latossolo Vermelho Amarelo (S₁) e Cambissolo (S₂). Cada parcela ocupa uma área de 1m² (0,50 x 2,00 m) dispostos em 20 parcelas experimentais, sendo cada parcela subdividida em duas subparcelas, totalizando 40 unidades.

O experimento foi realizado de novembro de 2009 a março de 2010. O ciclo de cultivo do algodão teve duração de 115 dias após a semeadura.

O esgoto urbano, proveniente da lagoa de estabilização da Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos das Cajazeiras em Mossoró, RN, pertencente à CAERN (Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte), localizada na comunidade Passagem de Pedras, foi transportado semanalmente da lagoa de estabilização até o local do experimento em reservatório de 1000 L, sendo esse o volume suficiente para a preparação da água de irrigação a ser usada durante uma semana. A água potável era proveniente do sistema de abastecimento público que abastece o campus da UFERSA.

Por ocasião da primeira retirada de água residuária para irrigação do experimento, amostras de efluentes foram coletadas diretamente na lagoa de estabilização da CAERN, acondicionadas em caixas térmicas com gelo e encaminhadas para o laboratório de análises de água, alimentos e efluentes do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Campus Natal, onde foram preparadas, segundo a metodologia da American Public Health Association (1998). O resultado das análises são mostrados na Tabela 1.

Os experimentos foram desenvolvidos com dois tipos de solo, sendo um de textura arenosa, classificado como Latossolo Vermelho Amarelo e outro de textura argilosa, classificado como Cambissolo. Os solos foram coletados da camada de 0 a 20 cm do perfil, em áreas de solo virgem. O solo arenoso foi coletado em área de mata, na Fazenda experimental da UFERSA "Rafael Fernandes", distante 21 km de Mossoró. O solo argiloso foi extraído em área, pertencente à Empresa WG Fruticultura, localizada na zona rural do município de Baraúna - RN, distante cerca de 30 km da sede do município de Mossoró-RN. Foram retiradas subamostras de cada material de solo para caracterização física (granulometria, densidade global e porosidade) seguindo metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997). Além disso, determinou-se a capacidade de retenção de água dos dois solos, sendo que esse critério foi usado para alimentar a planilha de irrigação.

Os materiais coletados foram postos para secar, e, retiradas subamostras de cada material de solo para caracterização física e química (Tabela 2 e 3). As adubações para a cultura do algodão foram feita com base na análise química dos solos e necessidades nutricionais da cultura.

Tabela 1. Características do efluente de esgoto tratado utilizado para irrigação

Características	Unidades	Efluentes
pH		7,4
CE	dS m ⁻¹	1,75
Amônio	mg L ⁻¹	20,16
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	0,07
Nitrito (NO ₂)	mg L ⁻¹	0,007
Nitrogênio orgânico	mg L ⁻¹	0,64
Nitrogênio total	mg L ⁻¹	17,31
Cálcio	mg L ⁻¹	181,44
Sódio	mg L ⁻¹	33
Magnésio	mg L ⁻¹	21,86
Potássio	mg L ⁻¹	8,5
Fósforo	mg L ⁻¹	3,16
Cloreto	mg L ⁻¹	350
RAS	mmol L ^{-1,05}	7,02
DBO ₅	mg L ⁻¹	35,28
Coliformes totais	NMP100 ml	1,1 x 10 ⁶
Cobre	mg L ⁻¹	0,133
Ferro	mg L ⁻¹	0,18
Manganês	mg L ⁻¹	0,073
Zinco	mg L ⁻¹	0,033

Tabela 2. Características físicas dos solos utilizados

Solo	Densidade	Porosidade	Areia	Silte	Argila	Umidade cm ³	
	(kg dm ⁻³)	(%)	-----g kg ⁻¹ -----			0,01 Mpa	1,5 Mpa
Latossolo	1,40	45,95	920	30	50	0,112	0,028
Cambissolo	1,28	52,58	590	180	230	0,32	0,153

Tabela 3. Características químicas dos solos utilizados

Solo	pH	Mat. Org	P	K	Na	Ca + Mg	Al	(H+Al)	CTC	PST
		(%)		mg.dm ⁻³			cmol _c .dm ⁻³			(%)
Latossolo	5,8	0,32	4,2	39,3	1	0,5	0	2,31	2,91	0
Cambissolo	6,7	0,95	7,2	378,2	21,9	9,9	0	1,16	12,12	1

Foi feita calagem do solo arenoso para o tratamento que recebeu adubação química, visando à elevação da sua saturação por bases para 70%. Para isso utilizou-se uma dosagem de 1,67 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, que além de elevar a saturação por bases, fornece uma quantidade considerada de magnésio, elemento com baixo teor nesse solo.

Após a realização da calagem do solo, determinou-se a necessidade de adubação de fundação e cobertura segundo a recomendação da EMBRAPA (2006), para o cultivo do algodoeiro herbáceo cultivado no cerrado. De acordo com os teores nos solos e uma produtividade esperada de 5 t ha⁻¹, foram utilizados doses de adubação N e P em fundação iguais a 25 kg ha⁻¹, 90 kg ha⁻¹ em particular o K, foi necessário aplicação de 30 kg ha⁻¹,

somente para o solo arenoso. Além disso, foram recomendados 40 kg ha⁻¹ de enxofre, via sulfato de magnésio para os dois solos, visto que o algodoeiro é bastante exigente quanto a este elemento.

Para a adubação de cobertura foram aplicados 125 kg ha⁻¹ de nitrogênio para os dois solos e 140 kg ha⁻¹ de potássio para o solo arenoso. A adubação de cobertura foi parcelada em duas etapas, na primeira, 25 dias após a emergência foram aplicados metade do nitrogênio e 40% do potássio recomendados. Já na segunda etapa do parcelamento foram aplicados o restante do nitrogênio e do potássio, no início do florescimento, aos 50 dias após a semeadura. Os outros tratamentos receberam esses elementos na fertirrigação com água residuária, até aos 100 dias após a semeadura.

Adotou-se o sistema de irrigação localizada, utilizando-se emissores tipo microtubos de 1,5 mm de diâmetro interno, visando evitar entupimento pelas partículas em suspensão presentes no efluente. O fornecimento de água foi realizado através de reservatórios individuais, com capacidade de 310 L cada, suspensos sobre uma estrutura construída com tijolos e madeira, de forma a obter-se uma coluna de água de 1,2 m. Semanalmente os reservatórios eram preenchidos com os volumes correspondentes a cada tratamento. O sistema de distribuição de água foi composto por cinco linhas laterais com diâmetro de 14 mm, uma para cada tratamento individualmente, ao longo de cada bloco e de acordo com a aleatorização das parcelas formando-se linhas em zig-zag. Foram instalados oito microtubos nas linhas laterais de cada parcela, espaçados em 0,25 m, sendo esse espaçamento necessário para o encontro entre os bulbos, visando formar uma única área molhada dentro da parcela. Além disso, utilizou-se microtubos de 2,00 m de comprimento para cada emissor, comprimento este pré-definido em testes, de forma que se obteve uma vazão média de 3,3 L h⁻¹.

O cálculo da estimativa da evapotranspiração da cultura foi feito diariamente à partir da evapotranspiração de referência (ET_o), calculada a partir dos dados climáticos utilizando o método do K_c dual (Allen et al., 1998), separando a transpiração da evaporação do solo: $K_c = K_{cb} + K_e$, em que K_{cb} representa o K_c basal – sem evaporação do solo e K_e, coeficiente de evaporação do solo. Ao final de cada dia, foram coletados os dados climáticos necessários para alimentar a planilha de irrigação (Figura 1: A, B, C, D), com isso, determinava-se a lamina de irrigação no dia seguinte.

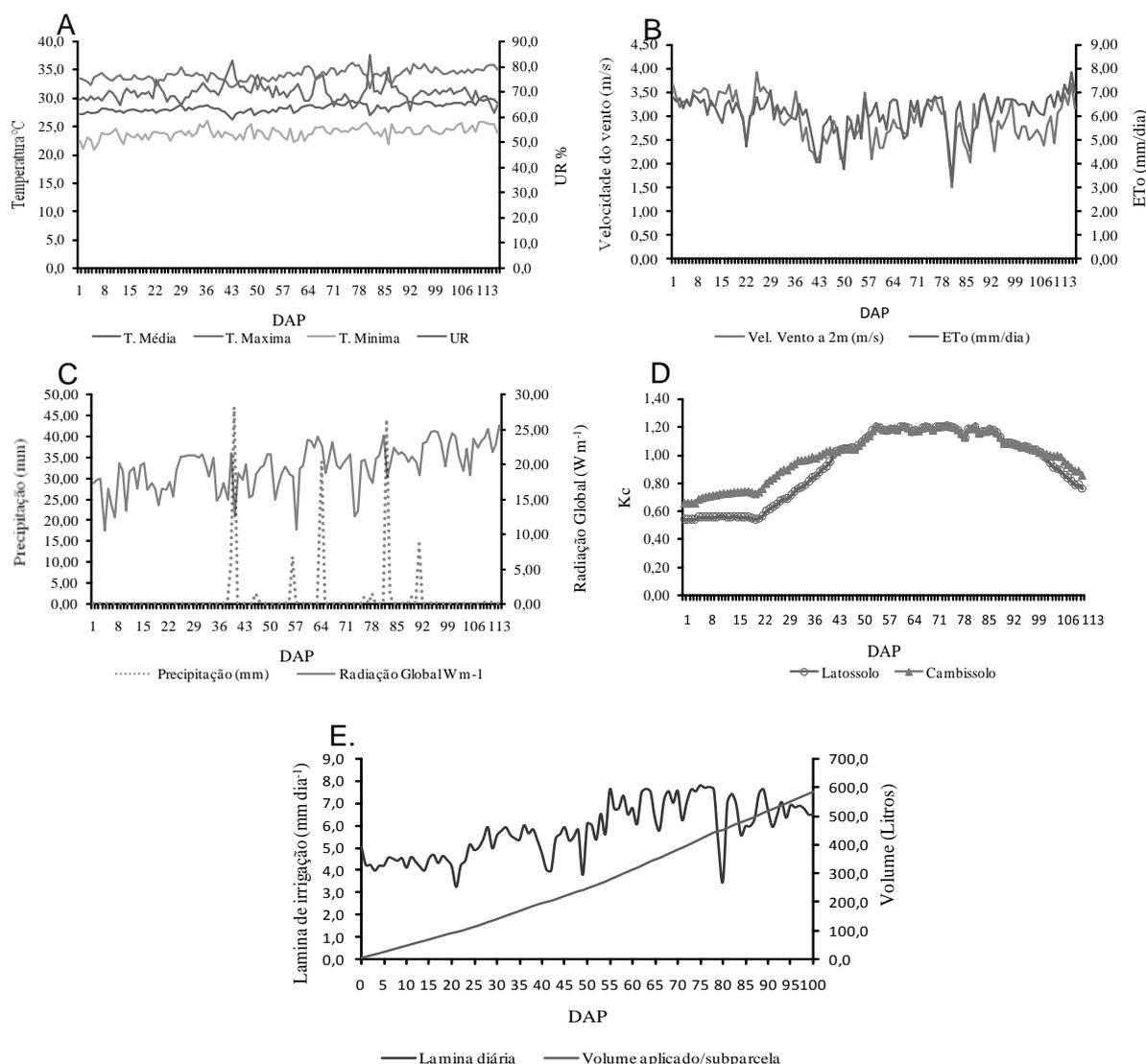


Figura 1. Elementos meteorológicos utilizados para determinação da lâmina de irrigação (A, B, C e D). Lamina diária e volume total aplicado por subparcela (E).

Fonte: Dados provenientes do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para a cidade de Mossoró e da estação meteorológica da UFERSA, 2009-2010.

Foram feitas ao todo três análises químicas (pH, MO, P, K, Na, Ca + Mg, Al e H+Al) de cada solo, visando verificar as alterações químicas, ao longo da aplicação dos tratamentos, no início e no fim do experimento, visando comparação com análise feita logo após as coletas dos solos. Foram retiradas amostras de cada subparcela na profundidade de 0 – 20 cm, compondo assim uma amostra composta para cada tratamento.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância aplicando-se teste F utilizando o software estatístico Sisvar (Ferreira, 2008). Para as variáveis que apresentaram resposta significativa os dados foram ajustados a equações de regressão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Potencial hidrogeniônico (pH)

Não houve efeito significativo da aplicação de água residuária sob o pH do solo para o Latossolo em nenhuma das épocas de avaliação (70 e 115 dias após a semeadura(DAS)), sendo observado pHs médios de 5,96 e 7,40, respectivamente. Já para o Cambissolo, também não houve resposta significativa aos 115 DAS, no qual se obteve pH médio de 7,26, no entanto, houve diferença significativa aos 70 DAS, sendo os dados ajustados a equação quadrática (Figura 2). Houve uma maior resposta em relação à testemunha com o tratamento com 100% de água residuária, com o pH de 6,9 (Figura 2).

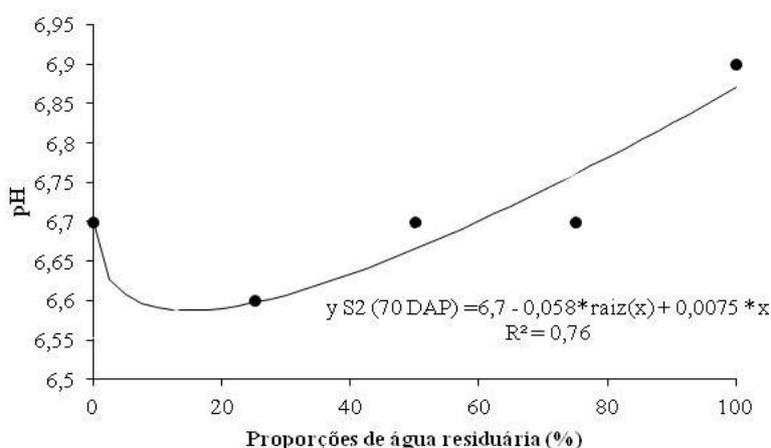


Figura 2. Valores médios de pH para o Cambissolo (S₂) fertirrigado com água residuária aos 70 DAS.

Acredita-se que, no presente trabalho, o aumento observado no valor pH do solo com a proporção de 100% AR pode ser atribuído, entre outros fatores, ao pH básico do efluente, a adição de cátions trocáveis e ânions pelo efluente e a adição de resíduos orgânicos ao solo seguidos da descarboxilação e desaminação, processos consumidores de prótons.

Nitrogênio

Não houve significância dos coeficientes de regressão para o acúmulo de N aos 70 e 115 DAS para o Latossolo e nem para o Cambissolo aos 70 DAS. É oportuno destacar que os teores de N, não determinados no início do ciclo para ambos os solos, foram avaliados aos 70 DAS para cada tratamento com proporções de água residuária, bem como para o tratamento controle nos solos. Os resultados para as proporções de 25, 50, 75 e 100% de água residuária e tratamento controle foram, para o Latossolo, respectivamente 0,10; 0,50; 0,50; 0,40 e 0,20 g kg⁻¹. Já para o Cambissolo, os valores médios foram, respectivamente, iguais a 1,00; 0,90; 1,00; 1,00 e 1,00 g kg⁻¹.

Na Figura 2, observa-se comportamento cúbico na concentração de N no solo aos 115 DAS, na qual apresentaram maiores concentração desse íon os tratamentos que foram fertirrigados com 75% de água residuária, embora não tenham diferido do tratamento controle. No entanto, verificou-se um aumento deste tratamento (75% AR) em função das

demais proporções de 22, 11 e 11% para as proporções de 25, 50 e 100%, respectivamente. Santos et al., (2006) observaram aumento nas concentrações de nitrogênio total e sódio no solo cultivado com cafeeiros e fertirrigados com esgoto sanitário tratado.

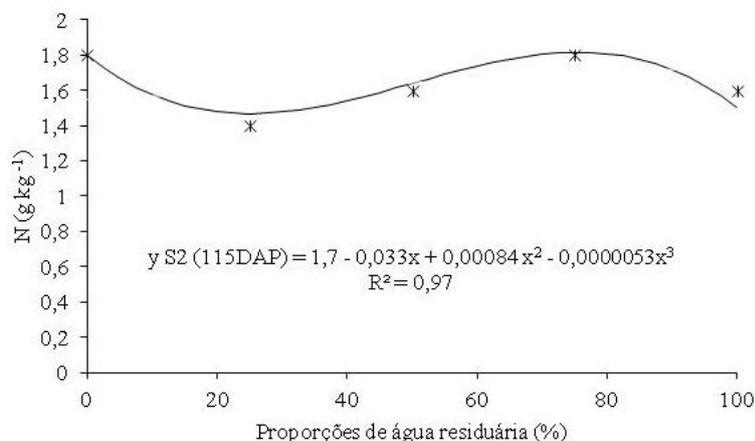


Figura 3. Valores médios de N para o Cambissolo (S₂) fertirrigado com água residuária aos 115 DAS.

Fósforo

A concentração de fósforo disponível no Latossolo seguiu um modelo de regressão raiz quadrada (\sqrt{x}). O maior incremento ocorreu para o tratamento controle com 34 mg dm^{-3} , resultando em aumento de 91,3% em relação ao tratamento com 25% de água residuária. No Cambissolo aos 115 DAP, observou-se comportamento quadrático para o acúmulo de P total no solo em resposta aos tratamentos aplicados (Figura 4).

Na Figura 3 pode-se observar que os máximos teores de P, aos 115 DAS, ocorreram no tratamento controle (29 mg dm^{-3}) e na maior proporção de água residuária (100%), com 22 mg dm^{-3} de P. O mínimo de P acumulado foi 8 mg dm^{-3} quando utilizou-se a proporção com 25% de água residuária. Pode-se observar ainda que, mesmo ocorrendo aumento nos teores de P, com aplicação de água residuária, os maiores valores ocorreram sempre no tratamento controle. Tal comportamento pode ser explicado pela baixa concentração de P no efluente, em comparação com a dosagem de P aplicado via adubação mineral.

De acordo Malavolta (2006), os valores médios de P disponível encontrados em ambos os solos são considerados baixos, pois o teor recomendado para a adubação em fundação é de 60 mg dm^{-3} de P_2O_5 , indicando que a utilização da água residuária como fonte de P é parcial, necessitando de complementação na forma mineral.

Os resultados obtidos estão em concordância com Koura et al. (2002), os quais relatam que para ocorrer mudanças nas características químicas do solo quando irrigados com efluentes são necessários vários anos de irrigação, visto que a dinâmica deste ocorre muito lentamente.

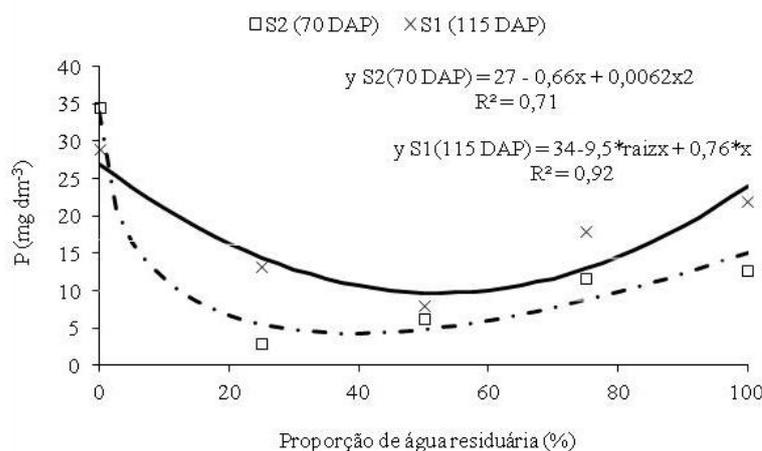


Figura 4. Valores médios de P para o Latossolo (S₁) aos 115DAS e o Cambissolo (S₂) aos 70 DAS fertirrigados com água residuária.

Matéria Orgânica

Não foi observada diferença significativa no teor de matéria orgânica (MO), no Latossolo, em nenhuma das épocas de avaliação, obtendo teores médios de 0,16 e 0,33%, respectivamente, para os 70 DAS e 115 DAS.

Para o Cambissolo houve diferença significativamente na MO, para cada época de avaliação. O incremento no teor de matéria orgânica no Cambissolo com o uso de água residuária foi diferenciado ao longo do ciclo da cultura. Percebe-se que aos 70 DAS houve uma tendência cúbica para esta variável em relação às proporções de água residuária, com o máximo acúmulo de MO estimado no valor de 1% para o tratamento com 50% de água residuária, resultando em um aumento de 14,8% em relação à testemunha, na qual se obteve 0,86%.

Aos 115 DAP a quantidade de MO no solo foi reduzida, de forma quadrática, com aplicação dos tratamentos nas proporções de 50 e 75% de água residuária o maior acúmulo alcançado com o tratamento controle, obtendo-se 1,1% de matéria orgânica, resultando em aumento de 23,63% em relação a proporção de 75% de água residuária (Figura 5). Este decréscimo pode ser atribuído aos seguintes fatores: predominância de N na forma mineral, temperatura, baixa relação C:N da água residuária e incremento da atividade microbiana, estimulando a decomposição da MO associado ao efeito “*priming*” (Barton et al., 2005; Fonseca et al., 2007).

Segundo Stevenson (1986), o efeito “*priming*” consiste em um estímulo normalmente positivo, que ocasiona incremento na taxa de decomposição da MO devido ao crescimento extenso e vigoroso da população microbiana quando material rico em energia é adicionado ao sistema e, subsequentemente, microrganismos produzem enzimas que atacam a MO do solo.

Duarte et al. (2008) afirma que além do teor de N, os efluentes secundários contêm teores de carbono maior que nas águas superficiais, o que favorece a proliferação da biota do solo e, por sua vez, transforma o nitrogênio orgânico em nitrogênio assimilável às plantas. Provavelmente, o maior teor de N e C da água residuária tenha favorecido a rápida mineralização e, conseqüentemente, a redução dos teores de MO dos solos irrigados com maiores proporções de água residuária.

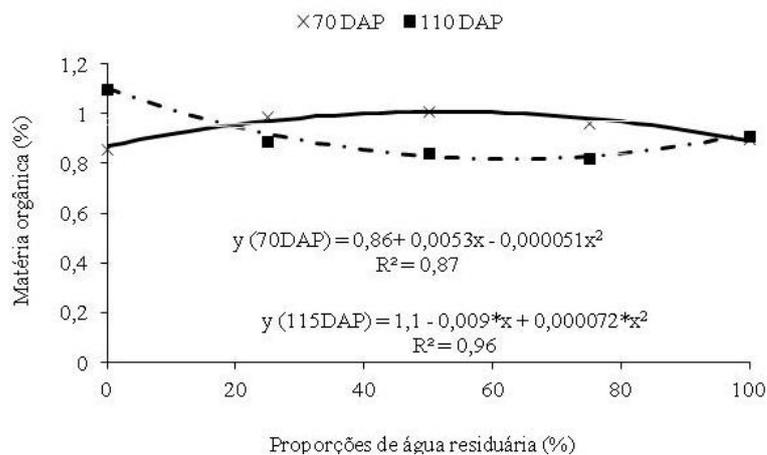


Figura 5. Valores médios de MO para o Cambissolo (S_2) aos 70 e 115 DAP fertirrigado com água residuária.

Potássio

Houve efeito significativo quadrático para o teor de potássio no solo apenas no Cambissolo aos 115 DAP, em função dos tratamentos aplicados, demonstrando uma tendência de aumento da concentração deste nutriente utilizando efluentes tratados. O ponto de máximo foi obtido utilizando 65% de água residuária, com $423,2 \text{ mg dm}^{-3}$, correspondente ao acréscimo de aproximadamente 35,6% em comparação com o tratamento controle (312 mg dm^{-3}) (Figura 6).

Trabalhando com água residuária de bovinocultura, Erthal et al. (2010) também observaram aumento na concentração de K^+ em consequência do aumento da concentração de água residuária. Segundo esses autores, o acúmulo de K^+ no solo além de ser um indicador para se realizar monitoramento deste cátion é usado como referência na definição de doses a serem aplicadas.

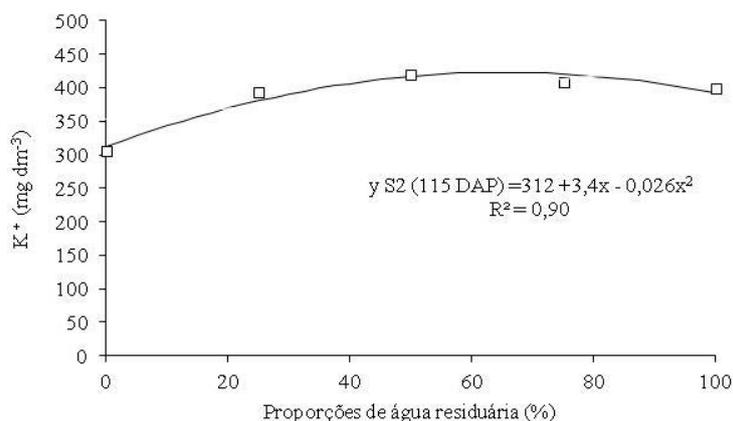


Figura 6. Valores médios de K no Cambissolo (S_2) fertirrigado com água residuária.

Cálcio

Para o teor de cálcio no solo, houve resposta significativa apenas para o Latossolo aos 115 DAS. (Figura 7). Verificou-se que os tratamentos que receberam água residuária apresentaram acréscimo deste íon no solo à medida que se aumentava as proporções de água residuária com o tratamento fertirrigado com 100% de água residuária apresentando valores bem próximos ao tratamento controle. Com relação os tratamentos que receberam água residuária este comportamento já era esperado devido aos efluentes tratados apresentarem valores altos deste íon. Já aos 70 DAP houve um aumento em termos de valores de 1,20; 0,90; 1,20; 1,20; 1,20 para 25, 50, 75, 100% de água residuária comparada ao valor inicial onde posso ver essa afirmativa, para os 70 DAS.

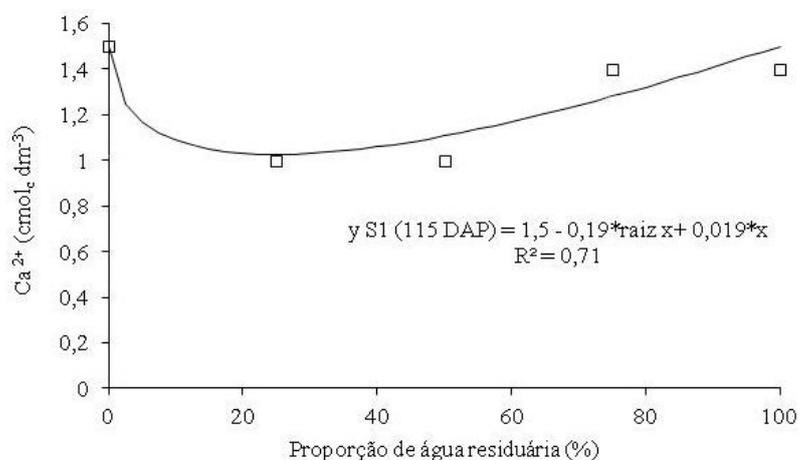


Figura 7. Valores médios de Cálcio no Latossolo (S₁) fertirrigado com água residuária.

Sódio

Embora o Na⁺ não tenha apresentado diferença entre os tratamentos estudados, verifica-se que aos 70 DAP, o teor de Na⁺ apresentou aumento considerável no Latossolo em todos os tratamentos, variando de 39,2 (tratamento controle) à 115,80 mg dm⁻³ (75% de água residuária) (Figura 8). Comportamento semelhante apresentou o Cambissolo com relação a este íon, com variação entre 232,0 (tratamento controle) à 410,70 mg dm⁻³ (75% de água residuária), dados não mostrados. Aos 115 DAP, o Na⁺ apresentou valores crescentes no Latossolo e Cambissolo à medida que aumentaram as proporções de água residuária. Foi verificado que a concentração máxima de Na⁺ nos solos ocorreu no tratamento com a proporção de 75% de água residuária (184,50 e 554,80 mg dm⁻³, para o Latossolo e o Cambissolo, respectivamente).

Apesar de não ter ocorrido diferença significativa, verificou-se elevado acúmulo de Na⁺ no solo, visto que o solo natural apresentou baixo teor de Na⁺, 1,0 mg dm⁻³ no Latossolo, e 21,9 mg dm⁻³ para o Cambissolo.

Aumentos no teor de Na⁺ trocável tem sido comum em solos irrigados com efluentes de esgoto tratados, independentemente se o uso for agrícola ou florestal, principalmente em experimentos de longa duração (Balks et al. 1998). Latterell et al. (1982) verificaram que os teores de Na⁺ aumentaram de 3,5 até 25 vezes, em função da taxa de aplicação de efluente.

Os maiores teores de Na^+ no solo aos 115 DAP, em comparação com os resultados obtidos aos 70 DAP, ocorreu em consequência do efeito acumulativo no tempo, o que pode ter sido também influenciado pelo fato de não ter ocorrido lixiviação.

Esse comportamento já era esperado em virtude da elevada concentração de Na^+ no esgoto tratado, evidenciado assim a importância da pesquisa utilizando essas fontes de água, e com mínimo risco de contaminação do solo. Altas concentrações de Na^+ na solução do solo em comparação com o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , podem causar deterioração da estrutura do solo, pela dispersão dos colóides e subsequente entupimento dos macroporos, causando decréscimo na permeabilidade, à água e aos gases (Erthal et al., 2010).

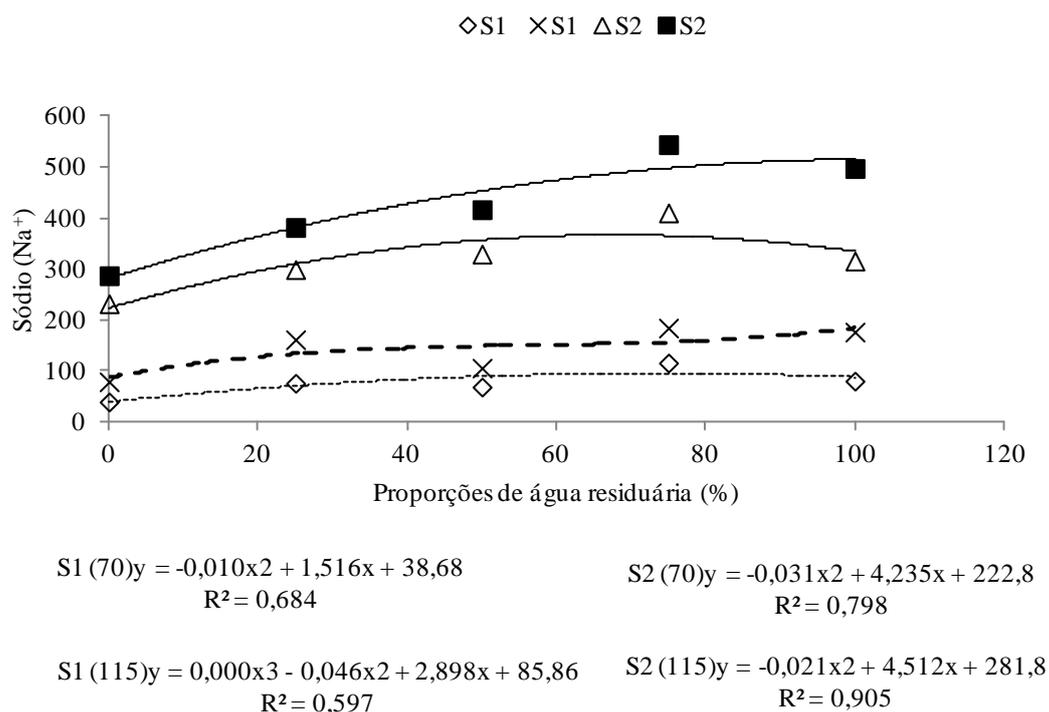


Figura 8. Valores médios de Sódio no Latossolo (S_1) e Cambissolo (S_2) aos 70 e 115 (DAS) fertirrigado com água residuária.

6 CONCLUSÕES

A aplicação de água residuária de esgoto doméstico provocou alterações químicas no solo com textura mais argilosa (Cambissolo), e no Latossolo apenas o cálcio.

Todas as características avaliadas no Cambissolo foram alteradas pelas proporções de água residuária, exceto o cálcio.

O uso de água de água residuária na irrigação deve realizado de forma criteriosa, em virtude das alterações do solo para alguns nutrientes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 300p., 1998. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20^a ed. Washington, 1998.
- BALKS, M. R.; BOND, W. J.; SMITH, C. J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigated plantation. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 36, n. 5, p. 821-830, 1998.
- BARTON, L.; SCHIPPER, L. A.; BARKLE, G. F.; MCLEOD, M.; SPEIR, T. W.; TAYLOR M. D.; MCGILL, A.C.; VAN SCHAİK, A. P.; FITZGERALD, N. B.; PANDEY, S. P. Land application of domestic effluent onto four soil types: Plant uptake and nutrient leachig. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 34, n. 2, p. 635-643, 2005.
- BEBÉ, F. V.; ROLIM, M. M.; SILVA, G. B.; MATSUMOTO, S. N.; PEDROSA, E. M. Alterações químicas no solo e no lixiviado em função da aplicação de água residuária de café. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 2, p. 250-256, 2010.
- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 4, p. 456-462, 2009.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 15, n. 16, p. 1529-1534, 2007.
- COSTA, M. S.; ALVES, S. M. C.; FERREIRA NETO, M.; BATISTA, R. O.; COSTA, L. L. B.; OLIVEIRA, W. M. Produção de mudas de Timbaúba sob diferentes concentrações de efluente doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 408-422, 2012.
- DEON, M. D. I.; GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1149-1156, 2010.
- DUARTE, S. A.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p
- EMBRAPA. **Calagem e Adubação do Algodoeiro no Cerrado**. Campina Grande: CNPA, 2006, p. 01-16. (Documento, 92).

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**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010.

FERREIRA, D. F. **Programa Sisvar versão 5.1**: programa de análises estatísticas. Lavras: DEX; UFLA, 2008.

FONSECA, A. F.; HERPIN, 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**, Piracicaba, v. 64, n. 2, p. 194-209. 2007.

GLOAGUEN, T. V.; FORTI, M. C.; LUCAS, Y.; MONTES, C. R.; GONÇALVES, R. A. B.; HERPIN, U.; MELFI, A. J. Soil solution chemistry of a Brazilian Oxisol irrigated with treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 88, n. 1/3, p. 119-131, 2007.

KOURAA, A.; FETHI, F.; FAHDE, A.; 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.

LATTERELL, J. J.; DOWDY, R. H.; CLAPP, C. E.; LARSON, W. E.; LINDEN, D. R. Distribution of phosphorus in soils irrigated with municipal waste-water effluent: a 5-year study. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 11, n. 1, p. 124-128, 1982.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Livroceres, 2006. 638 p.

SAMPAIO, R. A.; RAMOS, S. J.; SILVA, L. G.; COSTA, C. A.; FERNANDES, L. A. Produção e teor de metais pesados em alface adubada com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 3, p. 298-302, 2010.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com águas residuárias aplicadas por sistema de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 1, p. 45-57, 2006.

SANTOS, S. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 1, p. 32-38, 2006.

SOUZA, R. M.; NOBRE, R. G.; GHEYI, R. H.; DIAS, N. S.; SOARES, F. A. L. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 125-133, 2010.

STEVENSON, F. J. **Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. New York: John Wiley, 1986. 380 p.