



Revista de Biologia e Ciências da Terra

ISSN: 1519-5228

revbiocieter@yahoo.com.br

Universidade Estadual da Paraíba

Brasil

Nery Rodrigues, Luis; Rodrigues Nery, Aparecida; Dantas Fernandes, Pedro; Macêdo Beltrão,
Napoleão Esberard de

Aplicação de água residuária de esgoto doméstico e seus impactos sobre a fertilidade do solo

Revista de Biologia e Ciências da Terra, vol. 9, núm. 2, 2009, pp. 55-67

Universidade Estadual da Paraíba

Paraíba, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50016937004>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Aplicação de água residuária de esgoto doméstico e seus impactos sobre a fertilidade do solo¹

Luis Nery Rodrigues²; Aparecida Rodrigues Nery³; Pedro Dantas Fernandes³; Napoleão Esberard de Macêdo Beltrão⁴

RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar os impactos sobre a fertilidade do solo, em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica. O experimento foi desenvolvido entre novembro de 2005 e maio de 2006, em instalações pertencentes ao Departamento de Engenharia Agrícola, no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da UFCG-PB. Utilizou-se o delineamento estatístico de blocos ao acaso, com esquema de análise fatorial 5 x 2 com três repetições, sendo 5 níveis de reposição de água, 'Nr' (60, 75, 90, 105 e 120% da evapotranspiração) e 2 cultivares de mamoneira, 'Cv' (BRS Nordestina e BRS Paraguaçu). A parcela foi constituída por uma amostra de solo coletada na profundidade de 0 a 20 cm de cada lisímetro. Com o estudo concluiu-se que a aplicação de água residuária não foi suficiente para manutenção da fertilidade do solo, contudo houve grande incremento do Na⁺ e, o pH do solo foi aumentado em torno de 1,5 unidade. A condutividade elétrica 1:2,5 (CEsa) foi reduzida linearmente a partir dos níveis de reposição da evapotranspiração superiores a 90%. Não houve diferença significativa entre as duas cultivares, bem como não houve interação significativa entre 'Nr' e 'Cv'.

Palavras-chave: reúso, irrigação, evapotranspiração, mamoneira

Application of domestic wastewater and your impacts on soil fertility

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the impacts of application of domestic wastewater about the soil fertility. The experiment was carried out between november of 2005 and may of 2006, in installation of Department of Agricultural Engineering, in Center of Technology and Natural Resources (CTRN) of UFCG-PB. A randomized blocks design was used, with scheme of factorial analysis 5 x 2 with three replications, being 5 levels of replacement of water, 'Lr' (60, 75, 90, 105 and 120% of evapotranspiration) and 2 cultivates of castor bean, 'Cv' (BRS Nordestina and BRS Paraguaçu). Plot was constituted by a soil sample collected in the depth from 0-20 cm of each lysimeter. The study allowed to conclude that the application of wastewater was not enough for maintenance of soil fertility, however there was increase of Na⁺ and, the pH of soil increased around 1.5 unity. Electrical conductivity soil-water (CEsw) was reduced lineally under levels of replacement of the evapotranspiration above of 90%. There was not significant difference between cultivates, as well as interaction between 'Lr' and 'Cv'.

Keywords: reuse, irrigation, evapotranspiration, castor bean

1 INTRODUÇÃO

As águas residuárias quando utilizadas na agricultura podem ou não provocar impactos ao ambiente edáfico. Nos últimos anos, vários fatores vieram contribuir para o aumento do

interesse pela irrigação com efluentes, dentre eles: a escassez de recursos hídricos, avanço do conhecimento técnico-científico em relação ao potencial que representa o reúso de esgotos, as limitações do reúso agrícola e também pelas suas inegáveis vantagens como controle da

poluição ambiental, economia de água e fertilizantes, reciclagem de nutrientes e aumento da produção agrícola (Bastos, 2003).

Além disso, o interesse pelo reúso planejado, ou seja, aquele seguro do ponto de vista de contaminação e controlado do ponto de vista agrícola, surgiu do próprio reconhecimento da importância do controle da utilização de esgotos na agricultura, com o objetivo de impedir o uso sem critério definido (Bastos, 2003).

Os efeitos da aplicação de água residuária nas propriedades químicas do solo, só são pronunciados após longo período de aplicação, pelos atributos que definem sua composição física e química, pelas condições de clima e pelo tipo de solo. Ayers & Westcot (1999) relatam que a limitação principal do uso de águas residuárias na agricultura é a sua composição química (totais de sais dissolvidos, presença de íons tóxicos e concentração relativa de sódio) e a tolerância das culturas a este tipo de efluente.

As águas de qualidade inferior, tais como efluentes de processos industriais, bem como de esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de drenagem agrícola, e águas salobras, devem, sempre que possível, ser consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes, se constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água (Hespanhol, 2002).

Segundo Pizarro (1990), os sais solúveis contidos nas águas de irrigação podem, em certas condições climáticas, salinizar o solo e modificar a composição iônica no complexo sortivo, alterando as características físicas e químicas do solo, como o regime de umidade, aeração, nutrientes, desenvolvimento vegetativo e produtividade.

Tendo em vista que a avaliação da qualidade da água para fins de irrigação é realizada levando-se em consideração não apenas os efeitos potenciais sobre o rendimento das culturas, mas também as mudanças nas características do solo, objetivou-se com este trabalho, avaliar os impactos sobre a fertilidade do solo, em resposta à aplicação de água residuária filtrada de origem doméstica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido durante o período de novembro de 2005 e maio de 2006, em instalações pertencentes ao Departamento de Engenharia Agrícola, vinculado ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG-PB), Campina Grande - PB, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 07° 13' S, longitude 35° 53' W e altitude média 550 m. Foram pesquisadas duas cultivares de mamoneira (*Ricinus communis* L.), BRS Nordestina e BRS Paraguaçu.

Utilizaram-se lisímetros de drenagem com capacidade de 100 L, cada lisímetro tinha no fundo um sistema de drenagem composto por tela, camada de brita de 2 cm, camada de areia de 2 cm, mangueira e um recipiente coletor de 2 L. Em cada lisímetro foram colocados cerca de 100 kg de material de solo devidamente destorroado, adubado e corrigida a acidez.

Para cada 100 kg de solo (conteúdo de um lisímetro) foram aplicados 66,12 g de calcário dolomítico, equivalente a aplicação de 2010 kg ha⁻¹ incorporados a um solo com ds = 1,52 kg dm⁻³ na profundidade de 20 cm. A adubação de plantio foi realizada considerando a metodologia descrita para experimentos conduzidos em ambientes protegidos: 100, 300 e 150 mg kg⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente (Novais et al., 1991); para atender essa recomendação, por ocasião da adubação de plantio (realizada durante o preenchimento dos lisímetros) em cada 100 kg de solo aplicaram-se 25% N (5,56 g uréia [45% N]), todo o P₂O₅ (75,00 g superfosfato triplo [40% P₂O₅]) e todo o K₂O (25,87 g KCl [58% K₂O]).

O solo contido em cada lisímetro foi mantido em capacidade de campo e coberto até a época da semeadura (novembro/2005). Por ocasião da aplicação dos tratamentos, o solo encontrava-se com as características químicas apresentadas na Tabela 1. Não foram feitas adubações de cobertura, com o intuito de se verificar o potencial da água de esgoto como fertilizante.

Tabela 1 - Características químicas do solo (complexo sortivo) por ocasião do plantio. Campina Grande – PB, 2006

Atributo	Unidade	Valor
Cálcio (Ca ⁺²)	cmol _c kg ⁻¹	14,84
Magnésio (Mg ⁺²)	cmol _c kg ⁻¹	7,63
Sódio (Na ⁺)	cmol _c kg ⁻¹	1,47
Potássio (K ⁺)	cmol _c kg ⁻¹	0,20
Hidrogênio (H ⁺)	cmol _c kg ⁻¹	2,03
Alumínio (Al ⁺²⁺)	cmol _c kg ⁻¹	0,00
Percentag. de sódio trocável (PST)	%	5,62
Carbono orgânico (C-Org.)	g kg ⁻¹	3,01
Matéria orgânica (M.O.)	g kg ⁻¹	5,20
Nitrogênio (5% M.O.) (N-Org.)	g kg ⁻¹	0,26
Fósforo assimilável (P)	mg kg ⁻¹	122,60
pH em água (1:2,5) (pH)	--	6,33
CE suspens. solo-água 1:2,5 (CEsa)	dS m ⁻¹	3,67

Análises realizadas três meses após calagem pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN/UFCG)

As irrigações foram realizadas com água residuária de esgoto bruto proveniente do Riacho Bodocongó que circula ao longo da área experimental com deságüe no Açude de Bodocongó. O sistema de captação da água de irrigação, foi composto por um recipiente de PVC com capacidade para 250 L com suas paredes perfuradas e envolvido por tela de malha de 1 mm, moto-bomba anauger submersa ('bomba sapo') com potência de 370 W, tubulação de recalque com 50 m de mangueira de polietileno ¾ e reservatório com capacidade de 1000 L, instalado junto a casa de vegetação.

Durante o período experimental foram

feitas seis análises físico-química e microbiológica da água de esgoto no Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG e no Laboratório do Programa de Saneamento Básico – PROSAB, seguindo as metodologias contidas em Richards (1977) e APHA (1995), cujos atributos com os respectivos resultados constam nas Tabelas 2 e 3. As amostras foram coletadas por volta das 8:00 h da manhã e acondicionadas em garrafas plásticas de dois litros. Para as análises microbiológicas, as coletas foram feitas em frascos de vidro âmbar esterilizados, em seguida acondicionados em caixas de isopor e transportados até o PROSAB.

Tabela 2 - Características físico-químicas do efluente de esgoto bruto durante o período experimental. Campina Grande – PB, 2006

Atributo	Média ⁽¹⁾
pH	7,79 ⁽²⁾
CE (dS m ⁻¹)	1,40
Classe de água	C ₂
Cálcio (mg L ⁻¹)	56,10
Magnésio (mg L ⁻¹)	39,04
Sódio (mg L ⁻¹)	141,80
RAS (mmol L ^{-1,1/2})	3,55
N-total (mg L ⁻¹)	31,50
Fósforo (mg L ⁻¹)	4,60
Potássio (mg L ⁻¹)	26,82
Cloretos (mg L ⁻¹)	197,28
Sulfato (mg L ⁻¹)	34,97
Bicarbonatos (mg L ⁻¹)	478,75
Carbonatos (mg L ⁻¹)	40,80
Ferro (mg L ⁻¹)	2,45
Zinco (mg L ⁻¹)	0,013
Cobre (mg L ⁻¹)	0,005
Manganês (mg L ⁻¹)	0,10
Dureza Total – CaCO ₃ (mg L ⁻¹)	296,04
TDS (mg L ⁻¹)	892,83

⁽¹⁾ Médias obtidas a partir de seis repetições

⁽²⁾ Média obtida a partir de seis repetições

Análises realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola (CTRN/UFCG)

Tabela 3 - Características físico-químicas e microbiológicas do efluente de esgoto bruto. Campina Grande – PB, 2006

Atributo	Média ⁽¹⁾
NTK (mg L ⁻¹)	31,46
P Total (mg L ⁻¹)	4,91
DQO (mg L ⁻¹)	106,80
Helminhos (ovos L ⁻¹)	153
Coliformes fecais (CF 100 mL ⁻¹)	1,44E+05
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	1116
Sólidos voláteis (mg L ⁻¹)	190
Sólidos fixos (mg L ⁻¹)	926

⁽¹⁾ Médias obtidas a partir de seis repetições

Análises realizadas no Laboratório do PROSAB, Campina Grande, PB, 2006

As sementes das cultivares (BRS Nordestina e BRS Paraguaçu), cedidas pela Embrapa Algodão, passaram por criteriosa seleção, eliminando-se as defeituosas e com indícios de fungos, ataques de insetos e danos mecânicos. Para assegurar plantas vigorosas, em cada unidade experimental foram semeadas seis bagas na profundidade de 2 cm com o solo em capacidade de campo para possibilitar a eliminação das plantas menos vigorosas por ocasião dos desbastes. Os lisímetros ficaram espaçados de 1,00 m x 0,70 m. A semeadura ocorreu no dia 16 de novembro de 2005 (três meses após a calagem).

Utilizou-se o delineamento estatístico de blocos ao acaso, com esquema de análise fatorial 5 x 2 com três repetições, sendo 5 níveis de reposição de água, 'Nr' (Nr₁ = 0,60, Nr₂ = 0,75, Nr₃ = 0,90, Nr₄ = 1,05 e Nr₅ = 1,20 da evapotranspiração) e 2 cultivares, 'Cv' - BRS Nordestina e BRS Paraguaçu. A unidade experimental foi constituída por uma amostra de solo coletada na profundidade de 0 a 20 cm de cada lisímetro, perfazendo um total de 30 amostras (30 parcelas). Os níveis de reposição da evapotranspiração foram aplicados a partir dos 21 dias após a semeadura - DAS.

As irrigações, com turno de rega de dois dias, foram efetuadas mediante o uso de proveta volumétrica. Os volumes de água aplicados para atender o fator 'Nr' (reposição da evapotranspiração) foram determinados em função do balanço hídrico em Nr₄ (reposição de 1,05 ETc), de tal forma a proporcionar cerca de 5% de drenagem neste nível, conforme eqs. 1 a 5:

$$VI(Nr_1) = 0,60*(VI_{n-1}-VD_{n-1}) \quad (1)$$

$$VI(Nr_2) = 0,75*(VI_{n-1}-VD_{n-1}) \quad (2)$$

$$VI(Nr_3) = 0,90*(VI_{n-1}-VD_{n-1}) \quad (3)$$

$$VI(Nr_4) = 1,05*(VI_{n-1}-VD_{n-1}) \quad (4)$$

$$VI(Nr_5) = 1,20*(VI_{n-1}-VD_{n-1}) \quad (5)$$

Em que:

VI(Nr_i) - volume de água a ser aplicado no nível i (1, 2, 3, 4, 5) de reposição (mL);

VI_{n-1} - volume de água aplicado no nível Nr₄ no evento de irrigação anterior (mL);

VD_{n-1} - volume de água drenado no nível Nr₄ no evento de irrigação anterior (mL).

Com o objetivo de se avaliar os impactos da aplicação da água de esgoto doméstico sobre a fertilidade final do solo, após o cultivo da mamoneira (174 DAS), o complexo sortivo do solo foi analisado na profundidade de 0-20 cm.

As amostras de solo (cerca de ½ kg) foram secadas ao ar, destorroadas, passadas em peneiras de 2 mm e analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade - LIS para determinação dos seguintes atributos: N-org., P, K, Ca, Mg, Na, pH e CEs. No caso do pH a análise de variância foi procedida com os valores da concentração de hidrogênio ([H⁺] = 10^{-pH}) e, depois se aplicou a escala de pH nas médias (pH = - log [H⁺]).

Os dados foram tabulados e submetidos às análises de variâncias, de médias e de regressões polinomiais utilizando o software estatístico SISVAR-ESAL (Lavras - MG). Os contrastes entre as médias qualitativas relacionadas às cultivares - 'Cv' (BRS Nordestina e BRS Paraguaçu) foram avaliados pelo teste de Tukey ou simplesmente pelo teste 'F' a (5% de probabilidade) que é conclusivo para um contraste simples. Os graus de liberdade dos tratamentos 'Nr' (níveis de reposição da evapotranspiração) foram decompostos em componentes de regressão polinomial por se tratar de fator quantitativo (Santos et al., 1998).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se na Tabela 4 que não houve interação significativa para N-org., P, K, Ca,

Mg, Na, pH e CEsa, também não foi detectada diferença significativa entre as cultivares.

O efluente de esgoto utilizado nesta pesquisa, continha em média 31,5, 4,60 e 26,82 mg L⁻¹ de N, P e K, respectivamente (Tabela 2). A irrigação com essa 'água', a uma taxa de 500 mm ano⁻¹, adicionaria ao solo o equivalente a 158,0, 23,0 e 134,0 kg de N, P e K, respectivamente. Embora esta estimativa não contemple um aspecto fundamental que é a forma como os nutrientes se encontram no

efluente, fica evidenciado o potencial de uso da água residuária doméstica.

Vários estudos comprovaram a importância da irrigação com efluentes de esgoto em suprir, em parte, as quantidades dos elementos, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, requeridos pelas culturas, chegando a aumentar a produtividade agrícola (Hespanhol, 2002; Kouraa et al., 2002; Meli et al., 2002).

Tabela 4 - Resumos das análises de variância e médias das cultivares para fertilidade do solo (0-20 cm) aos 174 dias após a semeadura (N-Org., P, K, Ca, Mg, Na, pH, CEsa). Campina Grande – PB, 2006

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		N-Org.	P	K	Ca
Nível de reposição (Nr)	4	0,00004	57,6247	0,6862**	6,5037
Regr. Linear	1	0,00008	56,0667	2,0907**	19,4940*
Regr. Quadrática	1	0,00003	64,4876	0,5505	0,1719
Regr. Cúbica	1	0,00003	88,8167	0,0060	0,8402
Regr. 4º Grau	1	0,00001	21,1277	0,0975	5,5086
Blocos	2	0,00052	46,99600	0,0443	4,7880
Cultivar (Cv)	1	0,00000	419,6280	0,0403	9,6333
Interação (Nr x Cv)	4	0,00012	168,60467	0,1412	4,6617
Resíduo	18	0,00017	129,1041	0,1429	5,5832
CV(%)	-	11,32	10,44	13,02	7,20
			Médias		
Cultivar (Cv)		%	mg kg ⁻¹	mmol _c kg ⁻¹	mmol _c kg ⁻¹
BRS Paraguaçu		0,1167	105,1000	2,9400	33,3867
BRS Nordestina		0,1173	112,5800	2,8667	32,2533
DMS		0,0102	8,7166	0,2899	1,8127

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		Mg	Na	[H ⁺] = 10 ^{-pH}	CEsa
Nível de reposição (Nr)	4	19,0850	77,0688**	1,11E-16	0,136787*
Regr. Linear	1	66,1500*	239,6002**	0,0000	0,433500**
Regr. Quadrática	1	5,9733	14,5001	0,0000	0,065186
Regr. Cúbica	1	3,7500	17,3882	0,0000	0,042667
Regr. 4º Grau	1	0,4667	36,7869	0,0000	0,005794
Blocos	2	2,1070	1,4303	2,77E-17	0,000543
Cultivar (Cv)	1	22,7070	53,0670	8,67E-16	0,004320
Interação (Nr x Cv)	4	16,8253	6,0462	8,07E-17	0,003220
Resíduo	18	9,3807	14,2592	9,03E-17	0,020640
CV(%)	-	20,22	17,75	0,00	18,69
			Médias		
Cultivar (Cv)		mmol _c kg ⁻¹	mmol _c kg ⁻¹	pH = -log [H ⁺]	(dS m ⁻¹)
BRS Paraguaçu		16,0200	19,9467	7,8044	0,7567
BRS Nordestina		14,2800	22,6067	7,8623	0,7807
DMS		2,3496	2,8969	0,2280	0,1102

(**) Efeito significativo a 1% e (*) a 5% de probabilidade

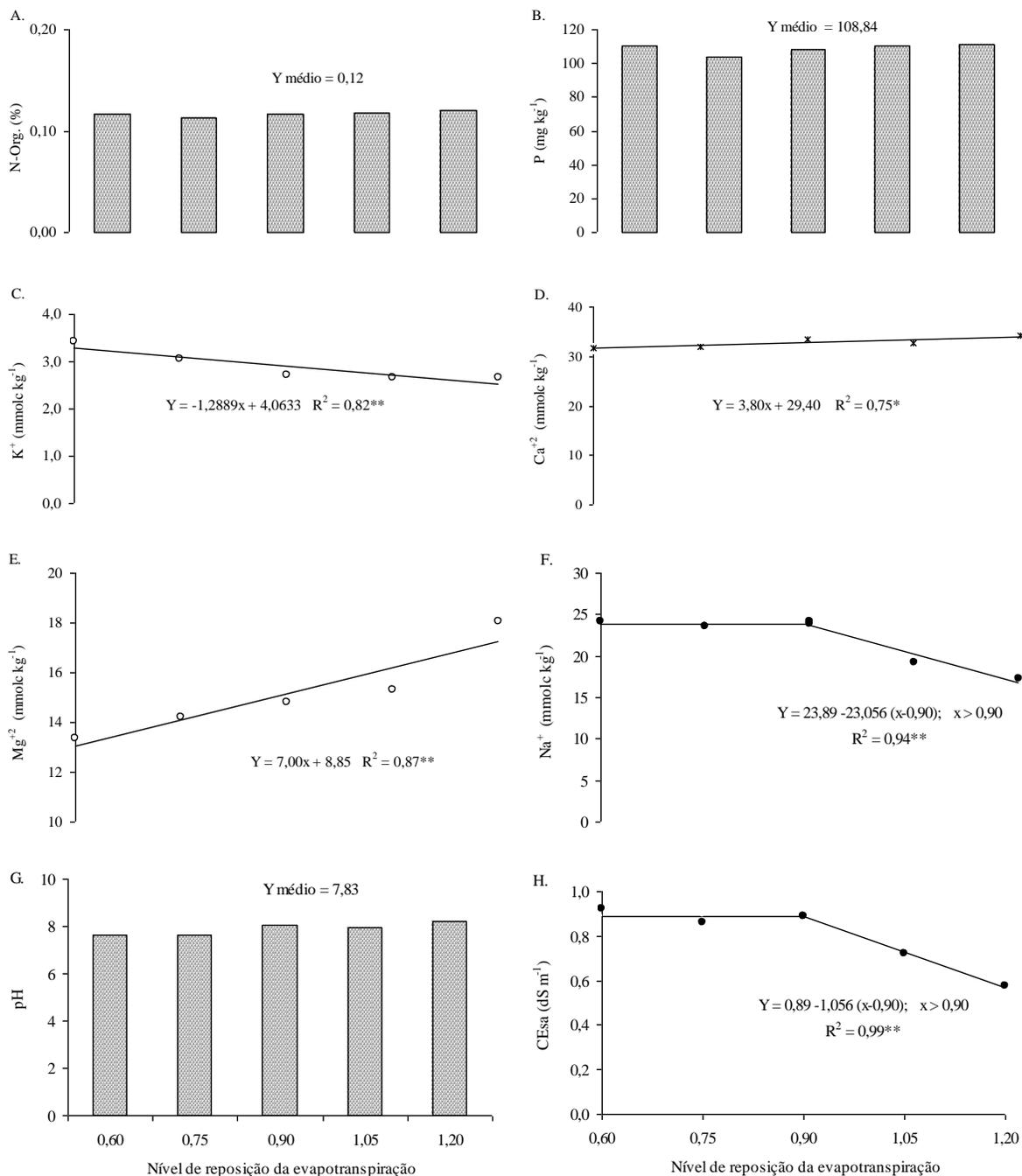


Figura 1 - Fertilidade do solo (0-20 cm) aos 174 DAS (N-Org, P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, pH e CEsa), em função do nível de reposição da evapotranspiração

Nitrogênio Orgânico

Verifica-se, de acordo com a Tabela 4, que os níveis de reposição da evapotranspiração com o efluente de esgoto não afetaram significativamente o conteúdo de nitrogênio no solo; a concentração média de nitrogênio no solo (profundidade de 0-20 cm), ao final do

experimento, girou em torno de 0,12% (1,20 g kg⁻¹), com pouca variação entre os índices de reposição (Figura 1A).

Por ocasião do plantio a concentração de N-Org no solo era 0,26 g kg⁻¹ (Tabela 1); ao se comparar este valor com a concentração obtida no final da pesquisa (1,20 g kg⁻¹), deduz-se que houve uma melhora substancial da fertilidade do

solo, no tocante ao N-Org (362%) com a disposição de esgoto doméstico, cujo aporte médio de nitrogênio total era da ordem de 31,5 mg L⁻¹ (Tabelas 2 e 3). Nascimento (2003) verificou, em pesquisa com a mamoneira, acréscimo de 725% N-Org no solo das parcelas irrigadas com água residuária de esgoto em relação à água de abastecimento.

Medeiros et al. (2005) constataram que a aplicação de água residuária doméstica contendo em média 48,01 mg L⁻¹ de N-total só foi capaz de suprir 72% da demanda desse nutriente pelo cafeeiro com a aplicação da lâmina maior, 532 mm ano⁻¹.

Segundo Ayers & Westcot (1999), o nitrogênio contido nas águas de irrigação tem o mesmo efeito para as plantas que o nitrogênio aplicado via fertilizantes; portanto, a aplicação de quantidades excessivas com a irrigação pode aumentar o crescimento vegetativo, retardar a maturação ou provocar colheitas de baixa qualidade.

As concentrações elevadas de nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) e DQO nas águas residuárias podem contaminar o meio ambiente, porém se utilizadas na agricultura restabelecem as fontes deste nutriente no solo, o qual possui grande importância econômica na produção de culturas (Feigin et al., 1991).

O fator mais importante para as plantas é o nitrogênio total, mesmo que seu teor se expresse em forma de nitrato (N-NO₃⁻), de amônio (N-NH₄⁺) ou como N-Org. (Ayers & Westcot, 1999). O nitrogênio mais facilmente assimilável se encontra na forma de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺.

Fósforo

Também não se observou efeito significativo dos níveis de reposição da evapotranspiração sobre o fósforo no solo; ao se atentar para a Tabela 1, vê-se que a concentração inicial de P no solo (após a adubação) se encontrava elevada (122,60 mg kg⁻¹); observou-se contudo, ao final da pesquisa, menor concentração, em média, cerca de 109 mg kg⁻¹ (Figura 1B); a concentração média na água de irrigação era menos de 5,0 mg L⁻¹ (Tabela 2), provenientes do uso de sabões e detergentes sintéticos, restos de alimentos e

outras formas de matéria orgânica em decomposição.

Chama-se a atenção para o fato de que para esse experimento só se realizou a adubação de plantio considerando-se a metodologia descrita para experimentos conduzidos em ambientes protegidos: 100, 300 e 150 mg kg⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente (Novais et al., 1991), em que se aplicaram apenas ¼ N, todo o P e todo o K; neste caso, quando se realizou a sementeira, dos 300 mg kg⁻¹ P₂O₅ aplicados, apenas 122,60 mg kg⁻¹ estavam disponíveis.

Ao contrário desta pesquisa, Nascimento (2003) constatou incremento de 321% no teor de P nas parcelas irrigadas com água residuária que continha 5,51 mg L⁻¹ de P, de forma que houve um salto de 4,09 mg dm⁻³ para 23,88 mg dm⁻³. Lucena et al. (2006) concluíram que o uso de efluente de esgoto tratado quando comparado com o uso da água de abastecimento, melhorou as propriedades químicas do Neossolo Quartzarênico, no que diz respeito ao aumento dos teores de P e matéria orgânica do solo.

Considerando o P assimilável aportado na água de irrigação, cerca de 4,60 mg L⁻¹, e que foram aplicados, em média, 392 L/planta, deduz-se que foi fornecido, via irrigação, apenas 1,8 g/planta. Medeiros et al. (2005) relataram que a aplicação de água residuária contendo em média 12,64 mg L⁻¹ de P, embora muito mais rica que a do presente estudo, só foi capaz de suprir adequadamente as necessidades desse nutriente pelo cafeeiro com a aplicação da lâmina maior, 532 mm ano⁻¹.

Na mamoneira, a falta de fósforo afeta, de início, o crescimento devido à redução na absorção de nutrientes, da taxa fotossintética e da translocação interna de carboidratos (Ferreira et al., 2004). De acordo com Raij (1991), um suprimento adequado de P promove um bom desenvolvimento radicular, a boa formação de frutos e a precocidade da produção.

Potássio

Ao contrário do que ocorreu para N e P, constatou-se efeito significativo da água residuária aplicada em diferentes níveis de reposição da evapotranspiração sobre a

concentração de K (Tabela 4), ocorrendo redução linear (Figura 1C).

O conteúdo de potássio no solo decresceu 23,51% entre Nr_1 e Nr_5 ; o aporte desse nutriente nos esgotos domésticos, assim como o de N, é elevado. De acordo com as Tabelas 1 e 2, a concentração média de K no solo e na água de irrigação era $0,20 \text{ cmolc kg}^{-1}$ e $26,82 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. A redução de K^+ , na medida em que se aplicavam maiores volumes de água, pode ser atribuída à lixiviação, uma vez que as amostras foram coletadas até 20 cm de profundidade. Ainda assim, durante o experimento ocorreu uma pequena evolução na concentração de potássio, ocorrendo um salto de $2,00 \text{ mmolc kg}^{-1}$ para uma média de $2,90 \text{ mmolc kg}^{-1}$, estando entre 1,1 e $3,0 \text{ mmolc kg}^{-1}$, considerada como concentração média, segundo os manuais de interpretação de análise de solo (EMBRAPA, 1997).

De acordo com Feigin et al. (1991), a irrigação com efluente não satisfaz as necessidades das culturas em K, porém pode promover o aumento dos teores no solo, como ocorreu no presente trabalho. Medeiros et al. (2005) constataram que a aplicação da lâmina maior, 532 mm ano^{-1} de água residuária contendo em média $32,30 \text{ mg L}^{-1}$ de K (concentração maior que a da presente pesquisa) só foi capaz de suprir 58% da demanda desse nutriente pelo cafeeiro devido à grande exigência da cultura.

Ao contrário de outros elementos, o potássio não forma compostos nas plantas, mas permanece livre para regular processos essenciais como ativação enzimática, fotossíntese, uso eficiente da água, formação de amido e síntese de proteínas (Malavolta, 1996).

Cálcio e Magnésio

Enquanto a concentração de K diminuiu com o incremento das lâminas, as concentrações de cálcio e magnésio aumentaram (Figura 1D e 1E). Verificaram-se acréscimos sucessivos de 7,20 e 32,18% nas concentrações de Ca e Mg no solo que recebeu $1,20 \text{ ETc}$ comparadas àquelas do solo submetido a $0,60 \text{ ETc}$; esta melhoria na fertilidade pode ser atribuída à água utilizada para irrigação, que continha teores médios de cálcio ($56,10 \text{ mg L}^{-1}$) e magnésio ($39,04 \text{ mg L}^{-1}$) adequados e que, de acordo com Avers &

Westcot (1999), podem variar de 0 a 400 mg L^{-1} e 0 a 60 mg L^{-1} , respectivamente, dentro dos padrões.

Lucena et al. (2006) notaram que o tratamento com efluente de esgoto não influenciou os valores de cálcio de forma significativa quando comparado com aquele realizado com água de abastecimento, concordando com Nascimento (2003) e Azevedo & Oliveira (2005). Por outro lado, Medeiros et al. (2005) apontaram que a água residuária pode ser uma alternativa de aporte de Ca^{+2} e Mg^{+2} ao solo, em substituição às fontes tradicionais de calcário. O acréscimo ou decréscimo desses elementos está diretamente relacionado com a concentração na água residuária aplicada, com a concentração absorvida pelas plantas e com a lixiviação no perfil do solo.

As disponibilidades de Ca^{+2} e de Mg^{+2} no início do experimento após a calagem (Tabela 1) eram elevadas, $14,84$ e $7,63 \text{ cmolc kg}^{-1}$, respectivamente; já as concentrações médias desses dois macronutrientes, eram, ao final desta pesquisa, bem inferiores, $3,28$ e $1,52 \text{ cmolc kg}^{-1}$, respectivamente, porém consideradas boas, segundo interpretações de resultados de análise de solo (Lopes & Guidolin, 1989; EMBRAPA, 1997). Denota-se portanto que embora ocorrendo acréscimo linear nas concentrações de Ca^{+2} e de Mg^{+2} com o incremento dos níveis de reposição, não houve melhoria da fertilidade no tocante a esses nutrientes.

Segundo Johns & McConchie (1994), a entrada de Na^+ pela aplicação de efluente pode substituir o Ca^{+2} e o Mg^{+2} na superfície dos colóides, com redução da disponibilidade dos dois nutrientes. A diminuição da disponibilidade de Ca^{+2} e Mg^{+2} em relação à condição inicial (antes do cultivo) se deve, também à extração pela planta; outra provável explicação é a elevada concentração de carbonato ($40,80 \text{ mg L}^{-1}$) e, principalmente, de bicarbonato ($478,75 \text{ mg L}^{-1}$) que causam a precipitação de Ca^{+2} . Nascimento (2003), ao comparar com o estado inicial, também não verificou incremento de Ca^{+2} e Mg^{+2} nos solos após a condução experimental com água residuária.

Sódio

Pelas análises de regressões para a concentração de sódio trocável no solo, constata-se efeito linear significativo (Tabela 4), porém decréscimo linear foi observado apenas sob níveis de reposição superiores a 90% da evapotranspiração, devido, provavelmente, à lixiviação, reduzindo a sua concentração no complexo de troca (Figura 1F).

Ainda mediante análise da Figura 1F, a concentração média de Na^+ observada nos três níveis iniciais (0,60, 0,75 e 0,90 ETc), foi de 23,89 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$, com baixíssima variação entre as concentrações, razão por que se optou pela curva segmentada $Y = 23,89 - 23,056(x - 0,90)$, válida para ' N_r ' > 0,90, como função de resposta que melhor explica os efeitos dos níveis de reposição da evapotranspiração.

A concentração de Na^+ trocável por ocasião da semeadura era 14,7 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$, enquanto ao término do experimento a concentração média foi 21,3 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$; esse acréscimo pode ser devido à concentração de sódio da água de esgoto usada na irrigação, 141,80 mg L^{-1} ($\cong 6,16 \text{mmol}_c \text{L}^{-1}$). Lucena et al. (2006) também verificaram que o teor do sódio trocável (Na) aumentou nas unidades experimentais que foram irrigadas com efluente de esgoto tratado, cuja concentração de Na^+ era 193 mg L^{-1} . Segundo esses autores, o fato de não ter havido percolação das unidades experimentais, em virtude da umidade do solo ter sido mantida a 80% da capacidade de campo, também contribuiu para este aumento na concentração do sódio.

Nascimento (2003) verificou, ao término do experimento, que as parcelas conduzidas com água de abastecimento e água residuária, acumularam 6,84 e 37,65 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, respectivamente. Essas concentrações são bastante elevadas podendo, então, constituir fator limitante para uso de água residuária em razão de haver possibilidade de acúmulo de sódio ao longo do tempo de uso.

Práticas especiais de manejo, como aplicação de lâminas de lixiviação (conforme ocorria nos tratamentos 105 e 120% ETc), aplicação de água de melhor qualidade no tocante ao sódio em determinados períodos e a suspensão do reúso durante o período chuvoso,

podem contribuir para a lixiviação do elemento abaixo da zona radicular.

Observou-se na água residuária, relação da concentração Ca:Mg < 1 ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}/\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e RAS média de 3,55 ($\text{mmol L}^{-1})^{1/2}$, classificada como sendo de risco ligeiro a moderado (Ayers & Westcot, 1999). Os efeitos do sódio são ligeiramente maiores quando, na água da irrigação, a proporção Ca:Mg é menor que a unidade. Isto implica em afirmar que determinado valor de RAS é ligeiramente mais perigoso quando a proporção Ca:Mg é menor que um e, quanto mais baixa for esta proporção maior será o perigo dessa RAS.

Medeiros et al. (2005) constataram que a água residuária contendo 43,18 mg de Na^+ por litro não indicou restrições de uso no que se refere à toxicidade de íons específicos, em razão da concentração menor que 69 mg L^{-1} ($= 3,0 \text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) durante o período de monitoramento. Na presente pesquisa, embora com água residuária contendo o dobro em sódio, 141,80 mg L^{-1} ($\cong 6,16 \text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), também não se observaram efeitos de fitotoxidez.

A presença de sódio na proporção em que se encontrava no efluente (141,80 mg L^{-1}), é indesejável, embora dentro da faixa normalmente encontrada nos efluentes de esgoto (50 a 250 mg L^{-1}), devido aos efeitos maléficos que este elemento pode causar ao ambiente edáfico, alterando certas características físicas do solo, em razão da dispersão de argilas e características químicas influenciando, direta ou indiretamente, o desenvolvimento das plantas. A dispersão de argilas é uma das causas da redução da porosidade do solo, condutividade hidráulica, taxa de infiltração e da destruição da estrutura do solo (Feigin et al., 1991).

Johns & McConchie (1994) verificaram que a irrigação com efluentes não somente proporcionou aumento no teor de Na^+ trocável, mas também, levou ao incremento no teor de Na^+ lixiviado na solução do solo.

A aplicação contínua de água residuária, com CE de 1,40 dS m^{-1} e uma RAS de 3,55 ($\text{mmol L}^{-1})^{0,5}$, utilizada neste trabalho (características apresentadas na Tabela 2), pode, ao longo do tempo, causar problemas de infiltração ao solo, decorrente da sodicidade. Nascimento (2003), em pesquisa com mamoneira, verificou que o uso de água residuária com CE de 1,36 dS m^{-1} sem relato da

RAS, aumentou significativamente a PST do solo, em relação a água de abastecimento. Medeiros et al. (2005) notaram que a água residuária com CE de $0,56 \text{ dS m}^{-1}$, contendo $43,18 \text{ mg L}^{-1}$ de Na^+ não ocasionou problemas de salinidade e o sódio adsorvido se encontrou abaixo dos limites prejudiciais para a cultura do café.

Potencial hidrogeniônico (pH)

De acordo com a Tabela 4 e Figura 1G, não houve efeito sobre o pH do solo; entretanto, considerando-se que o pH inicial do solo era 6,33 (Tabela 1) deduz-se que a disposição de água de esgoto com pH médio = 7,79 (Tabela 2) no solo causou elevação considerável do pH, estando este acima de 7,80, com pouca variação entre as duas cultivares. Lucena et al. (2006) também verificaram que a irrigação com efluente de esgoto tratado melhorou as propriedades químicas do Neossolo Quartzarênico no que diz respeito ao aumento do pH, sendo elevado de 5,7 para 6,4 (aumento de 0,7 unidade), mas com menor intensidade em relação a esta pesquisa, cujo aumento foi de 6,33 para 7,83 (aumento de 1,5 unidade). Xavier (2007), em estudo envolvendo a cultivar BRS Nordeste e águas residuárias tratadas de três indústrias da cidade de Campina Grande, também observou, aos 135 dias após a semeadura, elevação dos valores de pH, os quais giraram entre 6,68 e 8,59. Com a aplicação de esgotos no solo, além do aporte de nutrientes, há a possibilidade da correção da acidez, disponibilizando mais ainda nutrientes para as plantas.

Medeiros et al. (2005) notaram que o manejo com água residuária foi mais efetivo no aumento do pH do solo, comparativamente ao manejo convencional que recebeu calagem, ocorrendo diminuição da acidez trocável (Al^{3+}) e da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), fato que os autores atribuíram ao aumento da alcalinidade do solo e dos cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} e Na^+). Diminuições da acidez trocável e potencial têm sido verificadas em solos que recebem aplicação de águas residuárias (Johns & Mcconchie, 1994).

Segundo Ayers & Westcot (1999) a faixa normal de pH na água de irrigação é 6,50 a 8,40. O pH médio 7,79 da água de esgoto do corrente

estudo está dentro da faixa, sugerindo que tal água não causaria efeito prejudicial algum, no solo irrigado ou nas culturas.

Normalmente, o pH da água de irrigação não tem afetado significativamente o pH do solo, devido ao seu poder tampão; entretanto observou-se efeito direto do efluente no pH do solo, provavelmente em razão da elevada concentração de HCO_3^- ($478,75 \text{ mg L}^{-1}$, em média), uma das formas presentes de alcalinidade nas águas residuárias; porém existe a possibilidade da alcalinidade associada às altas concentrações de Na^+ e CO_3^{2-} , em águas alcalinas, ocasionar aumento do valor de pH do solo (Bouwer & Idelovitch, 1987).

O aumento de pH tem sido atribuído ao alto pH do efluente, à adição de cátions trocáveis e de ânions oriundos do efluente, à alteração na ciclagem de nutrientes mediante a adição de efluente, levando à redução do NO_3^- para NH_4^+ e a denitrificação do NO_3^- , cujos processos produzem íons OH^- e podem consumir prótons (Stewart et al., 1990).

Apesar do efluente de esgoto tratado poder contribuir para a elevação do pH do solo, tanto na camada superficial como no subsolo, mais pronunciadamente em solos que receberam aplicação de efluentes durante vários anos, este aumento de pH tem sido muito pequeno, da ordem de 0,1 a 0,8 unidade (Smith et al., 1996); entretanto, se verificou nesse trabalho, aumento de 1,50 unidade, ao passar de 6,33 para 7,83.

Condutividade elétrica da água (CEsa 1:2,5)

Segundo Ayers & Westcot (1999), as águas cuja condutividade elétrica (CEa) varia entre $0,70$ e $3,00 \text{ dS m}^{-1}$ são classificadas de risco moderado (Classe C2) quanto ao risco de salinização. Vê-se, portanto que, em se tratando de qualidade de água para irrigação quanto à salinidade, a água residuária de origem doméstica ($\text{CEa} = 1,40 \text{ dS m}^{-1}$) é classificada como de restrição moderada (Classe C2).

A condutividade elétrica da suspensão solo-água (CEsa) foi consideravelmente afetada pelos diferentes níveis de reposição da ETC (Tabela 4), com redução significativa quando se aplicaram lâminas de irrigação superiores a 90% da evapotranspiração (Figura 1H), devido por certo à lavagem dos sais com a aplicação de volumes de água superiores a 100% da ETC: já

Medeiros et al. (2005), investigando alterações químicas no solo, notaram que, pelo fato da água residuária utilizada ser de baixa salinidade (CE de $0,56 \text{ dS m}^{-1}$), não houve problemas de salinidade para o solo nem para o cafeeiro.

Os problemas maiores resultaram da aplicação das menores lâminas de irrigação (CEsa $0,89 \text{ dS m}^{-1}$ em média, até $0,90 \text{ ETc}$) devido ao fato básico de que as plantas são grandes consumidores de recursos de água. As plantas em crescimento extraem água (transpiram) e deixam os sais; isto, somado à evaporação da água do solo, traz como consequência concentrações de sais na superfície do solo.

Xavier (2007) em estudo envolvendo a cultivar BRS Nordestina e águas residuárias provenientes de indústrias, também observou efeitos significativos das lâminas de irrigação com valores de CEsa variando entre $0,29$ e $1,00 \text{ dS m}^{-1}$, aos 135 dias após a semeadura.

Nascimento (2003), pesquisando a cultivar BRS Nordestina irrigada com água residuária (CE $1,36 \text{ dS m}^{-1}$) em relação à água de abastecimento (CE $0,59 \text{ dS m}^{-1}$), registrou incremento de 222% na condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes); a CEes final das parcelas irrigadas com água residuária e de abastecimento foi $1,71$ e $5,51 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente; salienta-se que na presente pesquisa se avaliou a condutividade elétrica da suspensão solo-água (CEsa), sendo seu valor bem inferior ao da CEes, na ordem de 4 a 6 vezes.

Águas da classe C_2 ($0,70$ e $3,00 \text{ dS m}^{-1}$), como a água residuária utilizada nesta pesquisa, não podem ser usadas em solo de drenagem deficiente (Daker, 1988). Mesmo nos solos de boa drenagem, como o utilizado aqui (franco-arenoso), pode-se necessitar de práticas especiais de controle da salinidade e se deve plantar somente vegetais tolerantes aos sais. O aumento da condutividade elétrica (CE) do solo mediante a irrigação com efluente tem sido comum em sistemas agrícolas, pastagens e florestas, mais pronunciadamente na camada superficial do solo (Smith et al., 1996). Verificam-se ainda, pelas informações contidas na Tabela 4, ausência de efeito do fator 'cultivar' e ausência de efeito interativo.

4 CONCLUSÕES

A aplicação de água residuária por seis meses melhorou a fertilidade do solo com elevação do pH de $6,33$ para $7,83$ e, do teor de N-org. de $0,26 \text{ g kg}^{-1}$ para $1,20 \text{ g kg}^{-1}$.

A aplicação de efluente de esgoto contendo sódio na concentração de $141,80 \text{ mg L}^{-1}$, CEa $1,40 \text{ dS m}^{-1}$ pode acarretar dispersão de argilas impermeabilização e salinização, efeitos maléficos ao ambiente edáfico.

A condutividade elétrica da suspensão solo-água (CEsa) é reduzida linearmente sob níveis de reposição da evapotranspiração superiores a 90%.

AGRADECIMENTOS

Ao Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-Hidro)/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - *Water Environment Federation. Standard methods for examination of water and wastewater*. 19. ed. Washington, DC: APHA, 1995. 1082p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. Tradução de Gheyi, H.R.; Medeiros, J.F.; Damasceno, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 218p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29).

BASTOS, R. K. X. (Coord.) *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, RiMa. 2003. 267p.

BOUWER, H.; IDELOVITCH, E. Quality requirements for irrigation with sewage water. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 113, p. 516-535, 1987.

- DAKER, A. *Irrigação e drenagem: A água na agricultura*. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. v.3, 1988. 543p.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro. Centro Nacional de Pesquisa de solos. 2. ed. 1997. 212p.
- FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. *Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection*, Berlin: Springer-Verlag. 1991. 233p.
- FERREIRA, G. B.; SANTOS, A. C. M. XAVIER, R. M.; FERREIRA, M. M. M.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. de M. Deficiência de fósforo e potássio na mamoneira (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA - ENERGIA E SUSTENTABILIDADE, 1., 2004, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004. 5p.
- HESPANHOL, I. *Potencial de reúso de água no Brasil - agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v. 7, p. 75-95, 2002.
- JOHNS G. G.; McCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. ii. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. *Australian Journal of Agriculture Research*, v. 45, p. 1619-1638, 1994.
- KOURAA, A; FETHI, F.; FAHDE, A.; LAHLOU, A. QUZZANI, N. Reuse of urban wastewater treated by a combined stabilization pond system in Benslimane (Morocco). *Urban water*, v. 4, p. 373-378, 2002.
- LOPES, A. S.; GUIDOLIN, J.A. *Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações*. 2. ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 1989. 64p.
- LUCENA, A. M. A.; GUERRA, H. O. C.; CHAVES, L. H. G.; COSTA, F. X. Análise de um efluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um neossolo quartzarênico. Mossoró – RN. *Revista Caatinga*, Mossoró, RN, v. 19, n. 4, p. 409-414, out/dez. 2006.
- MALAVOLTA, E. *Nutri-fatos: informação agrônômica sobre nutrientes para as culturas*. Arquivo do Agrônomo. Piracicaba: Potafos, 1996, n.10, p.13.
- MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. *Reúso de água*. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo: Manole, 2003.
- MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, DEAg/UFCA. v. 9, n. 4, p. 603-612, 2005.
- MELI, S.; PORTO, M.; BELLIGNO, A.; BUFO, S.A.; MAZZATURA, A.; SCOPA, A. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a citrus orchard under Mediterranean condition. *The Science of the Total Environment*, v. 285, p. 69-77, 2002.
- NASCIMENTO, M. B. do H. *Modificações no ambiente edáfico, na água e na mamoneira submetidos ao uso de biossólido e água residuária*. 2003. 75p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. In: OLIVEIRA, A.J. de; GARRIDO, W.E.; ARAÚJO, J. D. de; Lourenço, S. (coords.). *Ensaio em ambiente controlado*. Brasília: EMBRAPA. 1991. cap.2, p189-198. (EMBRAPA-SEA. Documento, 3).
- PIZARRO, F. *Riegos localizados de alta frecuencia*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2. ed., 1990. 471p.

RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.

RICHARDS, L.A. *Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos e sodicos*. United States Department of Agriculture (USDA), México, D.F. 1977. 172p.

SANTOS, J. W. dos; MOREIRA, J. A. N.; BELTRÃO, N. E. de M. Avaliação do emprego dos testes de comparação de médias na revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB) de 1980 a 1994. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, n. 3, p. 225-230, 1998.

SMITH, C. J.; HOPMANS, P.; Cook, F. J. Accumulation of Cr, Pb, Cu, Ni, Zn and Cd in soil following irrigation with treated urban effluent in Australia. *Environmental Pollution*, v. 94, p. 317-323, 1996.

STEWART, H. T. L.; HOPMANS, P.; FLINN, D. W. Nutrient accumulation in trees and soil following irrigation with municipal effluent in Australia. *Environmental pollution*, v. 63, p. 155-177, 1990.

XAVIER, J. F. *Águas residuárias provenientes de indústrias e seus efeitos no crescimento e desenvolvimento da mamoneira BRS Nordestina*. 2007. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

¹ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola/UFCG

² Prof. da EAFC-PA. BR 316 km 63, CEP 68745-970. Castanhal-PA. Fone (91) 3412-1604. E-mail: luis.lunero@gmail.com

³ UAEG/UFCG. Av. Aprígio Veloso 882, CEP 58109-970. Campina Grande-PB. Fone (83) 3310-1285. E-mail(s): cydanery@gmail.com; pdantas@pesquisador.cnpq.br

⁴ EMBRAPA/CNPA. E-mail: napoleão@cnpa.embrapa.br