

Josimar de Azevedo¹

Ian C. B. Dutra²

Fabricia G. B. Costa³

Rafael O. Batista^{4*}

Lucas R. da Costa⁵

*Autor para correspondência

¹ Graduando em Eng. Agrônomo., Departamento de Ciências Vegetais - UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caixa Postal 137, 59625-900. Mossoró - RN. E-mail: simar_azevedo@hotmail.com

¹ Arquiteto, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas - UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caixa Postal 137, 59625-900. Mossoró - RN. E-mail: iandutra@ufersa.edu.br

¹ Eng. Agrônomo. M. Sc., Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas - UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caixa Postal 137, 59625-900. Mossoró - RN. E-mail: fabricia_gratyelli@hotmail.com

¹ Eng. Agrícola D. Sc., Professor Adjunto II do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas - UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caixa Postal 137, 59625-900, Mossoró-RN. E-mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br

¹ Eng. Agrônomo, Departamento de Ciências Vegetais - UFERSA - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caixa Postal 137, 59625-900. Mossoró - RN. E-mail: lucas.ramosjr@hotmail.com



Alterações químicas de cambissolo fertirrigado com água residuária doméstica tratada

RESUMO

O presente trabalho objetivou analisar os efeitos da aplicação da água residuária doméstica primária nas características químicas de um Cambissolo sob cultivo da pimenta malagueta. Para tal, foi montada uma área experimental de 744 m² no assentamento Milagres em Apodi-RN, composta de estação de tratamento de esgoto e de sistema de irrigação por gotejamento. No experimento foram utilizadas 25 parcelas, onde cada parcela ocupou uma área de 12,5m². Os tratamentos utilizados foram T1 - 100% de aplicação água residuária (EDP) e 0% de água de abastecimento (AA), T2 - 75% de EDP e 25% de AA, T3 - 50% de EDP e 50% de AA, T4 - 25% de EDP e 75% de AA e T5 - 0% de EDP e 100% de AA. Durante o período experimental foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas do EDP e da AA. No solo foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 0,20m, 0,20 a 0,40m e 0,40 a 0,60 m para realização de análises químicas. O experimento foi montado no delineamento em Blocos Casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições. Os resultados indicaram que ocorreram elevações nos valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, sódio e matéria orgânica com o aumento da proporção de EDP em relação à AA. Enquanto, que os valores de pH apresentaram redução com o aumento da proporção de EDP.

Palavras-chave: sustentabilidade, reuso, solo.

Chemical alterations of cambissolo fertigated with treated domestic wastewater

ABSTRACT

This study aimed to analyze the effects of application of primary sewage on chemical characteristics of a Cambisol under cultivation of chilli pepper. So, an experimental area of 744 m² was mounted in community rural Milagres, Apodi-RN composed of sewage treatment plant and drip irrigation system. On experiment were used 25 plots, where each plot occupied an area of 12.5 m². The treatments were T1 - 100% of primary domestic sewage application (EDP) and 0% water supply (AA), T2 - 75% of EDP and 25% of AA, T3 - 50% of EDP and 50% of AA, T4 - 25% of EDP and 75% of AA and T5 - 0% of EDP and 100% of AA. During the experimental period were analyzed for physico-chemical and microbiological characteristics of the EDP and the AA. In soil samples were collected in layers of 0 to 0.20 m, 0.20 to 0.40 m and 0.40 to 0.60 m for chemical analysis. The trial was a randomized block design with five treatments and five replications. The results indicated that elevations occurred in electrical conductivity of soil saturation extract, sodium and organic matter with increasing proportion of EDP regarding AA. While the pH values decreased with increasing proportion of EDP.

Keywords: sustainability, reuse, soil.

INTRODUÇÃO

A cultura da pimenta malagueta vem crescendo rapidamente nos últimos anos em diversas regiões brasileiras, com destaque para as regiões Sudeste Nordeste. A cultura é de grande importância econômica, em razão de sua alta rentabilidade e da demanda de mão de obra, especialmente na colheita. A produção de pimenta é caracterizada pela agricultura familiar e pelo plantio predominante da pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*). Essa planta arbustiva está adaptada a várias regiões brasileira, tendo o início de colheita aproximadamente aos 50 dias após o transplante, permitindo muitas colheitas, dependendo principalmente das condições de cultivo. Produz frutos de formato cônico-alongado, com comprimento médio de 7 cm e diâmetro de 1 cm, coloração verde que fica vermelha intensa quando maduros. Seu ciclo oscila de 90 a 140 dias, proporcionando produtividades que variam de 4 a 12 toneladas por hectare (VEZON *et al.*, 2011).

A pimenta malagueta possui grande versatilidade de usos na alimentação humana, podendo ser utilizada in natura, em conserva e na fabricação de molhos que variam do caseiro ao industrializado. Desse modo, é possível observar que em diversas regiões de plantio existe uma interação entre os produtores e a indústria. Pode-se então afirmar que o cultivo da pimenta malagueta é uma atividade de grande importância social, econômica e cultural, principalmente em regiões que são as principais produtoras e ao mesmo tempo consumidoras (VEZON *et al.*, 2011).

A necessidade de desenvolvimento de técnicas para reuso da água torna-se evidente quando avaliada a deficiente infraestrutura sanitária existente no mundo, principalmente nos países em desenvolvimento (BARROSO & WOLFF, 2011). Onde ausência de saneamento básico acarreta poluição ambiental e causa prejuízo à saúde das populações. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010), 55,2% dos municípios brasileiros apresentam rede coletora de esgoto doméstico bruto. No entanto, apenas 28,5% dos municípios dispõem de sistema para tratamento de esgoto doméstico bruto.

Estima-se que 18,71 % da população brasileira vivem em área rural, correspondendo a 31,8 milhões de habitantes que, em sua quase totalidade, lançam os esgotos diretamente nos rios, lagos ou mesmo no solo localizado nas proximidades das moradias. O lançamento descontrolado desses esgotos domésticos em corpos hídricos representa uma das principais causas da poluição hídrica no Brasil e no mundo (IBGE, 2010).

Em função da escassez de água que atinge várias regiões do Brasil, associada aos problemas de qualidade da água, torna-se uma alternativa potencial de racionalização desse bem natural a reutilização da água para vários usos, inclusive a irrigação agrícola, que representa, aproximadamente, 70% do consumo hídrico no mundo (HESPANHOL, 2008). Assim, a técnica de reuso tende a ser um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil (HESPANHOL, 2009).

São vários os benefícios da água residuária doméstica na agricultura, por terem em sua composição água e nutrientes, promove a possibilidade de substituição parcial de fertilizantes químicos, com a diminuição do impacto ambiental, em função da redução da contaminação dos corpos hídricos; um significativo aumento na produção, tanto qualitativo quanto quantitativo; economia da quantidade de água direcionada para a irrigação, que pode ser utilizada para fins mais nobres, como o abastecimento público; além de promover a melhoria das condições físicas do solo pela adição da matéria orgânica, ao mesmo tempo em que se resolve o problema da sua disposição final (MEDEIROS *et al.*, 2005; MELO *et al.*, 2005; FONSECA *et al.*, 2007).

O uso agrícola de águas residuárias domésticas, no entanto, deve ser feito com controle, pois se de um lado suas características químicas consideravelmente favoráveis à reutilização, por outro lado, não se deve esquecer que o caráter sanitário deste resíduo pode vir a conter microorganismos patogênicos prejudiciais ao homem, aos animais e ao meio ambiente (HESPANHOL, 2009).

Portanto, a prática de utilização de água residuária doméstica consiste em uma das alternativas para a seca no semiárido nordestino, além de reduzir os custos de fertilização das culturas e o nível requerido de purificação do efluente e, conseqüentemente, os custos de seu tratamento (SANTOS *et al.*, 2012). Além disso, o tratamento dos esgotos domésticos reduz os riscos à saúde humana, a poluição do solo, dos aquíferos e dos corpos hídricos receptores, pois tanto o afluente como o efluente pode conter certos constituintes poluentes (CAVINATTO; PAGANINI, 2007). Apesar da importância do emprego de água residuária na irrigação, no semiárido as informações sobre os efeitos da aplicação de esgoto doméstico tratado sobre o sistema solo-planta ainda são incipientes.

Souza *et al.* (2011) estudaram os efeitos microbiológicos da aplicação de água residuária doméstica terciária na fertirrigação de cambissolo cultivado com cafeeiro. Concluíram que a contaminação por coliformes termotolerantes na superfície do solo foi mínima e sem risco para a saúde do homem, chegando à ausência de contaminação a 1,00 m de profundidade. Em outro estudo Santos *et al.* (2006) verificaram que a aplicação de água residuária doméstica terciária elevou significativamente a concentração de nitrogênio no solo. Relataram também que não é recomendável a aplicação do efluente seguindo os e critérios de restabelecimento das necessidades hídricas do cafeeiro.

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou estudar os efeitos da aplicação de esgoto doméstico primário nas características químicas de cambissolo sob cultivo da pimenta malagueta no assentamento Milagres em Apodi, RN.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no Projeto de Assentamento Rural Milagres em Apodi-RN, situado a 100 km de Mossoró-RN, sob as coordenadas geográficas 5°35'22" de latitude sul e 37°54'09" de longitude oeste e altitude de 150 m. Na Figura 1 está apresentada a localização da área experimental para tratamento e aproveitamento agrícola do esgoto doméstico.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo BSw'h', caracterizado por ser muito quente e semiárido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono. A insolação média da região é de aproximadamente 3041 horas ano⁻¹, com evaporação média de 2190 mm ano⁻¹, umidade relativa média de 66,8 % e precipitação média de aproximadamente 893 mm ano⁻¹ segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O assentamento Milagres possui 107 habitantes ocupando 28 residências, gerando diariamente cerca de 20 m³ de esgoto doméstico. Todo esgoto é canalizado e transportado até uma estação de tratamento de esgoto doméstico e reuso de água. Tal sistema consta de um decanto-digestor (tanque séptico mais dois filtros anaeróbios) e um sistema de irrigação por gotejamento para aplicação da água residuária doméstica primária.

Decanto-digestor

Este sistema de tratamento proporcionou a remoção dos sólidos decantáveis, areia e material gorduroso da água residuária doméstica, efetuando o tratamento denominado preliminar/primário.

Consiste em uma infraestrutura construída em alvenaria de tijolos e reboco impermeabilizante nas dimensões de 4,0 m de largura por 8,0 m de comprimento por 1,80 m de profundidade (Figura 2).



(a)



(b)

Figura 1 - Vista frontal do decanto-digestor destacando internamente (a) e externamente (b) o tanque séptico e os dois filtros biológicos.

O decanto-digestor possui profundidade útil de 1,30 m, sendo dividido assim:

- Um tanque séptico com duas câmaras, medindo de 2,0 m de largura por 7,6 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, tempo de detenção hidráulica de 12 horas, frequência para remoção do lodo a cada dois anos, ocupando um volume de aproximadamente 20 m³. A divisória entre as câmaras do tanque séptico foi implantada a 2/3 do seu comprimento interno, ou seja, a 5,4 m do ponto de entrada da água residuária doméstica. Para a passagem do efluente de uma câmara para outra foram construídas cinco aberturas, cada uma com dimensões médias de 0,20 m de largura por 0,50 m de altura; e

- Dois filtros anaeróbios de fluxo descendente, cada um nas dimensões de 1,0 m de largura por 6,0 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, ocupando os dois um volume de 16,0 m³. Os filtros anaeróbios foram preenchidos, internamente, com tijolos cerâmicos de oito furos para auxiliar na formação de biofilme para degradação de poluentes químicos e orgânicos presentes no efluente. O tempo de detenção hidráulica estimado para cada filtro foi de duas horas.

Sistema de aplicação do esgoto doméstico e da água de abastecimento

O sistema de aplicação de esgoto doméstico e da água de abastecimento consta de um conjunto de irrigação pressurizado dotado dos seguintes componentes:

- Dois reservatórios de 10 m³ para armazenamento de esgoto doméstico primário e água de abastecimento confeccionado com concreto armado nas dimensões de 3,5 m de diâmetro por 1,0 m de profundidade;

- Dois conjuntos motobomba de 1,5 cv automatizadas e dois filtros de discos com aberturas de 130 µm (Figura 4c); e

- Cinco subunidades de irrigação por gotejamento (Figura 4d) com emissores não autocompensantes de 1,6 L h⁻¹ de vazão nominal e espaçamento entre emissores de 0,30 m.

Tais conjuntos de irrigação foram montados em área de 744 m², sendo destinados para a irrigação da pimenta malagueta, com esgoto doméstico primário e água de abastecimento proveniente de um poço, cujo nível da água se situa a 150 m de profundidade, existente no assentamento Milagres (recalcada por bomba submersa multiestágios com potência de 9,0 cv).

O solo da área experimental do Assentamento Milagres foi classificado como Cambissolo TA Eutrófico Típico. Na Tabela 1 estão apresentadas as características físico-químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40 m e 0,40 a 0,60 m.

Classificação e caracterização do solo antes da aplicação do esgoto doméstico primário

Tabela 1 - Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento antes da aplicação do esgoto doméstico.

Camada no perfil do solo (m)	p H	MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	K ⁺ mg dm ⁻³	Na ⁺ mg dm ⁻³	N mg dm ⁻³	B mg dm ⁻³	Cu mg dm ⁻³	Zn mg dm ⁻³	Ca ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Mg ²⁺ cmol _c dm ⁻³	Al ²⁺ cmol _c dm ⁻³	SB cmol _c dm ⁻³	CTC cmol _c dm ⁻³	m %
0 a 0,20	6,	1,8	7,7	138	125	0,25	0,3	0,7	3,1	2,1	0,6	0,0	3,05	4,04	0
0,20 a 0,40	7,	1,2	1,4	106	120	0,20	0,2	0,9	0,5	1,8	0,6	0,0	2,67	3,17	0
0,40 a 0,60	6,	1,1	0,7	134	118	0,18	0,3	0,5	0,4	3,5	1,3	0,0	5,14	5,14	0

Camada no perfil do solo	Densidade do solo g cm ⁻³	Areia kg kg ⁻¹	Silte kg kg ⁻¹	Argila kg kg ⁻¹	Umidade (%) 0,01 MPa	1,5
0 a 0,20	1,80	0,83	0,07	0,10	28,6	6,2
0,20 a 0,40	1,69	0,55	0,07	0,38	18,2	12,2
0,40 a 0,60	1,73	0,47	0,06	0,47	18,0	12,7

Descrição dos tratamentos e delineamento estatístico

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação do esgoto doméstico primário (EDP) e água de abastecimento

(AA), conforme apresentado na Figura 2, com cinco distintas proporções: Tratamento 1 (100% de EDP e 0% de AA); Tratamento 2 (75% de EDP e 25% de AA); Tratamento 3 (50% de EDP e 50% de AA); Tratamento 4 (25% de EDP e 75% de AA); e Tratamento 5 (0% de EDP e 100% de AA).

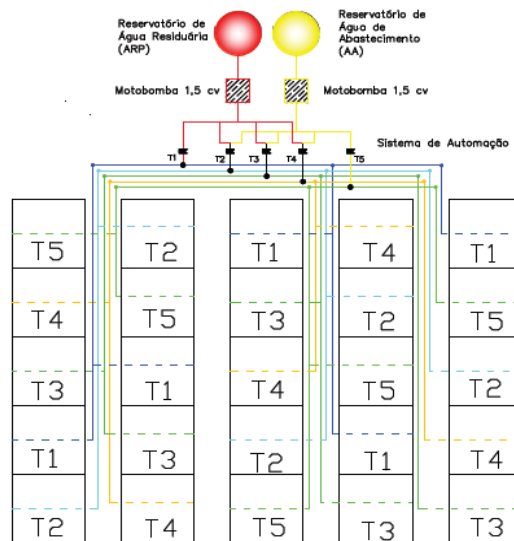


Figura 2 - Ilustração do delineamento experimental.

Instalação e condução do experimento

A cultura utilizada foi a pimenta malagueta, sendo transplantada no dia 14 de março de 2012. O espaçamento utilizado no experimento foi de 1,0 m entre fileiras de plantas por 0,30 m entre plantas.

As parcelas experimentais foram constituídas de cinco fileiras de plantas de 2,5 m sendo duas bordaduras e

as fileiras centrais a parcela útil, totalizando 25 parcelas de 12,5 m² (Figura 2). Foram realizadas capinas manuais para que o experimento ficasse ausente de plantas que competissem pelos nutrientes.

Tabela 3 - Lâminas de água residuária doméstica primária (EDP) e de água de abastecimento (AA) utilizadas na irrigação da pimenta malagueta, ao longo do período experimental.

Tratamentos	Lâminas (mm)		
	EDP	AA	EDP + AA
T1	692	0	692
T2	519	173	692
T3	346	346	692
T4	173	519	692
T5	0	692	692

Nota: T1 - 100% de EDP e 0% de AA; T2 - 75% de EDP e 25% de AA, T3 - 50% de EDP e 50% de AA, T4 - 25% de EDP e 75% de AA e T5 - 0% de EDP e 100% de AA (testemunha).

Monitoramento da qualidade da água residuária e da água de abastecimento

No período de 25 de abril a 25 de julho de 2012, foram realizadas, no experimento, quatro amostragens tanto do esgoto doméstico quanto da água de abastecimento. Os pontos de amostragem no sistema de tratamento de esgoto doméstico foram: Afluente - entrada do decanto digestor; e Efluente - reservatório de água residuária doméstica primária. As análises físico-químicas do esgoto doméstico primário e da água de abastecimento seguiram as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Para caracterização físico-química do esgoto doméstico, amostras foram coletadas e preservadas em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4°C até a entrada nos laboratórios. Em seguida, tais amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e o Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN) onde foram realizadas análises de: pH, condutividade elétrica (CE), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e sódio (Na).

Na caracterização microbiológica do esgoto doméstico primário e da água de abastecimento, outras amostras foram coletadas em frascos esterilizados, posteriormente preservadas em caixa isotérmica com gelo à 4°C e encaminhadas para o Laboratório de Inspeção de

Produtos de Origem Animal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) para identificação e quantificação dos níveis populacionais de coliformes termotolerantes (CTe).

Monitoramento da qualidade do solo

No Cambissolo da área experimental foram coletadas amostras nos tempos de avaliação de 0, 40, 67 e 102 dias após o transplante, sendo a amostragem realizada em média a cada 34 dias para caracterização do pH, condutividade elétrica no extrato de saturação do solo, sódio e matéria orgânica, seguindo as recomendações da EMBRAPA.

Tais amostras foram coletadas em cada uma das 25 parcelas cultivadas com a pimenta malagueta e fertirrigadas com as distintas proporções de esgoto doméstico primário e de água de abastecimento nas camadas do perfil do solo de 0 a 0,20 m, 0,20 a 0,40m e 0,40 a 0,60 m.

Foram coletadas quatro amostras simples de solo em cada parcela, próximas a faixa molhada do sistema de irrigação por gotejamento, nas três camadas do perfil do solo. Para cada profundidade foi obtida uma amostra composta resultante da mistura das quatro amostras simples. Em seguida, encaminharam-se as amostras compostas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade do esgoto doméstico primário

Comparando os valores das características físico-químicas e microbiológicas do afluente e do efluente do decanto-digestor (Tabela 4) notaram-se variações em função dos hábitos alimentares e domésticos dos assentados. A razão de adsorção de sódio aumentou no efluente devido ao acúmulo de lodo no tanque séptico do decanto digestor. Normalmente no lodo de esgoto existe a presença de urina, material fecal, resíduos de alimentos e produtos de limpeza (hipoclorito de sódio e outros) que incorporam sódio no efluente.

A característica pH apresentou durante o período experimental valores entre 5 e 9, estando, assim, em conformidade com padrão para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos receptores no Estado do Ceará (CEARÁ, 2002). No trabalho desenvolvido por Moura et al. (2011) com tanque séptico e filtro anaeróbio para o tratamento de esgoto doméstico foram obtidos valores médios de pH do afluente e efluente de 7,40 e 6,81, respectivamente, indicando ligeira acidificação do efluente. Com relação ao risco de obstrução de gotejadores, o pH do efluente foi classificado como moderado, pois encontrou-se dentro da faixa de 7,0 a 7,5 estabelecida por Nakayama, Boman e Pitts (2006).

Tabela 4 - Valores médios, remoção e coeficientes de variação das características físico-químicas e microbiológicas da água residuária de origem doméstica com e sem tratamento no decanto digestor, no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012.

Características	Afluente	Efluente	Remoção (%)
pH	6,69	7,30	-
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	1,13	0,98	13,27
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)	2,2x10 ⁶	2,2x10 ³	99,90
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹)	1982,25	121,75	93,86
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L ⁻¹)	824,25	30,25	96,33
Sódio (mmol _c L ⁻¹)	6,99	6,76	3,29
Razão de adsorção de sódio (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	5,55	6,22	-

Nota: NMP – número mais provável.

Com relação à condutividade elétrica, os valores oscilaram de 0,98 a 1,13 dS m⁻¹ (Tabela 4), sendo inferiores ao limite de 3,0 dS m⁻¹, estabelecidos para reuso de água em cultivos agrícolas (CEARÁ, 2002). Tais resultados diferem da faixa de 1,05 a 1,17 dS m⁻¹ obtida por Moura et al. (2001) no tratamento de esgoto doméstico com tanque séptico e filtro anaeróbio. A condutividade elétrica média do efluente, também, apresentou risco moderado de obstrução de gotejadores dentro da faixa de 0,8 a 3,1 dS m⁻¹ (NAKAYAMA; BOMAN; PITTS, 2006).

O decanto-digestor proporcionou redução no nível populacional médio dos coliformes fecais de 2,2x10⁶ NMP por 100 mL para 2,2x10³ NMP por 100 mL (Tabela 4), tendo remoção média de 99,90%. No trabalho realizado por Moura et. al. (2011) com esgoto doméstico tratado em tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar a remoção média dos coliformes fecais foi de 99,99%. Analisando as diretrizes de reuso da água na agricultura (CEARÁ, 2002), o nível populacional médio de coliforme fecais presente no efluente foi inferior à 5.000 coliformes fecais por 100 mL, podendo ser utilizado na fertirrigação de cultivos agrícolas não consumidos crus.

As concentrações médias da DQO no afluente e efluente foram de 1982,25 mg L⁻¹ e 121,75 mg L⁻¹ (Tabela 4), possibilitando remoção média de 93,86%. Tal remoção foi superior à remoção média de DQO de 76,68% obtida por Moura et al. (2011) com o tratamento

de esgoto doméstico em tanque séptico, filtro anaeróbio e reator solar. O valor médio da DQO do efluente foi inferior ao limite de 200 mg L⁻¹ estabelecido para o lançamento de água residuárias tratadas em corpos hídricos receptores (CEARÁ, 2002).

O decanto-digestor reduziu a DBO da água residuária de 824,25 mg L⁻¹ para 30,25 mg L⁻¹ (Tabela 5), obtendo remoção média de 96,33%, inferior à faixa de 57 a 65% obtida por Reinaldo et al. (2012). De acordo com a Portaria n° 154/2002, o valor médio da DBO do efluente atende ao padrão de 60 mg L⁻¹ de DBO para lançamento em corpos hídricos receptores (CEARÁ, 2002).

A concentração média de sódio no efluente foi superior à 1,93 mmol_c L⁻¹ obtida por Batista, Soares e Santos (2006) em experimento com esgoto doméstico terciário. Segundo Ayers e Westcot (1999), concentrações de sódio superior a 3,0 e 9,0 mmol_c L⁻¹ fornecidas via irrigação por aspersão e superfície, respectivamente, podem reduzir o desenvolvimento e a produção de cultivos agrícolas sensíveis.

A razão de adsorção de sódio foi maior que o valor de 2,54 (mmol_c L⁻¹)^{0,5} apresentado por Batista, Soares e Santos (2006) em estudo com esgoto doméstico terciário. Analisando de forma conjunta as características condutividade elétrica e razão de adsorção de sódio, verificou-se que o efluente representa risco ligeiro a moderado para a infiltração de efluente no solo, devido à

dispersão das argilas que causa selamento do espaço poroso (AYERS; WESTCOT, 1999).

Utilizando a classificação proposta pelo U. S. SALINITY LABORATORY STAFF, o efluente pode ser classificado como de salinidade alta, C3 (podendo ser usada somente em plantas com boa tolerância aos sais, não aplicar em solos com deficiência de drenagem) e com baixo perigo de alcalinização do solo, S1 (podendo ser usada em quase todos os solos).

Qualidade da água de abastecimento

O valor médio do pH da água de abastecimento, durante o período experimental, foi de 6,92 enquadrando-se na faixa de 6,0 a 9,5 estabelecido pela Portaria n°

518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005) para potabilidade da água. De acordo com Nakayama, Boman e Pitts (2006), o valor médio do pH foi menor que 7,0 sendo o risco de obstrução de gotejadores classificado como baixo.

Para a condutividade elétrica da água de abastecimento, o seu valor médio (0,08 dS m⁻¹ apresentado na Tabela 5) atendeu ao padrão de potabilidade da pela Portaria n° 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005), sendo inferior ao limite de 1,57 dS m⁻¹. Além disso, a condutividade elétrica média da água de abastecimento indica baixo risco de obstrução de gotejadores, por ser inferior ao limite de 0,8 dS m⁻¹ (NAKAYAMA; BOMAN; PITTS, 2006).

Tabela 5 - Valores médios e coeficientes de variação das características físico-químicas e microbiológicas da água de abastecimento, no período de 25 de abril a 25 de julho de 2012.

Características	Média
pH	6,92
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,08
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)	0
Sódio (mmol _c L ⁻¹)	0,42
Razão de adsorção de sódio (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	0,49

Nota: NMP – número mais provável.

Os níveis populacionais de coliformes termotolerantes foram ausentes, novamente tais características atendem ao padrão de potabilidade da água estabelecido pela Portaria n° 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005). Além do mais, a água de abastecimento não representa riscos de contaminação microbiológica quando da irrigação de cultivos agrícolas (CEARÁ, 2002).

O teor médio de sódio da água de abastecimento no valor de 0,42 mmol_c L⁻¹ (Tabela 5) evidencia a potabilidade dessa água, por ser inferior ao limite de 8,7 mmol_c L⁻¹ estabelecido na Portaria no 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005). Da mesma forma tal característica não impede a recomendação dessa água para irrigação de cultivos agrícolas por seu valor médio é inferior a 3,0 mmol_c L⁻¹ (AYERS; WESTCOT, 1999).

Como apresentado na Tabela 5, o valor médio da razão de adsorção de sódio na água de abastecimento foi de 0,49 (mmol_c L⁻¹)^{0,5}. Fazendo-se o uso da classificação proposta pelo U. S. SALINITY LABORATORY STAFF, apresentada por Bernardo, Soares e Mantovani (2008), a água pode ser classificada como de salinidade baixa, C1 (podendo ser utilizada na irrigação da maioria das culturas com pouca probabilidade de ocasionar salinidade) e com baixo perigo de alcalinização do solo, S1 (podendo ser usada em quase todos os solos). No entanto, a água apresenta risco severo de redução da infiltração de água no solo devido aos baixos valores de condutividade

elétrica (CE) e razão de adsorção de sódio (RAS) (AYERS; WESTCOT, 1999).

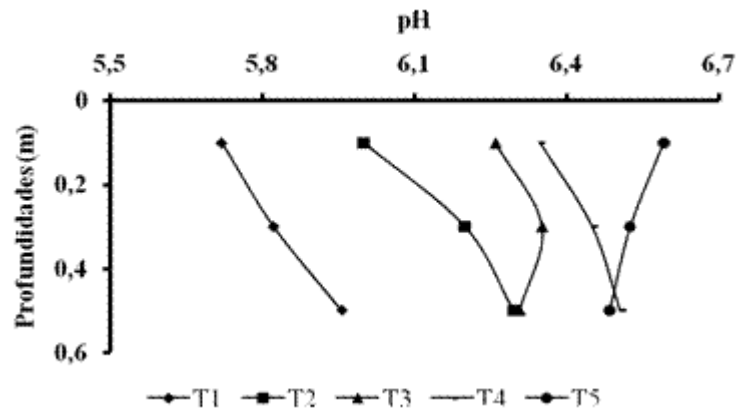
Efeitos de distintas proporções da água residuária de origem doméstica e água de abastecimento nas características químicas e microbiológicas do solo

Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH do solo é um dos fatores que mais influencia a disponibilidade de nutrientes às plantas. As amostras de solo coletas nas parcelas cultivadas com pimenta malagueta apresentaram redução nos valores de pH com o aumento da proporção de água residuária, provavelmente devido a mineralização do nitrogênio orgânico que resultou na liberação de íons H⁺.

Nos tratamentos T1 e T3 foram observadas as menores reduções de pH, enquanto nos tratamentos T4 e T5 foram encontrados os maiores valores de pH (Figura 3). Na profundidade de 0,10 m foram observados os menores valores de pH, com exceção do tratamento T5. Duarte et al. (2008) verificaram que o tipo de tratado da água residuária interfere nos valores de pH dos solos fertirrigados com efluentes.

Os valores de pH dos solos sob os tratamentos T1 a T5 encontram-se dentro das faixas de 5,5 a 6,0 e de 6,1 a 7,0 proposta pela CFSEMG (1999), sendo classificados agronomicamente como bom e alto, respectivamente.



Nota: T1 (100% de esgoto doméstico primário-EDP e 0% de água de abastecimento-AA); T2 (75% de EDP e 25% de AA); T3 (50% de EDP e 50% de AA); T4 (25% de EDP e 75% de AA); e T5 (0% de EDP e 100% de AA).

Figura 3 - Valores de pH do solo sob aplicação de água residuária de origem doméstica em função da profundidade de cada tratamento.

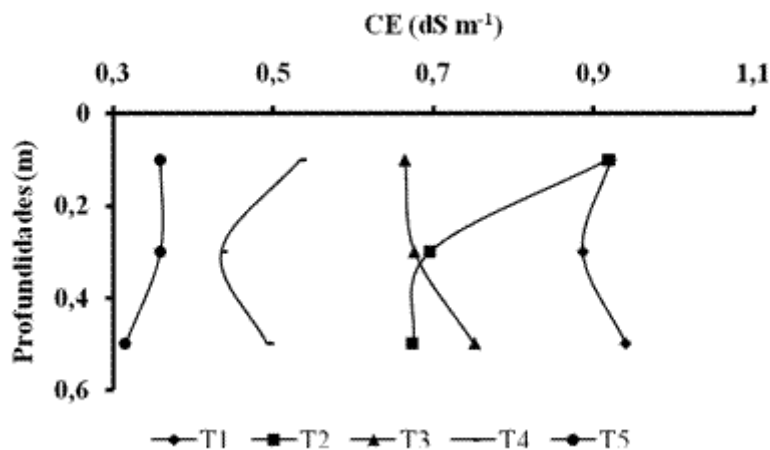
Condutividade elétrica (CE)

Com relação condutividade elétrica do extrato saturado solo observou-se um aumento quando se estabelece comparação entre o tratamento T5 e os demais (Figura 4). Os valores de condutividade elétrica oscilaram de 0,3 a 0,9 dS m^{-1} , inferiores aos valores obtidos por Melo *et al.* (2005), porém indicando risco de salinização de ligeiro a moderado (AYERS; WESTCOT, 1999).

Na camada superficial o acúmulo de sais na superfície (profundidade de 0,10 m), ocasionou o

aumento da condutividade elétrica no solo dos tratamentos T1, T2, T4 e T5, enquanto no tratamento T3 houve lixiviação de sais na profundidade de 0,50m.

No Trabalho desenvolvido por Melo *et al.* (2005) notou-se que o incremento nas dosagens da água residuária do processamento da mandioca proporcionou aumento nos valores da condutividade elétrica do extrato saturado de Neossolo Quartzarênico órtico, Latossolo Amarelo distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.



Nota: T1 (100% de esgoto doméstico primário -EDP e 0% de água de abastecimento-AA); T2 (75% de EDP e 25% de AA); T3 (50% de EDP e 50% de AA); T4 (25% de EDP e 75% de AA); e T5 (0% de EDP e 100% de AA).

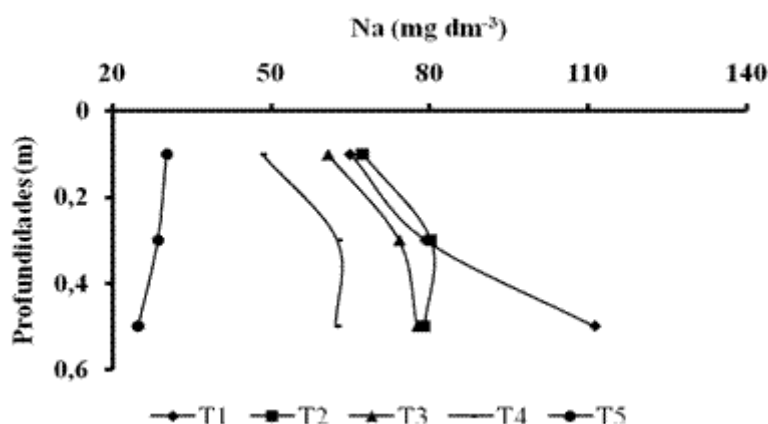
Figura 4 - Valores de CE (dS m^{-1}) do solo sob aplicação de água residuária de origem doméstica em função da profundidade de cada tratamento.

Sódio (Na)

Ocorreu incremento das concentrações de sódio no solo aumentando-se as proporções de água residuária, sendo os maiores valores de sódio constatados nos tratamentos T1 e T2, enquanto no tratamento T5 (testemunha) foram observados os menores teores de sódio. Os valores de sódio variaram de 24,8 a 111,3 mg dm⁻³ quando se comparam os tratamentos T1 a T5 (Figura 5).

Segundo Dal Bosco et al. (2008), verificaram que após oito anos de aplicação de água residuária de

suinocultura no solo o teor de sódio foi duplicado na camada de 0 a 0,3 m, enquanto que o incremento de sódio na camada de 0,3 a 0,6 m foi apenas 25%. Já no trabalho desenvolvido por Melo et al. (2005) houve relação linear da concentração de sódio nos solos estudados com as doses de aplicação de água residuária do processamento da mandioca. Por outro lado, Medeiros et al. (2005) não evidenciaram lixiviação de sódio no solo fertirrigado com água residuária doméstica, porém as concentrações de sódio no solo em resposta à adoção da água residuária, foram superiores ao manejo convencional, em função da concentração deste elemento na água residuária.



Nota: T1 (100% de esgoto doméstico primário -EDP e 0% de água de abastecimento-AA); T2 (75% de EDP e 25% de AA); T3 (50% de EDP e 50% de AA); T4 (25% de EDP e 75% de AA); e T5 (0% de EDP e 100% de AA).

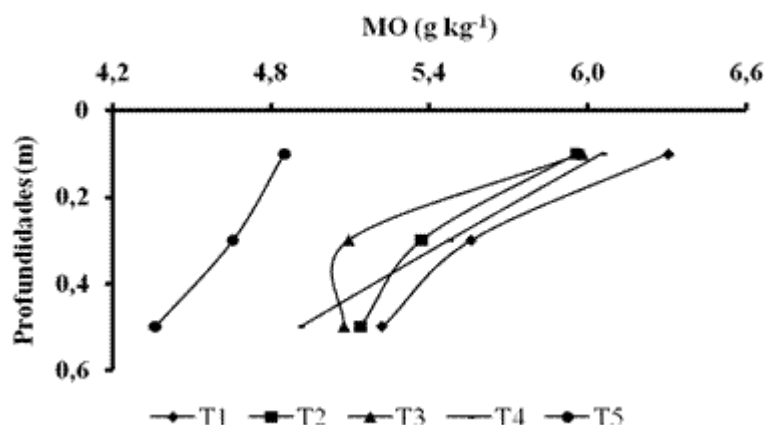
Figura 5 - Valores de Na (mg dm⁻³) do solo sob aplicação de água residuária de origem doméstica em função da profundidade de cada tratamento.

Matéria orgânica (MO)

Nas três profundidades estudadas, notou-se incremento de matéria orgânica dos tratamentos T1 a T4, enquanto o tratamento T5 (testemunha) foi o que apresentou os menores teores de matéria orgânica (Figura 6). Observou-se, também, que os maiores teores de matéria orgânica ocorreram na profundidade de 0,10 m.

Dal Bosco et al. (2008) verificaram que os teores de matéria orgânica dos solos com oito anos de aplicação de água residuária de suinocultura (ARS) e sem aplicação de ARS na camada de 0 a 0,30 m foram de 25,49 e 20,57

g kg⁻¹, respectivamente. Entretanto, no trabalho desenvolvido por Azevedo e Oliveira (2005) não ocorreram alterações significativas nos teores de matéria orgânica solo quando comparou-se os solos com e sem aplicação de água residuária. Os teores de matéria orgânica no solo oscilaram de 4,4 a 6,3 g kg⁻¹, sendo inferiores ao valor limite de 7,0 g kg⁻¹ apresentado pela CFSEMG (1999) recebendo a classificação agrônômica de muito baixa.



Nota: T1 (100% de esgoto doméstico primário - EDP e 0% de água de abastecimento-AA); T2 (75% de EDP e 25% de AA); T3 (50% de EDP e 50% de AA); T4 (25% de EDP e 75% de AA); e T5 (0% de EDP e 100% de AA).

Figura 6 - Valores de MO (g kg⁻¹) do solo sob aplicação de água residuária de origem doméstica em função da profundidade de cada tratamento.

CONCLUSÕES

Ocorreram elevações nos valores de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, sódio e matéria orgânica com o aumento da proporção de esgoto doméstico primário em relação à água de abastecimento. Enquanto, que os valores de pH apresentaram redução com o aumento da proporção de esgoto doméstico primário.

O tratamento T3 foi o mais recomendado para irrigação no semiárido em função dos menores riscos de degradação do solo.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e CAPES pela concessão de bolsas e ao BNB e CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Traduzida por Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damaceno, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).

AZEVEDO, L. P.; OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p.253-263, 2005.

BARROSO, L. B.; WOLFF, C. B. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. *Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 225-236, 2011.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; SANTOS, D. B. Riscos da fertirrigação com esgoto sanitário e as relações entre os íons Ca²⁺ e Mg²⁺ e a salinidade total. *Revista Ceres*, Viçosa, v.53, n.307, p.394-398. 2006.

CAVINATTO, W. S.; PAGANINI, A. S. Os microrganismos nas atividades de disposição de esgotos no solo – Estudo de caso. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v.12, n.1, p.42-51, 2007.

Ceará. Portaria n°154, de 22 de julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. 2002. http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95. 28 abr. 2013.

Cfsemg. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Viçosa-MG: 1999. 359p.

DAL BOSCO, T. C.; IOST, C.; SILVA, L. N.; CARNELLOSI, C. F.; EBERT, D. C.; SCHREINER, J. S.; SAMPAIO, S. C. Utilização de água residuária de suinocultura em propriedade agrícola – estudo de caso. *Irriga*, Botucatu, v.13, n.1, p.139-144, 2008.

DUARTE, A. S.; 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.

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.

- HESPANHOL, I. Viabilidade de um AVAD(*) não superior a 10-4 por pessoa por ano, para reuso agrícola de água, em países em desenvolvimento. *Ambi-Água*, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 124-134, 2009.
- HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 22, n.63, p. 131-158, 2008.
- IBGE. Pesquisa nacional de saneamento básico 2008. Rio de Janeiro: MPOG, MC, 2010. 219p.
- MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; 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, v.9, n.4, p.603-612, 2005.
- MELO, R. F.; FERREIRA, P. A.; RUIZ, H. A.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, L. B. Alterações físicas e químicas em três solos tratados com água residuária de mandioca. *Irriga*, Botucatu, v. 10, n. 4, p. 383-392, 2005.
- Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. 2005.
http://www.meioambiente.ufrn.br/conteudo/dma/projetos/portaria_51804.pdf. 28 jan. 2013.
- MOURA, F. N.; BATISTA, R. O.; SILVA, J. B. A.; FEITOSA, A. P.; COSTA, M. S. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. *Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, v.8, n.1, p. 264-276, 2011.
- NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. MAINTENANCE. IN: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Eds.). *Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management*. Amsterdam: Elsevier, 2006, cap. 11, p. 389 - 430.
- REINALDO, G. P. B.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; FERREIRA NETO, M.; SANTOS, D. B. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. *Ambi-Água*, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 62-74, 2012.
- SANTOS, J. G.; PIVELI, R. P.; CAMPOS, F.; SUNDEFELD, G.; SOUSA, T. S.; CUTOLO, S. A. Análise parasitológica em efluentes de estações de tratamento de águas residuárias. *Revista de Patologia Tropical*, Goiânia, v.41, n.3, p.319-336. 2012.
- SANTOS, S. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O. Efeitos da aplicação de esgoto sanitário tratado das características químicas do solo. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.14, n.1, p.32-38, 2006.
- SOUZA, J. A. A.; BATISTA, R. O.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, v. 33, n. 1, p. 5-8, 2011.
- VENZON, M.; AMARAL, D. S. S. L.; PEREZ, A. L.; CRUZ, F. A. R.; TOGNI, P. H. B.; OLIVEIRA, R. M. Identificação e manejo ecológico de pragas da cultura da pimenta. Viçosa: EPAMIG, 2011. 40p.