



**Revista Brasileira de
Engenharia Agrícola e Ambiental**
v.12, n.3, p.302–310, 2008
Campina Grande, PB, UAEA/UFPA – <http://www.agriambi.com.br>
Protocolo 140.06 – 09/11/2006 • Aprovado em 23/11/2007

Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio¹

Anamaria S. Duarte², Rogério P. S. Airoidi³, Marcos V. Folegatti³, Tarlei A. Botrel³ & Tales M. Soares³

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar os efeitos da disposição do efluente doméstico tratado em algumas características químicas do solo, razão pela qual foram determinadas as características físicas e químicas do efluente tratado e da água de abastecimento público e as características químicas do solo cultivado. Esta pesquisa foi realizada no período de maio a setembro de 2005, com o cultivo de variedade matador de pimentão com delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro tipos de água e dois níveis de adubação e 12 repetições para cada tratamento. Concluiu-se ao término do experimento que o efluente utilizado mostrou qualidade física e química adequada para irrigação de plantas de pimentão e, com exceção da concentração de matéria orgânica, não se constataram-se, em geral, alterações significativas nas concentrações de fósforo, potássio e pH do solo cultivado.

Palavras-chave: irrigação, reuso, fertilidade

Effects of application of treated wastewater in soil: pH, organic matter, phosphorus and potassium

ABSTRACT

This research aims to provide an analysis of the effects of treated wastewater reuse on some characteristics of soil, reason for which the physical and chemical characteristics of the treated effluent, the tap water and the cultivated soil were assessed. This study was carried out from May to September 2005 and the variety 'matador' of pepper was cultivated. The experimental design was randomized in a 4 x 2 factorial scheme (four water types and two fertilization levels) and twelve replications. At the end of the experiment it was concluded that the effluent presented adequate physical and chemical quality for irrigation of pepper plant. With the exception of the organic matter concentration, in general, there was no significant change in the concentration of phosphorus, potassium and pH of the cultivated soil.

Key words: irrigation, reuse, fertility

¹ Parte da Tese de Doutorado da primeira autora, apresentada à ESALQ/USP

² Doutoranda em Agronomia, ESALQ/USP, Av. Pádua Dias 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. Fone: (19) 3429-4217. E-mail: asduarte@esalq.usp.br

³ ESALQ/USP. E-mail: airoldi@esalq.usp.br; mvfolega@esalq.usp.br; tmsoares@esalq.usp.br

INTRODUÇÃO

O homem utiliza a água para diversas atividades, consuntivas ou não; sua escassez é fator limitante ao desenvolvimento econômico e social de uma região e a multiplicidade de seu uso pode gerar competição e conflitos.

Tsarakis et al. (2004) comentam que o aumento da demanda da água para uso doméstico e agrícola, ocasionado pela variação espacial e temporal das precipitações, aumento de consumo de água nas estações quentes e dificuldade de aduzir água de boa qualidade das fontes para os grandes centros, pode limitar o crescimento econômico de uma região. Para exemplificar, os mesmos autores citam que, na Grécia, a agricultura se desenvolveu significativamente a partir de 1980; entretanto, a continuidade deste desenvolvimento está ameaçada pela disponibilidade de água.

Reconhecidamente, a agricultura é a atividade humana que mais consome água, em média 70% de todo o volume captado, destacando-se a irrigação como atividade de maior demanda (Christofidis, 2001). Em áreas de clima seco a irrigação é responsável pelo consumo de 50 a 85 % dos recursos hídricos disponíveis (Capra & Scicolone, 2004); já no Brasil, a agricultura utiliza 61% de todo o volume captado.

Fatores geográficos, climáticos e econômicos ditam o grau e a forma de tratamento dos efluentes e o seu posterior reuso em diferentes regiões e em regiões agrícolas em que a irrigação é a atividade dominante para a referida prática.

O emprego de água residuária na irrigação pode reduzir os custos de fertilização das culturas e o nível requerido de purificação do efluente e, conseqüentemente, os custos de seu tratamento; já águas residuárias contêm nutrientes e o solo e as culturas se comportam como biofiltros naturais (Haruvy, 1997).

León & Cavallini (1999) afirmam que os esgotos tratados constituem adubos naturais para a produção de alimentos, o que pode elevar a produção agrícola e, em conseqüência, a geração de emprego e retorno econômico. Outro aspecto positivo do reuso é a possibilidade da implantação de zonas agrícolas em áreas desérticas.

Entre outros países que praticam o reuso planejado de águas na agricultura, está Israel, que trata os esgotos e aplica 70% na agricultura e a Índia, que aproveita aproximadamente 75% dos seus esgotos tratados e não tratados para irrigação (Feigin et al., 1991).

Apesar do reuso planejado ser amplamente difundido e utilizado mundialmente, no Brasil, mesmo com escassez dos recursos hídricos em algumas regiões, esta prática não tem sido utilizada de forma intensiva; entretanto, é consenso geral que a irrigação com esgoto sem tratamento adequado pode ser nociva ao meio ambiente, à saúde humana, ao solo, aos aquíferos e às culturas irrigadas, pois tanto o afluente como o efluente pode conter certos constituintes poluentes.

Entre os poluentes mais comuns, estão: a) a matéria orgânica, representada pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pela demanda química de oxigênio (DQO) e pelos sólidos suspensos totais (SST); b) poluentes orgânicos, como os agrotóxicos; c) poluentes inorgânicos, como os metais pesados; d) excesso de macronutrientes, como o nitrogênio e o

fósforo; e) microrganismos patogênicos, como as bactérias, os vírus e os parasitas e f) os elementos que conferem a salinidade da água (Haruvy, 1998; Mancuso & Santos, 2003).

Desta forma e dada à relevância e atualidade desta temática, o objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos da disposição do efluente doméstico tratado sobre algumas características do solo e, para tanto, se determinaram: (a) as características físicas e químicas do efluente tratado e da água de abastecimento público utilizados e b) os teores de P e K, matéria orgânica e pH do solo, após as irrigações.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização do experimento

O trabalho foi realizado em uma área experimental do Departamento de Engenharia Rural, pertencente à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" ESALQ-USP, município de Piracicaba, SP.

A condução do experimento foi realizada no período de maio a setembro de 2005 e se cultivaram plantas de pimentão (*Capsicum annum* L.) em vasos, irrigadas por gotejamento, dispondo de diferentes tratamentos e fontes de água; o ciclo de cultivo teve duração de 165 dias após emergência e 120 dias de coleta de dados.

Estrutura experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do tipo arco simples, medindo 20 x 7,0 m, com pé-direito com 2,5 m; as paredes da estufa tinham cortinas de polietileno transparente de baixa densidade com 0,10 mm de espessura e tela sombrite, com mecanismo de abertura e fechamento permitindo o manejo da ventilação e proteção das chuvas.

Águas utilizadas para irrigação

Este experimento contou com duas fontes distintas de água: potável e residuária. A água residuária, proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Piracicamirim, foi transportada da ETE até o local do experimento em um reservatório de 1000 L e armazenada em um reservatório de 2000 L; esta ficava armazenada neste reservatório durante uma semana, fato que contribuiu para a sedimentação das partículas dissolvidas nela existentes, promovendo melhora na sua qualidade; a água potável proveio do sistema de abastecimento público que abastece o campus da ESALQ.

Sistema de irrigação e tratamentos realizados nas águas de irrigação

O fornecimento de água às plantas foi feito via irrigação por gotejamento, com uma linha de irrigação para cada linha de plantio, sendo que o intervalo e o volume de água aplicados em cada irrigação foram determinados através do uso do método tensiométrico, com base na curva de retenção de água do solo determinada previamente ao plantio.

Os gotejadores utilizados, segundo informações contidas no catálogo do fabricante, possuíam elevada resistência ao entupimento e vazão nominal de 2,1 L h⁻¹ para uma pressão de serviço de 1,0 bar (100 kPa). Os gotejadores foram instalados

em linhas laterais de polietileno de 16 mm; cada gotejador atendeu a uma única planta. Instalaram-se, nas quatro unidades de irrigação, 6 linhas laterais para cada tipo de gotejador, com 2,4 m de comprimento, contendo 6 emissores espaçados regularmente a cada 40 cm. A primeira unidade de irrigação foi abastecida com água de abastecimento e possuía um filtro de tela de 120 mesh para remoção de partículas suspensas; esta unidade compôs o primeiro tratamento, denominado AP; a segunda unidade de irrigação compôs o segundo tratamento (FAD), no qual se utilizou água residuária e, para melhorar sua qualidade, foram usados filtros em série de areia e discos, que é o tratamento convencional utilizado em sistemas de irrigação pressurizados, enquanto as duas últimas unidades (terceira e quarta) de irrigação receberam água residuária filtrada por um filtro lento na taxa, de $5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e armazenada em reservatório próprio.

A injeção de dióxido de carbono da terceira unidade que compôs o terceiro tratamento (CO_2) se deu por meio de um tubo Venturi, instalado no início da linha de derivação do tratamento; a taxa de injeção adotada foi de 2 L min^{-1} , calculada a partir da solubilidade do gás na água a temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e controlada por um rotômetro; na quarta unidade de irrigação, se utilizou um reator ultravioleta para desinfecção da água residuária pré-filtrada; o reator se compunha de uma lâmpada ultravioleta de 30 W, no interior de um tubo cilíndrico de aço inox e podia suportar uma pressão de 70 mca; ao tratamento formado por esta unidade de irrigação se denominou UV.

Solo utilizado para o cultivo

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, cujas características físicas, incluindo-se curva de retenção de água, granulometria e densidade global, foram determinadas a partir de análises realizadas no Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Rural, além de ensaios de campo para determinação da umidade na capacidade de campo, segundo metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997).

A análise química do solo foi realizada antes do início da etapa experimental e, de acordo com os resultados dispostos na Tabela 1, foi necessário proceder à calagem do solo, seguindo-se as recomendações de Raij et al. (2001).

Determinou-se, após a realização da calagem do solo, a necessidade de adubação de fundação e cobertura, segundo recomendação proposta por Tivelli (1998) para cultivos em ambiente protegido. De acordo com a análise para fins de fertilidade do solo, utilizaram-se doses de adubação NPK para a adubação de fundação iguais a 40, 600 e 120 kg ha^{-1} , respectivamente; para a adubação de cobertura, as doses empregadas corresponderam a 80 kg ha^{-1} de nitrogênio e 120 kg ha^{-1} de potássio, parceladas em dez semanas.

Realizou-se a adubação com micronutrientes via foliar em

freqüência quinzenal, ou de acordo com a necessidade da planta, conforme observado pela análise de macro e micronutrientes do tecido foliar, realizada na época do florescimento pleno.

Cultura utilizada

Como cultura indicadora do experimento foi utilizado um híbrido de pimentão (*Capsicum annum* L.), cuja variedade é conhecida comercialmente como "Matador". O transplante das mudas de pimentão na primeira fase de cultivo foi realizado 45 dias após a emergência e cujas mudas foram adquiridas de um viveirista especializado.

As plantas foram acondicionadas, uma a uma, em vasos plásticos com capacidade de 12 L, contendo solo, manta sintética não tecida sobre uma camada de 3 cm de brita em sua base, para drenar o excesso de água e evitar a perda de solo pelos orifícios existentes na base de cada vaso.

Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4×2 ; cada vaso, contendo uma planta, foi considerada uma unidade experimental, de forma que se cultivaram 96 plantas; cada tratamento possuiu 12 repetições.

Os fatores de estudo da pesquisa foram: tipo de água (4 níveis) e adubação (2 níveis); os tipos de água utilizados foram: água potável de abastecimento (AP), água residuária tratada através de filtração rápida utilizando-se filtro de areia e filtro de tela de 120 mesh instalados em série (FAD), água residuária tratada com filtração lenta seguida de desinfecção por injeção de dióxido de carbono (CO_2) e água residuária tratada com filtração lenta seguida de desinfecção por radiação ultravioleta (UV). Em relação à adubação, um dos níveis tinha adubação completa com N, P e K e o outro nível utilizava apenas P e K para, desta forma, avaliar o potencial de aporte do elemento nitrogênio pela água residuária e suas implicações para a nutrição, o desenvolvimento e produção da cultura do pimentão.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, de acordo com o esquema fatorial 4×2 (quatro tipos de água e dois níveis de adubação); nos casos em que F foi significativo ao nível de 5%, realizou-se o teste de Tukey a 5% para comparação das médias.

Parâmetros avaliados

Análises das qualidades físicas, químicas e microbiológicas das águas de irrigação

Para a coleta das águas de irrigação, 6 pontos de amostragem de água foram selecionados, a saber: água residuária bruta (AR) retirada diretamente do reservatório R1; efluente do filtro lento (FL) para determinação da eficiência de remoção de diversos parâmetros a partir da água bruta; água potável (AP) retirada a partir do reservatório R2; efluente da filtração associada de areia e disco (FAD); efluente do

Tabela 1. Caracterização química do solo utilizado no experimento

pH	M.O	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	V	B	Cu	Zn	Mn	Fe
CaCl_2	(g dm^{-3})	(mg dm^{-3})				($\text{mmol}_e \text{ dm}^{-3}$)			(%)			(mg dm^{-3})		
4,67	17,33	7,70	12,67	1,90	14,0	8,30	1,67	20,67	54,00	0,36	0,80	2,07	15,13	24,67

tratamento de desinfecção por injeção de dióxido de carbono (CO₂) após pré-filtração em filtro lento e efluente do tratamento de desinfecção por radiação ultravioleta (UV) após pré-filtração em filtro lento.

As amostras de água foram coletadas quinzenalmente, preservadas e determinadas de acordo com APHA (2003), APHA (1995) e APHA (1992). Para as determinações físico-químicas das águas, o líquido foi acondicionado em garrafas plásticas lavadas em solução de ácido clorídrico 1:9.

Avaliaram-se, ao longo do experimento, os seguintes parâmetros físicos e químicos: condutividade elétrica (CE) pelo método instrumental; químicos: pH pelo método eletrométrico, K⁺ pelo método fotométrico de chama, ortofosfato solúvel pelo método espectrofotométrico do ácido ascórbico, frações de N(N-NH₄⁺, NO₃⁻) através dos métodos macro Kjeldahl e espectrofotométrico do salicilato de sódio, respectivamente.

Análises químicas do solo

Após o término do experimento, determinaram-se as características químicas do solo, com o intuito de verificar as mudanças ocorridas no solo cultivado durante o período de cultivo. As amostras de solo foram coletadas mediante uso de um trado do tipo holandês, a uma profundidade de 15 cm, em quatro pontos diferentes.

Para as determinações das características químicas, as amostras foram secadas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm, para posterior determinação das características químicas do solo, segundo a metodologia proposta por Raij et al. (2001). Determinaram-se, também, os parâmetros: pH (acidez atual), determinado pelo método potenciométrico em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; matéria orgânica, determinada por colorimetria com ácido sulfúrico; concentrações trocáveis de P, obtidas através da solução extratora Mehlich (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), em que a leitura foi feita por colorimetria; concentrações trocáveis de K, determinadas por fotometria de chama, após a extração com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade das águas de irrigação

Ao longo do experimento, foram determinadas as características físicas e químicas dos diversos tipos de água utilizadas para irrigação. Os resultados das características físicas e químicas das referidas águas se encontram expostos na Tabela 2, na qual se apresentam os valores médios e os desvios padrão para cada parâmetro analisado durante o experimento.

pelos resultados dispostos na Tabela 2, observa-se que o pH médio foi ligeiramente básico para a água-residuária (AR), para o efluente do filtro lento (FL), para o tratamento composto por filtração lenta com desinfecção por radiação ultravioleta (UV) e para o tratamento com água-residuária filtrada pelo filtro de areia e discos (FAD).

O tratamento em que se utilizou água potável (AP) apresentou valor médio de pH levemente ácido e o tratamento composto por filtração lenta e injeção de CO₂ indicou pH ácido.

Com relação ao efeito do pH nas águas a serem utilizadas para irrigação, Ayers & Westcot (1991), recomendam que o valor do pH se encontre entre 6,5 a 8,4. A concentração H⁺ e OH⁻, contida nas águas de irrigação, pode exercer influência na disponibilidade e absorção de nutrientes por parte das plantas, na estrutura e propriedades do solo e nos sistemas de irrigação.

Segundo os dados mencionados na Tabela 2, para todos os tipos de água e tratamentos, exceto o tratamento composto por filtração lenta e injeção de CO₂, os valores de pH se apresentaram dentro da faixa considerada ideal pelos autores e não mostraram, portanto, efeitos negativos quanto à prática da irrigação.

No tratamento composto por filtração lenta e injeção de CO₂, o decréscimo no valor do pH ocorreu em virtude da adição de dióxido de carbono na água de irrigação. Quando o dióxido de carbono (CO₂) é adicionado à água ocorre a formação de ácido carbônico segundo a reação: CO₂ + H₂O → H₂CO₃

O produto desta reação propicia a acidificação do meio e, por conseqüência, reduz o valor do pH. A Portaria n. 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde que regulamenta os padrões de potabilidade para consumo humano indica que o pH da água para abastecimento público deve ser mantido entre 6,0 e 9,5; logo, a água de abastecimento utilizada no tratamento AP não apresentou restrições quanto a este parâmetro.

Os resultados expostos na Tabela 2 demonstram que a concentração média maior de ortofosfato solúvel foi medida para a água-residuária (AR), seguida do efluente do filtro lento (FL), do tratamento com injeção de dióxido de carbono (CO₂) e do tratamento composto por filtração lenta com desinfecção por radiação ultravioleta (UV). O valor médio de ortofosfato solúvel encontrado para a água-residuária (AR) antes de abastecer o filtro lento, foi de 2,81 mg L⁻¹; para o efluente do filtro lento (FL), no tratamento composto por filtração lenta com desinfecção por radiação ultravioleta (UV)

Tabela 2. Valores médios dos parâmetros físicos e químicos determinados para as águas utilizadas na irrigação

Parâmetros*	Tipos de água**					
	AR	FL	AP	UV	CO ₂	FAD
pH	7,40±0,13	7,42± 0,10	6,87±01,3	7,32±0,15	5,61±0,27	7,16±0,33
H ₂ PO ₄ (mg L ⁻¹)	2,81±0,967	2,46±1,21	0,09±0,09	1,78±1,03	2,11±0,89	0,54±0,74
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	25,41±3,53	22,68±2,71	1,82±2,39	21,00±4,91	20,79±5,13	16,80±9,72
N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	2,24±0,00	13,74±1,95	13,78±0,78	25,32±0,78	23,24±0,78	1,95±0,00
K ⁺ (mg L ⁻¹)	10,54±1,24	10,25±1,64	5,80±1,82	10,49±1,35	10,48±1,34	8,78±2,32
CE (µS cm ⁻¹)	600,8±71,1	571,4±66,4	404,4±23,7	571,2±69,5	580,4±76,3	539,6±80,3

* H₂PO₄ – Ortofosfato solúvel; N-NH₄⁺ – Nitrogênio amoniacal; N-NO₃⁻ – Nitrito; K⁺ – Potássio; CE – Condutividade elétrica

** AR – Água Residuária; FL – Filtro lento; AP – Tratamento com água potável; FAD – Tratamento com água-residuária filtrada por filtro de areia e discos; CO₂ – Tratamento com água-residuária com injeção de CO₂; UV – Tratamento com desinfecção por radiação ultravioleta

e no tratamento com injeção de dióxido de carbono (CO₂) foram encontradas concentrações médias de ortofosfato solúvel iguais 2,46, 1,78 e 2,11 mg L⁻¹, respectivamente.

Os valores típicos de fosfatos encontrados nos efluentes tratados por lodos ativados se encontram na faixa de 4 a 10 mg L⁻¹ (Metcalf & Eddy, 2003); entretanto, de acordo com os mesmos autores, podem-se encontrar concentrações menores, dependendo de características, como teor total de fósforo contido na água residuária a ser tratada e pH, dentre outras. Reutilizando efluente tratado por um conjunto em série de lagoas anaeróbias, aeradas e facultativas para irrigação de batatinha e alface, Kouraa et al. (2002) quantificaram, neste efluente, um valor médio de PO₄-P igual a 2,77 mg L⁻¹ e ao final do ciclo constataram que não houve diferença significativa nos parâmetros físico-químicos do solo após as irrigações.

Observa-se, então, que os valores médios encontrados de ortofosfato solúvel nas águas utilizadas para irrigação foram bem semelhantes ou se mantiveram abaixo dos valores encontrados nos trabalhos citados anteriormente.

De acordo com os dados mostrados na Tabela 2, os valores médios de nitrogênio amoniacal sempre foram mais elevados para a água residuária que abasteceu o filtro lento e os tratamentos FAD, CO₂ e UV que o valor médio encontrado para a água potável utilizada. Esta tendência era prevista, uma vez que as águas residuárias domésticas apresentam elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal e o processo de lodos ativados utilizado na ETE do Piracicamirim foi projetado para remover carga orgânica e não para a remoção de nutrientes, embora haja, durante o processo, conversão de uma parte do nitrogênio amoniacal existente, em nitratos (nitrificação).

Encontrou-se, na água residuária, valor médio igual a 25,41 mg L⁻¹. O tratamento FAD apresentou o menor valor médio de nitrogênio amoniacal, sendo igual a 16,80 mg L⁻¹. No efluente do filtro lento (FL) e nos tratamentos CO₂ e UV foram encontrados os respectivos valores: 22,68, 20,79 e 21,00 mg L⁻¹; com relação ao tratamento em que se utilizou água potável (AP), o valor médio de nitrogênio amoniacal foi igual a 1,82 mg L⁻¹. A Portaria n. 518, de 25 de março de 2004 tem, como parâmetro de potabilidade, a amônia na forma livre (NH₃) que é tóxica; logo, como foi quantificada a amônia na forma ionizável, não se pode fazer tal comparação mas, pela Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005, para águas com pH menor que 7,5 o valor máximo permitido para lançamento em águas doces classe I é igual a 3,7 mg L⁻¹; valores baixos de nitrogênio amoniacal indicam que a água está isenta de poluição recente com relação ao nitrogênio.

Verifica-se, de acordo com os dados apresentados na mesma tabela, que os valores médios de nitrato na água residuária que abastecia os tratamentos foram menores que os valores de nitrogênio amoniacal apresentados por esta água, tendência apresentada pelo tratamento FAD, ao contrário dos demais tratamentos que utilizavam a água residuária para irrigação.

O valor médio de nitrato encontrado para a água residuária (AR) antes de abastecer o filtro lento e os demais tratamentos foi de 2,24 mg L⁻¹; o menor valor médio encontrado

foi mensurado para o tratamento FAD que apresentou concentração média de nitrato igual a 1,95 mg L⁻¹.

Encontram-se valores médios de nitrato no efluente do filtro lento e nos tratamentos CO₂ e UV iguais a 13,74, 23,24 e 25,32 mg L⁻¹ ao longo do experimento, cuja causa provável foi a presença de bactérias nitrificantes no filtro lento e no reservatório que armazenava o efluente tratado por esta configuração, e ser, posteriormente, utilizado nos tratamentos CO₂ e UV para a irrigação. Infere-se que, como a demanda diária não era alta, a água residuária tratada ficava armazenada por longos períodos no reservatório e com condições ideais de temperatura (5 a 35 °C), pH (7,0 a 9,0) e matéria orgânica tenha o que se supõe ter propiciado o aparecimento desse tipo de bactérias, as quais fazem a conversão de nitrogênio amoniacal a nitrato.

O valor médio de nitrato existente na água potável utilizada na irrigação foi de 13,78 mg L⁻¹. De acordo com a Portaria n. 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, que regulamenta os padrões de potabilidade para consumo humano, o valor máximo permitido de nitrato contido na saída de distribuição de água deve ser no máximo 10 mg L⁻¹.

Emongor & Ramolemana (2004) irrigaram hortícolas e frutíferas com efluente tratado por lodos ativados e lagoas de maturação, o qual apresentava uma concentração média de nitrogênio amoniacal e nitrato igual a 0,16 mg L⁻¹ e 18 mg L⁻¹, respectivamente. A preocupação dos autores não era a concentração de nitrogênio amoniacal mas, sim, a alta concentração de nitrato nas águas utilizadas na irrigação; contudo, os autores não relataram problemas, em curto prazo, relativos ao excesso de nitrogênio.

Meli et al. (2002) avaliaram, no mediterrâneo, as mudanças químicas e microbiológicas no solo ocorridas para duas parcelas (2 ha) de citros cultivadas no mesmo solo e submetidas à mesma prática de irrigação durante 15 anos; uma parcela era irrigada com água proveniente de um rio e a outra oriunda de uma estação de tratamento, sendo que o efluente ficava armazenado durante o inverno (Maio-Setembro) e era utilizado no verão e na primavera; na ocasião, o efluente apresentava valores médios de nitrato bem baixos (0,26 mg L⁻¹) e nitrogênio amoniacal igual a 13,51 mg L⁻¹. Após 15 anos de irrigação com efluente foi possível concluir que não houve efeitos negativos relativos à biomassa microbiológica do solo e que esta se desenvolveu de forma análoga à parcela irrigada com água superficial; além disso, as plantas irrigadas com efluente demonstraram maior capacidade de metabolizar os nutrientes disponíveis no solo.

Nota-se, desta forma, que quanto à concentração de nitrogênio amoniacal e de nitrato, as águas utilizadas no experimento não deferiram muito em relação às concentrações das águas utilizadas para irrigação nos trabalhos citados acima; já com relação aos limites de nitrogênio estabelecidos para água a serem utilizadas para irrigação, Ayers & Westcot (1991) mencionam que águas com concentração de nitrato variando de 5 a 30 mg L⁻¹ apresentam grau de restrição leve a moderado; assim, com relação a esses parâmetros e desde que seja realizado um bom manejo do sistema solo-água-planta, as referidas águas não apresentariam riscos de poluição.

O menor valor médio de potássio foi encontrado na água potável (AP), apresentando uma concentração média de 5,80 mg L⁻¹.

A água residuária que abastecia o reservatório principal apresentou concentração igual a 10,54 mg L⁻¹; após passar pelo filtro lento, a água residuária mostrou remoção de potássio com ocorrência de remoção insignificante deste íon; entre os tratamentos em que se utilizou a água residuária tratada, o tratamento FAD indicou maior remoção de potássio e foi mensurado, para o efluente deste tratamento, um valor médio de potássio igual a 8,78 mg L⁻¹. Os tratamentos UV e CO₂ apresentaram variação de potássio muito pequena em relação ao efluente que os abastecia (FL).

Avaliando o uso potencial de esgotos domésticos em horticultura, Emongor & Ramolemana (2004) quantificaram, no efluente doméstico tratado, uma concentração de potássio igual a 25 mg L⁻¹; entretanto, não mencionaram problemas em relação a este elemento. Bahri (1998) não relatou problemas devido ao uso de esgotos domésticos tratados com uma concentração de potássio igual a 52 mg L⁻¹; o autor relatou, no mesmo trabalho, problemas relacionados à alta taxa orgânica que poderia causar entupimento nos sistemas de irrigação, altos teores de nitrato e aumento da salinidade (RAS).

Kouraa et al. (2002) irrigaram batatinha e alface, durante um ano, com efluente doméstico tratado com uma concentração de potássio igual a 19,5 mg L⁻¹ e constaram que não houve diferença significativa nas propriedades químicas do solo em relação aos períodos anterior e posterior às irrigações.

Solo

Após o término do experimento, foram determinados os teores de matéria orgânica, P, K e o pH do solo, com o intuito de verificar as mudanças ocorridas após o período de cultivo.

De acordo com os resultados da análise de variância para a matéria orgânica existente no solo após o cultivo, constatou-se efeito significativo entre os tratamentos e os níveis de adubação utilizados; os teores médios de matéria orgânica e os valores de pH no solo dos tratamentos se encontram na Tabela 3.

Segundo os dados dispostos na Tabela 3, observa-se que o conteúdo de matéria orgânica existente no solo irrigado com água de abastecimento público (AP) e com água residuária desinfetada com radiação ultravioleta (UV) não di-

feriu entre os referidos tratamentos; esta tendência também foi constatada entre os tratamentos em que se utilizou água residuária filtrada por filtro de areia e discos (FAD), com adição de CO₂ (CO₂) e desinfetada com radiação ultravioleta (UV); Observou-se, no entanto, diferença significativa no teor médio de matéria orgânica no solo entre o tratamento AP com relação aos tratamentos FAD e CO₂, sendo a concentração média de matéria orgânica no solo do tratamento AP maior que as concentrações médias de matéria orgânica apresentadas pelos tratamentos FAD e CO₂.

Conforme Feigin et al. (1991), efluentes secundários contêm, muitas vezes, altas concentrações de nitrogênio orgânico, o qual é susceptível a decomposição microbiana do solo que o transforma em compostos inorgânicos simples disponíveis às plantas, como a amônia e o nitrato. Os microrganismos heterotróficos do solo utilizam os compostos orgânicos que contêm nitrogênio, como fonte de energia e são responsáveis pelo processo de mineralização da matéria orgânica. Além da concentração de nitrogênio, os efluentes secundários contêm concentrações de carbono bem maiores que as águas superficiais, o que favorece a proliferação da biota do solo que, por sua vez, transforma o nitrogênio orgânico em nitrogênio assimilável às plantas.

Nota-se que os tratamentos em que se utilizou água residuária para a irrigação das parcelas, no caso FAD e CO₂, apresentaram teores de matéria orgânica menores que o tratamento com água potável AP. Provavelmente, a maior concentração de nitrogênio e carbono tenha favorecido a rápida mineralização e, conseqüentemente, a diminuição dos teores de matéria orgânica dos solos desses tratamentos. Feigin et al. (1991) comentam que como a relação C/N típica de efluentes secundários domésticos é próximo a cinco ou menos, esses elementos são facilmente decompostos no solo e se tornam facilmente assimiláveis pelas plantas.

Fonseca (2001), estudando a disponibilidade de N, alterações nas características químicas do solo e do milho irrigado com efluente tratado, constatou a rápida mineralização da matéria orgânica nos solos irrigados com esgoto tratado. Azevedo & Oliveira (2005), aplicando efluente de uma estação de tratamento de esgotos domésticos na cultura do pepino, encontraram teores de matéria orgânica no solo semelhantes aos teores obtidos neste estudo.

Trabalhando com adição de biossólidos na cultura do eucalipto, Andrade et al. (2005) e Guedes et al. (2006) observaram, após um ano de cultivo, diminuição nos teores de matéria orgânica e de carbono orgânico do solo; este decréscimo, segundo os autores, ocorreu em virtude do efeito "priming" do carbono, que trata da diminuição do carbono no solo logo após uma entrada de material orgânico na área.

Na Tabela 3 se encontram os resultados do teste de Tukey ao nível de 5% de significância para comparação das médias do pH do solo entre os tratamentos. De acordo com os resultados obtidos pelo teste de Tukey, verifica-se que o pH variou significativamente apenas nos solos dos tratamentos UV e CO₂, em que o maior e o menor valor médio do pH no solo foram iguais a 6,04 e 5,42, respectivamente. Esta diferença significativa nos valores médios do pH do solo dos tratamentos UV e CO₂ está relacionada com a adição de gás

Tabela 3. Teores médios* de matéria orgânica e valores médios de pH do solo após o cultivo entre os tratamentos

Tratamentos**	Valores médios	
	Matéria orgânica (mg dm ⁻³)	pH
AP	17,33 A	5,50 AB
FAD	16,00 B	5,68 AB
CO ₂	15,67 B	5,42 B
UV	16,33 AB	6,04 A

* Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

** AP – Tratamento com água potável; FAD – Tratamento com água residuária filtrada por filtro de areia e discos; CO₂ – Tratamento com água residuária com injeção de CO₂; UV – Tratamento com desinfecção por radiação ultravioleta

carbônico à água utilizada para irrigação do tratamento CO₂, pois este gás, quando entra em contato com a água, forma ácido carbônico, contribuindo para a acidificação do meio: neste caso, o solo.

Não se constatou diferença significativa no pH do solo dos tratamentos AP, FAD e UV, nem nos solos dos tratamentos AP, FAD e CO₂.

Avaliando a qualidade microbiológica da alface americana irrigada com água residuária, Azevedo (2003) não constatou mudanças agronomicamente significativas no pH do solo após quatro ciclos de cultivo mas, em outros trabalhos, relatou-se pequenos acréscimos no valor de pH do solo em diferentes sistemas irrigados com efluentes (Al-Nakshabandi et al., 1997; Johns & McConchie, 1994).

Assim, o aumento do pH do solo do tratamento UV pode ser atribuído a diversos fatores, como: o pH do efluente, o aporte de reserva alcalina (cátions trocáveis e ânions) advindos do efluente e ao aumento do processo de desnitrificação em solos irrigados com efluentes, onde ocorre consumo de um mol de H⁺ para cada mol de NO₃⁻ desnitrificado (Bolan et al., 1991; Friedel et al., 2000). Como já mencionado, o menor valor de pH encontrado no solo do tratamento CO₂ deve ser atribuído à adição de CO₂ na água utilizada na irrigação desse tratamento.

Na Tabela 4 se encontram os teores médios de fósforo e potássio trocáveis no solo para os tratamentos obtidos pelo teste de Tukey para comparação das médias desses elementos.

Tabela 4. Teores médios* de fósforo (P) e potássio (K) trocável do solo após o cultivo

Tratamentos**	Teores médios	
	P (mg dm ⁻³)	K (mmol _c dm ⁻³)
AP	176,25 A	19,71 A
FAD	236,65 A	21,29 A
CO ₂	163,92 A	21,50 A
UV	153,25 A	26,50 A

* Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

** AP – Tratamento com água potável; FAD – Tratamento com água residuária filtrada por filtro de areia e discos; CO₂ – Tratamento com água residuária com injeção de CO₂; UV – Tratamento com desinfecção por radiação ultravioleta

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4, os teores médios de fósforo do solo não diferiram significativamente entre os tratamentos AP, FAD, CO₂ e UV.

Previam-se que o solo dos tratamentos que receberam água residuária apresentasse teores médios de fósforo maiores que o solo do tratamento que recebeu água potável, uma vez que a água residuária tinha aporte de fósforo maior que a água potável. Porém, durante o ciclo experimental (165 dias), aplicaram-se, por planta, lâminas médias de água iguais a 240,0, 272,0, 275,0 e 282,0 mm para os tratamentos AP, FAD, CO₂ e UV, respectivamente; logo, a dose aplicada de fósforo solúvel através das águas de irrigação, por hectare foi, ao final do ciclo, para os tratamentos AP, FAD, CO₂ e UV, de 0,22, 4,84, 5,80 e 1,53 kg ha⁻¹, respectivamente.

Segundo Raij et al. (2001), teores de fósforo acima de 120 mg dm⁻³ são considerados muito altos para hortaliças;

desta forma, o teor médio de fósforo do solo cultivado neste experimento apresentou-se bem acima dos níveis considerados altos pelos autores; concluiu-se, portanto, que o aporte de fósforo aplicado através das águas de irrigação foi pequeno em relação ao que já existia no solo, devido às adubações de correção e cobertura feitas antes do plantio.

Fonseca (2001) constatou que a disposição de efluente tratado no solo adubado não exerceu influência alguma no teor de fósforo, mas houve decréscimo de magnésio, independente da água de irrigação utilizada (potável ou efluente tratado).

Kouraa et al. (2002) irrigaram batatinha e alface com esgoto bruto, água residuária tratada e água potável e constataram que em um ano de cultivo não houve alterações nos teores de fósforo do solo cultivado. Os autores relataram, ainda, que para ocorrer mudanças nas características químicas do solo são necessários vários anos de irrigação, visto que a dinâmica deste ocorre muito lentamente; por outro lado, Al-Nakshabandi et al. (1997) contrariam os autores mencionados acima, pois em apenas cinco meses cultivando berinjela irrigada com um efluente tratado contendo 28 mg L⁻¹ de PO₄⁻, verificaram aumento significativo nos teores de fósforo do solo.

Os teores médios de potássio trocável no solo encontrados ao final da etapa experimental, foram iguais a 19,71, 21,29, 20,45 e 26,50 mmol_c dm⁻³ para os tratamentos AP, FAD, CO₂ e UV, respectivamente. Raij et al. (2001) mencionam que teores de potássio trocável no solo acima de 6 mmol_c dm⁻³ são considerados altos; entretanto, para exercer efeito deletério quanto à disponibilidade de cálcio e magnésio às plantas é necessário que as relações K/Ca e K/Mg estejam em desequilíbrio, fato que não aconteceu nesse estudo.

Não se supunha haver efeito significativo nos teores de potássio no solo entre os tratamentos, devido à aplicação da água residuária, por dois motivos: a concentração de potássio nas águas residuárias que, de modo geral, não é alta e as águas de irrigação utilizadas neste experimento apresentavam concentração de potássio bem semelhante (Tabela 2) contribuindo, em parte, para não influenciar no aumento de potássio existente do solo; o solo de todos os tratamentos recebeu doses iguais de adubação potássica durante todo o ciclo experimental.

Al-Nakshabandi et al. (1997) observaram acréscimo de potássio no perfil do solo após cinco meses de irrigação com efluente doméstico tratado por lagoas de estabilização no cultivo de berinjela. Aumentos nos teores de potássio trocável no solo foram constatados por Adekalu & Okunade (2002); porém, concordando com as condições existentes neste estudo, Kouraa et al. (2002), utilizando esgoto bruto, efluente tratado e água potável para irrigação de batatinha e alface, não constataram diferenças significativas nos teores de potássio no solo que receberam esses três tipos de água. Outras pesquisas, com condições de fertilização mineral semelhantes às que ocorreram neste experimento, realizadas por Azevedo & Oliveira (2005), Azevedo (2004), Fonseca (2001) e Fonseca (2005) forneceram resultados que concordam com as respostas encontradas no presente estudo.

CONCLUSÕES

1. A água residuária utilizada, com relação aos parâmetros discutidos, mostrou-se adequada para irrigação do pimentão.
2. O uso da água residuária favoreceu a rápida mineralização da matéria orgânica, em virtude da concentração de nitrogênio e do carbono existente nessas águas.
3. O uso da água residuária não provocou alterações significativas no pH, nem nos teores de fósforo e potássio do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o auxílio de pesquisa concedido pela Fundação de Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, para a realização desta pesquisa.

LITERATURA CITADA

- Adekalu, K. O.; Okunade, D. A. Effects of pond water and sewage effluent treatments on yield and nutrient uptake of maize. *Tropical Agriculture*, v.79, n.2, p.120-124, 2002.
- Al-Nakshabandi, G. A.; Saqqar, M. M.; Shatanawi M. R.; Fayyad, M.; Al-horani, H. Some environmental problems associated with the use of treated waste water for irrigation in Jordan. *Agricultural Water Management*, v.34, n.1, p.81-94, 1997.
- Andrade, C. A.; Oliveira, C.; Cerri, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.5, p.803-816, 2005.
- APHA – American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18.ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 1992. 2198p.
- APHA – American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19.ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 1995. 1134p.
- APHA – American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20. ed, Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2003. 3118p.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1991. 153p.
- Azevedo, L. P. Avaliação da qualidade microbiológica e da produção de alface americana sob diferentes sistemas de irrigação utilizando águas residuárias. Botucatu: UNESP, 2003. 77p. Dissertação Mestrado
- Azevedo, L. P.; Oliveira, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e na produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.25, n.1, p.253-263, 2005.
- Bahri, A. Fertilizing value and polluting load of reclaimed water Tunisia. *Water Resource*, v.32, p.3484-3489, 1998.
- Bolan, N. S.; Hedley, M. J.; White, R. E. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. *Plant and Soil*, v.134, n.2, p.53-63, 1991.
- Capra, A.; Scicolone, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v.68, n.2, p.135-149, 2004.
- Christofidis, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. *Item*, v.49, n.1, p.8-13, 2001.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise do solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA CNPS, 1997. 247p.
- Emongor, V. E.; Ramolemana, G. M. Treated sewage effluent (water) potential to be used for horticultural production in Botswana. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.29, p.1101-1108, 2004.
- Feigin, A.; Ravina, I.; Shalhevet, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991, 233p.
- Fonseca, A. F. Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado. Piracicaba: ESALQ. 2001. 110p. Dissertação Mestrado
- Fonseca, A. F. Viabilidade agrônomo – ambiental da disposição de efluente tratado em um sistema solo-pastagem Piracicaba: ESALQ. 2005. 191p. Tese Doutorado
- Friedel, J. K.; Langer, T.; Siebe, C.; Stahr, K. Effects of long-term wastewater irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. *Biology and Fertility of Soils*, v.31, p.414-421, 2000.
- Guedes, M. C.; Andrade, C. A.; Pogianni, F.; Matiazzo, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação do lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.1, p.267-280, 2006.
- Haruvy, N. Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.66, p.133-119, 1997.
- Haruvy, N. Wastewater reuse – regional and economic considerations. *Resources, Conservation and Recycling*, v.23, p.57-66, 1998.
- Johns, G. G.; McConchie, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. I. Field evaluation of effect on plant nutrients and additional elements in leaf, pulp and soil. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.45, n.1, p.1601-1617, 1994.
- Kouraa, A.; Fethi, F.; Lahlou, A.; Ouazzani N. Reuse of urban wastewater by combined stabilization pond system in Benslimane (Morocco). *Urban Water*, v.4, p.373-378, 2002.
- Léon S. G.; Cavalinni, J. M. Tratamento e uso de águas residuárias. Campinas Grande: UFPB, 1999. 110p.
- Mancuso, P. C. S.; Santos, H. F. Reúso de água. 1.ed. São Paulo: Manole, 2003. 576p.
- 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.

- Metcalf; Eddy Incorporation. Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse, 4.ed. New York: Mc Graw-Hill, 2003, 1819p.
- Raij, B. van; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. 4. ed. Campinas: Fundação Cargill, 2001, 343p.
- Tivelli, S. W. A cultura de pimentão. In: Goto R.; Tivelli, S. W. (org) Produção de hortaliças em ambiente protegido: Condições subtropicais. São Paulo: UNESP, 1998, cap.3, p.225-257.
- Tsarakis, K. P; Dialynas, G. E., Angekalis, A. N. Water resources management in Crete (Greece) including water recycling and reuse and proposed quality criteria. *Agricultural Water Management*, v.66, n.2, p.35-47, 2004.