



## Alterações químicas do solo e produção de aveia fertilizada com água residuária do tratamento de esgoto sanitário

doi: 10.4136/ambi-agua.1368

Received: 16 Aug. 2013; Accepted: 22 Nov. 2013

Paulo Fortes Neto<sup>1</sup>; Paula Guimarães de Almeida Veiga<sup>1,2\*</sup>; Nara Lúcia Perondi Fortes<sup>1</sup>; Marcelo dos Santos Targa<sup>1</sup>; João Luiz Gadioli<sup>3</sup>; Plínio Honorato Muella Peixoto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais

Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté, SP

<sup>2</sup>Secretaria de Educação do Estado de São Paulo

<sup>3</sup>Departamento de Ciências Agrárias

Universidade de Taubaté (UNITAU), Taubaté, SP

\*Autor correspondente email: paulaggbio@yahoo.com.br, paulo.neto@unitau.com.br, nara\_fortes@uol.com.br, targa.marcelo@gmail.com, joãogadioli@unitau.com.br, ph-peixoto@uol.com.br

### RESUMO

O presente projeto teve como objetivo avaliar a qualidade e os efeitos da aplicação da água residuária resultante do tratamento de esgoto sanitário sobre as propriedades químicas de um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico e o rendimento da biomassa e grãos de aveia branca (*Avena sativa* L). Efetuou-se a caracterização química da água residuária e, depois, foi aplicada superficialmente no solo doses correspondentes a 0, 30, 60 e 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> em parcelas de 200 m<sup>2</sup>. As doses da água foram comparadas com a adubação mineral recomendada para a cultura da aveia. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento experimental em blocos casualizados e com quatro repetições. A água residuária apresentou composição química com qualidade para ser utilizada na agricultura. Os valores no solo de cálcio, CTC, V e pH aumentaram e a acidez potencial diminuiu após aplicação das doses de água residuária. As doses de água residuária proporcionaram incrementos na produção de biomassa e grãos de aveia similar ao obtido com a adubação mineral. Conclui-se que água residuária pode ser utilizada para corrigir a acidez do solo e substituir ou complementar a adubação mineral.

**Palavras-chave:** água residuária, disposição no solo, reuso de água.

### Chemical changes in the soil and production of oat fertilized with treated wastewater

### ABSTRACT

The purpose of this project was to ensure the quality and impact of the application of treated sewage wastewater on the chemical properties of Dystrophic Yellow Argisol and on biomass and grain production of white oat (*Avena sativa*, L). After the wastewater was chemically characterized, it was applied to the soil in concentrations of 0, 30, 60 and 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> in plots of 200 m<sup>2</sup>. Doses of water were compared with mineral fertilizer doses recommended for oat. The experimental design was a split plot with four randomized blocks. The wastewater had chemical qualities useful for grain cultivation. The values of calcium,

CTC, V, pH increased and acidity potential decreased in the soil after the wastewater was applied. Doses of the wastewater provided increments in biomass production and oat grains similar to that obtained with chemical fertilizers. We conclude that wastewater can be used to correct soil acidity and replace or supplement chemical fertilizers.

**Keywords:** wastewater, soil disposition, water reuse.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as tecnologias disponíveis para a destinação de águas residuárias provenientes dos sistemas de tratamento de esgoto domésticos, destaca-se o reuso agrícola, cuja técnica vem sendo utilizada em grande escala em vários locais, sobretudo em regiões áridas e semiáridas. Além de ser uma fonte alternativa de uso da água natural para irrigação, fornece nutrientes e a sua utilização pode reduzir a quantidade de fertilizantes minerais necessária para atender às culturas agrícolas (Fonseca et al., 2007; Tarchitzky et al., 2007). Dessa maneira, o polimento da água residuária dar-se-á, tanto por processos físico-químicos no solo, quanto por processos biológicos na interface do sistema solo-água-plantas, devido à atividade dos microrganismos (Bastos, 2003).

Quanto à aplicação de água residuária na irrigação, vários estudos têm demonstrado aumentos expressivos na produtividade das culturas agrícolas. Johns e McConchie (1994) constataram que a cultura da banana foi 10% mais produtiva mediante fertirrigação com água residuária. Já Gomes Filho et al. (2001) relataram uma produtividade de até 31,5 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> de aveia forrageira e, no mesmo estudo, observaram que o milho e a água residuária promoveram um incremento de 78,9% em relação ao cultivo com água de abastecimento. Em um sistema de irrigação de alface, Lima et al. (2005) concluíram que a adição de 7,0 L m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> de efluente tratado proporcionou um aumento de 30% na produção, quando comparada com a produção de alface irrigado com água de poço artesiano. Souza et al. (2006) constataram que o valor da área foliar do pimentão (*Capsicum annum* L) fertirrigado com efluente do reator UASB foi similar ao valor obtido com a adubação mineral e água de poço.

Em relação ao fornecimento de nutrientes para as culturas agrícolas, Johns e McConchie (1994) observaram que a aplicação de 600 mm de efluente de estação de tratamento atendeu a 20% do total de N requerido para a produção da bananeira. Al-Jaloud et al. (1995) verificaram que as concentrações de N, P, K, Mg, Na, Cu, Mn, Mo e Zn nas folhas de milho aumentaram mediante a fertirrigação com efluente de esgoto domésticos. Na cultura da cana-de-açúcar, Gomes et al. (2009) avaliaram que a aplicação do efluente supriu totalmente a necessidade de adubação mineral para P e S, e Medeiros et al. (2008), ao estudarem a fertirrigação com água residuária no cafeeiro, observaram incremento de P, Ca e S nas folhas.

Quanto à fertilidade do solo, vários estudos têm relatado a elevação nos valores de pH, CTC, saturação por bases e nas concentrações de P, K, Ca e Mg, em decorrência do aumento nas taxas de aplicação do efluente no solo (Falkiner e Smith, 1997; Queiroz et al., 2004; Fonseca et al., 2005; Medeiros et al., 2005; Erthal et al., 2010).

As respostas das culturas agrícolas e as alterações nos atributos químicos favoráveis à fertilidade do solo dependem da composição química da água residuária, do tipo de solo e da cultura agrícola. Por isso, a irrigação das culturas com águas residuárias deverá ser dimensionada com critérios agrônômicos e ambientais, pois a utilização intensiva e continuada poderá acarretar problemas de contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas e toxicidade às plantas (Balks et al., 1998; Ayers e Westcot, 1999; Erthal et al., 2010).

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos de quatro doses de aplicação de água residuária de esgoto doméstico sobre algumas características químicas de um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico cultivado com aveia amarela (*Avena sativa* L).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido nas instalações da Fazenda Piloto do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté (UNITAU), situada na área rural do município de Taubaté, região do vale do Paraíba, estado de São Paulo, distante 140 km da cidade de São Paulo, a 23°02'34" S e 45°31'02" W, altitude média de 577 m, clima tipo Cwa (Sub-tropical) e precipitação média anual 1.300 mm (Köppen, 1948).

Utilizou-se uma estação de tratamento de esgoto composta de uma fossa séptica, um filtro anaeróbio de fluxo ascendente e um leito de raízes cultivado com taboa (*Typha* sp). A vazão média da estação medida no período da pesquisa foi de 490 L dia<sup>-1</sup>, e o tempo de detenção, de 7 dias.

### 2.2. Caracterização química e biológica do efluente

A amostragem para a caracterização do efluente foi realizada mensalmente durante 4 meses. A coleta foi efetuada na saída do sistema de tratamento de esgoto, a amostra foi acondicionada em frasco de vidro esterilizado e depois preservada sobre refrigeração ( $\pm 5^\circ$  C), até ser entregue no Laboratório de Análise de Água e Efluentes do Departamento de Engenharia Civil, Ambiental e Sanitária da Universidade de Taubaté.

As variáveis químicas de pH, N-total, N-amoniaco, N-nitrato, fósforo total, potássio total, demanda bioquímica de oxigênio, cloro e condutividade elétrica foram analisadas seguindo a metodologia aplicada pelo Standard Methods (APHA et al., 2000).

Para a contagem de coliformes termotolerantes, alíquotas de 1 mL dos frascos contendo amostras de água diluídas em solução salina nas séries 10<sup>-1</sup>, 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-5</sup> e 10<sup>-6</sup> foram inoculadas na série de 5 tubos por diluição contendo o meio de cultura A1. Após a inoculação, os tubos foram colocados em estufa de cultura regulada a 35° C  $\pm$  2, durante um período de 24 a 48 horas, e, depois, foi efetuada a determinação dos tubos positivos e negativos. A contagem dos tubos positivos foi convertida com o auxílio de uma tabela em número mais provável de coliformes termotolerantes em 100 mL de água (APHA et al., 2000).

A determinação de ovos de helmintos nas amostras do efluente foi realizada pelo método de flutuação associado à contagem de ovos, após a centrifugação das amostras (Stoll, 1923).

### 2.3. Caracterização química do solo

O solo da área foi caracterizado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, de textura argilo-arenosa e com horizontes profundos. A caracterização para fins de fertilidade foi realizada em amostras de solo coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade, conforme a metodologia preconizada por Raij et al. (1987).

O solo apresentou as seguintes características químicas: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 4,5; M.O = 21 g dm<sup>-3</sup>; P = 10 mg dm<sup>-3</sup>; K = 1,0, Ca = 29, Mg = 12, H + Al = 28,6, CTC = 70,4, S = 41,7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V = 59,3%.

### 2.4. Instalação do experimento

As unidades experimentais de 200 m<sup>2</sup> (10 x 20m) foram distribuídas em um delineamento experimental de quatro blocos casualizados e cinco tratamentos (com fertilização mineral e com efluentes nas doses de 0, 30, 60 e 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. A parcela com 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e fertilização mineral foram irrigadas com água de poço.

A quantidade de efluente a ser aplicado no solo foi calculada tendo como base o teor de nitrogênio (N) na composição química do efluente e a dose de nitrogênio (100 kg ha<sup>-1</sup>), para atender à necessidade da cultura da aveia branca.

A fertilização mineral foi realizada de acordo com a análise química do solo, segundo recomendação de Raij et al. (1987) para cultura da aveia branca (*Avena sativa* L). Foram aplicados 25 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura e mais duas aplicações de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, aos 30 e 60 dias após o plantio.

Os tratamentos foram identificados como: 0m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (0 N kg ha<sup>-1</sup>); AM = com adubação mineral; 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (100 N kg ha<sup>-1</sup>); 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (200 N kg ha<sup>-1</sup>) e 90m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (300 N kg ha<sup>-1</sup>).

O efluente foi aplicado na superfície do solo e distribuído na área total das parcelas, de acordo com os tratamentos, e, depois de 10 dias, efetuou-se o plantio da aveia branca (*Avena sativa* L).

As sementes de aveia branca (*Avena sativa* L) da variedade IAC 7 foram semeadas num espaçamento de 20 cm entre linhas e 20 sementes por metro linear e a 5 cm do solo.

A coleta para determinar a biomassa e a produção de grãos foi realizada na parte central das parcelas aos 90 dias após a semeadura da aveia. Depois da coleta, as amostras foram separadas em grãos, caules e folhas e submetidas a secagem em estufa de ventilação forçada ( $\pm 65^{\circ}$  C) até peso constante.

A coleta de solo foi realizada 90 dias após a semeadura e na profundidade de 0-20 cm. Após a coleta, as amostras foram enviadas ao laboratório para serem realizadas as seguintes determinações: pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio, hidrogênio + alumínio, capacidade de troca de cátions, soma de bases e saturação de bases, conforme a metodologia descrita por Raij et al. (1987). A condutividade elétrica do solo foi determinada conforme a metodologia estabelecida por Camargo et al. (1986), em extrato de saturação 1:1.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando ocorreram diferenças detectadas pelo teste F ( $P < 0,05$ ), as diferenças entre as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização efluente tratado

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados do pH, cloro, condutividade elétrica, relação de adsorção de sódio (RAS), potássio, N-total, N-amoniacoal, N-nitrato, fósforo total, DBO, coliformes termotolerante e ovos de helmintos determinados na amostra do efluente tratado. Verifica-se que os valores de N-amoniacoal, fósforo total e DBO estão acima dos valores considerados como adequados para o lançamento nos cursos d'água, e os valores pH, N-nitrato e coliformes termotolerantes atendem aos limites de lançamentos estipulados pela Resolução CONAMA 375/2005.

Devido aos teores de N-amoniacoal, fósforo total e DBO, o efluente não poderá ser lançado no corpo d'água, pois poderá haver a eutrofização dos recursos hídricos, o que exigirá pós-tratamento mais eficiente. Porém, o efluente, quanto à presença de organismos patogênicos, apresentou-se adequado para a utilização na agricultura na forma de irrigação irrestrita, em função dos valores de coliformes termotolerantes, ovos de helmintos (WHO, 1989).

Os resultados de cloro, condutividade elétrica e RAS, no efluente tratado, estão abaixo dos limites estipulados por Ayers e Westcot (1999), e por isso o efluente poderá ser utilizado com grau de restrição de uso ligeiramente moderado em áreas com cultivo agrícola. Por outro lado o teor de potássio está acima do permitido pelos autores citados.

**Tabela 1.** Caracterização do efluente tratado pelo sistema de fossa séptica e filtro anaeróbio seguido de leito cultivado com *Typha* sp (média de 4 amostras, coletadas mensalmente).

Variáveis	Resultados	Limites
pH	7,2	6,0 - 9,0 <sup>(1)</sup>
Cloro (mg L <sup>-1</sup> )	2,18	0 - 30 <sup>(3)</sup>
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )	0,93	0 - 3 <sup>(3)</sup>
RAS	6,1	0 - 15 <sup>(3)</sup>
Potássio (mg L <sup>-1</sup> )	29	0 - 2 <sup>(3)</sup>
N total (mg L <sup>-1</sup> )	54,8	-
N amoniacal (mg L <sup>-1</sup> )	48,12	< 13,3 <sup>(1)</sup>
N nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	0,91	< 10 <sup>(1)</sup>
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	9,66	< 0,15 <sup>(1)</sup>
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	37,66	< 10 <sup>(1)</sup>
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	440	< 1000 <sup>(2)</sup>
Ovos de helmintos (número de ovos L <sup>-1</sup> )	0,23	< 1 <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Valores Resolução CONAMA 357/2005 para lançamento em curso d'água Classe 3

<sup>(2)</sup> Valores da Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. (WHO, 1989).

<sup>(3)</sup> Valores de Ayers e Westcot (1999)

Neste caso, o efluente poderá ser aplicado no solo desde que no cálculo da taxa para aplicação do efluente seja considerada a quantidade de potássio necessária para atender às necessidades da cultura e ao equilíbrio da relação entre o potássio com o cálcio e o magnésio no solo.

### 3.2. Atributos químicos do solo

A aplicação de doses de águas residuárias no solo proporcionou uma redução significativa no teor de matéria orgânica. Observa-se na Tabela 2 que, na maior dose, 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, o teor de matéria orgânica foi igual a 4 g kg<sup>-1</sup> e, nos tratamentos sem água residuária, 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e FM, os teores foram de 19 e 20 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Comparando os teores de matéria orgânica dos tratamentos sem aplicação da água com a dose de 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, percebe-se que a redução foi de 42,10%; com 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, foi igual a 63,15%; e, com 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, chega a 78,94%.

Resultados sobre o decréscimo na matéria orgânica do solo também foram constatados em diversos estudos, e os autores citam como possíveis causas os seguintes fatores: predominância de N na forma mineral; manutenção de condições ideais para a mineralização da matéria orgânica como umidade; temperatura; aeração; baixa relação C/N da água; incremento da atividade microbiana, estimulando a decomposição da matéria orgânica associado ao efeito "priming" (Myers et al., 1982; Feigin et al., 1991; Artiola e Pepper, 1992; Barton et al., 2005; Fonseca et al., 2005, 2007; Erthal et al., 2010). Esse efeito de redução da matéria orgânica do solo permanecerá até que a comunidade de micro-organismos pioneira e ativa metabolicamente seja sucedida por comunidades de micro-organismos com metabolismo mais estável, que imobilizam o carbono na biomassa microbiana. Por isso, os aumentos da matéria orgânica do solo irrigado com águas residuárias são observados somente em trabalhos de longa duração, pois, com o passar do tempo, ocorre o acúmulo de carbono na forma recalcitrante no solo (Friedel et al., 2000; Ramirez-Fuentes et al., 2002).

O teor de nitrogênio total apresenta a mesma tendência observada para a matéria orgânica, com os valores diminuindo na medida em que se elevam as doses de água residuária aplicada ao solo (Tabela 2). A redução do nitrogênio total poderá estar associada à reação de imobilização do nitrogênio pelos micro-organismos para decompor a matéria orgânica do solo e, também, à absorção pelas raízes da aveia branca. Durante a realização do ensaio não foi constatada carência de nitrogênio nas plantas de aveia fertilizadas com os tratamentos 30, 60 e

90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Assim como na matéria orgânica, os aumentos nos teores de nitrogênio total no solo, devido à aplicação de águas residuárias, têm sido observados em estudos de longa duração, como relatados por Quin e Forsythe (1978), Lund et al., (1981) e Mikkelsen et al. (1997).

**Tabela 2.** Teores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, H+AL, CTC, V e pH do solo 90 dias após a semeadura da aveia nas parcelas com adubação mineral e doses de lodo de esgoto.

Tratamentos	M.O ---- (g kg <sup>-1</sup> ) ---	N ---	P mgdm <sup>-3</sup>	K ----- (mmolc dm <sup>-3</sup> ) -----	Ca	H+AL	CTC	V %	pH (CaCl <sub>2</sub> )
0 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	19a <sup>(1)</sup>	0,8a	4b	1,1 <sup>a</sup>	6b	36a	44b	18c	4,4c
AM	20a	0,7a	18a	1,5 <sup>a</sup>	24a	22b	55a	60b	4,8bc
30 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	11b	0,6ab	16a	0,8 <sup>a</sup>	27a	19b	54a	65ab	5,1b
60 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	7c	0,4b	15a	0,8 <sup>a</sup>	25a	21b	59a	67ab	5,7ab
90 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	4c	0,3b	17a	0,7 <sup>a</sup>	28a	20b	61a	70a	5,8a

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem entre si a nível de 5% pelo teste de Tukey.

Em relação ao fósforo, observa-se, na Tabela 2, que houve diferença significativa nos teores de fósforo dos tratamentos com fertilizante mineral e doses de água residuária, quando comparados com o valor do solo testemunha. Deve-se ressaltar que esses valores correspondem aos teores de fósforo que não foram absorvidos pela cultura da aveia, provavelmente porque no início os teores fossem mais elevados, pois a fonte de fósforo aplicada no tratamento com fertilizante mineral era solúvel, e o fósforo da água residuária, de origem orgânica. O aporte inicial de fósforo promovido por esses tratamentos estão de acordo com o rendimento de biomassa e grãos de aveia apresentados na Figura 1.

Verifica-se, na Tabela 2, que, apesar da absorção de fósforo pela cultura da aveia, as dosagens de 30, 60 e 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> mantiveram, após os 90 dias da aplicação, os teores de fósforo no solo nos mesmos níveis que aqueles do tratamento com fertilizante mineral. Se esses resultados forem comparados com os rendimentos da aveia, Figura 1, poderemos aferir que a aplicação de água residuária nas dosagens de 30, 60 e 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> foram suficientes para disponibilizar à cultura da aveia teores de fósforo na solução do solo equivalentes àqueles proporcionados pela fertilização mineral. Resultados similares também foram verificados por Cavallet et al. (2006) com aplicação de 160 t ha<sup>-1</sup> de água residuária na cultura do milho, e por Duarte et al. (2008), quando irrigaram alface com efluente tratado de esgoto domiciliar. Os autores alegam que tal efeito pode ser decorrente do aporte de fósforo ao solo, devido à presença de fósforo orgânico na constituição química da água residuária e, também, pela reação de solubilização das formas insolúveis de fósforo existente no próprio solo. Após essas reações, o fósforo, por ter baixa mobilidade no solo, foi rapidamente absorvido pelas raízes das plantas e convertido em produção similar à obtida com fertilizante mineral.

Ao avaliar os teores remanescentes de fósforo dos tratamentos AM, 30, 60 e 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, constatamos que os valores são considerados de baixos a médios, para solos agrícolas. Isso ocorre porque os incrementos de fósforo disponíveis no solo fertilizado com água residuária são mais pronunciados em experimentos com mais de cinco anos de duração (Mohammad e Mazahreh, 2003; Wang et al., 2003). Então, nos experimentos de curta duração, deverá ser levado em consideração o teor de fósforo absorvido pela planta e o rendimento da cultura agrícola, pois, considerando apenas o teor de fósforo no solo, pode-se chegar à conclusão equivocada de que a utilização da água residuária deverá ser complementada com fósforo na forma de fertilizante mineral.

Os teores de potássio não apresentaram variação significativa entre os tratamentos; foram iguais a 1,1, 1,5, 0,8, 0,8 e 0,7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para os tratamentos 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, AM, 30, 60 e 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 2). Segundo Raij et al., (2001), os valores são considerados como baixos e não oferecem riscos para disponibilidade de cálcio e magnésio para as plantas.

Entretanto, era de se esperar que o teor de potássio fosse mais elevado na parcela com fertilização mineral, tendo em vista que, nesse tratamento, foram adicionados 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Provavelmente isso não ocorreu porque parte do que foi aplicado, via fertilizante mineral, foi absorvido pelas raízes da aveia e lixiviado pelo perfil do solo. Essa tendência pode ter ocorrido nas parcelas com aplicações das doses de água residuária, pois a produção de biomassa e grãos de aveia foi similar ao verificado com a fertilização mineral. Além da perda de potássio pela absorção e lixiviação nas parcelas com adição de 30, 60 e 90 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, outro fator é a baixa concentração de potássio na água residuária utilizada neste experimento, o que contribuiu, em parte, para não influenciar no aumento de potássio no solo.

Trabalhos realizados com água residuária com valores de potássio similares ao determinado no presente estudo também não verificaram incremento de potássio no solo (Cavallet et al., 2006; Duarte et al., 2008; Costa et al., 2009). Por outro lado, aumentos nos teores de potássio no solo foram constatados com aplicação de água residuária com teores de potássio, variando de 80 a 360 mg L<sup>-1</sup>, acima do valor verificado na água utilizada neste experimento (Falkiner e Smith, 1997; Queiroz et al., 2004; Medeiros et al., 2005; Erthal et al., 2010).

Quanto aos teores de cálcio no solo, observa-se, na Tabela 2, que os valores determinados no solo com as doses de água residuária foram iguais aos valores verificados no tratamento com fertilizante mineral e calcário, e superiores à concentração de cálcio determinada no solo testemunha. A presença de cálcio no tratamento com fertilizante mineral está relacionada ao calcário que foi incorporado no solo antes da aplicação do adubo, já o cálcio determinado no solo das parcelas com as doses de água residuária é proveniente da mineralização da matéria orgânica existente na composição química da água residuária. Os resultados de pesquisas envolvendo o cálcio em água residuária utilizada na fertirrigação de cana-de-açúcar, café e forrageiras demonstraram o mesmo comportamento, pelo fato de que a água é rica em cálcio (Cavallet et al., 2006; Gomes et al., 2009; Erthal et al., 2010).

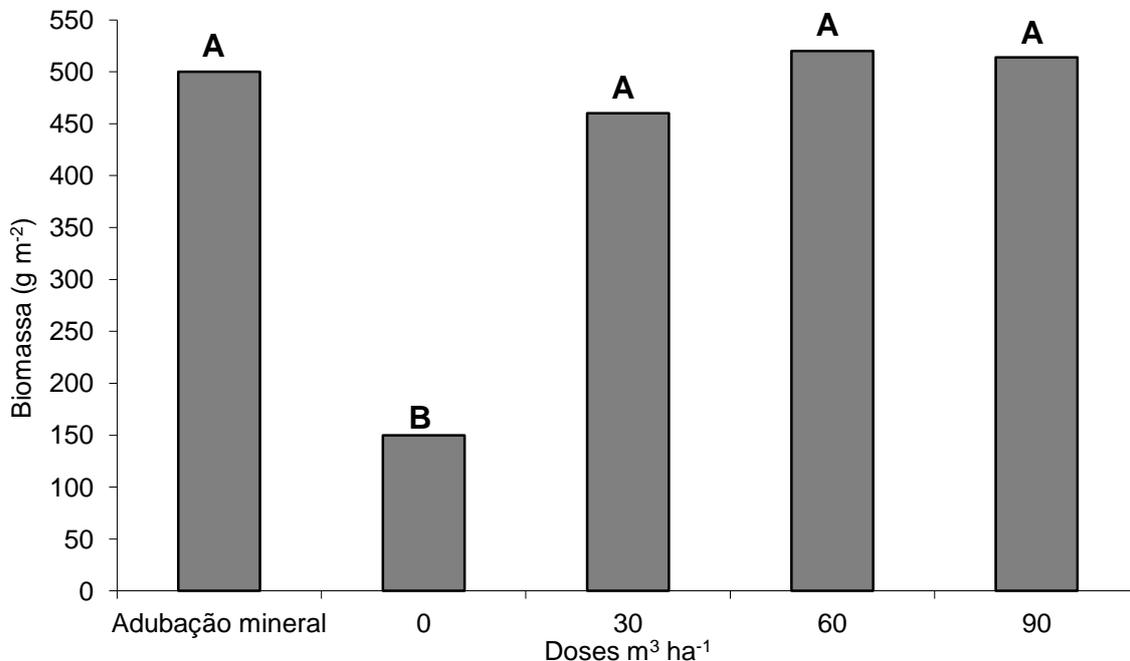
Em relação à CTC e à saturação por bases (%V), verifica-se, na Tabela 2, que as parcelas que receberam as doses de água residuária apresentam os maiores valores, quando comparadas com a parcela que não as recebeu. Aumentos na CTC e saturação por bases (V%) também foram observados com o uso de água residuária da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro conilon (Garcia, 2003), com a adição de água residuária da indústria de enzimas (Cavallet et al., 2006) e com aplicação de água residuária da bovinocultura (Erthal et al., 2010). Nesses estudos, os autores alegam que os aumentos da CTC e a saturação por bases (%V) foram devidos ao aporte de cálcio e sódio presentes na composição química da água residuária e à redução do hidrogênio + alumínio, conforme observado no presente estudo.

A variação nos valores do pH e acidez potencial (H + Al) no solo está apresentada na Tabela 2. Verifica-se que o valor do pH aumenta e que o H + AL diminui, com a elevação das doses de água residuária, quando comparados com tratamento 0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Esse aumento no pH e a neutralização do H+AL no solo podem ser atribuídos aos seguintes fatores: pH básico do efluente; adição de cátions trocáveis e ânions pelo efluente; adição de resíduos orgânicos ao solo seguidos da descarboxilação e desaminação, processos consumidores de prótons (Stewart et al., 1990; Falkiner e Smith, 1997).

A menor dose de água residuária proporcionou aumento no pH e diminuição no H+AL do solo equivalente àquele do tratamento com fertilização mineral mais calcário (AM). Tais resultados demonstram a possibilidade de a água residuária ser utilizada para substituição ou complementação da aplicação de calcário no solo.

### 3.3. Rendimento da biomassa e grãos de aveia

Na Figura 1 estão apresentados os resultados da produção de biomassa de aveia cultivada nas parcelas sem adição de água residuária ( $0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), com adubação mineral (AM) e com aplicação de água residuária nas doses 30, 60 e  $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Observa-se que os valores de biomassa variam significativamente, de  $150 \text{ g m}^{-2}$  até  $520 \text{ g m}^{-2}$ , respectivamente para os tratamentos 0 e  $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .



**Figura 1.** Produção de biomassa de aveia colhida nas parcelas sem e com aplicação de doses de água residuária e com adubação mineral.

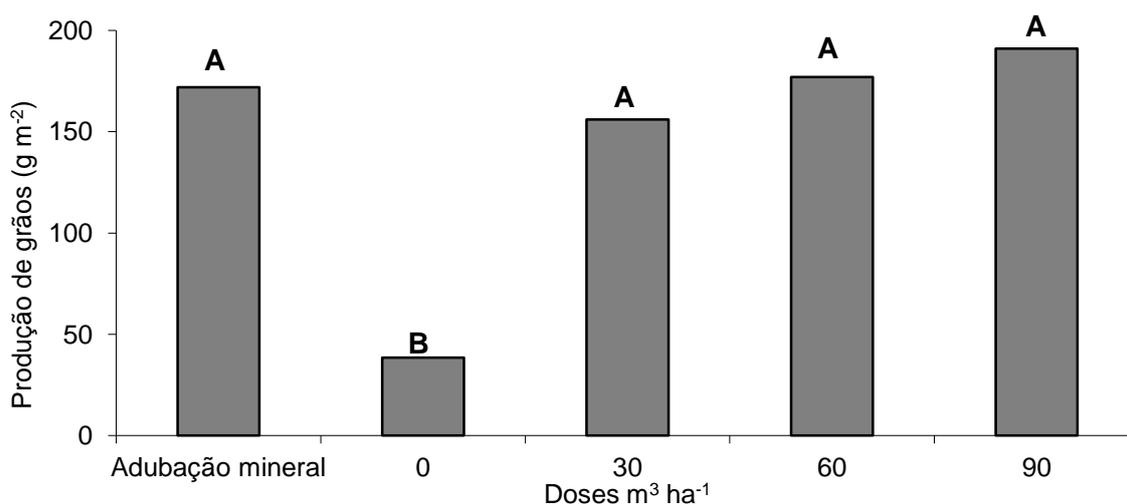
**Nota:** Médias seguidas por letras iguais diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Ainda na Figura 1, observa-se que a produção de biomassa quantificada nos tratamentos com as doses de água residuária apresentaram valores próximos e similares ao determinado no tratamento com fertilizante mineral. Trabalhos realizados para quantificar produção de biomassa de aveia têm constatado valores de rendimento variando de  $389$  a  $635 \text{ g m}^{-2}$  (Reis et al., 1993; Alvim et al., 1994; Luz et al., 2008). Com base nesses dados, podemos aferir que os tratamentos com adubação mineral e aplicação de água residuária nas doses de 30, 60 e  $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  proporcionaram produção de biomassa de aveia igual ou superior à observada nos experimentos com aveia.

Os dados de produção de grãos de aveia estão apresentados na Figura 2. Nota-se que a produção de grãos com as doses de água residuária foi superior à produção determinada na parcela sem adição da água. Nota-se, também, que a utilização da água residuária nas doses 60 e  $90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  foi igual e um pouco superior à observada na parcela com adubação mineral.

De acordo com Reis et al. (1993), a produtividade de grãos esperada para a aveia é de  $200 \text{ g m}^{-2}$ . Observa-se, na Figura 2, que os resultados do presente estudo ficaram abaixo desse valor em função da antecipação da colheita que ocorreu devido ao acamamento das plantas provocado pela ação de ventos e chuvas.

Os resultados obtidos com o rendimento da biomassa e a produção de grãos de aveia ressaltam a possibilidade de utilização da água residuária para substituir ou complementar a fertilização mineral e a aplicação do calcário no cultivo agrícola (Al-Jaloud et al., 1995; Gomes Filho et al., 2001; Lima et al., 2005; Souza et al., 2006; Cavallet et al., 2006; Medeiros et al., 2008; Gomes et al., 2009).



**Figura 2.** Produção de grãos de aveia colhida nas parcelas sem e com aplicação de doses de água residuária e com adubação mineral.

**Nota:** Médias seguidas por letras iguais diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

## 4. CONCLUSÃO

A aplicação das doses de água residuária proporcionou as seguintes consequências no solo e na produção da aveia:

1. Redução no teor de matéria orgânica no solo.
2. Aumentos nos teores de fósforo, cálcio, CTC, saturação de bases e no pH do solo.
3. Correção da acidez potencial do solo, devido à insolubilização do alumínio e à neutralização do hidrogênio.
4. Aumento no rendimento da biomassa e grãos de aveia nos mesmos níveis obtidos com a adubação mineral.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq, pelo apoio financeiro, e à Universidade de Taubaté, pela disponibilização dos laboratórios.

## 6. REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington, 2000.
- AL-JALOUD, A. A.; HUSSAIN, G.; AL-SAATI, A. J.; KARIMULLA, S. Effect of wastewater irrigation on mineral composition of corn and sorghum plants in a pot experiment. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 8, p. 1677-1692, 1995. <http://dx.doi.org/10.1080/01904169509365013>
- ALVIM, M. J. et al. Efeito da época de plantio e da frequência da irrigação em aveia sobre a produção de matéria seca e teor de proteína bruta. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 47-56, 1994.
- ARTIOLA, J. F.; PEPPER, I. L. Longterm influence of liquid sewage sludge on the organic carbon and nitrogen content of a furr owirrigated desert soil. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v. 14, p. 30-36, 1992. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00336299>

- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPb, 1999. 153p.
- BALKS, M. R.; BOND, W. J.; SMITH, C. J. Effects of sodium accumulation on soil physical properties under an effluent-irrigate plantation. **Australian Journal of Soil Research**, v. 36, p. 821-830, 1998.
- BARTON, L.; SCHIPPER, L. A.; BARKLE, G. F.; MCLEOD, M.; SPEIR, T. W.; TAYLOR, M. D. et al. Land application of domestic effluent onto four soil types: Plant uptake and nutrient leaching. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 34, p. 635-643, 2005.
- BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Viçosa, MG: PROSAB, 2003. 253p.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. (Boletim Técnico, 106).
- CAVALLET, E.; LUCCHESI, A. C.; MORAES, A.; SCHIMIDT, E.; PERONDI, M. A.; FONSECA, R. A. Melhoria da fertilidade do solo decorrentes da adição de água residuária da indústria de enzima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 724-729, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000300027>
- COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; BASTOS, A. L.; ALBUQUERQUE, A. W. Fluxo difuso de potássio em solos sob diferentes níveis de umidade e de compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 56-62, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000100008>
- 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000300012>
- ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária da bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 467-477, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000500003>
- FALKINER, R. A.; SMITH, C. J. Changes in soil chemistry in effluent-irrigated *Pinus radiata* and *Eucalyptus grandis* plantations. **Australian Journal of Soil Research**, v. 35, p. 131-147, 1997.
- FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection**. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.
- FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. II. Soil acidity, exchangeable cations, and sulfur, boron and heavy metals availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, p. 1983-2003, 2005. <http://dx.doi.org/10.1081/CSS-200062542>

- FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTEIRO, F. A.; MONTES, C. R.; ALMEIDA, V. V.; HERPIN, U. Treated sewage effluent as a source of water and nitrogen for Tifton 85 bermudagrass. **Agricultural Water Management**, v. 87, p. 328-336, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2006.08.004>
- FRIEDEL, J. K.; LANGER, T.; SIEBE, C.; STAHR, K. Effects of longterm waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v. 31, p. 414-421, 2000. <http://dx.doi.org/10.1007/s003749900188>
- GARCIA, G. de O. **Alterações químicas, físicas e mobilidade dos íons no solo decorrentes da aplicação de água residuária da lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro conilon**. 2003. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.
- GOMES FILHO, R. R.; MATOS, A. T.; SILVA, D. D.; MARTINEZ, H. E. P. Remoção da carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 131-134, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000100024>
- GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; SILVA, E.; SUNDEFED JÚNIOR, G. C.; DEON, M.D. et al. Aporte de nutrientes e estado nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção. **Revista DAEE**, São Paulo, ano LX, p. 17-23, ago. 2009.
- 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. 7, p. 1601-1617, 1994.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Cidade do México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 479 p.
- LIMA, S. M. S.; HERINQUE, I.N.; CEBALLOS, B. S. O.; SOUZA, J. I.; ARAÚJO, H. W. C. Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, supl., p. 21-25, 2005.
- LUND, L. J.; PAGE, A. L.; NELSON, C. O.; ELLIOTT, R. A. Nitrogen balances for an effluent irrigation area. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 10, p. 349-352, 1981.
- LUZ, P. H. C.; HERLING, V. R.; BRAGA, G. J.; NOGUEIRA FILHO, J. C. M.; FARIA, L. A.; LIMA, C. G. Resposta da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) á irrigação por aspersão e adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum Agronomy**, Londrina, v. 30, n. 3, p. 421-426, 2008.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000400026>

- MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES J.C. L.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo do estado nutricional do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 109-115, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000200001>
- MIKKELSEN, R. L.; RECHCIGL, J. E.; MACKINNON, H. C. Agricultural and environmental issue in the management of swine waste. **Agriculture uses of products an waste**, v. 6, p.110-119, 1997. <http://dx.doi.org/10.1021/bk-1997-0668.ch008>
- MOHAMMAD, M.J.; MAZAHREH, N. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, n. 9/10, p. 1281-1294, 2003. <http://dx.doi.org/10.1081/CSS-120020444>
- MYERS, R. J. K.; CAMPBELL, C. A.; WEIER, K. L. Quantitative relationship between net nitrogen mineralization and moisture content of soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 62, p. 111-124, 1982. <http://dx.doi.org/10.4141/cjss82-013>
- QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 05, p. 1487-1492, 2004.
- QUIN, B.F.; FORSYTHE, L. J. Surface irrigation of pasture with treated sewage effluent: II. Drainage losses of nitrate and other nutrients. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 21, p. 427-434, 1978.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fund. Cargill, 1987. 170p.
- 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.
- RAMIREZ-FUENTES, E.; LUCHO-CONSTANTINO, C.; ESCAMILLA-SILVA, E.; DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. **Bioresource Technology**, v. 85, p. 179-187, 2002. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00035-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00035-4)
- REIS, R. A. et al. Produção e qualidade da forragem de aveia (*Avena* spp.). **Revista Sociedade Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 99-109, 1993.
- SOUZA, Z. M. de.; BEUTLER, A. N.; PRADO, R. M.; BENTO, M. J. C. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 31-38, 2006.
- 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. [http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491\(90\)90065-K](http://dx.doi.org/10.1016/0269-7491(90)90065-K)
- STOLL, N. R. Investigations on the control of hookworm disease. XV. An effective method counting hookworm eggs in feces. **American Journal Hygiene**. V. 3, n. 10, p. 59-70, 1923.

- 
- TARCHITZKY, J.; LERNER, O.; SHANI, U.; RYE, G.; LOWENGART-AYCICEGI, A.; BRENER, A. Water distribution pattern in treated wastewater irrigated soils: hydrophobicity effect. **European Journal of Soil Science**, v. 58, n. 3, p. 573-588, 2007. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00845.x>
- WANG, Z.; CHANG, A. C.; WU, L.; CROWLEY, D. Assessing the soil quality of longterm reclaimed wastewater-irrigated cropland. **Geoderma**, v. 114, p. 261-278, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00044-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00044-2)
- WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Report of a WHO Scientific Group. Geneva: WHO, 1989, 72p. (Technical Report Series, 778)