

**XI SILUBESA*****Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental***

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-033-REUSO DE EFLUENTE DOMÉSTICO NA AGRICULTURA: COMPARATIVO ENTRE SAFRAS DE VERÃO E INVERNO**Saulo Bruno Silveira e Souza ⁽¹⁾**

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestrando em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Eng. Civil da UNICAMP. Bolsista CNPq.

Bruno Coraucci Filho ⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP; Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP; Doutor em Engenharia pela Escola Politécnica da USP; Livre Docência pela Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP. Professor Associado da UNICAMP.

Edna E. Bertoncini ⁽³⁾

Engenheira Agrônoma pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Doutora pela ESALQ/USP. Pesquisadora e Pós-doutoranda da UNICAMP. Bolsista CNPq.

Ronaldo Stefanutti ⁽⁴⁾

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Doutor pela ESALQ/USP. Pesquisador e Pós-doutorando no Departamento de Saneamento e Ambiente da FEC-UNICAMP. Bolsista CNPq.

Roberto Feijó de Figueiredo ⁽⁵⁾

Mestre pela EESC-USP. MSc. Universidade da Califórnia/USA. PhD Universidade da Califórnia/USA. Livre Docência pela Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP. Professor titular pela Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Cidade Universitária "Zeferino Vaz", CP 6021; Barão Geraldo – Campinas-SP. CEP.: 13083-852. Faculdade de Engenharia Civil, Departamento de Saneamento e Ambiente. Tel: +55(19) 3788-2381

 bruno@fec.unicamp.br ou sbsouza@fec.unicamp.br.

RESUMO

O reuso de efluentes na agricultura surge como uma ótima alternativa de destino para o efluente tratado, visto que este pode fornecer água, matéria orgânica, e nutrientes vantajosos para as plantas, ao mesmo tempo em que possui concentrações que extrapolam os padrões de lançamento. Neste estudo o reuso do efluente resultante de tratamento em uma lagoa anaeróbia foi feito por meio de um sistema de irrigação por sulcos rasos, tendo como principal objetivo a determinação de taxas de aplicação no solo, que sejam convenientes do ponto de vista sanitário e agrônomo, à proteção dos aquíferos subterrâneos e à produção de colheitas. Para tanto, foram investigadas três lâminas hídricas correspondentes às profundidades de irrigação de 0,20, 0,40 e 0,60 m. O estudo sanitário foi realizado pela coleta de lixiviados de solução do solo extraídas de coletores instalados nas profundidades de 0,25, 0,50 e 0,75 m, e nos quais foram avaliadas as concentrações de nitrato e os parâmetros DBO e DQO. O solo utilizado foi o Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média, e os tratamentos contemplaram parcelas irrigadas com efluente e parcelas irrigadas com água e fertilizadas com adubo químico. Empregou-se a cultura do milho (*Zea mays*) cultivar AG405 durante as safras de

verão (estação chuvosa), e de inverno (estação seca), para avaliar a eficiência do sistema. Os valores médios obtidos para os coletores de drenagem para DBO indicam uma redução de cerca de 95% em relação ao efluente anaeróbio aplicado na irrigação, com os valores variando de 1 a 21 mg L⁻¹, sendo que, 75% dos resultados encontrados para DBO encontram-se na faixa esperada, entre 2 e 5 mg O₂ L⁻¹. Para os valores médios de DQO, observa-se uma redução de cerca de 95% quando comparado aos resultados do efluente anaeróbio. A medida em que se aumenta a profundidade dos coletores observa-se uma redução crescente nestes valores, como esperado. A concentração de nitrato ficou abaixo dos limites recomendados para água de consumo humano (Portaria 1469/00) em 90% das amostras coletas no sistema de drenagem, evidenciando que as lâminas utilizadas não promoveram a contaminação do lençol freático.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso, tratamento no solo, efluente anaeróbio, irrigação, milho.

INTRODUÇÃO

O reuso de efluentes domésticos na agricultura surge como uma ótima alternativa de destino para o efluente tratado, visto que este possui características vantajosas para a agricultura, ao mesmo tempo em que possui concentrações que extrapolam os padrões de lançamento nos cursos d'água. Além disso, o reuso agrícola funciona como um sustentáculo para regiões onde a falta de água já é uma realidade, como a região sudeste do Brasil. O uso de efluente de tratamento de esgoto na irrigação aumenta a oferta hídrica para aplicação na agricultura, além de reduzir a demanda de água para estes fins, visto que atualmente cerca de 70% do consumo de água no mundo se deve ao uso para irrigar culturas agrícolas.

Em regiões áridas e semi-áridas, como Israel, Líbano e países vizinhos, a irrigação com efluentes proporciona a redução do consumo agrícola da água, havendo um melhor compartilhamento da água para abastecimento humano com a irrigação das colheitas. Friedler (1999), registra que, num futuro próximo, em Jeezrael Valley, Israel, a irrigação com efluente será correspondente a 80% de toda a irrigação local. O nordeste brasileiro também sofre com situação similar. O Brasil é um país que apresenta alto potencial para a adoção da técnica de reuso com aplicação em irrigação, pois possui vastas áreas agrícolas, e necessita tratar seus efluentes com técnicas alternativas de baixo custo. Logo, o reuso de águas residuárias na agricultura pode trazer sustentabilidade tanto no pós-tratamento de efluentes como no aumento da produtividade agrícola.

O sistema de tratamento anaeróbio seguido de pós-tratamento no solo é considerado um processo de baixo custo e com pouco consumo de energia, garantindo um nível satisfatório comparável ao tratamento terciário, além de fornecer água e nutrientes às plantas, retorno de elementos ao seu ciclo biogeoquímico, e minimiza os conflitos dos usos múltiplos da água.

O uso de efluentes de esgoto doméstico em solos, proporciona a incorporação de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Cu e Zn) de plantas aos solos. A adição de matéria orgânica promove a estruturação e melhoria das características físicas do solo, reduzindo sua susceptibilidade a erosão, além de aumentar a atividade biológica do solo, a resistência das plantas a patógenos e pragas, e de melhorar o poder tampão de solos, contribuindo na retenção de poluentes, como pesticidas e metais pesados.

Entretanto, a aplicação de efluentes no solo não deve ser feita de forma indiscriminada, e sem monitoramento. Deve existir um elo perfeito entre os critérios de projetos da engenharia sanitária e os da engenharia agrônoma, de forma que o efluente possa ser aplicado e tratado no solo sem que haja sua contaminação e sua saturação por nutrientes. O lençol freático também merece grande atenção para que não receba cargas de contaminantes, como nitratos, metais pesados e patógenos oriundos do esgoto doméstico. Logo, é extremamente importante um estudo detalhado e confiável que forneça subsídios para a escolha de uma cultura adequada, bem como as taxas hidráulicas de irrigação e os turnos de rega para que as condições sanitárias sejam respeitadas (Vieira, 1999).

Na literatura são escassos os relatos sobre o potencial contaminante que tal sistema possui sobre o lençol de água subterrâneo. Neste aspecto, o objetivo deste trabalho é de monitorar a concentração de nitrato e os valores de DQO e DBO ao longo do perfil dos solos tratados com efluente de esgoto tratado em lagoa anaeróbia. Conforme a Portaria 1469/00, do Ministério da Saúde, a concentração máxima de nitrato em água potável, para consumo humano é de 10 mg L⁻¹. De acordo com a resolução CONAMA nº 20/86, para as águas doces das classes de 1 a 4, o limite máximo permitido de nitratos também é de 10 mg L⁻¹, enquanto na classe especial o nitrato e a amônia devem estar ausentes. A remoção de sólidos totais também não deve atingir os valores de 100 mg L⁻¹, conforme recomendado pela literatura.

O objetivo deste trabalho foi estudar a movimentação do nitrato e o decaimento do carbono orgânico em três profundidades do perfil de solo irrigado com efluente de tratamento de esgoto, e cultivado com milho, nas estações seca e chuvosa, de modo a viabilizar sua aplicação mais segura por meio de um processo de irrigação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido em uma área experimental vizinha a Estação Tratamento de Esgoto da Graminha, pertencente a empresa Águas de Limeira S.A., em Limeira-SP, nas coordenadas 23°33' S e 47°24' W, na altitude de 570 m, em um Argissolo Vermelho Amarelo, textura média.

A área foi sistematizada em blocos inteiramente casualizado, correspondentes às lâminas de aplicação de efluente ou água de 0,20; 0,40 e 0,60 m (Figuras 1 e 2). Tais valores foram escolhidos em função do cultivo, que, para o caso do milho é recomendada profundidade de irrigação de 0,40m (Vieira, 1999). A partir deste valor foi escolhida uma profundidade mais conservadora (0,20 m) e outra menos (0,60 m). Os tratamentos com efluente e a água foram dispostos em um sistema de irrigação por sulcos com parcelas de cinco linhas de plantio com 4,0 m de comprimento e quatro sulcos intermediários. A distância entrelinhas adotada foi de 1,0 m. Duas linhas laterais e a área entorno as parcelas foram consideradas bordadura. As parcelas constituíram dos tratamentos irrigados com efluente e sem adubação química e de tratamentos irrigados apenas com água e fertilizados com adubação química de acordo com análise de terra e recomendação de adubação para a cultura (Raij et al., 1996).

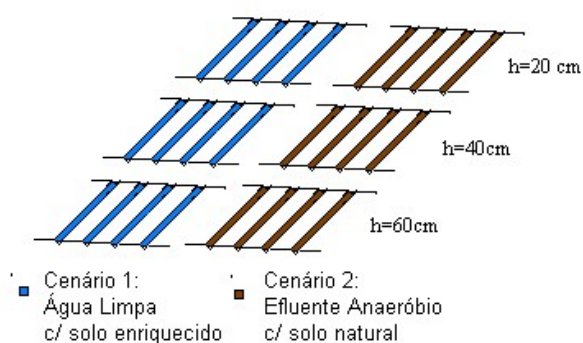


Figura 1: Esquema dos 2 tratamentos, irrigados com as lâminas de 0,20, 0,40 e 0,60m de efluente ou água.



Figura 2: Vista geral da área experimental.

O estudo foi desenvolvido para duas safras, em período de estiagem e de chuva, e a frequência de aplicação ocorreu de acordo com a dotação de rega a ser calculada para as condições do local, com o auxílio dos métodos propostos: o gravimétrico e o tanque Classe A. O manejo da irrigação baseia-se no princípio do fornecimento de água adequado a cultura para sua máxima produtividade agrícola. Para tal, trabalha-se com o teor de água do solo entre a capacidade de campo (CC), ou capacidade máxima de retenção de água no solo, acima da qual o líquido lixivia para o lençol, e com o teor de água crítico (UC), abaixo do qual a planta tem que realizar esforços que comprometem o seu metabolismo para absorver água do solo. Quando o teor de água do solo atinge o valor da UC, irriga-se os sulcos referentes a esta profundidade de irrigação com a lâmina hídrica correspondente, retornando a umidade do solo à capacidade de campo. Foram instalados coletores de drenagem livre nas profundidades de 0,25m, 0,50m e 0,75m, no centro de cada parcela. As coletas de amostras da água infiltrada no solo foram feitas para a 1ª safra, aos 25, 60 e 110 dias após o plantio e para a 2ª safra, aos 25, 67 e 101 dias após o plantio.

A caracterização do efluente foi realizada a cada aplicação de acordo com Eaton et al. (2000). A qualidade da água infiltrada no solo, proveniente das parcelas irrigadas com efluente, foi determinada por vários parâmetros, sendo que a concentração de nitrato, e os valores de DBO e DQO receberam destaque neste trabalho. Estas determinações foram efetuadas de acordo com Eaton et al. (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 nos fornece as taxas hidráulicas empregadas em cada safra, assim como a precipitação pluviométrica do período.

Tabela 1: Caracterização das quatro safras, especificando a precipitação durante o período e as lâminas hídricas empregadas para as profundidades de irrigação de 0,20, 0,40 e 0,60m.

Safras	Período	Lâmina total aplicada			Precipitação
		h=0,20m	h=0,40 m	h=0,60m	
1ª safra - inverno	22/03/02 a 02/08/02	133,2 mm	145,6 mm	150,0 mm	378,8 mm
2ª safra - verão	10/09/02 a 08/01/02	74,0 mm	86,4 mm	90,8 mm	712,8 mm

A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização do efluente aplicado em cada irrigação. Verifica-se que a concentração de nitrogênio total ultrapassa o limite recomendado pela EPA (1992), de 30 mg L⁻¹, para qualidade de água para irrigação. Também pode ser observado que o efluente tratado em lagoa anaeróbia não se apresenta dentro dos padrões exigidos para lançamento em cursos de água de classe 1, 2 ou até mesmo 3, segundo o CONAMA 20 (1986), devendo passar por pós-tratamento para que seja disposto em corpos de água.

Tabela 2: Caracterização do efluente anaeróbio aplicado em cada safra. Valores médios das aplicações⁽¹⁾.

Parâmetros	1ª safra ⁽¹⁾	2ª safra ⁽¹⁾
pH (mínimo e máximo)	7,1 - 7,4	7,0 - 7,5
Condutividade (μ S cm ⁻¹)	1215,5	946,9
Alcalinidade Total (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	227,1	240,5
DQO Total (mg O ₂ L ⁻¹)	315,7	390,4
DBO Total (mg O ₂ L ⁻¹)	117,4	85,8
SST (mg.L ⁻¹)	69,0	98,8
SSF (mg.L ⁻¹)	14,3	18,9
SSV (mg.L ⁻¹)	54,7	79,9
N-Amoniacal (mg L ⁻¹)	24,9	12,8
N-Nitrito (mg L ⁻¹)	0,13	0,09
N-Nitrato (mg L ⁻¹)	0,21	0,4
NTK (mg L ⁻¹)	41,8	57,9
Fósforo (mg L ⁻¹)	5,5	9,2
Potássio (mg L ⁻¹)	10,5	11,4
Coliformes Totais (NMP 100 mL ⁻¹)	2,4 x 10 ⁸	6,9 x 10 ⁸
Coliformes Fecais (NMP 100 mL ⁻¹)	7,9 x 10 ⁶	3,8 x 10 ⁷

As Figuras 3, 4, 5, 6, 7 e 8 apresentam as concentrações de nitrato, DQO e DBO no perfil do solo, ao longo do ciclo da cultura do milho para as duas safras.

Os valores médios obtidos para os coletores de drenagem para DBO indicam uma redução de cerca de 95% em relação ao efluente anaeróbio aplicado na irrigação (Tabela 2) com os valores variando de 1 a 21 mg L⁻¹, conforme pode ser observado nas Figuras 3 e 4. Observa-se que há uma tendência de queda da DBO ao longo do perfil do solo, resultante da decomposição dos compostos orgânicos incorporados ao solo via aplicação de efluentes. Não foi identificada nenhuma distinção considerável para as três profundidades de irrigação para concentrações de DBO. Apesar do maior volume de efluente empregado na 1ª safra, não há grandes variações nas concentrações entre as safras, o que demonstra que o solo possui boa capacidade de amortização e tratamento. Quanto à qualidade esperada do efluente

tratado pelo método da irrigação, 75% dos resultados de DBO encontram-se na faixa esperada, entre 2 e 5 mg O₂ L⁻¹, segundo EPA (1981).

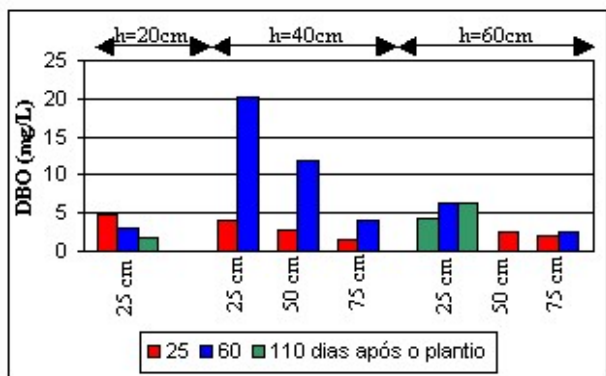


Figura 3: Valores de DBO (mg L⁻¹) no perfil do solo e ao longo do tempo, nas parcelas de milho irrigadas com efluente anaeróbico, com lâminas de irrigação: 0,20; 0,40 e 0,60m (1ª safra).

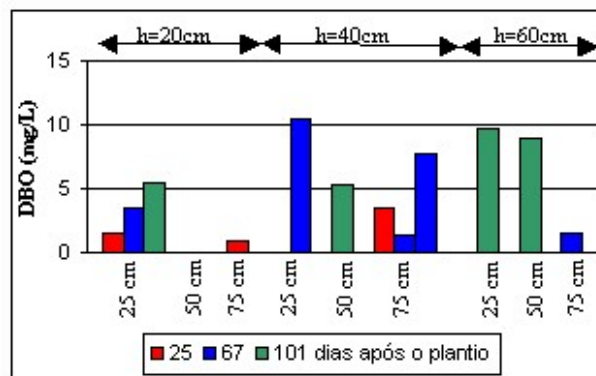


Figura 4: Concentrações de DBO (mg/L) no perfil do solo e ao longo do tempo, nas parcelas de milho irrigadas com efluente anaeróbico, com lâminas de irrigação: 0,20; 0,40 e 0,60m (2ª safra).

Para os valores médios de DQO, apresentados nas Figuras 5 e 6, observa-se uma redução de cerca de 95% na concentração das amostras dos coletores de drenagem em relação ao efluente anaeróbico. Analisando os valores apresentados para cada coletor de drenagem livre, observa-se uma tendência de queda da DQO para os coletores mais profundos. A priori, as lâminas hídricas de 0,40 e 0,60 m apresentaram concentrações maiores com relação à de 0,20 m. Apesar do maior volume de efluente empregado na 1ª safra, não há grandes variações nas concentrações entre as safras. A 1ª safra apresenta valores médios um pouco superiores à 2ª safra (safra de chuvas), mas não apresenta concentração discrepante.

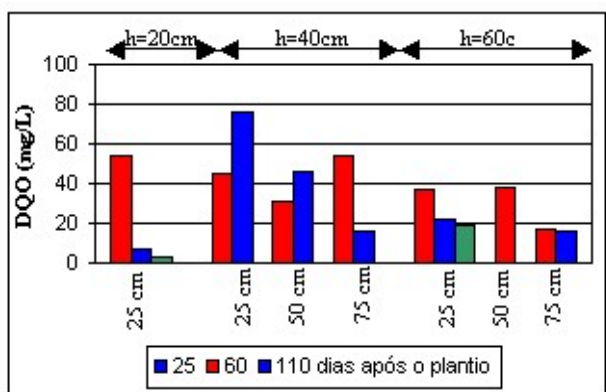


Figura 5: Valores de DQO (mg L⁻¹) no perfil do solo e ao longo do tempo, nas parcelas de milho irrigadas com efluente anaeróbico, com lâminas de irrigação: 0,20; 0,40 e 0,60m (1ª safra).

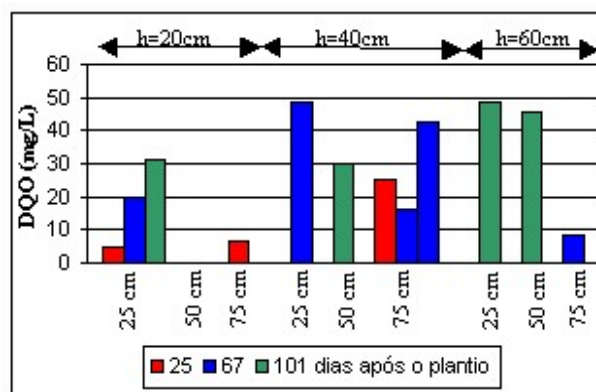


Figura 6: Valores de DQO (mg L⁻¹) no perfil do solo e ao longo do tempo, nas parcelas de milho irrigadas com efluente anaeróbico, com lâminas de irrigação: 0,20m, 0,40m e 0,60m (2ª safra).

As Figuras 7 e 8 indicam que 90% das amostras coletas no sistema de drenagem ficaram abaixo dos limites recomendados para água de consumo humano para as concentrações de nitrato (Portaria 1469/2000), mostrando que o manejo adotado foi adequado no aspecto de não contaminação de água do lençol freático. Nota-se que os picos de

lixiviação de nitratos na primeira safra ocorrem no período em que o milho está entrando em maturação e praticamente cessou a absorção de nutrientes pela planta, deixando o nitrato livre para movimentar-se no perfil do solo. Contudo, as Figuras 7 e 8 mostram que 90% dos resultados encontram-se na concentração máxima esperada, que é de 8 mg L⁻¹, segundo EPA (1981). No entanto, o monitoramento do teor de nitrato na fase final do ciclo vegetativo da planta deve ser mais acurado, de modo a impedir que haja a contaminação da água do lençol freático quando lâminas maiores de efluentes forem aplicadas, e/ou efluentes com maiores concentrações de nitrogênio total. Nestes casos, talvez seja necessário fazer a diluição prévia do efluente com água e posterior aplicação ao solo.

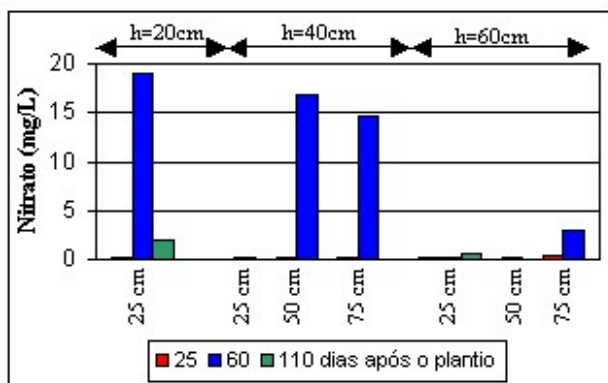


Figura 7: Concentrações de nitrato (mg L⁻¹) no perfil do solo e ao longo do tempo, nas parcelas de milho irrigadas com efluente anaeróbico, com lâminas de irrigação: 0,20; 0,40 e 0,60m (1ª safra).

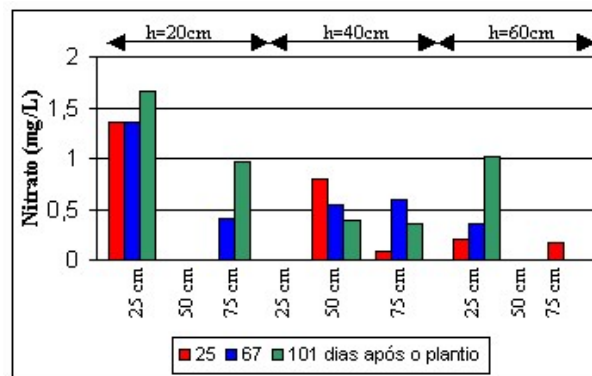


Figura 8: Concentrações de nitrato (mg L⁻¹) no perfil do solo e ao longo do tempo, nas parcelas de milho irrigadas com efluente anaeróbico, com lâminas de irrigação: 0,20; 0,40 e 0,60m (2ª safra).

CONCLUSÕES

De acordo com as condições deste experimento, visando o pós-tratamento de efluentes domésticos tratados em lagoas anaeróbicas em solo agrícola, pode-se concluir que:

- O pós-tratamento no solo é eficiente para redução da carga orgânica (DBO) do resíduo, assim como para redução dos valores de DQO;
- não foram observados riscos de contaminação do lençol freático por nitrato, com os efluentes aplicados até a lâmina de 0,60m, neste tipo de solo;
- a menor absorção de N pela planta na fase de maturação dos grãos contribui para maior disponibilidade do elemento no perfil do solo e maiores riscos de lixiviação e contaminação do lençol freático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986. (Publicado no D.O.U. de 30/07/86), Brasília. 1986.
2. Brasil. Ministério da Saúde. Portaria 1469, de 29 de dezembro de 2000. (Republicada no D.O. nº 1 de 2/01/2001), Brasília. 2000.
3. EPA, Environmental Protection Agency. The Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production, 1992.
4. EPA, Environmental Protection Agency. Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater. Cincinnati, 1981.
5. EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; GRENNBERG, A., E. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19 ed. Washington: APHA; AWWA; WEF, 1995. 1082p.

6. FRIEDLER, E. JEEZRAEL. Valley project for wastewater reclamation and reuse, Israel. Water Science and Technology. Volume 40, número 4, England: Elsevier Science Ltd., 1999. p347-354.
7. RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico – Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico 100).
8. VIEIRA, D.B. Curs Aprofitament Agrícola dels Recursos Hidrics de Les Conques. Solsona: Universitat de Lleida, 1999.