

II-551 – UM MÉTODO RACIONAL DE TRATAMENTO DE ESGOTOS: REÚSO DO EFLUENTE DOMÉSTICO DE UMA LAGOA ANAERÓBIA UTILIZANDO UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR SULCOS**Saulo Bruno Silveira e Souza⁽¹⁾**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestre em Engenharia Civil pela UNICAMP. Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Professor Assistente do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Goiás (UFG).

José Vicente Granato de Araújo

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Master of Science em Engenharia Civil pela Oklahoma State University (USA). Doctor of Philosophy em Engenharia Civil - Water Resources and Environmental Engineering pela Oklahoma State University (USA). Gerente de Hidrogeologia da Saneamento de Goiás S/A - SANEAGO e professor Associado da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Bruno Coraucci Filho

Engenheiro Civil pela Unicamp. Mestre em Engenharia Civil, Área de Concentração: Hidráulica e Saneamento, pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Doutor em Engenharia Civil, Área de Concentração: Hidráulica e Sanitária na Escola Politécnica da USP em São Paulo. Professor Titular no Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP.

Roberto Feijó de Figueiredo

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Campinas. Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP) e em Sanitary Engineering pela University of California, Berkeley (USA). Doutor em Engenharia Ambiental pela University of California, Davis (USA). Pós-doutorado pela University of California, Davis (USA) e pós-doutorado pelo Politecnico Di Milano (Itália). Professor Titular da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Ronaldo Stefanutti

Engenheiro Agrônomo pela UNESP. Mestrado em Ciências pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (USP). Doutorado em Ciências pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (USP). Professor adjunto/Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC); professor na pós graduação em engenharia civil: saneamento ambiental (CAPES conceito 5)/DEHA/CT/UFC; professor colaborador na pós graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo/UNICAMP.

Endereço⁽¹⁾: Escola de Engenharia Civil, UFG, Praça Universitária s/n. Setor Universitário. CEP 74605-220 - Goiânia - Goiás - Brasil - Fone: (62) 3209 60 84 Fax: (62) 3521 18 67 - e-mail: saubruno@yahoo.com.br

RESUMO

O presente estudo visou a avaliação sanitária do líquido percolado em solo irrigado com efluente de lagoa anaeróbia. O experimento foi conduzido no campo em três blocos casualizados correspondentes às profundidades de irrigação de 0,20; 0,40; e 0,60 m, no qual foi cultivado milho AG405, de abril a agosto. A irrigação foi realizada pelo método de sulcos rasos. Os tratamentos se constituíram de parcelas irrigadas com efluente e parcelas irrigadas com água limpa + adubo químico, nas lâminas acima citadas, com frequência de aplicação em função da demanda hídrica. Foram instalados coletores dos percolados nas linhas centrais de cada parcela, nas profundidades de 0,25; 0,50 e 0,75 m. As concentrações obtidas para nitrato no lixiviado ultrapassaram o limite de 10 mg.L⁻¹ em 55% das amostras coletadas, o que indica que as concentrações de nitrato, em algumas ocasiões, apresentaram valores acima do permitido pelos padrões de potabilidade da água (Portaria 518/2004). As concentrações obtidas para nitrito ultrapassaram o limite de 1,0 mg.L⁻¹, em grande parte das amostras. Tal fato ocorreu tanto nas parcelas irrigadas com efluente quanto com água + adubo. Por outro lado, observou-se uma redução em torno de 95% de DBO e 90% de DQO em relação ao efluente anaeróbio aplicado, que possuía uma DBO média de 161 mg.L⁻¹ e DQO de 408 mg.L⁻¹. Em relação à microbiologia, os resultados indicam a presença de E. coli em densidades da ordem de 7,6x10³ NMP.100 mL⁻¹. Já nas parcelas irrigadas somente com água, não ocorreu a manifestação destes microrganismos.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso, Pós-tratamento, Anaeróbio, Solo, Nitrato.

INTRODUÇÃO

A falta da água sempre foi um fator limitante na agricultura da maioria dos países do oriente médio e sua população teve que se adaptar às poucas chuvas e aos rios como fornecedores de água. No Egito, o Nilo é a única fonte de água estável. Em Israel, a maior parte do território encontra-se em uma zona árida ou semi-árida. A precipitação pluvial anualmente oscila entre 35 e 800 mm, sendo entorno de 700 mm, na Região da Galiléia, situada ao norte, 500 mm, na região central e 35 a 200 mm, na região do Deserto de Negev, que abrange cerca de 50% do país (MEKOROT, 2006). Assim, o reuso das águas residuárias na agricultura é fundamental para a sobrevivência daqueles povos.

O Brasil apresenta potencial para a adoção da técnica de reuso em irrigação. O País possui grande vocação agrícola e necessita tratar seus efluentes com técnicas de baixo custo. Outro fator favorável ao uso deste procedimento é a realidade brasileira, onde apenas 35% da população conta com serviço de coleta de esgoto e, desse total, só 10% recebe tratamento, acarretando o lançamento diário de 10 bilhões de litros de esgoto bruto nos corpos de água (IBGE, 2008).

Esgotos lançados in natura em corpos de água, além de contribuírem para a degradação do meio ambiente, constituem grave problema de saúde pública. Em consequência, 38% da população brasileira em 2008 estava sob o risco de contrair doenças em decorrência da inexistência de rede de esgoto, sendo que morreram no Brasil cerca de 7633 pacientes de doenças infecciosas intestinais entre 1984 e 1991 (BANCO MUNDIAL, 2004).

O reuso planejado de águas residuárias na agricultura é uma alternativa para controle da poluição de cursos de água e pode ser utilizado como ferramenta de uma política de uso racional dos recursos hídricos. O método assegura, ainda, o fornecimento de água e fertilizantes para as culturas, contribuindo para o desenvolvimento das práticas agrícolas sem conflitos com os demais usos potenciais da água.

Em média 65% de toda a água consumida no mundo é utilizada na agricultura, 25% pelas indústrias e o restante, 10%, para diversos fins urbanos (MANCUSO E SANTOS, 2003). Em regiões onde existe um excessivo uso de água em algum desses setores da economia, podem surgir conflitos, tal como ocorre nas áreas produtoras de arroz no sul do Brasil, que chegam a comprometer o abastecimento de algumas cidades nas estiagens, quando a prática agrícola demanda maior quantidade de água para irrigação. Acontece também na bacia do rio São Francisco, cujas águas, já grandemente comprometidas com a geração de energia, são também demandadas para irrigação (MANCUSO E SANTOS, 2003).

O país oferece condições excepcionalmente favoráveis para a disposição de esgotos no solo, tanto pela disponibilidade de áreas em sua grande extensão territorial, como pelas condições climáticas adequadas, entre outros fatores convenientes. Contudo, estudos locais devem fornecer bases para uma implementação mais confiável.

Segundo Mekorot (2006), em regiões áridas e semi-áridas, como Israel e Líbano, a irrigação com efluentes surge como forma de reduzir o consumo agrícola da água disponível, aumentando a disponibilidade de água para abastecimento humano. O reuso do esgoto na irrigação não ocorre somente em regiões áridas, pois países como França, Espanha, Austrália e Estados Unidos utilizam esta prática. No Brasil, estudos estão sendo desenvolvidos por diversas pesquisas conforme relatados por Azevedo (2007), Gomes (2009), Piveli (2008), Veronez (2010), Coraucci Filho (2005) e Cruz (2010).

Percebe-se que nas duas últimas décadas, o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou, significativamente, devido aos seguintes fatores: dificuldade em identificar fontes alternativas de águas para irrigação; segurança de que os riscos para a saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos caso as precauções adequadas sejam efetivamente tomadas.

Entretanto, a aplicação de efluentes no solo não pode ser encarada como um mero descarte, devendo existir uma conexão entre os objetivos e critérios da Engenharia Sanitária e os da Engenharia de Irrigação, de forma que o esgoto seja tratado no solo sem qualquer possibilidade de contaminação do lençol freático ou do solo

O objetivo deste estudo é viabilizar o reúso do efluente doméstico de uma lagoa anaeróbia em um sistema de irrigação por infiltração, buscando taxas hidráulicas que permitam aumento na produtividade do milho, sem contaminação do lençol freático por compostos nitrogenados e patógenos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente projeto de pesquisa foi desenvolvido em uma área experimental localizada na proximidade da Estação de Tratamento de Esgoto Graminha, pertencente à empresa Foz do Brasil, da cidade de Limeira, Estado de São Paulo (Figuras 1 e 2).

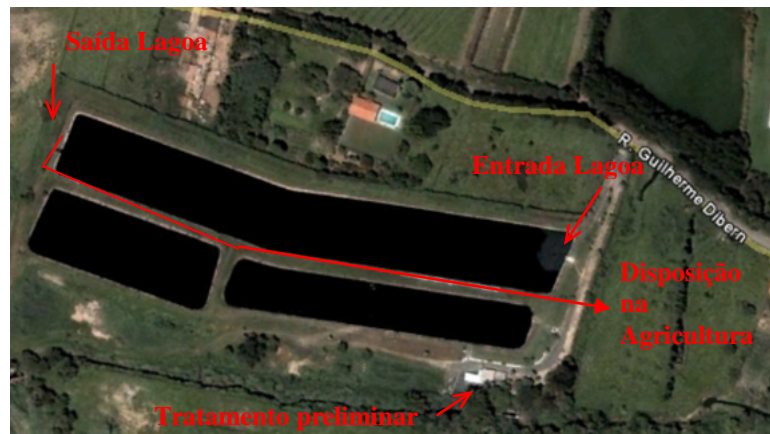


Figura 1: Esquema do tratamento de esgoto por lagoa anaeróbia com pós-tratamento na irrigação do milho.



Figura 2: Lagoa anaeróbia que recebe o esgoto doméstico do bairro da Graminha em Limeira (SP) e terreno ao lado onde foi instalada a pesquisa.

Caracterização da área irrigada

Na área empregada na pesquisa (Figura 2), preliminarmente foram realizados ensaios físicos do solo, ensaios de fertilidade e levantamento topográfico do terreno, com o intuito de caracterizá-la, buscando o levantamento de parâmetros para o dimensionamento do sistema de irrigação.

Dentre os ensaios físicos, constam: determinações da densidade real, da densidade global, da curva característica e da curva granulométrica. Para isso, realizou-se coletas de solo em três locais distintos, nas camadas de 0,00 a 0,25 m, 0,25 a 0,50 m, 0,50 a 0,75 m e 0,75 a 1,00 m. O ensaio da densidade real foi feito pelo método do picnômetro. A densidade global, ou peso específico aparente, foi obtida com o auxílio do mostrador de Uhland.

O levantamento da curva granulométrica foi realizado pela análise granulométrica conjunta, a qual é composta de duas fases de ensaio: peneiramento e sedimentação. A determinação da curva característica para cada camada de solo foi feita pela aplicação de pressões entre 0,1 bar, relativa à capacidade de campo, e 15 bar, correspondente ao ponto de murchamento, no aparelho de Richards.

Sistema de irrigação

O efluente foi disposto em um sistema de irrigação por sulcos rasos cujas parcelas tinham a seguinte configuração: cinco linhas de plantio e quatro sulcos intermediários com 4,0 m de comprimento e 1,0 m de bordadura em cada extremidade. A distância entre cada linha de cultivo é de 1,0 m. A Figura 3 apresenta a implantação da parcela ressaltando os limites de bordadura, conforme Figura 3.

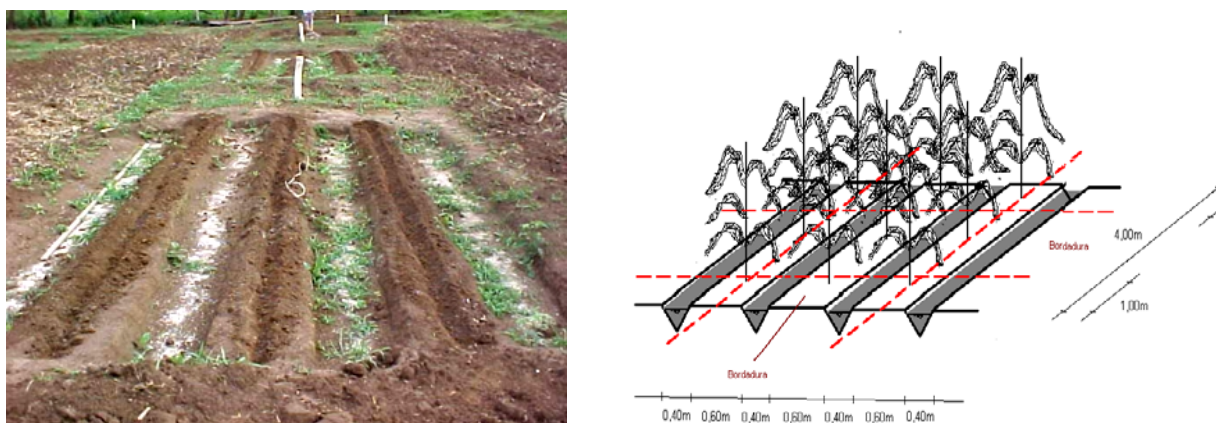


Figura 3: Parcela implantada, com a identificação das linhas de bordadura e da seção dos sulcos e Instalação dos coletores no centro das parcelas, a 0,25, 0,50 e 0,75 m de profundidade.

O sistema de irrigação por sulcos foi adotado para evitar a liberação de aerossóis no ar quando da utilização de aspersores. A utilização deste processo traz outras vantagens, tais como a redução de equipamentos mecânicos que possam vir a interromper o processo e a minimização dos gastos de energia. Há que ressaltar também que o emprego de aspersores determinaria a necessidade de desinfecção do efluente sanitário.



Figura 4: Sistema de irrigação.

O sistema de irrigação foi utilizado nos dois tratamentos. O primeiro é a irrigação com o efluente secundário e o solo em condições naturais. O segundo, com água limpa em solo enriquecido com nutrientes, conforme resultados analíticos e orientações do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). A irrigação foi realizada por gravidade, onde uma mangueira de 2 polegadas direcionava o efluente da lagoa anaeróbia às bombonas azuis, conforme Figura 4, onde os volumes podiam ser mensurados e em seguida, através de tubos de PVC, o efluente era aplicado no solo.

Para cada tratamento há três parcelas, onde foram aplicadas lâminas hídras (Hi) diferenciadas de irrigação, correspondentes às profundidades de irrigação de 0,20, 0,40 e 0,60 m. A profundidade de irrigação corresponde à profundidade do perfil do solo que se deseja manter úmida. Tais valores foram escolhidos em função do cultivo: para o caso do milho, é recomendada a profundidade de irrigação de 0,40 m. A partir deste valor foi escolhida uma profundidade mais conservadora, 0,20 m, e outra menos conservadora, 0,60 m.

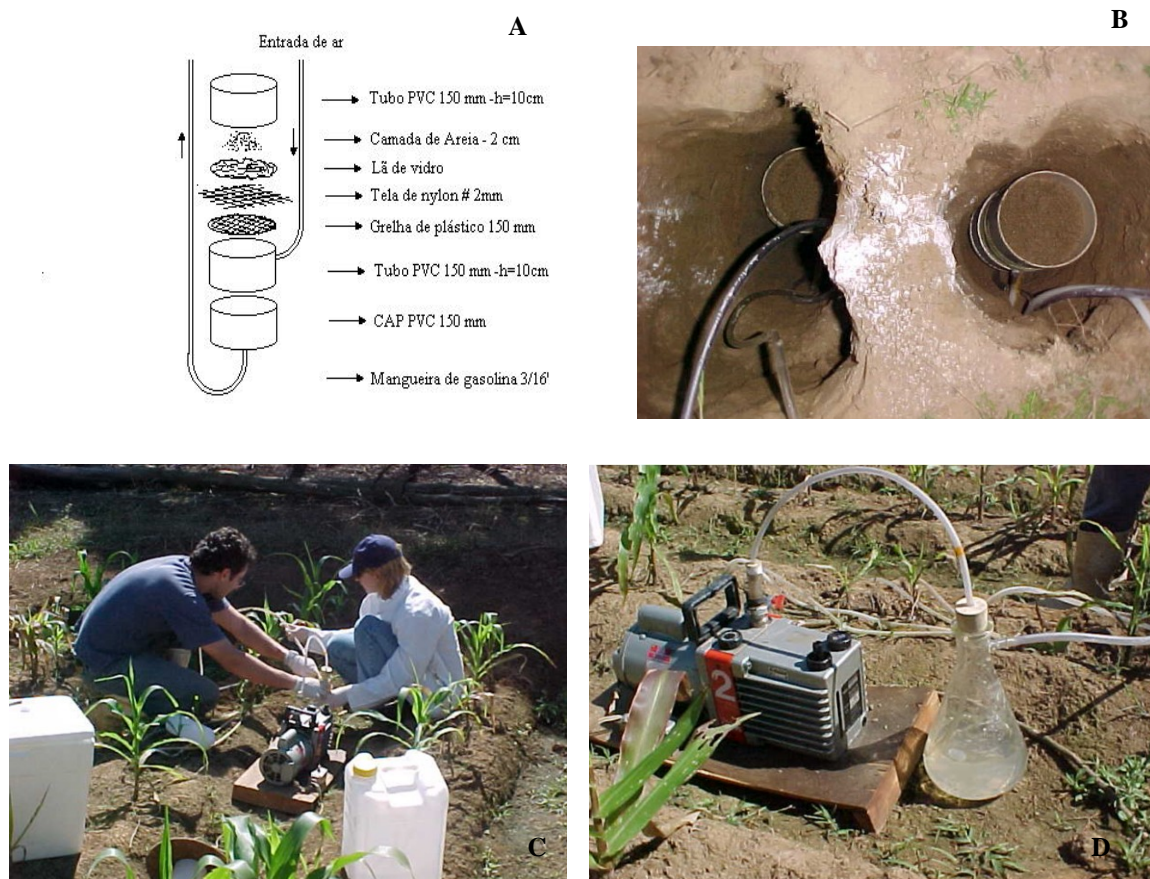


Figura 5: Esquema de coletor de drenagem livre (A); instalação de coletores no perfil do solo (B); coleta de lixiviados (C); e, aspecto dos lixiviados coletados (D).

O conjunto dos tratamentos com as três parcelas definem a composição de um bloco. Foi implantado um sistema composto por três blocos (para formatar o critério da repetitividade e ser analisado estatisticamente). Cada parcela tem quatro sulcos rasos de 4,0 m de comprimento cada. No centro de cada parcela foram instalados três coletores de drenagem livre a 0,25, 0,50 e 0,75 m de profundidade (Figura 5). Após a instalação dos coletores, foi executado o plantio de milho.

As taxas hidráulicas determinadas foram aplicadas na cultura do milho AG405, um híbrido duplo, precoce, de grãos laranja semiduro, e de acordo com o delineamento experimental, ou seja: em três blocos, com seis parcelas cada, correspondendo a três taxas hidráulicas de aplicação para dois tratamentos (água e solo enriquecido, efluente).

A frequência de aplicação foi feita de acordo com a dotação de rega a ser calculada para as condições do local, com o auxílio dos métodos gravimétrico e tanque Classe A. O manejo da irrigação baseia-se em um princípio simples: o da máxima produtividade agrícola, com a água necessária para a planta. Para tal, trabalha-se com a umidade 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 a umidade crítica (UC) referente ao potencial matricial crítico da cultura, abaixo da qual a planta tem que realizar esforços que comprometem o seu metabolismo. Quando a UA atinge o valor da UC, irriga-se os sulcos.

Coleta de amostras

A coleta de amostras da água infiltrada no solo foi feita por coletores de drenagem livre instalados no centro de cada parcela na profundidade de 0,25, 0,50 e 0,75 m, conforme Figura 5.

A caracterização do efluente aplicado e da qualidade da água infiltrada no solo foi determinada pelos parâmetros DBO, DQO, COT, série de sólidos, coliformes totais, E. coli, série de nitrogênio, fósforo e potássio. A coleta e análise do efluente aplicado foram feitas em cada irrigação e das amostras percoladas foram feitas a cada mês, baseadas nos *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005). Esta amostragem foi implementada a 0,25, 0,50 e 0,75 m de profundidade no centro de cada parcela, conforme Figura 5.

RESULTADOS

O efluente aplicado provém de uma lagoa anaeróbia, que recebe esgoto doméstico da cidade de Limeira (SP). As concentrações apresentadas na Tabela 1 correspondem à média das concentrações obtidas durante todo o período da safra.

Tabela 1: Características do Efluente Anaeróbio aplicado nas parcelas irrigadas.

Parâmetros	Bruto	Anaeróbio
pH (mín. e máx.)	6,4 a 7,6	6,3 a 7,5
Condutividade (μS)	$742,8 \pm 261,5$	$988,9 \pm 325,5$
DBO Total (mg.L^{-1})	$353,1 \pm 106,8$	$161,2 \pm 68,3$
DBO Filtrada (mg.L^{-1})	$129,4 \pm 86,4$	$78,5 \pm 37,8$
DQO Total (mg.L^{-1})	$897,8 \pm 233,3$	$408,3 \pm 153,2$
DQO Filtrada (mg.L^{-1})	$263,5 \pm 67,6$	$155,8 \pm 43,1$
Alc.Total ($\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$)	$145,0 \pm 27,7$	$226,5 \pm 34,1$
Alc.Parcial ($\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$)	$85,3 \pm 22,9$	$138,5 \pm 27,4$
ST (mg.L^{-1})	$683,3 \pm 14,6$	$442,3 \pm 50,9$
SST (mg.L^{-1})	$598,1 \pm 232,2$	$113,8 \pm 30,0$
SSV (mg.L^{-1})	$502,3 \pm 236,1$	$99,0 \pm 22,2$
SSF (mg.L^{-1})	$95,8 \pm 48,7$	$14,8 \pm 5,95$
Fósforo (mg.L^{-1})	$7,3 \pm 2,1$	$6,7 \pm 1,75$
Potássio (mg.L^{-1})	—	$19,5 \pm 3,7$
NTK (mg.L^{-1})	$64,7 \pm 33,2$	$49,2 \pm 15,9$
N-Amoniacal (mg.L^{-1})	$22,6 \pm 6,9$	$28,5 \pm 7,1$
N-Nitrito (mg.L^{-1})	$0,23 \pm 0,12$	$0,07 \pm 0,03$
N-Nitrato (mg.L^{-1})	$0,6 \pm 0,4$	$0,3 \pm 0,3$
Coliformes Totais	$1,21 \times 10^8$	$5,86 \times 10^7$
Escherichia coli	$6,30 \times 10^6$	$1,79 \times 10^6$
Helmintos (organismos. L^{-1})	24 a 54	10-15
Protozoários (organismos. L^{-1})	120-132	50-80

A caracterização demonstra um efluente tipicamente anaeróbio, com remoção de DBO da ordem de 52,7% e de DQO de 55,0%. Nota-se ainda a baixa remoção de fósforo e a inexistência de desnitrificação, o que acarretará em grande prejuízo ao ambiente natural do rio caso este efluente seja lançado sem algum pós-tratamento. A baixa ou mesmo inexistente conversão do nitrogênio a nitrito e nitrato já é esperada devido à inexistência de oxigênio no sistema. A lagoa também possui baixa remoção de coliformes, helmintos e protozoários.

Coliformes totais e E. coli

Nota-se que durante a safra, de 17 de abril a 31 de agosto de 2003, não houve dias de radiação solar tão intensos, característica bem notável nas estações de verão. A evapotranspiração real máxima foi de 4,75 mm.d⁻¹

¹, enquanto que a média foi de 1,80 mm.d⁻¹. No período o índice de precipitação foi baixo, obrigando a uma maior frequência de irrigação e, portanto, a aplicação de um maior volume durante a safra.

Na região prevalece o latossolo vermelho-amarelo, cuja recomendação da taxa de irrigação indicada pela EPA (1981) está entre 0,22 a 1,17 L.s⁻¹.ha⁻¹. As parcelas de lâmina hídrica correspondente à profundidade de irrigação de 0,20 m receberam ao longo da safra 177,6 mm, ou seja, um volume de 2.880 L.parcela⁻¹. Este valor corresponde a uma taxa de irrigação de 0,52 L.s⁻¹.ha⁻¹. Já as parcelas de 0,40 m receberam ao longo da safra um total de 216,0 mm, ou seja, um volume de 3.600 L.parcela⁻¹, correspondendo a uma taxa de irrigação de 0,65 L.s⁻¹.ha⁻¹. As parcelas de 0,60 m receberam ao longo da safra 272,4 mm, ou seja, um volume de 4.320 L.parcela⁻¹, correspondendo a uma taxa de irrigação de 0,78 L.s⁻¹.ha⁻¹. Estes valores demonstram o que já se esperava, uma taxa de irrigação compreendida entre 0,5 e 1,0 L.s⁻¹.ha⁻¹.

Analisando a Figura 6 nas parcelas irrigadas com efluente, observa-se uma redução mínima de 1 log e máxima de 3 logs na concentração de coliformes totais em comparação à média de coliformes totais presentes no efluente anaeróbio aplicado. Esta pequena redução é esperada devido à existência destes microrganismos no habitat solo, ou seja, estes microrganismos encontram no solo um ambiente propício à sua sobrevivência. Observa-se que os valores não se alteram muito nos primeiros 0,75 m de solo para as diferentes lâminas.

Nota-se ainda, a proximidade das concentrações de coliformes totais para as parcelas irrigadas com efluente e com água. Tal fato indica que o incremento de coliformes totais através da irrigação com efluente anaeróbio não causou acréscimo na concentração destes microrganismos nas amostras lixiviadas. Assim, o solo funcionou como um reator, alcançando o equilíbrio natural.

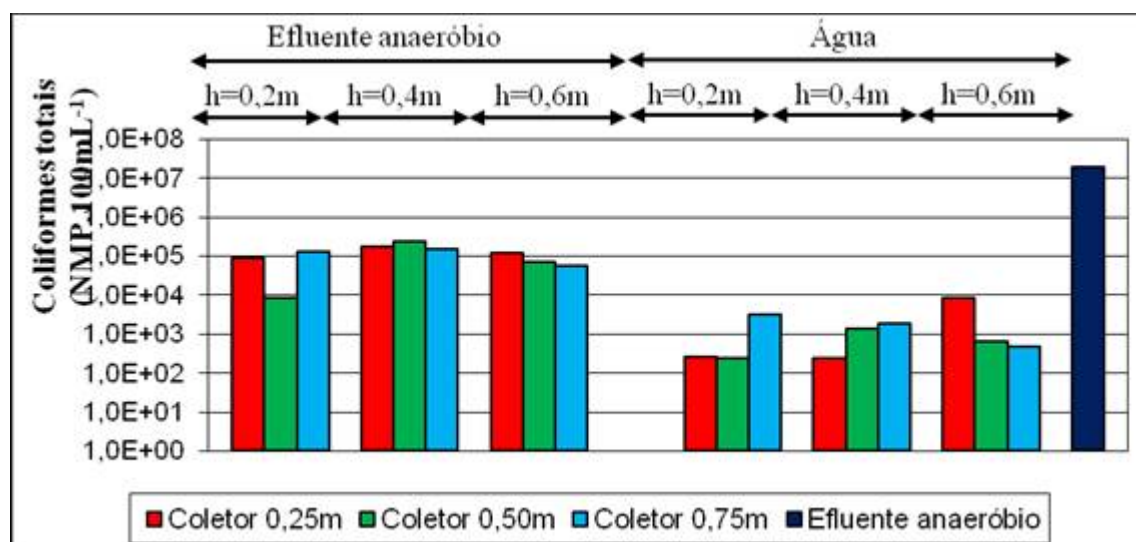


Figura 6: Concentração média de coliformes totais para a solução do solo em diferentes profundidades e tratamentos.

Em relação a E. coli, analisando a Figura 7, para as parcelas irrigadas com efluente, observa-se uma redução mínima de 2 logs, e máxima de 4 logs na concentração destes microrganismos em comparação à média presente no efluente anaeróbio aplicado, demonstrando que o solo, em uma primeira análise, não apresenta condições favoráveis a sobrevivência destes microrganismos.

Observa-se que os valores não se alteram muito ao longo da profundidade dos coletores, notando uma sutil tendência de redução da concentração quanto mais profundo estiver o coletor. Ainda quanto a Figura 6, não foi possível fazer a distinção entre a concentração de E. coli em relação à lâmina aplicada. Com respeito às parcelas irrigadas com água, durante o período da safra, observa-se a quase ausência de E. coli na solução do solo, independente da profundidade do coletor e da lâmina de irrigação aplicada.

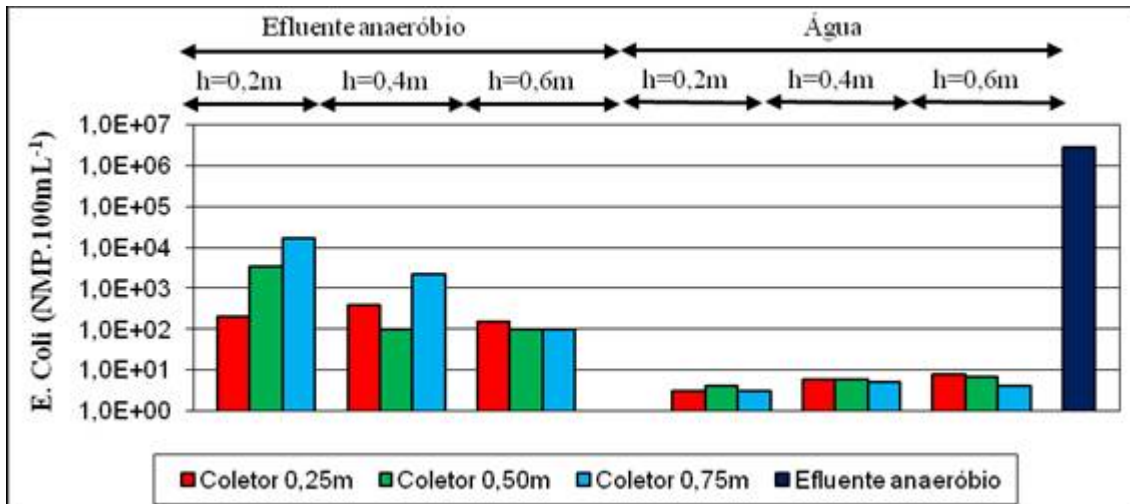


Figura 7: Concentração média de E. coli para a solução do solo em diferentes profundidades e tratamentos.

Nitrogênio

As concentrações de nitrogênio amoniacal das amostras retiradas dos coletores, tanto os instalados nas parcelas irrigadas com efluente, quanto com água, estão bem próximas a zero. Isto demonstra a capacidade do sistema em converter o nitrogênio amoniacal a nitrito e nitrato, tanto pelo processo físico-químico no interior do solo, quanto sua absorção pela planta, e pelo retorno na forma de nitrogênio gasoso para a atmosfera. Verificaram-se reduções da ordem de 99% nas concentrações de N-NH_3 encontradas no efluente da lagoa anaeróbia. Todos os coletores apresentaram concentrações de amônia bem abaixo do limite de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ para o consumo humano, conforme Portaria 518/2004.

Analisando os resultados apresentados na Figura 8, para as concentrações de nitrato em cada coletor, é possível notar uma tendência de resultados mais conservadores nos coletores a 0,75 m de profundidade. Isto porque quanto maior a profundidade, maior a capacidade de remoção natural do solo. Além disso, enquanto o líquido penetra no solo, aos poucos as raízes das plantas, que se encontram em sua grande maioria entre 0,00 e 0,40 m, vão absorvendo os nutrientes necessários ao desenvolvimento. Alguns valores apresentaram maiores concentrações no coletor mais profundo, podendo ter surgido no interior do solo algum caminho preferencial para a percolação do líquido.

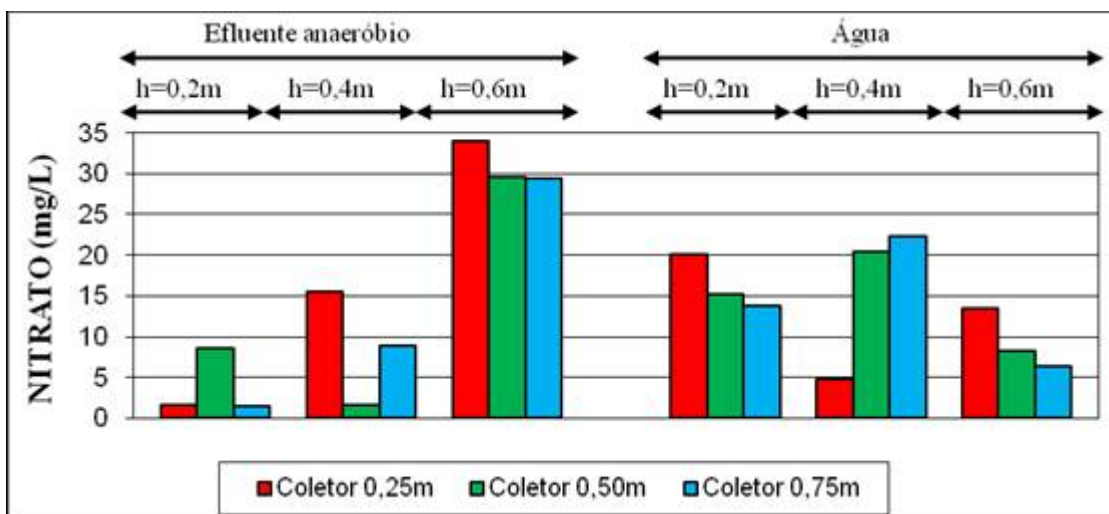


Figura 8: Concentração média de nitrato para a solução do solo em diferentes profundidades e tratamentos.

Ainda é possível notar que dentre as parcelas irrigadas com efluente anaeróbio, as que receberam lâmina hídrica correspondente a 0,60 m apresentaram concentrações mais elevadas. Isto pode ser explicado pelo maior volume de irrigação que as parcelas de 0,60 m receberam. As parcelas irrigadas com 0,20 m receberam uma lâmina hídrica total de 177,6 mm, ao longo de toda a safra. Já as parcelas de 0,40 m e 0,60 m receberam, respectivamente, lâminas hídricas de 216,0 mm e 272,4 mm.

Comparando as parcelas irrigadas com efluente com as que receberam adubação e água limpa, nota-se uma concentração de nitrato superior nas parcelas irrigadas com água que nas irrigadas com efluente, com exceção da parcela com lâmina de 0,60 m, pelo grande volume recebido.

Enquanto as parcelas irrigadas com efluente recebiam o balanço nutricional aos poucos, ou seja, a própria irrigação com esgoto fornecia ao longo do crescimento vegetativo da cultura a quantidade de nutrientes necessária, as parcelas irrigadas com água recebiam adubação em uma data fixa, sendo que grande parte destes nutrientes poderia ser lixiviado antes mesmo da planta utilizá-lo. Outro aspecto importante é que os esgotos adicionam matéria orgânica e fornecem os nutrientes necessários ao desenvolvimento da cultura.

Por fim, os valores obtidos para nitrato ultrapassaram o limite de 10 mg.L^{-1} em 55% das amostras coletadas, o que indica que o nitrato, em algumas ocasiões, é lixiviado em concentrações acima da permitida pelos padrões de potabilidade. É bom ressaltar que as análises realizadas por este trabalho se referem a amostras até 0,75 m de profundidade, não se podendo chegar a conclusões sobre o que viria a acontecer com o lençol freático.

CONCLUSÕES

Há indícios que problemas de contaminação do lençol freático possam ocorrer, quando se faz uso da irrigação com esgoto. O mesmo pode ser observado nas áreas que receberam o plantio convencional com adubo, sendo irrigados com água limpa.

Uma fonte potencial de contaminação é o nitrato, que por ter fácil mobilidade e ser solúvel, pode alcançar o lençol freático. Tal fato pode ocorrer principalmente quando há a irrigação com efluente em etapa do ciclo vegetativo que a cultura não mais absorve nutrientes. Pode ser agravado quanto ocorre alto índice de precipitação no período.

É necessário traçar diretrizes que envolvam o tipo de solo, clima, frequência de irrigação e cultura empregada, para que se minimizem os riscos do uso da irrigação com efluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO, M. R. de Q. A.; KONIG, A.; BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, C. A. V.; TAVARES, T. L.; SOARES, F. A. L. **Efeito da irrigação com água residuária tratada sobre a produção de milho forrageiro**. Agrária Recife. (Online), v. 02, p. 63-68, 2007.
2. AWWA/ANHA/WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21ª edição. Nova Iorque: American Public Health Association, 2005.
3. BANCO MUNDIAL. **Resettlement and Development**. Washington (DC): Departamento do Meio Ambiente do Banco Mundial, 1994.
4. BRASIL. **Ministério da Saúde**. Portaria 518, de 25 de março de 2004. Brasília, 2004.
5. CORAUCCI FILHO, B.; TONETTI, A. L.; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. F. de; PEDRO, C. C. O. S. **Remoção de matéria orgânica, coliformes totais e nitrificação no tratamento de esgotos domésticos por filtros de areia**. Cadernos ABESS, v. 10, n. 3, p. 209-218, 2005.
6. CRUZ, L. M. O.; STEFANUTTI, R.; CORAUCCI FILHO, B.; TONON, D.; SPOLAOR, A. S.; TONETI, A. L. **Total and Thermo tolerant coliform monitoring in wastewater treatment system aiming the effluent reuse in agriculture**. HOLOS Environment (Online), v. 9, p. 144, 2009.
7. EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Process design manual for land treatment of municipal wastewater**. Washington (DC), 1981.
8. _____. **The Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production**. Washington (DC), 1992.

9. GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; SILVA, E.; SUNDEFELD JUNIOR, G. C.; DEON, M. D.; PIVELI, R. P. **Aporte de nutrientes e estado nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção.** Revista DAE, v. 1, p. 17-23, 2009.
10. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008**, Brasília, 2008
11. MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos (editores). **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2003.
12. MEKOROT, Israel National Water Company. **Wastewater treatment and effluent reuse**. Public Relations Unit. Tel Aviv, 2006.
13. PIVELI, R. P.; GUNTHER, W. M. R.; MATTE, G. R.; RAZZOLINI, M. T. P.; CUTOLO, S. A.; ROCHA, S. M.; PETERNELLA, F. A. S.; DORIA, M. C.; MATTE, M. H.. **Sanitation Assessment of Treated Wastewater by Stabilization Pond with Potential Reuse in Agricultural Irrigation**. Water Environment Research, v. 80, p. 205-211, 2008.
14. VERONEZ, A.H.; STEFANUTTI, R.; CORAUCCI FILHO, B. **Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: Eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento**. Revista DAE, v. 184, p. 59-64, 2010.