



Lodo de esgoto submetido ao revolvimento: efeito sobre sólidos totais, pH e ovos viáveis de helmintos

Sewage sludge subjected to revolving: effects on total solids, pH and viable helminth eggs

Simone Bittencourt^[a], Beatriz Monte Serrat^[b], Cleverson Vitório Andreoli^[c], Edilberto Nunes de Moura^[d], Franciana Lazzarotto Togny^[e], Luiz Antônio Tavares Pinto da Silva^[f]

^[a] Engenheira agrônoma, mestre em Agronomia, doutoranda em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná (UFPR), analista da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), Curitiba, PR - Brasil, e-mail: sbittencourt@sanepar.com.br

^[b] Engenheira agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, professora do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), bolsista DTI/CNPq, Curitiba, PR - Brasil, e-mail: bmserrat@ufpr.br

^[c] Engenheiro agrônomo, doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento, engenheiro de Pesquisa da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), professor do Mestrado em Organizações e Desenvolvimento da FAE, Curitiba, PR - Brasil, e-mail: c.andreoli@sanepar.com.br

^[d] Engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, professor adjunto no Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Curitiba, PR - Brasil, e-mail: edilberto.moura@pucpr.br

^[e] Graduanda em Engenharia Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Curitiba, PR - Brasil, e-mail: francitogny@hotmail.com

^[f] Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), bolsista ITI CNPq, Curitiba, PR - Brasil, e-mail: luiztavarespinto@hotmail.com

Resumo

O presente estudo teve por objetivo avaliar o comportamento de sólidos totais, pH e ovos viáveis de helmintos (*Ascaris*) em lodo de esgoto submetido a processo de revolvimento a cada sete dias por um período de 56 dias. O estudo foi desenvolvido em duas épocas, no outono e na primavera de 2010, com medições realizadas aos 0, 14, 28, 42 e 56 dias. Os resultados demonstram que ao longo do tempo houve um aumento dos sólidos totais e redução do pH do lodo de esgoto. Verificou-se uma redução significativa no número de ovos viáveis de helmintos (*Ascaris*) na medição de 56 dias nas duas épocas do estudo.

Palavras-chave: Biossólido. Conama 375/06. Organismos Patogênicos. Higienização.

Abstract

This research aimed to evaluate the behavior of total solids, pH and viable helminth eggs, in sewage sludge subjected to the process of revolving every 7 days for a period of 56 days. The study was conducted in two seasons in the fall and in the spring of 2010, with measurements taken at 0, 14, 28, 42 and 56 days. The results showed that

was an increase of total solids and pH reduction of the sludge over time. There was a significant reduction in the number of viable eggs (Ascaris), according to the measurement of 56 days among the seasonal time of the study.

Keywords: *Biosolid. Resolution Conama 375/06. Pathogens. Hygienization.*

Introdução

A aplicação de lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) em áreas agrícolas é uma forma de destino final sustentável, uma vez que transforma um material potencialmente poluente em um insumo agrícola. Essa forma de destinação proporciona a redução das doses de aplicação de fertilizantes minerais e melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para o cultivo de alimentos e para conservação do solo e da água.

Neste contexto, o uso na agricultura do lodo de esgoto apresenta-se como uma das alternativas de disposição final viáveis sob os aspectos ambientais, econômicos e sociais, desde que sejam adotadas medidas de controle, de maneira a garantir a proteção do ambiente e da saúde humana e animal (LARA, 2001; SOCCOL et al., 2010).

Entre as medidas a serem adotadas está o processo de higienização, que tem por objetivo reduzir a patogenicidade do lodo de esgoto em níveis que não venham a causar riscos à saúde da população, de acordo com a legislação vigente (PINTO, 2001).

Segundo a Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006), que normatiza a utilização agrícola de lodo de esgoto, a compostagem confinada ou em leiras aeradas, a secagem térmica direta e indireta com a redução a menos de 10% de umidade no lodo, o tratamento térmico a 180 °C do lodo líquido, a digestão aeróbia termofílica, os processos de irradiação com raios beta ou raios gama e os processos de pasteurização; são processos de redução adicional de patógenos que podem ser empregados para obtenção de lodo Classe A. No entanto, a Resolução permite que outros processos de redução adicional de patógenos e redução da atratividade de vetores sejam propostos e, após a comprovação de sua eficiência e aceitação pelo órgão ambiental, sejam incluídos na normatização.

Em estudo de um programa interdisciplinar de pesquisas em tecnologias alternativas de higienização de lodo de esgoto, Thomaz-Soccol et al. (1997) comprovaram que o processo de estabilização alcalina prolongada apresenta-se eficiente para obtenção de lodo classe A, nas condições do Estado do Paraná. Esse processo foi aceito pelo órgão ambiental estadual e consta na Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009), que estabelece os critérios para aplicação agrícola do lodo de esgoto no Paraná.

Fatores ambientais podem reduzir o tempo de sobrevivência dos organismos patogênicos presentes no lodo como baixa umidade e elevado pH, sendo que a influência pode variar de patógeno para patógeno, como também em razão do tipo de tratamento a que foi submetido o lodo (MARTIN JR.; BOSTAIN; STERN, 1990; THOMAZ-SOCCOL et al., 1997; SIDHU et al., 2001; EPA, 2003). Segundo Comparini (2001), a estocagem por longos períodos pode ser considerada um processo de destruição, mesmo que parcial, de ovos viáveis de helmintos, uma vez que a radiação solar e a diminuição de umidade contribuem para redução da concentração de organismos patogênicos.

O uso de estufas agrícolas com e sem revolvimento do lodo foi testado como método de higienização em diferentes regiões brasileiras, no Nordeste por van Handel e Letinga (1994 apud VON SPERLING et al., 2001, II-158), no Sudeste por Comparini e Além Sobrinho (2003) e Lima (2009) e no Sul por Pegorini, Hartmann e Andreoli (2007). Nesses estudos, o revolvimento expõe a camada inferior do perfil do lodo à superfície, proporcionado a exposição à radiação solar, redução de umidade e, consequentemente, redução de organismos patogênicos (COMPARINI; ALÉM SOBRINHO, 2003).

O emprego do revolvimento como processo de higienização de lodo de esgoto pode representar reduções significativas de custos, especialmente nas ETEs de porte pequeno e médio. Segundo Pegorini,

Hartmann e Andreoli (2007), no Estado do Paraná, a cal representa aproximadamente 50% dos custos operacionais do processo de reciclagem agrícola do lodo nos sistemas com desaguamento em leito de secagem.

Gaspard e Schwartzbrod (2001) concluíram que os ovos de helmintos são mais interessantes como indicadores da contaminação por parasitas, devido à maior capacidade de sobrevivência desses, em avaliação comparativa da concentração de parasitas entéricos em lodo.

O presente estudo tem por objetivo avaliar o comportamento de sólidos totais, pH e ovos viáveis de helmintos em lodo de esgoto submetido a processo de revolvimento.

Materiais e métodos

O estudo foi desenvolvido na ETE Padilha Sul da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), na cidade de Curitiba (PR), em duas épocas, sendo a primeira iniciada em março, denominada outono; e a segunda iniciada em outubro de 2010, denominada primavera. Utilizaram-se dois lotes de lodo de esgoto gerados em Reatores Anaeróbios de Lodo Fluidizado (RALF) e desaguados em leito de secagem da Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) Padilha Sul.

Ambas as épocas foram realizadas em pátio com piso de asfalto, em que um lote com cerca de 2 t de Sólidos Totais (ST) de lodo de esgoto foi dividido e

distribuído em quatro leiras com as seguintes dimensões: 1 m de largura, 2 m de comprimento e 0,4 m de altura. As leiras foram protegidas por cobertura com estrutura metálica revestida por plástico transparente (Figura 1).

O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas (SILVA, 2011), sendo as duas parcelas principais, correspondentes às épocas: a) outono e b) primavera, contendo cinco subparcelas correspondentes a: 0, 14, 28, 42 e 56 dias, com quatro repetições (leiras), num total de 40 unidades experimentais.

O revolvimento foi realizado manualmente com enxada a cada sete dias. Foram realizadas amostras compostas de cada uma das quatro leiras a 0, 14, 28, 42 e 56 dias, nas duas épocas do estudo. As amostras compostas foram coletadas ao longo de toda a profundidade, seis amostras simples em cada leira (Figura 2). As variáveis avaliadas foram: sólidos totais, pH em água e ovos viáveis de helmintos (*Ascaris*), conforme mostra Quadro 1.

As análises laboratoriais de ovos viáveis de helmintos da época outono foram realizadas pelo Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos da Universidade Federal do Paraná (CEPPA/UFPR), utilizando a metodologia descrita por Thomaz-Soccol, Paulino e Castro (2000), cujos resultados referem-se a ovos viáveis e inviáveis dos seguintes Helmintos: *Ascaris* sp., *Toxocara* sp., *Trichuris trichiura*, *Trichuris vulpis*, *Trichuroidea*, *Himenolepis diminuta* e *Taenia* sp. No entanto, utilizou-se somente os resultados do gênero *Ascaris* sp para



Figura 1 - Formação das leiras de lodo e estrutura de cobertura

Fonte: Dados da pesquisa.



Figura 2 - Amostragem e coletor de lodo de esgoto

Fonte: Dados da pesquisa.

avaliação de ovos viáveis de helmintos, uma vez que a metodologia estabelecida pela legislação vigente (BRASIL, 2006; PARANÁ, 2009) refere-se a detecção, enumeração e determinação de viabilidade de ovos de *Ascaris* (BOWMAN; LITTLE; REIMERS, 2003; EPA, 2003). Na primavera, as análises laboratoriais de ovos viáveis de helmintos foram realizadas no Laboratório Senai CIC, seguindo a Resolução Conama 375/06 (Quadro 1).

O efeito dos tratamentos foi avaliado por meio da análise da variância. Utilizou-se o teste de Tukey a 95% e 99% de confiabilidade para comparação das médias na parcela principal e nas subparcelas. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Assistat versão 7,6 beta (SILVA, 2011).

A Tabela 1 mostra a média e o desvio padrão das temperaturas máximas e mínimas, nas duas épocas do estudo, medidas a cada sete dias no interior da

Quadro 1 - Variáveis avaliadas, local de realização das análises laboratoriais e metodologia utilizada

| Variáveis avaliadas | Época | | | |
|---|--|--|--------------------------------|-------------------------|
| | Outono | | Primavera | |
| | Local de realização | Metodologia | Local de realização | Metodologia |
| pH em água | Laboratório da ETE Padilha Sul | Resolução Conama 375/06 | Laboratório da ETE Padilha Sul | Resolução Conama 375/06 |
| Sólidos Totais | Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos - CEPPA/UFPR | Resolução Conama 375/06 | Laboratório Senai CIC | Resolução Conama 375/06 |
| Ovos viáveis de helmintos (<i>Ascaris</i>) | Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos - CEPPA/UFPR | Thomaz – Soccol, Paulino e Castro (2000) | Laboratório Senai CIC | Resolução Conama 375/06 |

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota: * Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006)

Tabela 1 - Temperaturas médias no interior da área coberta, do ambiente e precipitação acumulada no período de desenvolvimento do estudo

| Época: Período | Temperatura no interior da área coberta a cada sete dias (°C) | | | | Temperatura ambiente diária (°C) | | | | | | Precipitação acumulada (mm) |
|------------------------------------|---|----------|--------|----------|----------------------------------|----------|--------|----------|--------|----------|-----------------------------|
| | Mínima | | Máxima | | Média | | Mínima | | Máxima | | |
| | média | σ | média | σ | média | σ | média | σ | média | σ | |
| Outono: 12/03 a 06/05/10 | 12 | 3,7 | 42 | 1,6 | 19 | 2,7 | 15 | 2,7 | 25 | 3,4 | 243,2 |
| Primavera: 04/10 a 30/11/10 | 8,5 | 1,3 | 49 | 3,0 | 18 | 2,3 | 14 | 2,3 | 26 | 3,6 | 228,4 |

Fonte: Dados da pesquisa.

área coberta, por termômetro de máxima e mínima, bem como, mostra a média das temperaturas diárias médias, máximas e mínimas e precipitação acumulada, obtidas pelo Instituto Tecnológico Simepar na Estação Meteorológica do município de Curitiba.

Discussão e resultados

Para a variável Sólidos Totais (ST) houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade (DMS = 1,69) para a média geral de cada um dos tratamentos da parcela principal (épocas de outono e primavera), uma vez que houve sete meses entre as medições das duas épocas.

A Tabela 2 mostra o aumento significativo dos ST do lodo até a medição de 42 dias. Houve interação entre os tratamentos da parcela principal e da subparcela, significativa ao nível de 5% de probabilidade. Na primavera, verificou-se que a temperatura máxima no interior da área coberta, medida a cada 7 dias, foi superior a da época outono

em todas as medições, fato que pode ter influenciado na obtenção de teores de ST semelhantes aos 42 e 56 dias, apesar do ST inicial ter sido menor na primavera. Para três descargas em leito de secagem coberto, com revolvimento a cada sete dias, Ferreira (2001) também obteve aumento de sólidos totais que variaram de acordo com a concentração de ST iniciais.

Para a variável pH, embora inicialmente semelhante (8,43 e 8,19), a média geral dos tratamentos da parcela principal (outono e primavera, respectivamente) diferiu significativamente ao nível de 1% de probabilidade (DMS = 0,216), indicando a influência de variações de comportamento ao longo do tempo, além do fato de que os lodos utilizados não pertenciam a um mesmo lote. Os valores iniciais de pH utilizados eram mais elevados que os valores de pH ideal para a operação do reator anaeróbico que, segundo Speece (1966), deve estar entre 6,5 e 8,2. Essa variação pode ser resultante das características do esgoto e da operação do sistema de tratamento.

Tabela 2 - Médias de interação entre os tratamentos da parcela principal e das subparcelas para a variável Sólidos Totais (%) no modelo parcelas subdivididas no tempo

| Tratamentos da Parcela Principal [a] (CV = 4,76%) | Tratamentos da Subparcela [b] (CV = 5,72%) | | | | |
|---|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 0 dias | 14 dias | 28 dias | 42 dias | 56 dias |
| Outono | 35,35 a D | 41,25 a C | 48,37 a B | 55,92 a A | 55,09 a A |
| Primavera | 30,17 b D | 38,00 a C | 44,04 b B | 53,45 a A | 58,63 a A |

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota: *As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% probabilidade, sendo as colunas classificadas por letras minúsculas e as linhas com letras maiúsculas.

Verificou-se ainda para o pH, efeito de interação entre os tratamentos de parcela principal (épocas) e subparcelas (dias) (significativa ao nível de 5% de probabilidade). Observa-se na Tabela 3 que, no outono, a queda do pH foi significativa até a medição do dia 42 e que na primavera houve um decréscimo significativo de pH até a medição do dia 28, passando a não ter diferença significativa nas medições posteriores. Redução nos valores de pH também foram observadas por Lima (2009) do valor médio inicial de 6,24 para 5,21, após 56 dias de revolvimento.

O decréscimo de pH no lodo de esgoto, por se tratar de um material rico em matéria orgânica, decorre da formação de ácidos orgânicos e reações de nitrificação de nitrogênio amoniacal já presente no lodo ou gerado na mineralização de

nitrogênio orgânico (YAN; SCHUBERT; MENGEL, 1996). Observou-se uma correlação negativa significativa entre o pH e os sólidos totais de -0,89 no outono e de -0,87 na primavera (Gráfico 1). Fato este possivelmente resultante da redução da umidade e consequente interrupção nas reações de acidificação.

A Tabela 4 mostra o comportamento dos ovos viáveis de helmintos (*Ascaris*) do lodo, verificando-se uma grande variação nos valores dos resultados e uma interação entre os tratamentos de parcela principal (épocas) e subparcelas (dias) significativa ao nível de 5% de probabilidade. Houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos da parcela principal (outono e primavera), apenas aos 28 dias, apesar do lodo utilizado ser proveniente de lotes diferentes.

Tabela 3 - Médias de interação entre os tratamentos da parcela principal e das subparcelas para a variável pH no modelo parcelas subdivididas no tempo

| Tratamentos da Parcela Principal [a] (CV = 3,85%) | Tratamentos da Subparcela [b] (CV = 3,79%) | | | | |
|--|--|-----------|----------|----------|----------|
| | 0 dias | 14 dias | 28 dias | 42 dias | 56 dias |
| Outono | 8,43 a A | 8,06 a AB | 7,84 a B | 6,42 a C | 6,95 a C |
| Primavera | 8,19 a A | 7,54 b B | 6,76 b C | 6,30 a C | 6,25 b C |

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota: *As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% probabilidade, sendo as colunas classificadas por letras minúsculas e as linhas com letras maiúsculas.

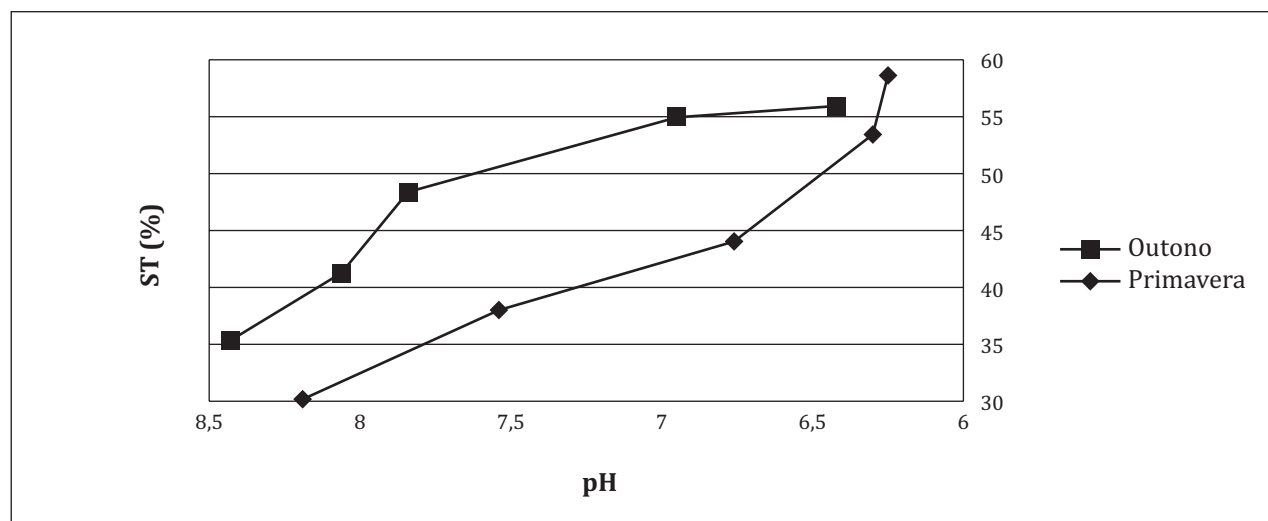


Gráfico 1 - Comportamento do pH em relação ao aumento de Sólidos Totais nas duas épocas do estudo

Fonte: Dados da pesquisa.

Na primavera, apesar da média do tratamento 0 dias atender ao limite estabelecido pela legislação (< 0,25 ovos viáveis. g⁻¹ de ST), destaca-se que, em uma das quatro repetições, a concentração obtida foi de 0,29 ovos viáveis. g⁻¹ de ST, contribuindo para o valor de 0,23 ovos viáveis. g⁻¹ de ST aos 28 dias.

Verificou-se que o prazo para realização das análises laboratoriais de ovos viáveis (3 a 4 semanas), dificulta estudos utilizando esse parâmetro como indicador de sanidade, uma vez que só é possível conhecer as características do material em avaliação no mínimo 30 dias após o início do estudo. No presente estudo, depois de detectado que o lote de lodo utilizado no outono (com cerca de 120 dias de descarte do reator) apresentava baixas concentrações de ovos viáveis, optou-se pela utilização de um novo lote na primavera (com cerca de 30 dias de descarte do reator). No entanto, o novo lote apresentou uma concentração ainda menor de ovos viáveis de helmintos. Thomaz-Soccol, Paulino e Castro (1999) relataram concentrações de ovos viáveis de helmintos de 1,21 ovos viáveis. g⁻¹ de ST de lodo da ETE Padilha em estudo pelo período de seis meses na região metropolitana de Curitiba (PR).

Verificou-se uma redução significativa no número de ovos viáveis de helmintos (*Ascaris*) na medição de 56 dias em relação à medição de 0 dias, nas duas épocas do estudo (Tabela 4). No outono, as concentrações de ovos viáveis de helmintos foram ora decrescente e ora crescente, o que não seria possível, já que esses organismos não se multiplicam no ambiente. Na primavera, observou-se um aumento significativo aos 28 dias com posterior decréscimo significativo a partir do tratamento 42 dias.

Alguns fatores relativos às características do material (lodo), à amostragem e à metodologia analítica

para ovos viáveis de helmintos em lodo podem ter ocasionado o elevado coeficiente de variação (Tabela 4). O primeiro fator está relacionado a mudança da característica física do lodo, no decorrer do estudo. O material inicialmente de aspecto pastoso, em consequência do aumento de ST, passou a apresentar torrões, cujo interior pode promover um ambiente propício à proteção dos ovos, impedindo a perda de viabilidade. Dessa forma, a presença de maior ou menor quantidade de torrões nas amostras compostas pode ter ocasionado a elevada variação na concentração de ovos viáveis. Cabe salientar que para minimizar o efeito da tendência de sedimentação dos ovos e concentração nas camadas inferiores das leiras, foram tomadas as seguintes medidas: realização de análises laboratoriais em triplicata e coleta de amostras compostas em seis pontos de cada leira ao longo de toda a profundidade.

Outro fator refere-se às limitações das metodologias analíticas empregadas, principalmente em relação à taxa de recuperação de ovos de helmintos e ao grande número de transferências da amostra entre vasos que pode reduzir a recuperação dos ovos (COMPARINI, 2001; EPA, 1992; EPA, 2003; THOMAZ-SOCCOL; PAULINO; CASTRO, 2000). Fato comprovado por Comparini (2001) ao verificar diferenças em resultados em amostras analisadas no laboratório da ETE Franca e no Laboratório de Parasitologia Molecular da Universidade do Paraná para uma mesma amostra.

Thomaz-Soccol, Paulino e Castro (2000) apresentaram quatro metodologias destinadas a recuperar, contar e estudar a viabilidade de ovos de helmintos em lodo de esgoto: Meyer, Miller e Kaneshiro (1978) e sua modificação; Owen (1984); Yanko (1987) e Bailenger modificado por Ayres e Mara (1996). Segundo os

Tabela 4 - Médias de interação entre os tratamentos da parcela principal e das subparcelas para a variável Ovos Viáveis de Helmintos – *Ascaris* (ovos viáveis. g⁻¹ de ST) no modelo parcelas subdivididas no tempo

| Tratamentos da Parcela Principal [a] (CV = 58,8%) | Tratamentos da Subparcela [b] (CV = 46,4%) | | | | |
|--|--|-----------|----------|-----------|----------|
| | 0 dias | 14 dias | 28 dias | 42 dias | 56 dias |
| Outono | 0,20 a A | 0,06 a B | 0,06 b B | 0,12 a AB | 0,07 a B |
| Primavera | 0,15 a AB | 0,09 a BC | 0,23 a A | 0,05 a BC | 0,03 a C |

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota: *As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% probabilidade, sendo as colunas classificadas por letras minúsculas e as linhas com letras maiúsculas.

autores, a técnica de Meyer (1978) é de procedimento rápido, porém apresenta três desvantagens. A primeira refere-se à taxa de recuperação, que quando se usa hipoclorito e detergente é de 71% e quando não se utiliza detergente, a filtração torna-se impossível. A segunda é no caso da existência de pequeno número de ovos no lodo, a taxa de recuperação de ovos de helmintos cai para 50%. Por fim, a concentração de hipoclorito, sendo mais alta que a recomendada, provoca o comprometimento da camada mamilonada de ovos de *Ascaris*, podendo gerar confusão com os ovos de nematoides de vida livre e ou de ácaros que costumam estar presentes no lodo.

Ainda segundo Thomaz-Soccol, Paulino e Castro (2000), a metodologia de Yanko (1987) modificada é reconhecida pela EPA (1992) e pela normatização francesa e tem taxa de recuperação de 90%.

EPA (1992) considera que existem duas limitações na metodologia de Yanko (1987): a recuperação de aproximadamente 90% dos ovos de helmintos, e outra, relativa aos passos do próprio procedimento, que exige numerosas transferências da amostra entre vasos, o que também acontece no método adotado na época primavera – Quadro 1 (EPA, 2003).

Observou-se uma moderada correlação negativa entre os ovos viáveis de helmintos e os sólidos totais de -0,34 ($r^2 = 0,27$ – regressão linear) no outono e de -0,46 ($r^2 = 0,32$ – regressão linear) na primavera. Comparini (2001) obteve uma forte correlação ($r = 0,793$ a $0,922$) entre os valores de ovos viáveis em g^{-1} de ST e de umidade do lodo, que confirmaram a influência direta da redução de umidade no decaimento dos valores de ovos viáveis de helmintos. Lima (2009), em sua pesquisa, obteve somente uma tendência de decaimento das quantidades de ovos viáveis de helmintos com a diminuição da umidade, resultado atribuído à pequena quantidade inicial de ovos viáveis de helmintos nos lodos utilizados (0,13 a 0,35 ovos viáveis em g^{-1} de ST).

Bonnet, Lara e Domaszak (1998) também demonstraram que o aumento de sólidos totais é eficaz no decaimento da concentração de ovos de helmintos em lodo de esgoto.

Os resultados obtidos por Comparini (2001) mostraram que estudos de cerca de 70 dias, maior período de tempo do que o presente estudo, em estufa agrícola com lodo com teores finais de umidade da ordem de 11% foram adequados no processo de destruição de ovos viáveis de helmintos.

O decréscimo dos valores de ovos viáveis de helminto também foi observado por Lima (2009) e Comparini (2001), cabendo destacar que após 56 dias os valores obtidos no presente estudo, de 0,07 e 0,03 ovos viáveis em g^{-1} de ST (para outono e primavera respectivamente), atendem aos limites da legislação vigente de 0,25 ovos viáveis em g^{-1} de ST (BRASIL, 2006).

Conclusões

Os lotes de lodo de esgoto utilizados nas duas épocas do estudo eram diferentes quanto aos sólidos totais, no entanto, não diferiam quanto ao pH e à concentração de ovos viáveis de helmintos (*Ascaris*).

Houve um aumento dos sólidos totais do lodo de esgoto com a adoção do processo do revolvimento a cada sete dias, observado nas medições de 0, 14 e 28 dias em ambas as épocas do estudo.

Houve um decréscimo do pH do lodo de esgoto com a adoção do processo do revolvimento a cada sete dias, evidenciado nas três medições iniciais da época outono e nas duas medições iniciais da época primavera.

Nas duas épocas do estudo, houve correlação negativa significativa entre o pH e os sólidos totais.

Apesar de apresentar concentração inicial de ovos viáveis de helmintos (*Ascaris*) abaixo do limite estabelecido pela legislação Conama 375/06, os lodos utilizados apresentaram redução significativa entre o início e término do estudo (0 e 56 dias, respectivamente).

Recomenda-se a realização de estudo utilizando o processo de revolvimento em períodos superiores a 60 dias, sendo necessário o cuidado na seleção de lodo para que este contenha concentrações de ovos viáveis de helmintos significativamente superiores aos limites da legislação vigente. Assim, sugere-se que se realize uma análise prévia de ovos totais de helmintos, cujo procedimento é mais rápido que o de análise de ovos viáveis. Também se recomenda que se adote processo de revolvimento que promova quebra dos torrões de lodo, de modo a evitar que possíveis focos de ovos viáveis permaneçam protegidos no interior dos mesmos.

Agradecimentos

Ao CNPq Edital MCT/CNPq/CT Agronegócio n. 43/2008 pelo financiamento do presente projeto

de pesquisa. Aos profissionais da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) que contribuíram para o desenvolvimento do estudo, especialmente aos técnicos da ETE Padilha Sul.

Referências

- AYRES, R. M.; MARA, D. D. **Analysis of wastewater for use in agriculture**: a laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques. Department of Civil Engineering, University of Leeds, England. Geneva: World Health Organization, 1996.
- BONNET, B. R. P.; LARA, A. I.; DOMASZAK, S. C. Indicadores biológicos de qualidade sanitária do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P. (Ed.). **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: Sanepar, 1998. p. 11-26.
- BOWMAN, D. D.; LITTLE, M. D.; REIMERS, R. S. Precision and accuracy of an assay for detecting *Ascaris* eggs in various biosolid matrices. **Water Research**, v. 37, n. 9, p. 2063-2072, 2003. PMID:12691891.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 29 ago. 2006.
- COMPARINI, J. B. **Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólido submetidos à secagem em estufa agrícola**. 2001. 278 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- COMPARINI, J. B.; ALÉM SOBRINHO, P. Efeitos da secagem em estufa agrícola no decaimento de patógenos presentes em biossólidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22.; FEIRA INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 5., Joinville, 2003. **Anais...** Joinville: FITABES, 2003. p. 1-39.
- FERREIRA, A. C. **Monitoramento da secagem e desinfecção de lodo anaeróbio em leito de secagem com uso de estufa plástica e biogás**. 2001. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- GASPARD, P.; SCHWARTZBROD, J. Helminths and protozoa in stabilized sludge for agricultural use: search for an indicator of parasite contamination. In: IWA CONFERENCE, 2001, Acapulco – México. **Proceedings...** Acapulco: IWA, 2001. p. 9-14.
- LARA, I. L. Antecedentes. In: ANDREOLI, V. C.; LARA, A.; FERNANDES, F. (Org). **Reciclagem de biossólidos**: transformando problemas em soluções. 2. ed. Curitiba: Sanepar; Finep, 2001. p. 156-179.
- LIMA, M. R. P. **Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto**. 2009. 288 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- MARTIN JR., J. H.; BOSTAIN, H. E.; STERN, G. Reductions of enteric microorganisms during aerobic sludge digestion. **Water Research**, v. 24, n. 9, p. 1377-1385, 1990. doi:10.1016/0043-1354(90)90157-2.
- MEYER, K. B.; MILLER, K. D.; KANESHIRO, E. S. Recovery of *Ascaris* eggs from sludge. **The Journal of Parasitology**, v. 64, n 2, p. 380-383, 1978.
- OWEN, R. R. The effectiveness of chemical disinfection on parasites in sludge. **Stabilisation and Disinfections of Sewage Sludge**, v. 23, p. 1-13, 1984.
- PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução Sema 021/09, de 14 de julho de 2009. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. **Diário Oficial [do] Estado do Paraná**, Curitiba, n. 7962, 11 jul. 2009. p. 13-16.
- PEGORINI, E. S.; HARTMANN, C. M.; ANDREOLI, C. V. Avaliação do processo de higienização do lodo de esgoto em estufas plásticas instaladas em ETES da Sanepar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007. **Anais...** Belo Horizonte: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007. CDROM.
- PINTO, M. Higienização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (ed.). **Lodo de esgotos**: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: UFMG; Sanepar, 2001. p. 261-297.
- SIDHU, J. et al. The role of indigenous microorganisms in suppression of *Salmonella* regrowth in composted biosolids. **Water Research**, v. 35, n. 4, p. 913-920, 2001. doi:10.1016/S0043-1354(00)00352-3.

SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Nashville: Archae Press, 1996.

SILVA, F. A. S. **Assistat**: assistência estatística. Versão beta 7.6, 2011. Disponível em: <<http://www.assistat.com/in-dexp.html>>. Acesso em: 13 mai. 2011.

THOMAZ-SOCCOL, V. et al. Eficácia dos diferentes processos de tratamento do lodo na redução da viabilidade de ovos de helmintos. **Sanare**, v. 8, n. 8, p. 24-32, 1997.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Agentes patogênicos: helmintos e protozoários. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. (Org). **Reciclagem de Biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar; Finep, 1999. p. 156-174.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto**. 2. ed. Curitiba: Sanepar, 2000. p. 27-41.

THOMAZ-SOCCOL, V. et al. Organismos Patogênicos presentes em lodo de esgoto a ser aplicado no solo e a Resolução n. 375 do Conama. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. (Ed.). **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução n. 375 do Conama**. Botucatu: FEPAF, 2010. v. 1. p. 83-111.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. Appendix I – Test method for detecting, enumerating, and determining the viability of *Ascaris* ova in sludge. In: **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge (including domestic septage) under 40 CFR Part 503**. Cincinnati: EPA/625/R-92/013, 2003. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r92013/625R92013appI.pdf>>. Acesso em: nov. 2010.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge (including domestic septage) under 40 CFR Part 503**. Environmental Regulations and Technology. Cincinnati: EPA, 1992.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: EPGRAF, 1994.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgoto: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG; Sanepar, 2001. v. 6, cap. 2, p. 17-67.

YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, n. 4 - 5, p. 617 - 624, 1996. doi:10.1016/0038-0717(95)00180-8.

YANKO, W. A. Appendix I: analytical method for viable Helminth ova. In: UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge (including domestic septage) under 40 CFR Part 503**. Environmental Regulations and Technology. Cincinnati: EPA, 1992.

Recebido: 05/03/2012
Received: 03/05/2012

Aprovado: 14/03/2013
Approved: 03/14/2013