



II-268 - USO DE ESTUFA AGRÍCOLA PARA SECAGEM E HIGIENIZAÇÃO DE LODO GERADO EM ETE

Márcia Regina Pereira Lima⁽¹⁾

Engenheira Civil - UFES (1989); Mestre em Engenharia Ambiental - UFES (1996); Doutoranda do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária – USP (desde 03/2006). Prof^a. do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do IFES;

Pedro Alem Sobrinho

Engenheiro Civil – USP (1967); Engenheiro Sanitarista –USP (1969); Master of Science in Public Health Engineering pela University of Newcastle upon Tyne - Newcastle upon Tyne – Inglaterra (1975); Mestre em Saúde Pública – USP (1976); Doutor em Engenharia – USP (1981); Professor Livre Docente – USP (1991); Doutor - EESC/USP (1998). Prof^o. Titular do Dept^o de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP.

Edvânia Rodrigues Queiroz Cunha

Tecnóloga em Saneamento Ambiental – IFES. Tecnóloga da CESAN

Bruno Furtado Pizzin

Graduando em Tecnologia em Saneamento Ambiental – IFES.

Leonardo Frizzera Gomes

Graduando em Tecnologia em Saneamento Ambiental – IFES.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Vitória, 1729 – Jucutuquara – Vitória – ES - CEP: 29040-780 - Brasil - Tel: (27) 3331-2237 - e-mail: marcialima@ifes.edu.br

RESUMO

A busca por técnicas simplificadas para o tratamento dos subprodutos sólidos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) visando uma forma benéfica de destinação final tem sido alvo de muitas pesquisas. Isso porque a geração de lodo vem crescendo de forma acelerada e algumas formas de destinação final apresentam restrições que as tornam inviáveis, principalmente, sob os aspectos ambientais, econômicos e sociais. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta a utilização de uma estufa agrícola na secagem e higienização de lodo gerado em ETE, objetivando obter um material com características que possibilite sua utilização na agricultura em acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução 375/2006 do Conama. Para tanto, foram estudadas diferentes condições metodológicas como a forma de dispor o lodo dentro da estufa, o período de revolvimento do material e a condição de se adicionar ou não material alcalino ao lodo. Os parâmetros monitorados foram umidade, STV, pH, , coliformes termotolerantes, *Salmonella* sp., ovos viáveis de helmintos e metais pesados. Baseado nos resultados obtidos foi possível constatar que a utilização da estufa agrícola foi bastante viável para as condições testadas, gerando um material Classe A, segundo os padrões dos parâmetros monitorados.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de esgoto, estufa agrícola, secagem do lodo, higienização do lodo.

INTRODUÇÃO

O tratamento dos esgotos sanitários apresenta benefícios amplamente abrangentes, porém não resolve por completo todos os problemas provocados por esse material. Na verdade trata-se de um problema escalonado, pois o seu tratamento gera outro resíduo (lodo) com elevado potencial poluidor, que exige, também, tratamento específico para uma destinação final adequada.

O problema torna-se especialmente preocupante, em face das características apresentadas pelo resíduo gerado. Muitas delas demandam atenção e tratamento especiais em função dos potenciais riscos à saúde humana decorrentes, por exemplo, da presença de organismos patogênicos. O tratamento específico do lodo está vinculado diretamente com a forma de disposição final escolhida. Dentre elas a alternativa focada nesse estudo é a reciclagem agrícola do lodo, por ser uma técnica que apresenta uma série de vantagens, com o aproveitamento ou reciclagem de seus componentes. Apesar de a composição do lodo ser muito variável, de modo geral apresenta características interessante sob o ponto de vista agrônomo, sendo um material rico em



matéria orgânica (40-60%), em nitrogênio e em alguns micronutrientes como zinco, manganês e cobre (CHENG *et al.*, 2007; LAKE, 1987).

Os principais benefícios do uso do bio sólido na agricultura incluem: a redução da velocidade na liberação do nitrogênio; a liberação de fósforo, potássio e micro nutrientes essenciais às plantas, como zinco e ferro; a possibilidade de possuir propriedade alcalina se tratado com cal; a melhoria da capacidade de retenção de água na estrutura do solo e no transporte de água (US EPA, 2000; WRIGHT, 2001). As vantagens da utilização do lodo na agricultura vão além dos benefícios relacionados à sua potencialidade agrícola, podendo ainda acrescentar a diminuição no uso de fertilizantes químicos e, com isso, a minimização de graves impactos ambientais e de saúde ocasionados pelo uso indiscriminado desses produtos.

As principais características que apresentam riscos à saúde humana encontram-se expressadas na Resolução 375/2006 do Conama (MMA, 2006), que estabelece os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. No escopo geral da resolução, em virtude dos seus riscos potenciais, o lodo deve ser gerenciado adequadamente para que seus constituintes atendam a padrões específicos, afim de que esses riscos sejam minimizados e até mesmo eliminados.

Esta investigação, então, se propõe a dar suporte ao gerenciamento do lodo gerado em quatro grandes ETE implantadas em diferentes municípios da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), visando seu uso na agricultura. Sendo assim, objetivou estudar a variação das características químicas e microbiológicas desse lodo quando submetido à secagem e higienização em estufa agrícola, com e sem adição de material alcalino, sob diferentes condições metodológicas, para atender aos padrões estabelecidos pelo Conama. Espera-se com essa investigação apresentar a estufa agrícola como uma técnica simplificada para o tratamento da fase sólida, contribuindo com aspectos relacionados às questões ambiental, social e econômica. No espectro mais amplo, poderá contribuir no favorecimento da adoção de formas de tratamento e disposição final de lodos gerados em outras ETE, e, também, com informações que poderão auxiliar outros pesquisadores na constante busca por conhecimentos e novas tecnologias.

MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo utilizado na pesquisa é gerado nas ETE Mulembá (Vitória), Bandeirantes (Cariacica), Araçás (Vila Velha) e Aeroporto (Guarapari), localizadas na RMGV. Todas tratam esgoto doméstico por processo biológico de lodos ativados e são idênticas, possuindo gradeamento, medidor de vazão, caixa de areia, tratamento biológico e desinfecção (tratamento da fase líquida); e digestão, adensamento e desaguamento (tratamento da fase sólida). A pesquisa foi desenvolvida na ETE Araçás (Vila Velha) por possuir espaço suficiente e condições específicas para a implementação da metodologia planejada.

A torta de lodo desaguada em centrífuga foi encaminhada para uma estufa agrícola que promoveu a secagem e higienização do mesmo, sem a adição de cal (células L1 e L2) e com a adição de cal (células LC1 e LC2) (Figura 1). A fim de avaliar o comportamento dos processos de secagem e higienização do lodo na estufa foram adotadas condições metodológicas diferenciadas que se encontram apresentadas no Quadro 1.

A estufa agrícola utilizada seguiu os padrões adotados por Comparini (2001) possuindo largura de 6,0 m, comprimento de 15,0 m e altura das paredes laterais de 2,0 m. Para a cobertura e o revestimento lateral foi utilizada lona plástica translúcida, de 150 micras de espessura. O piso é de material impermeável (pavimentação asfáltica) para impedir a infiltração no solo da água contida no lodo, como também foi construída uma pequena mureta no entorno da estufa para bloquear a entrada de águas do escoamento superficial. Para melhor controle da umidade dentro da estufa durante, principalmente, os primeiros dias de cada ciclo, foram feitas aberturas na lateral da estufa que eram mantidas abertas durante o dia e fechadas a noite.

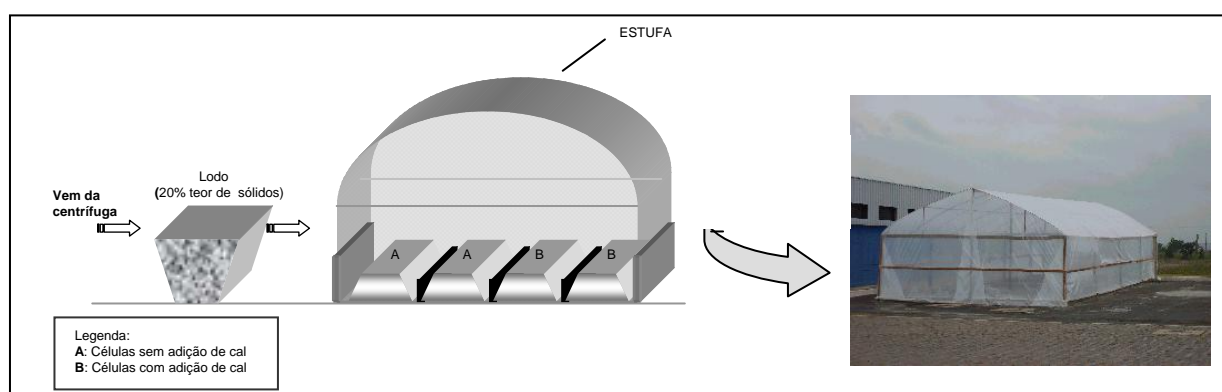


Figura 1 – Disposição das células de lodo dentro da estufa para o desenvolvimento da pesquisa e vista externa da estufa

Quadro 1 – Condições metodológicas e período de monitoramento dos três Ciclos

Ciclo	Forma de disposição lodo nas células	Revolvimento do lodo das células	Período
Ciclo 1	Primeiros 14 dias – lodo espalhado com altura de 10 cm (L1, L2, LC1 e LC2).	Primeiros 14 dias – três vezes por semana.	29/01/2007
	A partir do 14º dia – lodo em forma de leira com 50 cm de altura (L1, L2, LC1 e LC2).	A partir do 14º dia – uma vez por semana	a 09/04/2007
Ciclo 2	Primeiros 14 dias – lodo espalhado com altura de 10 cm (L1, L2, LC1 e LC2).	Durante todo o Ciclo – três vezes por semana.	18/04/2007
	A partir do 14º dia – lodo espalhado em forma de leira com 10 cm de altura (L1 e LC1) e lodo em forma de leira com 50 cm de altura (L2, LC2).		a 20/06/2007
Ciclo 3	Durante todo o Ciclo – lodo espalhado com altura de 10 cm (L1, LC1) e com altura de 20 cm (L2, LC2).	Durante todo o Ciclo – três vezes por semana.	05/07/2007 a 18/09/2007

Os parâmetros monitorados foram: coliformes termotolerantes, *Salmonella sp.* e ovos viáveis de helmintos (15 em 15 dias); pH e umidade (7 em 7 dias). Foram monitoradas, também, as temperaturas dentro e fora da estufa.

Os ciclos foram interrompidos quando o teor de sólidos atingiu valor acima de 90%. Isso porque, diante dos resultados obtidos por Comparini (2001) e dos relatos apresentados por Dumontet *et al.* (2001) e Bonnet, Lara e Domaszak (2000), essa condição garante a eliminação da maioria dos microrganismos patogênicos.

A quantidade de cal utilizada no experimento foi definida a partir de testes iniciais para verificar qual a porcentagem em peso seco de cal seria suficiente para elevar o pH a valores próximos a 12 por um período mínimo de duas horas, permanecendo acima de 11,5 por mais 22 horas (MMA, 2006). Para tanto, foram adicionadas quantidades de cal relativas às dosagens de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% para uma mesma quantidade de lodo (21,00 kg), sendo a dosagem de 15% aquela que atendeu aos preceitos adotados. No caso específico deste experimento foi utilizada cal hidratada com 90% de Hidróxido de Sódio (Ca(OH)_2).

Tendo em vista que a finalidade da pesquisa é a utilização do material como insumo agrícola, o processo a ser estudado visa promover a redução do volume, a destruição dos microrganismos patogênicos e a redução dos odores. Os padrões pretendidos são os exigidos para lodo “Classe A” segundo a Resolução 375/2006 do Conama (MMA, 2006), que possibilita a utilização do material na agricultura. Em função dos laboratórios estarem se adequando para atendimento a esta Resolução no que diz respeito à determinação de vírus, este parâmetro não foi monitorado.



RESULTADOS OBTIDOS

Variação da temperatura dentro e fora da estufa ao longo de cada ciclo

A intenção de possibilitar ao lodo condições ambientais favoráveis para acelerar o processo de secagem com a utilização da estufa foi conseguida nos três ciclos estudados. O fato dos ciclos terem ocorridos em diferentes meses do ano, ou seja, o Ciclo 1 aconteceu no período entre o final de janeiro e o início de abril, o Ciclo 2 entre abril e junho, e o Ciclo 3 entre julho e setembro, possibilitou avaliar as variações da temperatura em função da sazonalidade.

A temperatura média das médias horárias dentro e fora da estufa chegou a apresentar 7 °C de diferença, aproximadamente, no Ciclo 1. Dentre os três ciclos, o Ciclo 1 foi o que apresentou valores mais elevados de temperatura dentro da estufa por ter se desenvolvido durante os meses mais quentes do ano. Os máximos horários conseguidos foram acima de 50°C (externa 30,3°C) e os mínimos horários sempre superiores a 20°C, mesmo estando a temperatura externa, em alguns momentos, abaixo de 16°C. Por outro lado, o Ciclo 3 foi o que apresentou menor média das médias horárias obtidas dentro da estufa. Isso pode ser atribuído ao fato de que o Ciclo 3 foi desenvolvido durante o inverno que, apesar de não ser, na região estudada, uma estação rigorosa com temperaturas muito baixas, apresenta temperaturas inferiores aos demais períodos do ano. Esses resultados estão apresentados de forma resumida na Tabela 1.

Nos resultados apresentados por Comparini (2001), na cidade de Franca - SP, a 2ª e 3ª repetições ocorreram praticamente nos mesmos períodos que os Ciclos 1 e 2, respectivamente, e apresentaram temperaturas bem baixas em certos horários do dia. Essas diferenças são aceitáveis tendo em vista a localização geográfica das cidades onde se desenvolveram as pesquisas.

Tabela 1 – Temperaturas médias das médias horárias, máximas horárias e mínimas horárias dentro e fora da estufa durante o experimento

Ciclo	Período	Temperatura (°C)					
		Média das médias horárias		Máxima horária		Mínima horária	
		T1 (Dentro da estufa)	T2 (Fora da estufa)	T1 (Dentro da estufa)	T2 (Fora da estufa)	T1 (Dentro da estufa)	T2 (Fora da estufa)
1	29/01/07 a 09/04/07	29,4	22,2	50,8	34,2	20,1	14,2
2	18/04/07 a 20/06/07	28,9	25	46,1	35,2	19,7	17,2
3	05/07/07 a 12/09/07	27,5	23,6	48,5	36,7	15,3	14,4

Nota: A temperatura definida como fora da estufa refere-se à temperatura do ar.

A partir dos resultados da variação da temperatura ao longo do dia, percebe-se que a partir das 10 horas da manhã, essas já se encontram acima de 34° C, mantendo-se elevadas até, aproximadamente, 17 horas. Isso mostra que a estufa possibilita a manutenção de temperaturas internas elevadas mesmo nos horários em que a externa já apresenta valores bem mais inferiores.

Umidade, SV/ST, pH

Não houve diferença expressiva na variação da umidade ao longo dos dias de monitoramento entre as células que continham lodo sem cal (L1 e L2) e as de lodo misturado à cal (LC1 e LC2) nos três Ciclos. Porém, percebeu-se no Ciclo 2 que o fato de realizar o revolvimento três vezes por semana possibilitou uma perda de umidade mais acelerada, o que não foi percebido no Ciclo 3, provavelmente em função da ocorrência de temperaturas inferiores em relação aos demais ciclos. No Ciclo 3 a tentativa de minimizar o espaço ocupado com lodo, espalhando-o com altura de 20 cm (L2 e LC2), representou uma diminuição muito lenta da umidade quando comparada com as células com altura de 10 cm (L1 e LC1). Na verdade, percebeu-se que os lodos das células L1 e LC1 pelo fato de perderem umidade mais rapidamente, em torno do 30º dia (umidade entre 30 a 40%) estavam ocupando a mesma área que o das células L2 e LC2 (umidade entre 65 e 70%). No Gráfico 1 encontram-se apresentadas as variações da umidade durante os Ciclos 1, 2 e 3. Foi observada nos três ciclos uma diminuição bastante significativa do volume inicial do material com a perda da umidade.

No caso da pesquisa desenvolvida por Comparini (2001), foi alcançada umidade de 11,45% em 70 dias de secagem do lodo com temperatura média das médias horárias dentro da estufa de 26,6°C e, no entanto, no Ciclo 1 quando foram utilizados os mesmos procedimentos operacionais, tal umidade foi atingida entre o 35º



e o 42º dia (média entre L1 e L2), com temperatura média das médias horárias de 29,4°C. Entretanto, vale acrescentar, também, que o lodo utilizado por Comparini foi digerido anaerobiamente e o dessa pesquisa foi submetido à digestão aeróbia.

Em todos os três ciclos, as curvas indicam que existiram três situações distintas na remoção da umidade. Num primeiro momento há uma dificuldade do material perder umidade (até, aproximadamente, 70% de umidade), num segundo ocorre uma redução bastante acentuada deste parâmetro (até valores próximos a 20% de umidade) e num terceiro, novamente, há uma dificuldade na perda de umidade. Para valores acima de 70% a dificuldade pode ser atribuída à quantidade elevada de água livre contida no fundo da camada de lodo da célula impossibilitada de evaporar em função da própria massa do material. Na situação intermediária verifica-se uma redução mais acentuada da umidade, sendo que após atingir 70% chegou a valores próximos a 20% em apenas 21 dias (Ciclo 1/1), apresentando uma redução de 71%, aproximadamente. Isso ocorreu, possivelmente, pela maior porosidade do material possibilitando uma melhor circulação do ar dentro da camada de lodo pela perda da água livre. Quando a umidade atingiu valores abaixo de 20% a dificuldade na sua remoção pode ter ocorrido pelo fato da água residual estar aderida às partículas sólidas do lodo (Gráfico 1).

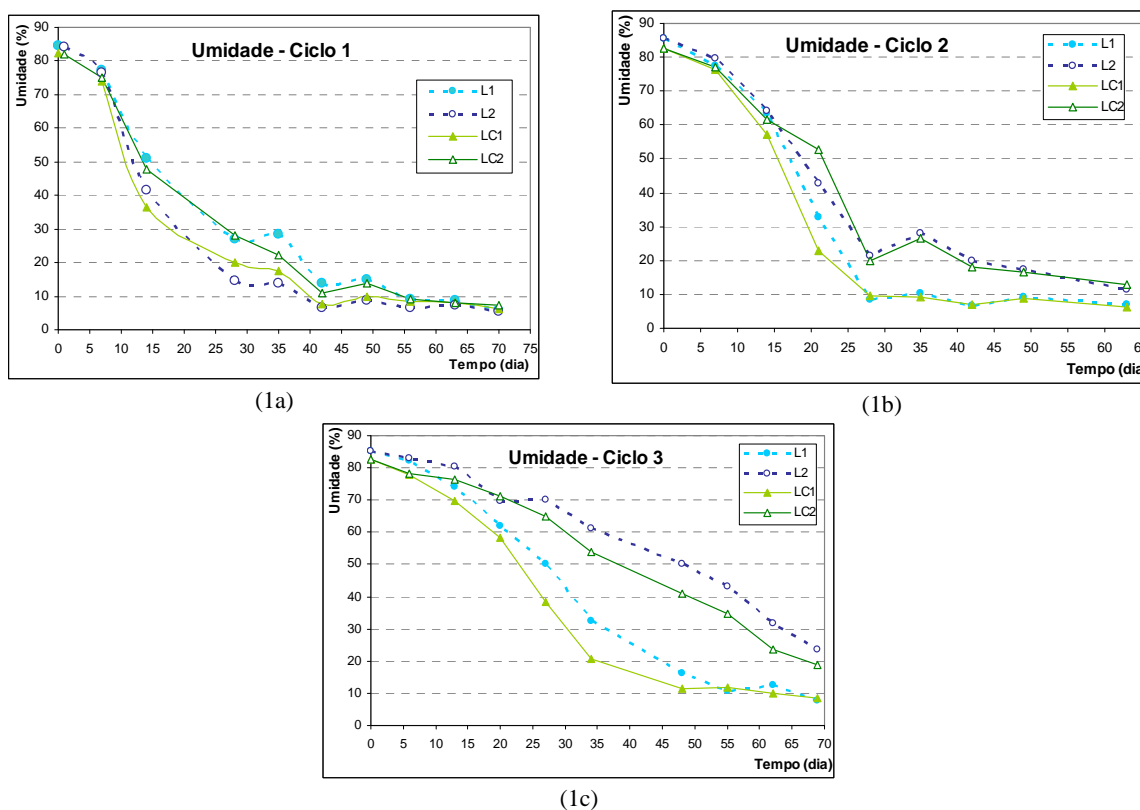


GRÁFICO 1 – Variação da umidade no tempo durante o desenvolvimento do Ciclo 1 (1a), Ciclo 2 (1b) e Ciclo 3 (1c)

As relações entre sólidos voláteis e totais (SV/ST) apresentaram comportamentos semelhantes nos três Ciclos. Os resultados mostram que o lodo utilizado encontrava-se estável, com bom nível de digestão e valores em torno de 60% (US EPA, 1995; MALINA, 1993; MMA, 2006). Em todos os ciclos, ficou evidenciado que ocorreu uma redução gradual nos valores SV em relação a ST que chegou a atingir, ao final do Ciclo 2, um abatimento de até 36% do valor inicial na célula L1, em face da continuidade do processo de estabilização do lodo ocasionado, principalmente, pela redução da umidade (LAKE, 1987; BOROWSKI; SZOPA, 2007). Pôde-se notar, também, que a adição da cal possibilitou uma redução nessa relação, que, inicialmente, apresentava valores próximos a 60% e com a cal atingiu valores em torno de 50%.

Nos três Ciclos, as células LC1 e LC2 (lodo com cal) mantiveram o pH acima de 12 durante as primeiras 2 horas e acima de 11,5 por mais 22 horas atendendo às exigências estabelecidas na Resolução 375/06. A partir do 14º dia, atingiram pH próximo a 8 mantendo esse valor até o final dos ciclos. No caso do lodo digerido sem

cal (L1 e L2) o pH inicial foi acima de 5,5 nos três Ciclos mantendo-se este patamar por vários dias, apresentando, em alguns casos uma ligeira queda. Os resultados sugerem que o pH não sofreu alterações representativas com as mudanças metodológicas adotadas entre os três Ciclos.

Salmonella sp., coliforme termotolerante, ovos viáveis de helmintos

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos de coliformes termotolerantes, *salmonella* sp. e ovos de helmintos, durante o período de monitoramento dos Ciclos 1, 2 e 3 para o lodo digerido sem cal (L1 e L2) e com cal (LC1 e LC2).

No monitoramento de *Salmonella sp.*, percebeu-se que a adição de cal ao lodo foi significativa na eliminação desse microrganismo, porém em alguns ciclos o lodo usado no experimento já apresentava ausência de *Salmonella sp.* não sendo possível avaliar a interferência da cal no controle do parâmetro. O lodo sem cal (L1 e L2) apresentou ausência de *Salmonella sp.* no 28º dia do experimento do Ciclo 1.

Tabela 2 - Ocorrência de coliformes termotolerantes, *Salmonella sp.* e ovos viáveis de helmintos nas células de lodo digerido com e sem cal durante os Ciclos 1, 2 e 3

Cenário de lodo digerido com e sem cal durante os Ciclos 1, 2 e 3															
Data	Tempo (dias)	Coliformes Termotolerantes 1.000 NMP/gST) ⁽¹⁾ (NMP/gST)				<		Salmonella sp. (A em 10gST) ⁽¹⁾ (em 10gST)				Ovos viáveis helmintos (< 0,25ovo/gST) ⁽¹⁾ (ovo/gST)			
		Lodo sem cal		Lodo com cal		Lodo sem cal		Lodo com cal		Lodo sem cal		Lodo com cal			
		L1	L2	LC1	LC2	L1	L2	LC1	LC2	L1	L2	LC1	LC2		
CICLO 1															
29/01/07	0	1,10E+04	1,10E+04	< 3,6	< 3,6	P	P	A	A	0,13	0	0,19	0		
12/02/07	14	4,30E+01	4,60E+03	2,40E+02	2,40E+04	P	A	A	A	0,22	0,07	0,06	0,10		
26/02/07	28	3,60E+00	4,30E+01	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0,10	0,00	0,07	0,04		
12/03/07	42	< 3,6	< 3,6	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0,10	0,11	0,08	0,00		
26/03/07	56	< 3,6	< 3,6	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0	0,08	0	0,03		
9/4/2007	70	< 3,6	< 3,6	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0,04	0,09	0	0,04		
CICLO 2															
18/04/07	0	4,60E+03	4,60E+03	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0,23	0,16	0,12	0		
02/05/07	14	9,30E+01	2,40E+02	4,60E+02	4,30E+01	A	A	A	A	0,22	0	0,06	0,11		
16/05/07	28	2,40E+02	4,30E+01	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0	0,09	0	0,09		
30/05/07	42	< 3,6	< 3,6	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0,04	0,10	0	0		
13/06/07	56	Não foi realizada coleta													
20/06/07	63	< 3,6	< 3,6	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0,05	0,09	0	0		
CICLO 3															
05/07/07	0	2,40E+02	2,40E+02	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0,35	0,35	0,13	0,13		
18/07/07	13	9,20E+00	4,30E+01	3,60E+00	< 3,6	A	A	A	A	0,27	0,14	0,13	0,12		
01/08/07	27	< 3,6	3,60E+00	2,30E+01	3,60E+00	A	A	A	A	0,15	0,16	0	0,09		
15/08/07	41	< 3,6	< 3,6	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0,11	0,09	0,03	0		
29/08/07	55	< 3,6	< 3,6	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0,07	0,10	0,06	0,04		
18/09/07	69	< 3,6	< 3,6	< 3,6	< 3,6	A	A	A	A	0	0,08	0,09	0		

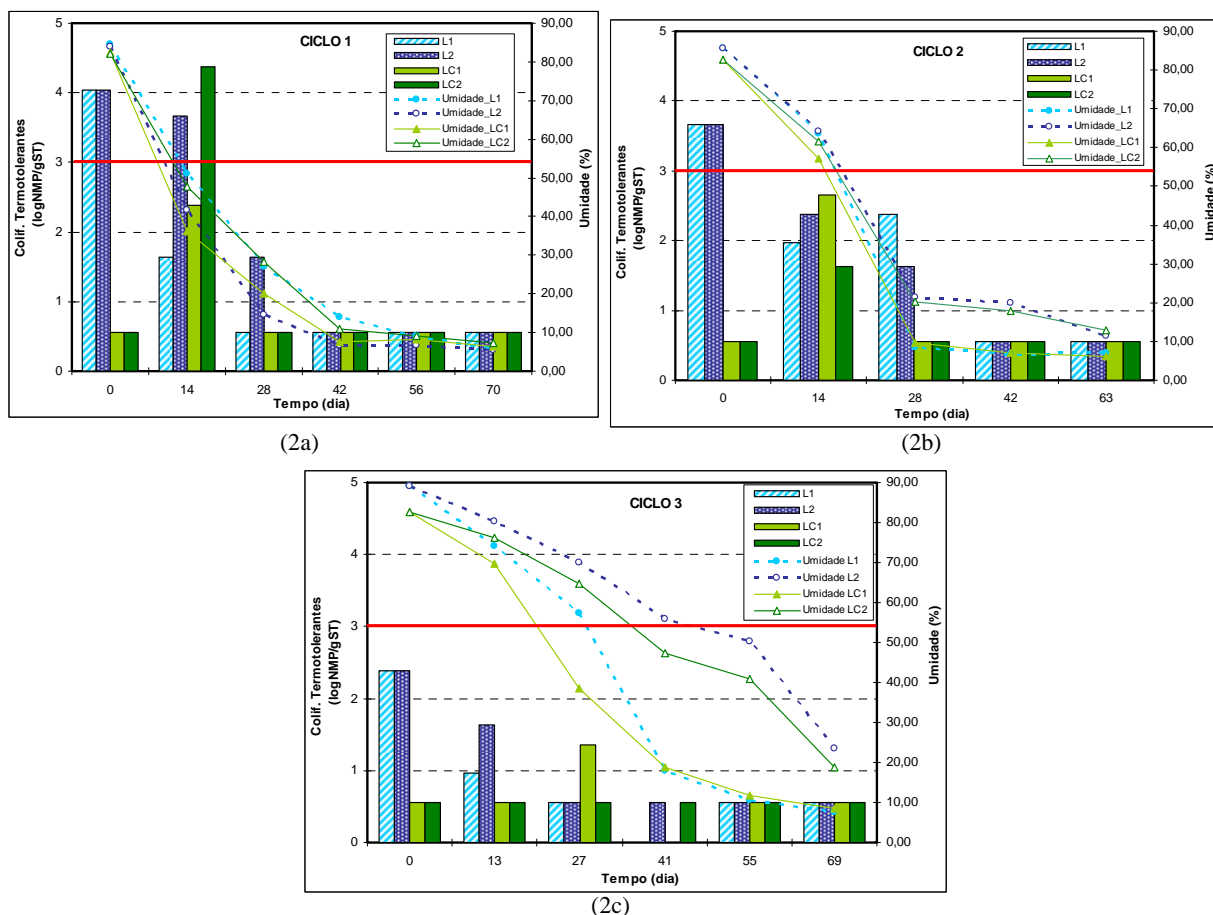
Nota: ⁽¹⁾ Padrão Resolução 375/2006 do Conama (MMA, 2006);

- A = Ausência; P = Presença.

Para os coliformes termotolerantes, nas células onde se encontravam o lodo sem a adição da cal (L1 e L2) o tempo necessário para higienização do material, segundo o atendimento ao Conama, foi em torno do 28º dia (Gráfico 2). Para este parâmetro, a adição de cal teve aspecto positivo, haja vista que foram obtidos valores bem abaixo do padrão nas primeiras amostras analisadas após a aplicação do material alcalino, com remoção acima de 99,99%. Isso confirma as citações de Malta (2002), Outwater (1994), Fernandes, Andreoli e Domaszak (1996) que conseguiram remoções semelhantes para coliformes fecais ao avaliaram diferentes dosagens de cal na estabilização cálcica do lodo. No caso específico das células de lodo com adição de cal, os ressurgimentos constatados no 14º dia (Ciclos 1 e 2) e no 27º dia (Ciclo 3) não são relevantes, pois, a maioria apresentou densidades de coliformes termotolerantes bastante reduzidas em relação aos padrões do Conama e, nas semanas seguintes, as concentrações detectadas foram sempre inferiores a 3,6 NMP/gST até o final dos ciclos. Ainda, adicionalmente, vale destacar que segundo Ramirez e Malina (1980) o pH de 11,5 é suficiente para obter efetiva remoção de bactérias, no entanto, caso o pH atinja valores inferiores a 11,5 é possível ocorrer a recolonização das bactérias e, nesse caso, o pH estava próximo a 8.



Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram que houve uma diminuição da quantidade de ovos viáveis de helmintos ao longo do tempo, porém, não apresentaram uma tendência de decaimento bem definida, provavelmente em função dos baixos valores detectados. Sendo assim, não foi possível perceber uma correlação direta da diminuição desses ovos com a umidade. O que se pode observar é que o fato de a umidade ter atingido valores próximos a 10%, isso não foi suficiente para fazer com que os ovos de helmintos fossem inviabilizados completamente. Apesar de baixos, foram observados ovos viáveis de helmintos até mesmo em células de lodo com cal mesmo com teores de umidade bastante reduzidos. A avaliação da potencialidade da cal na redução deste parâmetro foi observada apenas no Ciclo 3, quando o número de ovos viáveis passou de 0,35ovo/gST para 0,13ovo/gST com a adição do material alcalino. No lodo sem cal (L1 e L2) valores inferiores ao limite do Conama foram obtidos no 13º dia nas amostras de lodo da célula L2 e no 27º dia em L1.



Nota: O valor de 3 logNMP/gST destacado nos gráficos, refere-se ao padrão estabelecido pela Resolução 375/2006 do Conama.

Gráfico 2 – Relação entre a densidade de coliformes termotolerantes em logNMP/gST e a umidade nas células de lodo digerido com e sem cal durante o Ciclo 1 (2a), Ciclo 2 (2b) e Ciclo 3 (2c)

Substâncias Inorgânicas (Íons Metálicos)

As concentrações dos íons metálicos monitorados, que sempre se mostraram abaixo dos padrões exigidos pela Resolução 375/2006 do Conama (MMA, 2006) mesmo no lodo bruto, não apresentaram alterações significativas quando comparados os três ciclos. E, nem mesmo a condição de se adicionar cal ou não ao material apresentou quaisquer diferenças. As médias obtidas entre os três ciclos, em todos os casos, foram sempre menores que a metade dos limites máximos estabelecidos pela legislação vigente. Exemplificando, mercúrio - 0,15mg/kg base seca, zinco - 541mg/kg base seca, chumbo - 17mg/kg base seca, e arsênio - 14mg/kg base seca, cujos limites são, respectivamente, 17mg/kg base seca; 2.800mg/kg base seca; 300mg/kg base seca e 41mg/kg base seca. Sendo assim, levando em consideração a concentração de íons metálicos, não há qualquer comprometimento do material quanto a sua utilização na agricultura.



CONCLUSÕES

Pode-se concluir, então, que a estufa agrícola apresentou-se como uma técnica bastante interessante para secagem e higienização de lodo nas condições testadas. A umidade do lodo diminuiu gradativamente ao longo do tempo sendo o material espalhado com altura de 10cm a forma de disposição que apresentou uma redução mais acelerada. Em relação aos parâmetros microbiológicos monitorados, coliformes termotolerantes, *salmonella* sp. e ovos de helmintos, percebeu-se que os valores obtidos à partir do 28º dia de monitoramento já se apresentavam compatíveis com os limites definidos na Resolução 375/2006 do Conama, independente de se adicionar cal ou não ao mesmo. Os valores de íons metálicos no lodo bruto já se apresentavam inferiores aos especificados pela resolução.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento dessa pesquisa só foi possível com o apoio de: CESAN, ODEBRECHET, FAPES, FACITEC, IFES e CAPES.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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. (Coord.). Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. 2. ed. Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, 2000. cap. 1, p. 11-26.
2. BOROWSKI, S.; SZOPA, J. S. Experiences with the dual digestion of municipal sewage sludge. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 1199–1207, 2007.
3. CHENG, H.; XU, W.; LIU, J.; ZHAO, Q.; HE, Y.; CHEN, G. Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turfgrass growth. *Ecological Engineering*, v. 29, p. 96-104, 2007.
4. COMPARINI, J. B. Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa. 2001. 278 f. Tese - (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
5. DUMONTET, S.; SCOPA, A.; KERJE, S.; KROVACEK, K. The importance of pathogenic organisms in sewage and sewage sludge. *Air & Waste Management Association*, v. 51, p. 848-860, 2001.
6. FERNANDES, F.; ANDREOLI, C.V.; DOMASZAK, S.C. Caracterização preliminar dos principais tipos de lodo de esgoto do Paraná para um programa de reciclagem agrícola. *Sanare*, v. 6, n. 6, p.15-21, 1996.
7. LAKE, D. L. Sludge disposal to land. In: LESTER, J. N. *Heavy metals in wastewater and sludge treatment process*. Boca Raton: CRC Press, 1987. v. 2, p. 91-130.
8. MALINA, J. F. Sludge handling, treatment and disposal. In: Seminário de Transferência de Tecnologia - Tratamento e destino final de lodo. 2., 1993, Rio de Janeiro. *Anais...Rio de Janeiro: Abes/WEF*, 1993. p. 1-12.
9. MALTA, L. R. S. *Otimização da estabilização cálcica do biossólido para uso agrícola. Estudo de caso: ETE Lavapés / São José dos Campos*. 2002. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
10. MMA – Ministério do Meio Ambiente. Resolução do Conama que dispõe sobre a Regulamentação do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: 30 set. 2006.
11. OUTWATER, A. B. *Reuse of sludge and minor wastewater residuals*. Florida: CRC Press, 1994. 179p.
12. RAMIREZ, A.; MALINA, J. F. Chemicals disinfect sludge. *Water and Sewage Works*, v. 127, n. 4, p. 52-5, 1980.
13. US EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Land application of sewage sludge and domestic septage – Process design manual*. EPA/625/R-95/001: Cincinnati, 1995. 290p.
14. _____. *Water biosolids/sewage sludge use and disposal*. EPA/822/F-92/002: Cincinnati, 2000.
15. WRIGHT, J. *Biosolid recycling and food safety issues*. *Environmental Science and Technology*, n. 15, p.43-78, 2001.