

II-202 - COMPORTAMENTO DE COLIFORME TERMOTOLERANTE E *SALMONELLA* sp. DURANTE SECAGEM EM ESTUFA AGRÍCOLA DE LODO DIGERIDO AEROBIAMENTE E DE LODO NÃO ENCAMINHADO AO DIGESTOR

Márcia Regina Pereira Lima⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES (1999) e Mestre em Engenharia Ambiental - UFES (2001). Professora da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) (Desde 2003).

Pedro Alem Sobrinho

Engenheiro Civil –EESC-USP (1967); Engenheiro Sanitarista –USP (1969); Master of Science in Public Health Engineering pela University of Newcastle upon Tyne - Newcastle upon Tyne – Inglaterra (1975); Doutor em Engenharia – EPUSP (1981); Prof. Titular do Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP. Consultor com participação em um grande número de projetos, no Brasil e na América Latina na área de tratamento de águas residuárias.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Vitória, 1721- Jucutuquara – Vitória- ES - CEP: 29040-780 - Brasil - Tel: +55(27) 3331-2237 - e-mail: marcialima@ifes.edu.br.

RESUMO

Este estudo avaliou a utilização de uma estufa agrícola na secagem, estabilização e higienização de lodo gerado em estação de tratamento de esgotos. Foram comparados os comportamentos de lodo submetido à digestão aeróbia e de lodo não encaminhado à digestão, gerados na mesma estação de tratamento, sob condições metodológicas específicas. Os parâmetros monitorados foram umidade, SV/ST, pH, coliformes termotolerantes e *Salmonella* sp.. Considerando o uso agrícola como a possível forma de disposição final do material, para avaliação dos parâmetros monitorados foram seguidos os padrões estabelecidos pela Resolução 375/2006 do Conama para lodo Classe A. Para as condições testadas, a estufa agrícola mostrou-se bastante eficiente, gerando um material Classe A, com tempo de secagem em torno de 28 dias, quando a umidade encontrava-se em torno de 21%, para ambos os lodos (lodo digerido e lodo não encaminhado ao digestor), segundo os indicadores monitorados.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo esgoto digerido, lodo esgoto não digerido, estufa agrícola, secagem de lodo e higienização de lodo.

INTRODUÇÃO

O lodo biológico gerado no tratamento das águas residuárias por processos biológicos aeróbios, é proveniente dos tanques de aeração e separado nos decantadores secundários. Neste caso, são chamados também de lodo secundário. É composto essencialmente de células bacterianas (biomassa) que se desenvolvem no interior do reator, no tratamento biológico da fase líquida, em virtude das condições ambientais favoráveis, especialmente o alimento (matéria orgânica) que é fornecido pelo esgoto afluente (TCHOBANOGLOUS; BURTON; STENSEL, 2002; US EPA, 1995). É normalmente gerado no tratamento secundário da fase líquida, em que pode ser removido mais de 85% de DBO e sólidos em suspensão (QASIM, 1999).

A importância de um gerenciamento adequado desse lodo é função dos seus componentes indesejáveis como é o caso dos microrganismos patogênicos, metais pesados (nos esgotos de origem doméstica se apresentam em pequenas quantidades) e poluentes orgânicos. Com relação aos organismos patogênicos presentes no lodo, US EPA (1995) afirma que as características da população servida com o SES e o processo de tratamento a que foi submetido o lodo estão diretamente associados à presença, à diversidade das espécies de organismos e ao número de agentes patogênicos que conferem riscos à saúde da população e, por isso, demandam uma atenção especial.

Dependendo das características e da destinação final do lodo, este deve passar por etapas específicas de tratamento como o adensamento, a digestão, o desaguamento e a higienização. Para a utilização do lodo na

agricultura, as etapas de estabilização e higienização são as mais importantes (WRIGHT, 2001). Essas etapas de tratamento vão garantir, entre outras coisas, a redução de patógenos, a estabilidade do lodo e a redução de vetores, como moscas, roedores e mosquitos, transmissores de doenças. Trata-se de procedimento fundamental para que o material atenda aos quesitos legais para essa forma de disposição final (BRASIL, 2006), em razão das características potencialmente perigosas que possui. O tratamento do lodo possibilitará também a redução do teor de água e, consequentemente, um material sólido em menor volume e estável, não constituindo perigo para a saúde das comunidades, mas podendo ser manipulado e transportado com facilidade e a baixo custo.

O lodo bruto (antes de passar por etapas de tratamento) gera, rapidamente, odores ofensivos, por ser rico em organismos facilmente putrescíveis. Esses, então, são submetidos a processos de estabilização que visam a controlar a decomposição da fração biodegradável da matéria orgânica presente, reduzindo a parcela de sólidos voláteis e, consequentemente, diminuindo a concentração de patógenos e, também, o risco de putrefação (BOROWSKI; SZOPA, 2007).

Os processos de estabilização podem ser divididos em: estabilização biológica, em que são utilizadas bactérias específicas na estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica; estabilização química, caso em que é adicionado produto químico para promover a oxidação química da matéria orgânica; e, por fim, a estabilização térmica, que é obtida com a ação do calor sobre a fração volátil do lodo (US EPA, 2003).

Entre esses procedimentos, o de estabilização biológica, pode ocorrer por processos biológicos de digestão anaeróbia e/ou digestão aeróbia, em condições ambientais favoráveis (BOROWSKI; SZOPA, 2007). A digestão reduz consideravelmente o número de patógenos no lodo, incluindo bactérias, protozoários, helmintos e vírus (US EPA, 2003). Isso faz com que as concentrações de organismos sejam bastante variadas em virtude do nível de tratamento a que o material for submetido.

Várias técnicas já foram estudadas com o intuito de aperfeiçoar a etapa de higienização, valorizando, principalmente, as condições locais da área de estudo como também a viabilidade econômica. No entanto, desenvolver técnicas com caráter sustentável, de simples operação e manutenção, que agregue vários conceitos e oportunidades simplificadas, podem ser descritas como sendo de grande interesse para a realidade de diversos países e localidades. Neste sentido, vários autores já apresentaram trabalhos utilizando-se das condições meteorológicas locais, principalmente, a potencialidade da energia solar na secagem de lodo gerado no tratamento dos esgotos (BENNAMOUN, 2012; MATHIOUDAKIS et al, 2009; SALIHOGLU; PINARLI; SALIHOGLU, 2007).

Este trabalho, então, procurou avaliar o decaimento de coliforme termotolerante e *Salmonella* sp., durante a secagem em estufa agrícola, de lodo de excesso gerado em ETE que tratam esgoto doméstico por processo biológico de lodos ativados, quando submetido à digestão aeróbia e quando não encaminhado ao digestor. O lodo passa rotineiramente por diversas etapas de tratamento, entre elas, digestão aeróbia com elevada demanda de custos com energia e manutenção dos equipamentos. Assim, a principal intenção deste estudo era apresentar uma técnica simplificada que pudesse promover a estabilização, higienização e redução do volume do lodo não encaminhado ao digestor, a partir da sua secagem, utilizando apenas a potencialidade da energia solar em manter temperaturas elevadas dentro de uma estufa agrícola, sem o uso de equipamentos sofisticado para elevação da temperatura. Cabe destacar que segundo Dumontet et al. (2001) e Bonnet, Lara e Domaszak (2000), teores de sólidos acima de 90% garantem a eliminação dos microrganismos patogênicos.

Nessas condições verificou-se a possibilidade de produzir um biossólido que atendesse aos padrões estabelecidos pela Resolução 375/2006 do Conama, para lodo Classe A (BRASIL, 2006), que estabelece condições para o uso agrícola do material.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na ETE Araçás (Vila Velha-ES, Brasil) que é dotada de gradeamento, medidor de vazão, caixa de areia, tratamento biológico (princípio do processo de lodos ativados) e desinfecção - tratamento da fase líquida; e digestão aeróbia, adensamento por gravidade e desaguamento por centrífuga, após o condicionamento com polímero - tratamento da fase sólida. Além da ETE Araçás, existem mais três ETE localizadas, também, na região metropolitana da Grande Vitória, com a mesma configuração, diferenciando

apenas no tocante à vazão afluente. São elas: ETE Mulembá (Vitória), Bandeirantes (Cariacica) e Aeroporto (Guarapari).

Para a pesquisa foram utilizados dois tipos de lodo: lodo digerido aerobiamente (Lodo A) que passou por todas as etapas de tratamento da fase sólida, efetuadas rotineiramente na ETE, e lodo não encaminhado ao digestor (Lodo B), que retirado do tanque de aeração/decantação (tratamento da fase líquida), e levado diretamente para o adensador por gravidade e em seguida para o desaguamento em centrífuga, após o condicionamento com polímero. A torta de lodo desaguada foi encaminhada para uma estufa agrícola que promoveu a secagem e higienização do material (FIG. 1). Com isso, pretendeu-se estudar o comportamento dos lodos e avaliar a possibilidade de excluir a digestão aeróbia no tratamento da fase sólida, minimizando gastos com operação e manutenção. A ETE trata esgoto tipicamente doméstico.

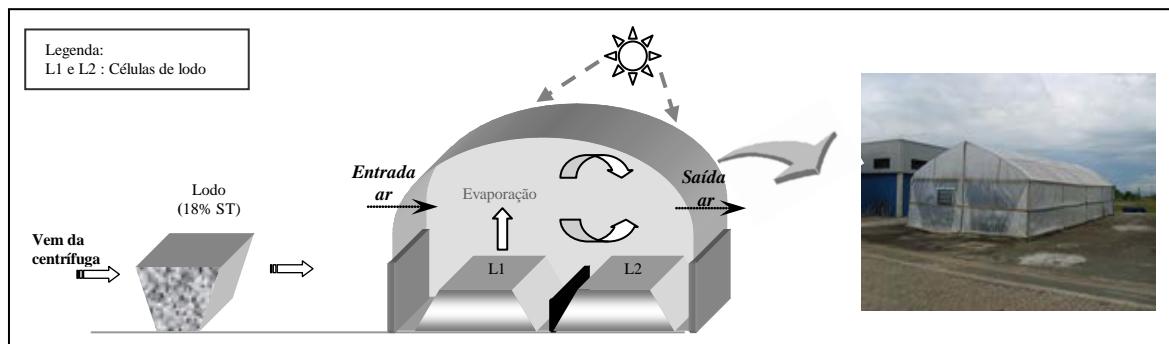


Figura 1. Disposição das células de lodo dentro da estufa para o desenvolvimento da pesquisa e vista externa da estufa

A estufa agrícola utilizada na pesquisa possuía 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 era de material impermeável (pavimentação asfáltica) e 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, nos primeiros dias do experimento, foram feitas aberturas nas laterais da estufa que eram mantidas abertas durante o dia e fechadas à noite.

Condições metodológicas: nos primeiros 14 dias as tortas de lodo foram espalhadas com altura de 10cm, revolvidas três vezes por semana e, após o 14º dia, foram formadas leiras com 50cm de altura, revolvidas uma vez por semana. Nos dois casos o experimento foi realizado em duplicatas (L1 e L2), como mostram as FIG. 1 e 2. Os testes 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 dos microrganismos patogênicos.

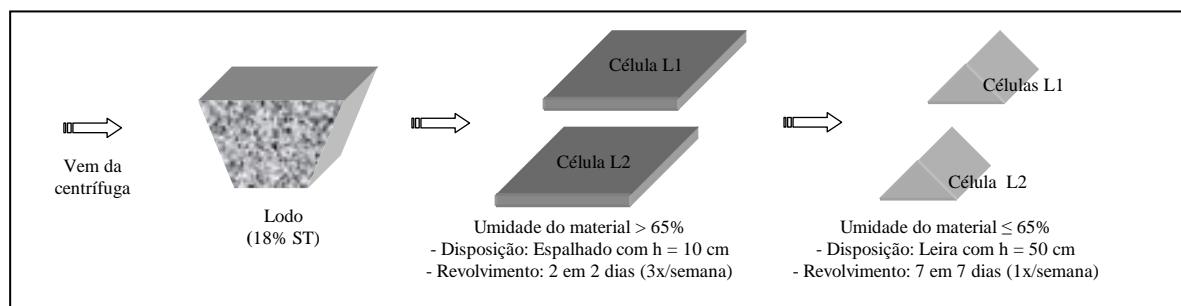


Figura 2. Disposição do lodo nas células e período de revolvimento

Períodos de testes: 29/01 a 09/04/2007 (Lodo A – Lodo Digerido Aerobiamente) e 12/12/2007 a 20/02/2008 (Lodo B – Lodo não Encaminhado ao Digestor).

Parâmetros monitorados: umidade, sólidos voláteis (SV/ST) e pH, monitorados de 7 em 7 dias; *Salmonella* sp. e coliforme termotolerante (CTt), monitorados de 15 em 15 dias. Foram monitoradas também, as temperaturas dentro e fora da estufa. Para a determinação dos parâmetros monitorados durante a pesquisa

foram realizadas análises em triplicatas. Os métodos analíticos utilizados seguiram as orientações apresentadas na Resolução 375/2006 do Conama (BRASIL, 2006).

Acreditando ser o uso agrícola uma das possíveis formas de disposição final do biossólido, o processo a ser estudado visa promover a redução do volume, a destruição dos microrganismos patogênicos e a redução dos odores. Assim, os padrões pretendidos são os exigidos para lodo “Classe A” segundo a Resolução 375/2006 do Conama (BRASIL, 2006). Neste caso, o material deve apresentar, entre outras condições, densidade de Coliformes Termotolerantes abaixo de 10^3 NMP/g ST (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais) e ausência de *Salmonella* sp. em 10 g de ST.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o desenvolvimento da pesquisa, buscou-se observar características específicas do material por se tratar de lodos diferentes. As características físicas apresentadas pelo Lodo A (Lodo Digerido) foram satisfatórias para possibilitar grande facilidade no seu manuseio, não apresentando problemas que pudessem dificultar a montagem e o preparo das células de lodo dentro da estufa. Também, não ocorreu nenhum inconveniente decorrente do surgimento de odores ofensivos, causados pela putrefação de organismos presentes no lodo, mostrando que se tratava de material com elevado nível de estabilização. Já com relação ao Lodo B (lodo não submetido à digestão), pressupõe-se, inicialmente, que exalaria cheiro desagradável pelo excesso de material ainda instável e que isso dificultaria a montagem das células de lodo, principalmente, em razão de o trabalho ser executado manualmente. No entanto, a sua manipulação foi realizada de forma tranquila e o odor emanado foi suportável, sem prejuízo para um adequado manuseio e operacionalidade da pesquisa.

Variação da temperatura dentro e fora da estufa

A estufa utilizada no experimento possibilitou temperaturas internas com valores máximos horários acima de 50°C (externa acima de 34°C), e os mínimos horários sempre superiores a 20°C (externa acima de 14,2°C), mesmo estando a temperatura externa, em alguns momentos, abaixo de 15°C. Considerando apenas os valores médios de temperatura obtidos dentro da estufa durante 24 horas, a partir de 10 horas da manhã, essas já se encontram acima de 34°C, mantendo-se elevadas até, aproximadamente, 18 horas. Dessa forma, a estufa possibilita a manutenção de temperaturas internas elevadas mesmo em horários quando a externa já apresenta valores bem mais inferiores (FIG. 3). Condições semelhantes de variação de temperatura dentro da estufa foram também observadas por Comparini (2001) em pesquisa realizada na cidade de Franca (SP – Brasil),

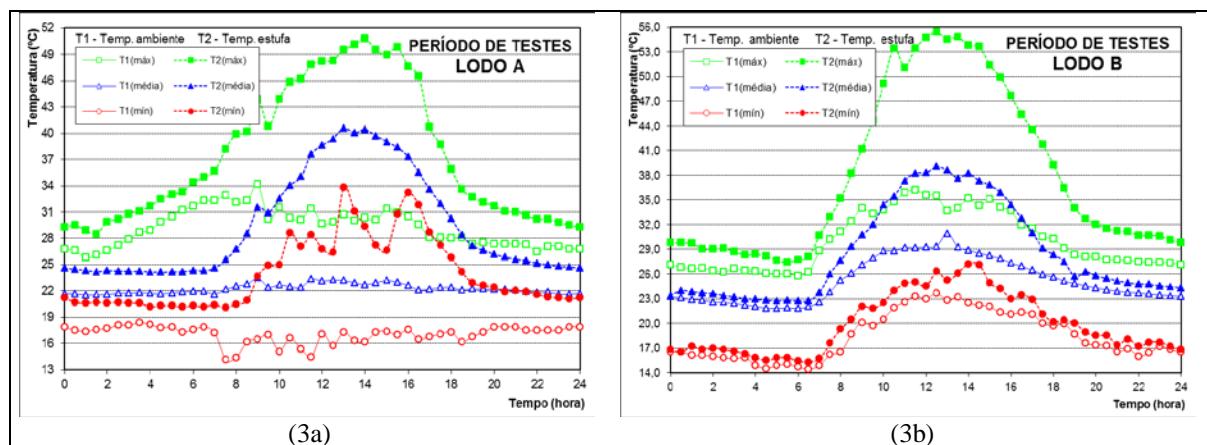


Figura 3 - Variação da temperatura durante o período de testes – Lodo A (3a) e Lodo B (3b)

Umidade, SV/ST, pH

A variação da umidade apresentou o mesmo comportamento tanto para o Lodo A (lodo digerido), quanto para o Lodo B (lodo não encaminhado ao digestor) (TAB. 1 e FIG. 4a). As curvas apresentadas na FIG. (4a) indicam que existiram três fases distintas na remoção da umidade. Num primeiro momento há uma dificuldade do material perder umidade (até aproximadamente 70%), num segundo ocorre uma redução bastante acentuada deste parâmetro (até 20%) e num terceiro, novamente, há uma dificuldade na perda de umidade. Com a umidade 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, pela 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. Isso ocorreu, possivelmente, pela maior porosidade do material possibilitando uma melhor circulação do ar nas células de lodo. Quando a umidade atingiu 20% a dificuldade na sua remoção pode ter ocorrido pelo fato da água residual estar aderida às partículas sólidas do lodo.

O valor de SV/ST do Lodo A (lodo digerido) encontrava-se em torno de 60%, caracterizando bom nível de digestão, enquanto o do Lodo B (lodo não encaminhando ao digestor), 79% que representa um lodo não digerido, considerando que o lodo com bom nível de digestão deve apresentar valores de SV/ST em torno de 60% (US EPA, 1995; MALINA, 1993) (TAB. 1 e FIG 4b). Nos dois casos (Lodo A e Lodo B), foi possível perceber o potencial da estufa em contribuir para o processo de estabilização do lodo, ocasionado, principalmente, pela redução da umidade (BOROWSKI; SZOPA, 2007). Ficou evidenciado que ocorreu uma redução gradual nos valores SV/ST que chegou a atingir um abatimento de até 30% (Lodo A) e 50% (Lodo B) do valor inicial, em face da continuidade do processo de estabilização ocasionado, principalmente, pela redução da umidade (BOROWSKI; SZOPA, 2007).

O pH do Lodo A era inicialmente 6,3 mantendo-se entre 5 e 6 à partir do 14º dia, atingindo ao final do experimento valor médio próximo a 5,2. Para o Lodo B, os valores de pH eram inicialmente 7,3, permanecendo próximo a 7 até o 42º dia, passando, a partir daí, a apresentar valores entre 6 e 7, chegando ao final com média de 6,4 (TAB. 1 e FIG. 4c). As variações apresentadas dos valores de pH podem ser atribuídas à atividade microbiana remanescente no lodo.

Tabela 1 – Valores de umidade, SV/ST e pH dos Lodos A e B durante o período do experimento

Tempo (dia)	Lodo A – Lodo Digerido Aerobiamente								pH			
	Umidade (%)				SV/ST (%)							
	L1	L2	Media	DP	L1	L2	Media	DP	L1	L2	Media	DP
0	84,41	84,00	84,20	0,29	59,19	59,35	59,19	0,11	6,25	6,25	6,25	0,00
7	77,38	76,58	76,98	0,56	57,87	58,12	58,00	0,18	6,47	6,36	6,42	0,08
14	51,03	41,62	46,33	6,65	57,82	55,37	56,59	1,73	5,38	5,41	5,40	0,02
28	27,07	14,63	20,85	8,80	54,44	55,97	55,20	1,08	5,00	5,43	5,22	0,30
35	28,51	13,66	21,09	10,50	52,49	47,33	49,91	3,65	5,32	5,93	5,63	0,43
42	13,94	6,66	10,30	5,15	50,01	51,69	50,85	1,18	5,16	5,38	5,27	0,16
49	14,77	8,83	11,80	4,20	44,13	45,24	44,68	0,79	5,37	5,73	5,55	0,25
56	9,15	6,67	7,91	1,75	44,88	43,91	44,39	0,69	5,21	5,34	5,28	0,09
63	8,64	7,40	8,02	0,88	43,18	41,75	42,47	1,02	5,00	5,34	5,17	0,24
70	5,73	5,58	5,65	0,11	43,93	44,49	44,21	0,40	5,18	5,25	5,22	0,05
Lodo B – Lodo não Encaminhado ao Digestor												
0	89,12	89,12	89,12	0,00	78,80	78,80	78,80	0,00	7,28	7,28	7,28	0,00
7	77,64	80,34	78,99	1,91	55,23	64,48	59,85	6,55	6,21	6,33	6,27	0,08
14	53,55	58,97	56,26	3,84	51,05	55,60	53,32	3,22	7,13	7,18	7,16	0,04
21	39,10	36,34	37,72	1,95	43,44	52,56	48,00	6,45	7,40	7,00	7,20	0,28
28	18,83	24,51	21,67	4,01	51,42	56,44	53,93	3,56	7,02	7,14	7,08	0,08
35	26,79	20,93	23,86	4,15	40,72	49,57	45,14	6,26	7,24	6,99	7,12	0,18
42	12,05	12,14	12,09	0,07	49,65	56,73	53,19	5,00	6,78	6,60	6,69	0,13
49	16,43	12,91	14,67	2,49	38,33	47,50	42,92	6,48	6,22	5,93	6,08	0,21
63	11,37	10,92	11,15	0,32	39,98	44,18	42,08	2,98	6,53	6,39	6,46	0,10
70	5,93	6,29	6,11	0,26	36,02	43,92	39,97	5,59	6,44	6,36	6,40	0,06

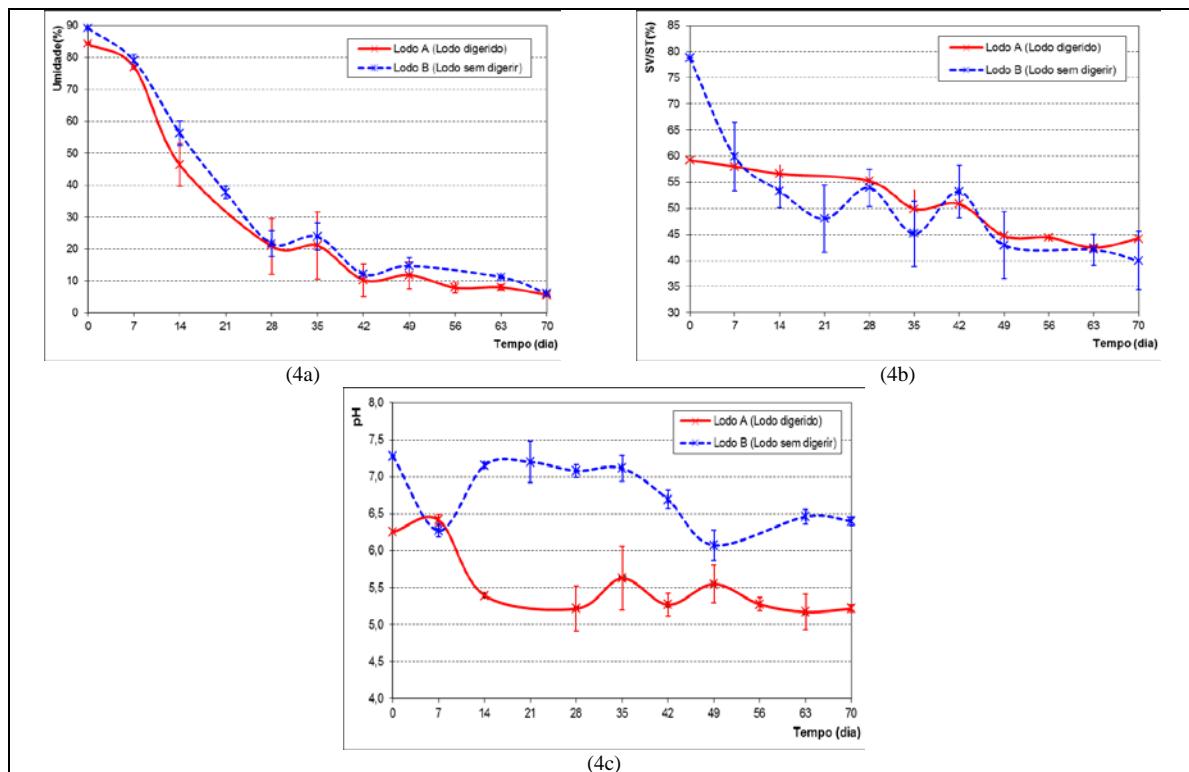


Figura 4 – Comportamento do Lodo A e do Lodo B ao longo do experimento – Umidade (4a), SV/ST (4b) e pH (4c)

Coliforme termotolerante (CTt) e *Salmonella* sp.

Diferentemente do Lodo A, o Lodo B utilizado no experimento, apresentou densidade de CTt mais elevadas (FIG. 5). Percebe-se com isso que, pelo fato de o lodo não ter sido submetido à digestão aeróbica, as características apresentadas mostram que esse lodo demanda uma atenção especial para a sua disposição final adequada.

No entanto, de acordo com Silva S. M. C. P. *et al.* (2001), Smith (1996), Thomaz-Soccol, Paulino e Castro (1997) e US EPA (2003), a sobrevivência dos microrganismos presentes no lodo é afetada por diversos fatores, entre os quais a umidade. Os decaimentos de CTt confirmam as informações relatadas por esses pesquisadores. As densidades apresentadas nas amostras coletadas no 28º dia já eram inferiores ao padrão Conama, tanto para o Lodo A quanto para o Lodo B, quando a umidade média, para ambos os lodos, encontrava-se em torno de 20% (FIG. 5). Porém, acredita-se que a umidade poderia ser ainda maior em razão do intervalo de tempo entre as coletas ter sido de 14 dias e, no caso do Lodo A, as densidades de CTt apresentadas no 14º dia, já eram reduzidas.

Na pesquisa realizada por Comparini (2001), que utilizou lodo digerido anaeróbico, na cidade de Franca-SP, foram monitorados coliformes totais e *E. coli*. Concentrações de *E. coli* inferiores a 10^3 NMP/gST foram conseguidas apenas com teores de umidade abaixo de 10%. Isso pode ter ocorrido, provavelmente, devido ao tipo de lodo e das diferentes características entre as duas regiões onde foram desenvolvidas as pesquisas. Vale destacar que a concentração de *E. coli* do lodo utilizado no experimento se apresentava com ordem de grandeza de 10^5 NMP/gST.

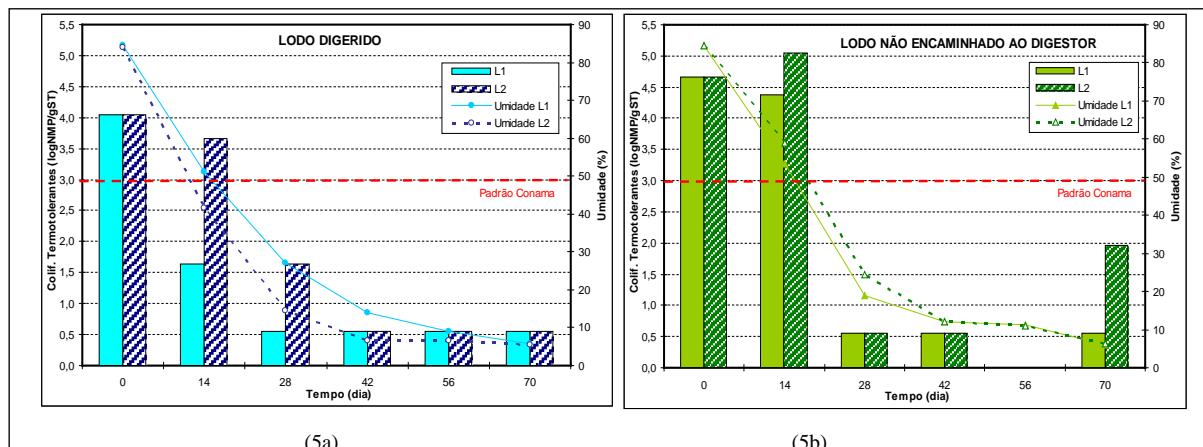


Figura 5 - Comportamento de coliformes termotolerantes do lodo digerido (5a) e do lodo não encaminhado ao digestor (5b), durante secagem e higienização em estufa agrícola

Nota: Não foi realizada coleta de amostras do lodo não encaminhado ao digestor no 56º dia.

O padrão estabelecido pela Resolução no 375/2006 do Conama (BRASIL, 2006) para o monitoramento de *Salmonella* sp. em lodo de esgoto é a sua ausência/10gST (TAB. 2). Assim, os resultados apresentados foram apenas qualitativos, indicando a sua ausência ou não nas amostras analisadas.

O Lodo A (lodo digerido) apresentou ausência de *Salmonella* sp. na amostra da célula L1, no 28º dia quando a umidade média estava em torno de 21% e, na da célula L2, esse fato ocorreu num tempo menor, 14º dia, com umidade média de 41%. No caso de o lodo da célula L1, é possível que a ausência de *Salmonella* sp. tenha ocorrido com umidade ainda maior, em razão de não ter sido efetuada análise no 21º dia. Já o Lodo B (lodo não encaminhado ao digestor), a presença dessa bactéria ocorreu apenas nas amostras no tempo 0. No 14º dia, com umidade média de 56%, foi confirmado a ausência deste organismo (TAB. 2). O comportamento da *Salmonella* sp. confirmou os relatos apresentados por diversos autores, apresentando fragilidade aos processos que incluem radiação solar e desidratação (FEACHEM et al., 1983; US EPA, 1995; SMITH, 1996; THOMAZ-SOCCOL; PAULINO; CASTRO, 1997; SILVA, S. M. C. P. et al., 2001).

Na pesquisa desenvolvida por Comparini (2001), a pior situação em relação ao monitoramento de *Salmonella* sp., foi a detecção da sua presença com a umidade do lodo em torno de 23%. No entanto, foi percebido o reaparecimento de *Salmonella* sp., após três amostras subsequentes com ausência, em amostra com cerca de 10% de umidade. O pesquisador atribuiu a agentes externos às recontaminações ocorridas durante o experimento.

Tabela 2 – Ocorrência de *Salmonella* sp. dos Lodos A e B durante o período do experimento

Tempo (dias)	SALMONELLA SP. (em 10 g)			
	Lodo A – Lodo Digerido		Lodo B – Lodo não Encaminhado ao Digestor	
	L1	L2	L1	L2
0	presença	presença	presença	presença
14	presença	ausência	ausência	ausência
28	ausência	ausência	ausência	ausência
42	ausência	ausência	ausência	ausência
56	ausência	ausência	NC	NC
70	ausência	ausência	ausência	ausência

Nota: NC – Não foi realizada coleta de amostra.

O comportamento apresentado pelos organismos CTt e *Salmonella* sp. durante o desenvolvimento da pesquisa, mostraram claramente a potencialidade da estufa agrícola na higienização do lodo. Considerando uma avaliação global para enquadramento do lodo como Classe A, neste caso, isso seria possível com um tempo de secagem em torno de 28 dias, quando a umidade encontrava-se em torno de 21%, tanto para o Lodo A quanto para o Lodo B.

CONCLUSÕES

A estufa agrícola se apresentou como uma técnica bastante interessante para secagem e higienização do lodo gerado em Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos, independentemente de ele ter passado ou não pela etapa de digestão. Pode-se destacar:

- A estufa utilizada no experimento possibilitou temperaturas internas elevadas, acima de 50°C. A partir de 10 horas da manhã, essas já se encontram acima de 34°C, mantendo-se elevadas até, aproximadamente, 18 horas.
- A redução da umidade foi bastante acentuada após atingir valor de 70%, sendo que em 21 dias a umidade chegou a valores próximos a 20%. Umidades em torno de 10% foram conseguidas com 42 dias de experimentação.
- O valor de SV/ST do Lodo A (lodo digerido) encontrava-se em torno de 60%, caracterizado como bom nível de digestão, e o do Lodo B (lodo não encaminhando ao digestor), 79% que representa um lodo não digerido. Nos dois casos (Lodo A e Lodo B), ficou evidenciado que ocorreu uma redução gradual nos valores SV/ST que chegou a atingir um abatimento de até 30% (Lodo A) e 50% (Lodo B) do valor inicial.
- O pH do Lodo A era inicialmente 6,3, atingindo ao final do experimento valor médio próximo a 5,2. Para o Lodo B, os valores de pH eram inicialmente 7,3, permanecendo próximo a 7 até o 42º dia, passando, a partir daí, a apresentar valores entre 6 e 7, chegando ao final com média de 6,4.
- Os organismos CTt e *Salmonella* sp. mostraram claramente a potencialidade da estufa agrícola na higienização do lodo. O enquadramento do lodo como Classe A foi possível com um tempo de secagem em torno de 28 dias, quando a umidade encontrava-se em torno de 21%, tanto para o Lodo A quanto para o Lodo B.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BENNAMOUN, L. Solar drying of waterwater sludge: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, p. 1061-1073, 2012.
2. 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.
3. BOROWSKI, S.; SZOPA, J. S. Experiences with the dual digestion of municipal sewage sludge. *Bioresource Technology*, v. 98, p. 1199–1207, 2007.
4. BRASIL - 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. 2011.
5. 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, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
6. 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.
7. FEACHEM, R. G., BRADLEY, D. J., GARELICK, H.; MARA, D. D. *Sanitation and disease - Health aspects of excreta and wastewater management*. John Wiley and Sons, Chichester, UK. 1983.
8. MALINA, J. F. Anaerobic digestion. In: II Seminário de transferência de tecnologia/tratamento e destino final do lodo. Rio de Janeiro. *Anais...*: Rio de Janeiro. Abes/WEF, 1993. p. 36-44.
9. MATHIOUDAKIS, V. L.; KAPAGIANNIDIS, A. G.; ATHANASOULIA, E.; DIAMANTIS, V. I.; MELIDIS, P.; AIVASIDIS, A. Extended dewatering of sewage sludge in solar drying plants. *Desalination*, v. 248, p. 733-739, 2009.

10. QASIM, S. R. *Wastewater treatment plants – Planning, design and operation*. Florida, USA: CRC Press LLC, 1999. 1107p.
11. SALIHOGLU, N. K.; PINARLI, V.; SALIHOGLU, G. Solar drying in sludge management in Turkey. *Renewable Energy*, v. 32, p. 1661-1675, 2007.
12. SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; THOMAZ-SOCCOL, V.; MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. *Lodo de esgoto: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. v. 6, cap. 3, p. 69-121.
13. SMITH, S.R. *Pathogenic organisms in agricultural recycling of sewage sludge and the environment*. CAB International, Wallingford, UK, 1996.
14. TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. 4rd ed. Metcalf & Eddy, Inc. New York: McGraw Hill, 2002. 1848p.
15. THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Helminth eggs viability in sewage and biosolids sludge in Curitiba, Paraná, Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 40, n. 4, p. 829-836, 1997.
16. US EPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Land application of sewage sludge and domestic septic – Process design manual*. EPA/625/R-95/001: Cincinnati, 1995. 290p.
17. WRIGHT, J. Biosolid recycling and food safety issus. *Environmental Science and Technology*, n. 15, p.43-78, 2001.