

KETTY DEL ROSÁRIO VILORIA ARGEL

**CARACTERIZAÇÃO DE CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO A PERIGOS
MICROBIOLÓGICOS RELACIONADOS AO USO AGRÍCOLA DE
BIOSSÓLIDOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

V762c
2010

Viloria Argel, Ketty del Rosário, 1967-

Caracterização de cenários de exposição a perigos micro-
biológicos relacionados ao uso agrícola de biossólidos /
Ketty del Rosário Viloria Argel. – Viçosa, MG, 2010.
xviii, 92f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Paula Dias Bevilacqua.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 81-92.

1. Micro-organismos patogênicos. 2. Lodo residual como
fertilizante. 3. Solos - Contaminação. 4. Brasil. [Resolução
n. 376, de 24 de outubro de 2006]. I. Universidade Federal
de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 636.89692

KETTY DEL ROSÁRIO VILORIA ARGEL

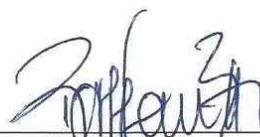
**CARACTERIZAÇÃO DE CENÁRIOS DE EXPOSIÇÃO A PERIGOS
MICROBIOLÓGICOS RELACIONADOS AO USO AGRÍCOLA DE
BIOSSÓLIDOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

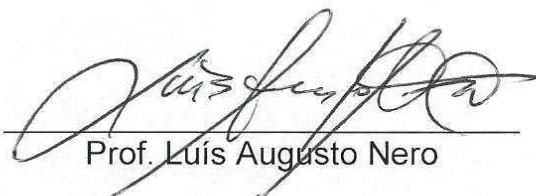
APROVADA: 24 de março de 2010.



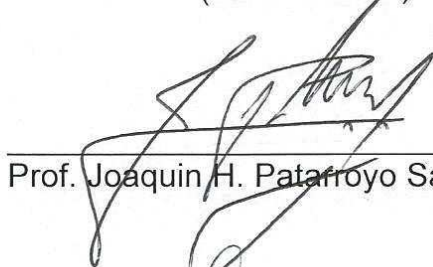
Profa. Maria Aparecida S. Moreira
(Coorientadora)



Prof. Rafael Kopschitz Xavier Bastos
(Coorientador)



Prof. Luís Augusto Nero



Prof. Joaquin H. Patarroyo Salcedo



Profa. Paula Dias Bevilacqua
(Orientadora)

Aos meus filhos, Fernando e Verônica,
e ao meu marido Enrique,
que sempre me apoiaram e ajudaram
a transformar meus sonhos em realidade.

AGRADECIMENTOS

Todos os dias, a DEUS, pelo amor incondicional.

À professora Paula Dias Bevilacqua, pela orientação, pela disposição, pelos ensinamentos, pelos incentivos e pela paciência nos momentos necessários durante a realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Veterinária, pela oportunidade de realizar o Mestrado.

Aos funcionários e colegas da Divisão de Água e Esgoto, à Regiane, ao Luís Eduardo, pela disponibilidade do laboratório e da compra dos materiais para realização desta pesquisa, pelo convívio, pela colaboração e pela amizade.

À Rosi, pela atenção, pela dedicação e pelo auxílio nas questões burocráticas.

Ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa (SAAE), pelo apoio para o desenvolvimento do trabalho.

A José Silvério Lopes Rosado, por ser tão prestativo e pelo auxílio nas coletas na Violera.

Aos amigos da Engenharia Ambiental e Biologia, Tiago, Edgard, Alyne, Maísa e Luciana, pela colaboração e amizade, sem a qual não teria sido possível a conclusão desta pesquisa.

Ao amigo Flavio Barony, pela parceria no trabalho, pela paciência e dedicação em ajudar e ensinar e sem o qual parte desse trabalho não teria sido possível.

À Grazielle, pela colaboração e amizade durante todo ou desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus familiares, que entenderam os momentos de minha ausência.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

BIOGRAFIA

KETTY DEL ROSÁRIO VILORIA ARGEL, filha de Jose de los Santos Viloria Zabala e Ana Susana Argel Hernandez, nasceu aos 29 dias do mês de janeiro, do ano de 1967, no município de Puerto Escondido, Córdoba, Colômbia.

Concluiu o ensino fundamental em 1986, no Colégio INEM, em Monteria, Córdoba, Colômbia.

Em 1988, ingressou no curso de Medicina Veterinária da Universidade de Córdoba, Colômbia, finalizando-o em agosto de 1993.

Em março de 2008, ingressou, no Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária da Universidade Federal de Viçosa, em nível de mestrado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Os primeiros registros do esgotamento sanitário	4
2.2. O surgimento das estações de tratamento de esgotos	6
2.3. Aspectos do esgotamento sanitário no Brasil	8
2.4. Uso de esgotos na agricultura	10
2.5. Uso de lodos de esgoto e bio sólidos na agricultura	11
2.6. Características físicas e químicas dos lodos de esgotos e dos bio sólidos	13

	Página
2.7. Características microbiológicas dos lodos de esgotos e biossólidos	14
2.7.1. Helminthos	17
2.7.2. <i>Escherichia coli</i>	18
2.7.3. <i>Salmonella</i> spp.	19
2.8. Tratamento de lodos de esgoto para fins de uso agrícola	21
2.8.1. Estabilização alcalina ou caleação	23
2.8.2. Solarização (secagem em estufa agrícola)	26
2.9. Normas para uso agrícola de biossólidos	28
2.9.1. Regulamentação norte americana	29
2.9.2. Regulamentação europeia	32
2.9.3. Legislação brasileira	33
2.9.4. Avaliação comparativa entre as legislações dos Estados Unidos, Comunidade Europeia e do Brasil	35
3. OBJETIVOS	38
3.1. Objetivo geral	38
3.2. Objetivos específicos	38
4. MATERIAL E MÉTODOS	39
4.1. Lodo de esgoto utilizado no experimento	39
4.1.1. Amostragem do lodo não tratado	40
4.2. Decaimento microbiano em biossólidos higienizados por solarização e caleação em experimento de campo	41
4.2.1. Higienização do lodo	41
4.2.2. Coleta de amostras em biossólidos caleado e solarizado ..	43
4.2.3. Análises laboratoriais	43

	Página
4.2.3.1. Parâmetros físicos e químicos	43
4.2.3.2. Parâmetros microbiológicos	45
4.3. Decaimento microbiano em misturas de biossólido com solo em experimentos de bancada	47
4.3.1. Delineamento experimental	47
4.3.2. Coleta de amostras no experimento de bancada	49
4.4. Análises laboratoriais	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1. Avaliação do decaimento microbiano em biossólidos higienizados por caleação e solarização, em experimento de campo	50
5.1.1. Caracterização física e química	50
5.1.2. Caracterização microbiológica	56
5.2. Avaliação do decaimento microbiano em biossólidos higienizados por caleação e solarização, em experimentos de bancada	63
5.2.1. Caracterização física e química	65
5.2.2. Caracterização microbiológica	72
6. CONCLUSÕES	80
REFERÊNCIAS	81

LISTA DE TABELAS

		Página
1	Pesquisas e medidas saneadoras na Inglaterra do século XIX ...	6
2	Primeiras estações de tratamento de esgotos construídas na Inglaterra e nos EUA	7
3	Patógenos encontrados em lodo de esgoto e principais sintomas e doenças	16
4	Concentrações de ovos de helmintos em lodos digeridos	18
5	Disposição final de bioossólidos nos Estados Unidos e na Europa	29
6	Limites para ovos e helmintos, coliformes termotolerantes, <i>Salmonella</i> e vírus em lodos, segundo Resolução CONAMA 375/2006	33
7	Padrões microbiológicos de bioossólidos para aplicação e uso agrícola segundo as legislações dos Estados Unidos, Reino Unido e Brasil	36
8	Número de ovos viáveis de helmintos nos lotes de lodos, segundo o tipo de tratamento e o período de monitoramento	60
9	Resultados dos parâmetros monitorados nas amostras das misturas de solo + bioossólido caleado	64
10	Resultados dos parâmetros monitorados nas amostras das misturas de solo + bioossólido solarizado	64

11	Valores de decaimento microbiano (Kb) para coliformes totais, segundo as combinações de solo + biossólidos caleado e solarizado	75
12	Valores de decaimento microbiano (Kb) para ovos de helmintos .	78

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	ETE Violeira, Viçosa, MG: (A) Reator UASB + biofiltro e leitos de secagem cobertos; e (B) Detalhe dos leitos de secagem	40
2	Estufa agrícola para solarização de lodos, ETE Violeira, Viçosa, MG	42
3	Estufa agrícola com lodo caleado coberto com lona plástica, ETE Violeira, Viçosa, MG	42
4	Vasos plásticos contendo as misturas biossólido + solo, nas dependências do Laboratório de Controle da Qualidade da Água da Divisão de Água e Esgotos (DAG/UFV)	48
5	Valores de pH em biossólidos caleado (A) e solarizado (B), ao longo do período de monitoramento	52
6	Valores de umidade em biossólidos caleado (A) e solarizado (B), ao longo do período de monitoramento	54
7	Valores de sólidos totais em biossólidos caleado (A) e solarizado (B), ao longo do período de monitoramento	55
8	Concentração de coliformes totais no biossólido solarizado, ao longo do período de monitoramento	58
9	Concentração de <i>E. coli</i> no biossólido solarizado, ao longo do período de monitoramento	58

10	Número de ovos viáveis de helmintos em bioossólidos caleado (A) e solarizado (B), ao longo do período de monitoramento	61
11	Valores de pH nas misturas de solo + bioossólidos caleado (A) e solarizado (B)	66
12	Valores de umidade nas misturas de solo + bioossólidos caleado (A) e solarizado (B)	68
13	Valores de sólidos totais nas misturas de solo + bioossólidos caleado (A) e solarizado (B)	70
14	Valores médios de umidade segundo as combinações de solo + bioossólidos caleado e solarizado	71
15	Concentrações de coliformes totais nas misturas de solo + bioossólidos caleado (A) e solarizado (B)	73
16	Concentrações de <i>E. coli</i> nas misturas de solo + bioossólido solarizado	74
17	Concentrações de ovos viáveis de helmintos nas misturas de solo + bioossólidos caleado (A) e solarizado (B)	76
18	Valores médios de ovos de helmintos, segundo as combinações de solo + bioossólidos caleado e solarizado	77

LISTA DE ABREVIATURAS

a.C. – Antes de Cristo.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.

EPA – Environmental Protection Agency.

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto.

EUA – Estados Unidos da América.

FEAM-MG – Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais.

FGTS – Fundo de Garantia do Tempo de Serviço.

g – grama.

gMS – grama de matéria seca.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

kg – quilograma.

MS – Matéria seca.

NMP – Número mais provável.

OMS – Organização Mundial da Saúde.

PLANASA – Plano Nacional de Saneamento.

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios.

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico.

SAAE – Superintendência de Água e Esgoto.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

ST – Sólidos totais.

SV – Sólidos voláteis.

RESUMO

ARGEL, Ketty del Rosario Vilorio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2010. **Caracterização de cenários de exposição a perigos microbiológicos relacionados ao uso agrícola de biossólidos.** Orientadora: Paula Dias Bevilacqua. Coorientadores: Maria Aparecida S. Moreira e Rafael Kopschitz Xavier Bastos.

O lodo de esgoto é o principal resíduo produzido nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Entre os destinos possíveis, o uso agrícola de biossólidos, nome este que caracteriza o lodo de esgoto submetido a processo de higienização, apresenta vantagens produtivas e de redução de custos; contudo, há preocupação com a possibilidade de contaminação ambiental e risco de transmissão de doenças por microrganismos patogênicos. Este trabalho teve como objetivos avaliar o decaimento de organismos patogênicos em lodo de esgoto higienizado por solarização e caleação, em escala real, e estimar o tempo de permanência dos microorganismos em solos adubados com biossólido em experimentos de bancada. O lodo de um reator UASB era descartado quinzenalmente em leitos de secagem. Foram acompanhados três lotes diferentes, dos quais amostras foram coletadas para análise de parâmetros microbiológicos, a cada sete dias, até alcançar características de biossólido classe B, conforme especificação da CONAMA 375/2006. Os

parâmetros monitorados foram: sólidos totais, pH, umidade, coliformes totais, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp. e ovos de helmintos. Nos experimentos de bancada, foram realizadas misturas na proporção de 75, 50 e 25% de biossólido com solo, além de um tratamento sem biossólido. Os tratamentos foram colocados em vasos com capacidade de 2 kg, com três repetições, e submetidos à irrigação semanal de 100 mL. Os resultados indicaram que a higienização foi mais rápida, quando foi aplicado o processo de caleação. Além disso, constatou-se, nos experimentos de bancada, que as misturas biossólido + solo caleado apresentaram drástica redução dos microrganismos patogênicos remanescentes, mesmo após o processo de higienização. As concentrações encontradas aos 90 dias do tratamento, com 75% de biossólido, foram de $1,85 \times 10^2$ NMP/g de S.T para coliformes totais; ausência de *E. coli*, desde o princípio do monitoramento; e 0,07 ovos de helmintos por g de S.T. No tratamento com 75% de biossólido solarizado, foram encontradas, aos 90 dias, concentrações de coliformes totais de $5,15 \times 10^4$ NMP/g de S.T.; ausência de *E. coli* no final do experimento; e ovos de helmintos entre 0,48 e 0,12 ovos por g S.T. Os resultados obtidos indicam que há eficiência em ambos os processos de higienização e continuidade na redução de patógenos, mesmo após a sua aplicação no solo, o que ratifica a sua viabilidade para o uso agrícola.

ABSTRACT

ARGEL, Ketty del Rosário Vilorio, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2010. **Characterization of scenarios of exposure of microbiological hazards related to the agricultural use of biosolids.** Adviser: Paula Dias Bevilacqua. Co-advisers: Maria Aparecida S. Moreira and Rafael Kopschitz Xavier Bastos.

Sewage sludge is the major residue produced in Sewage Treatment Stations (STS). One of its possible applications, agricultural use of biosolids - a term which characterizes sewage sludge submitted to hygienization process - presents productive and reduced cost advantages. However, there is a concern of environmental contamination and risk of disease transmission through pathogenic microorganisms. This work aimed to evaluate the decay of pathogenic organisms in hygienized sewage sludge by solarization and lime addition, at field scale, and to estimate the time of permanence of microorganisms in soils fertilized by biosolids in experiments in laboratory conditions. Sewage sludge from a UASB reactor was fortnightly disposed in drying beds and three different lots were monitored, out of which samples were collected for analysis of microbiological parameters every seven days until class B biosolid characteristics were reached, following CONAMA 375/2006 specifications. The parameters monitored were: total solids, pH, humidity, total

coliforms, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp. and helminth eggs. Mixtures in the proportion of 75, 50 and 25% of biosolid with soil were prepared in the laboratory experiments, besides a biosolid treatment. The treatments were placed in 2 kg vases, with 3 repetitions, and submitted to 100 mL irrigation, weekly. The results indicated that hygienization was faster when the lime addition process was applied. Besides, the laboratory experiments confirmed that the biosolid+limed soil mixtures presented a drastic reduction of the remaining pathogenic microorganisms, even after hygienization. The concentrations found at 90 days of treatment with 75% of biosolid were 1.85×10^2 NMP/g of S.T. (?) for total coliforms, absence of *E. coli* since the start of monitoring and 0.07 helminth eggs per g of S.T. (?) In the treatment with 75% of solarized biosolid, total coliform concentrations of 5.15×10^4 NMP/g of S.T. (?) were found at 90 days of experiment; absence of *E. coli*, at the end of the experiment and between 0.48 and 0.12 helminth eggs per g of S.T. The results obtained in this work indicate the efficiency of both hygienization processes and continuity in pathogen reduction even after their application in the soil, confirming their viability for agricultural use.

1. INTRODUÇÃO

O termo “lodo” tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos gerados durante o processo de tratamento de esgotos. Nos processos biológicos de tratamento, parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, fazendo parte da biomassa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou secundário, composto principalmente de sólidos biológicos. Após o tratamento do esgoto, o lodo gerado passa por processos de secagem, estabilização para eliminação e, ou, inibição de odores, higienização e disposição final. Segundo Andreoli et al. (2001a), a produção de lodos estimada para o Brasil varia de 90.000 a 350.000 toneladas/dia e de 1 a 4 litros/hab.dia.

O uso agrícola de lodo de esgotos gerados no tratamento de águas residuárias municipais constitui alternativa utilizada em diversos países, dada sua constituição, que é rica em nutrientes e matéria orgânica, podendo fornecer nutrientes para as plantas e funcionar como bom condicionante para o solo. Segundo Andreoli et al. (1994) e Tsutiya (1999), a utilização segura desse lodo na agricultura é a forma de disposição final que pode ser considerada como a mais adequada em termos técnicos, econômicos e ambientais.

No entanto, um ponto de grande importância é o fato de os lodos possuírem quantidade substancial de microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus, protozoários, parasitas intestinais e seus ovos. Sendo assim, dentre as preocupações que essa alternativa de disposição suscita, destaca-se

a possibilidade de contaminação ambiental por esses microrganismos, que podem causar doenças ao ser humano e aos animais. A quantidade dos patógenos nos lodos de esgotos é variável, dependendo da condição econômica da população, que contribui para o esgotamento sanitário, das condições sanitárias, dos tipos de indústrias e, particularmente, do processo de tratamento utilizado.

Portanto, faz-se necessária a higienização do lodo, a fim de viabilizar o seu uso.

O termo 'biossólidos' foi introduzido na área do saneamento nos anos 90, sendo empregado para designar o lodo de esgotos (resíduo sólido, semissólido ou líquido gerado durante o tratamento de esgotos domésticos), que foi suficientemente processado, a fim de permitir, de forma segura, sua reciclagem e aplicação como fertilizante, com o intuito de melhorar e manter, de maneira sustentável, a produtividade dos solos e estimular o crescimento de plantas (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA, 2005). O uso desse termo objetiva destacar o potencial uso benéfico de aproveitamento de matéria orgânica, nutrientes, umidade e, ou, outras qualidades que os biossólidos possam conter, ao invés de ser visto apenas como resíduo a ser disposto, por exemplo, por incineração ou em aterro sanitário (NEBRA, 2007).

Do lodo produzido no Brasil, cerca de 50% têm destino final em aterro sanitário; 15%, na agricultura; e 35% têm destino indefinido; acredita-se que grande parte é depositada em aterro sanitário (MACHADO et al., 2004).

Os processos mais econômicos de desinfecção baseiam-se na alteração dos parâmetros que promovem a inviabilização ou destruição dos agentes patogênicos, alterando, pelo menos por algum tempo, as condições químicas e físicas do material, principalmente umidade, pH e temperatura. Dentre as práticas mais utilizadas no Brasil, se enquadram a estabilização alcalina (caleação) e a solarização (secagem em estufa).

Do exposto, concluiu-se que existe a contínua necessidade de se realizarem pesquisas, com o intuito de se avaliar o processo de decaimento dos microrganismos patogênicos no solo, como as bactérias do grupo coliforme, salmonela, helmintos, protozoários e vírus. Inicialmente, as avaliações são necessárias nos processos de higienização, como após a

aplicação de seus subprodutos, de forma a promover a utilização agrícola do bio sólido de maneira sustentável e sem gerar riscos ao meio ambiente e à saúde pública.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Os primeiros registros do esgotamento sanitário

A partir do momento em que o ser humano se fixou em locais permanentes, formando conglomerados e criando as cidades, a coleta das águas servidas, atualmente denominadas de esgoto sanitário, passa a ser uma preocupação daquelas civilizações. Referências à disposição de excrementos na terra têm sido encontradas na Bíblia, em Deut 23, 12-14 e mesmo em Juí 3, 20.24. Os gregos e os romanos entendiam os benefícios do saneamento básico para a população. Em Efésios, Turquia, as toaletes a vapor se localizavam em locais onde os excretos fluíam para o Mar Egeu (EPSTEIN, 1929).

Em 3750 a.C., foram construídas galerias de esgotos em Nipur (Índia) e na Babilônia. Em 3100 a.C. já se empregavam manilhas cerâmicas para essa finalidade (AZEVEDO NETTO, 1984). Na Roma Imperial, eram feitas ligações diretas das casas até os canais; porém, por ser tratar de uma iniciativa individual de cada morador, nem todas apresentavam essas benfeitorias (METCALF; EDDY, 1977). No ano de 3000 a.C., as cidades de Mohenjodaro e Harappa, na antiga Índia, hoje localizadas no Paquistão, já contavam com ruas drenadas com esgotos canalizados em galerias subterrâneas, assim como as residências também tinham banheiros com esgotos canalizados.

É notório o exemplo da “Cloaca Máxima” na Roma antiga, destinada ao esgotamento subterrâneo de águas estagnadas do Capitólio até o rio Tibre. Tal obra, composta por uma galeria de 740 m de extensão e diâmetro equivalente a 4,30 m, foi concluída no ano de 514 a.C e permanece em funcionamento nos dias atuais. Na antigüidade a preocupação dos povos com os esgotos não se pautava por uma questão sanitária, mas sim religiosa. As pessoas queriam se apresentar mais puras e limpas diante de seus deuses, a fim de não sofrerem o terrível castigo da doença (OLIVEIRA, 2005).

No século XVI, efluentes eram utilizados para irrigação de plantações na localidade de Bunzlau, na Alemanha. Essa prática iniciou em 1550 e continuou por 300 anos (DETURK, 1935). Na Inglaterra, em 1859, a Comissão Real de Disposição do Esgoto recomendou a aplicação dos esgotos de cidades nos solos como maneira de evitar a poluição de rios (WEBBER; HILLARD, 1974). Fazendas que utilizavam também esgoto para aplicação no solo foram estabelecidas em Edimburgo, Escócia, por volta de 1860.

Em 1876, 35 cidades britânicas faziam a deposição de resíduos sólidos no solo como forma de tratamento. Grandes áreas de fazendas foram estabelecidas em Paris, França (1869), e Berlim, Alemanha (1874), para essa prática (JEWELL; SEABROOK, 1979).

Para Nuvolari (2003), provavelmente, o país europeu mais castigado por epidemias foi a Inglaterra, devido ao fato de a Inglaterra ter sido o berço da Revolução Industrial, ter sofrido intensa migração populacional do campo em direção às cidades e ter suas cidades sem a necessária infraestrutura urbana para atender esse novo contingente populacional. Este autor argumenta que a Inglaterra foi o primeiro país a iniciar pesquisas e adotar as medidas saneadoras necessárias. Na Tabela 1 é mostrado um levantamento de pesquisas e medidas saneadoras feitas na Inglaterra no século XIX.

Tabela 1 – Pesquisas e medidas saneadoras na Inglaterra do século XIX

Ano	Ocorrências
1822	Primeiro levantamento das condições sanitárias do rio Tamisa
1848	Editadas as primeiras leis de saneamento e saúde pública
1854	John Snow prova cientificamente a relação entre certas doenças e a qualidade das águas
1857	Criado o Conselho de Proteção das Águas do rio Tamisa
1865	Primeiros experimentos sobre a microbiologia de degradação de lodos
1882	Início das investigações sobre os fundamentos biológicos que deram origem ao processo de lodos ativados para o tratamento de esgotos
1914	Arden e Lockett apresentam o processo de lodos ativados para tratamento de esgotos

Fonte: Metcalf e Eddy (1977).

2.2. O surgimento das estações de tratamento de esgotos

No ano de 1872, na França, Jean Luis Mouras descobriu as vantagens de se acumular o lodo dos esgotos em um tanque, antes de lançá-lo numa fossa absorvente, dando origem ao tanque séptico (AZEVEDO NETTO; ALVAREZ, 1973). Entre o final do século XIX e início do XX, outros países começaram a se preocupar com o tratamento de seus esgotos, seguindo o exemplo inglês. Em 1887, foi construída, nos EUA, a Estação Experimental Lawrence, em Massachusetts (METCALF; EDDY, 1977).

O sistema separador absoluto, caracterizado pela construção de canalizações exclusivas para os esgotos, foi concebido no ano de 1879 e implantado pela primeira vez na cidade de Memphis, no Tennessee, EUA (AZEVEDO NETTO; ALVAREZ, 1973).

As primeiras Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) são datadas de 1914 em Salford, Inglaterra, com vazão média de 303 m³/dia. No ano de

1915, foi também construída a Estação de Tratamento de Esgotos de Davyhulme, com vazão média de 378 m³/dia. Pode-se afirmar que, a partir dessas primeiras experiências, os países desenvolvidos começaram a tratar os esgotos das suas cidades, conforme é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Primeiras estações de tratamento de esgotos construídas na Inglaterra e nos EUA

Ano	Inglaterra	Vazão (3m/dia)	Estados Unidos	Vazão (3m/dia)
1914	Salford	303	-	-
1915	Davyhulme	378	-	-
1916	Worcester Sheffield	7.57	San Marcos-Texas	454
		3.028	Milwaukee-Wiscosin	7.570
			Cleveland- Ohio	3.787
1917	Withington Stanford	946 378	Houston North-Texas	20.817
1918	-		Houston South-Texas	18.925
1920	Tunstall Sheffield	3.140	-	-
		1.340		
1921	Davyhulme Bury	2.509 1.363	-	-
1922	-	-	Desplaines-Illinois	20.817
			Calumet-Indiana	5.677
1925	-	-	Milwaukee-Wiscosin	170.325
			Indianápolis-Indiana	189.250
1927	-	-	Chicago North-Illinois	662.375

Fonte: Jordão e Pessoa (1995).

2.3. Aspectos do esgotamento sanitário no Brasil

No século XIX, visando não sofrer boicote dos países que comercializavam com o Brasil, em decorrência do receio de aportar nas cidades portuárias brasileiras que sofriam com a ausência de saneamento e ocorrência de epidemias, D. Pedro II, em 1857, determinou a construção de sistemas de esgotos no Rio de Janeiro, num contrato firmado com a companhia inglesa The Rio de Janeiro City Improvements Company Limited. A partir de 1873, Recife passou a ser a segunda cidade brasileira com sistema de esgotamento sanitário (REZENDE; HELLER, 2002).

A cidade de Belo Horizonte foi inaugurada em 1897 e o seu projeto inicial já contemplava redes de água e esgoto. Em 1907, Saturnino de Brito iniciou as obras de saneamento em Santos, SP. No ano de 1938, foi inaugurada a primeira ETE do Brasil, na cidade de São Paulo, a ETE Ipiranga, que hoje funciona como ETE – escola para os funcionários da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Em 1959, entrou em operação a ETE Leopoldina, cuja construção iniciou em 1928, quando se criou o Plano ERA para os esgotos da cidade de São Paulo. Em 1972, entra em operação a ETE Pinheiros, em São Paulo, hoje desativada (NUVOLARI, 2003).

Somente a partir da década de 1970 que começou a ocorrer maior avanço na área de saneamento nas cidades brasileiras, pois, segundo Oliveira (2005), houve pressão da população e de representantes da indústria e comércio reivindicando maiores investimentos no setor de saneamento básico. Nesse período, o poder de decisão e financeiro esteve centrado no Banco Nacional da Habitação (BNH), financiador do Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), direcionando grandes investimentos para o setor de saneamento. Caberia, portanto, ao estado e aos municípios aderirem ou não a este plano para obterem recursos, que, por sua vez, tinham origem no Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS). Nesse sentido, foram criadas, em todos os estados, companhias de saneamento básico, como a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), que estariam responsáveis pelo planejamento, execução e operação dos serviços de saneamento, através da concessão dos municípios.

Entre 1971 e início da década de 1980, segundo levantamento efetuado por Abicalil (1998), o setor de saneamento teve grande impulso, crescendo 43% em cobertura de água e 122% em coleta de esgotos. Ainda assim, o esgotamento sanitário é o serviço que tem menor presença nos municípios brasileiros. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2009a), dos 4.425 municípios existentes no Brasil, em 1989, menos da metade (47,3%) tinha algum tipo de serviço de esgotamento sanitário e, 11 anos mais tarde, os avanços não foram muito significativos: dos 5.507 municípios, 52,2% eram servidos de esgotamento sanitários. Apesar de no período de 1989-2000 haver tido aumento de, aproximadamente, 24% no número de municípios, o serviço de esgotamento sanitário não acompanhou esse crescimento, pois aumentou apenas 10% (IBGE, 2009a).

Os distritos brasileiros com coleta de esgoto sanitário se dividem entre os 1/3 que tratam o esgoto coletado (33,8%) e os quase 2/3 que não dão nenhum tipo de tratamento ao esgoto produzido (66,2%). Nesse último grupo, o esgoto é despejado *in natura* nos corpos de água ou no solo, comprometendo a qualidade da água utilizada para o abastecimento, a irrigação e a recreação. Do total de distritos que não tratam o esgoto sanitário coletado, a maioria (84,6%) despeja o esgoto nos rios, sendo os municípios das regiões Norte e Sudeste os que mais se utilizam dessa prática (93,8% e 92,3%, respectivamente) (IBGE, 2009a).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2010), no diagnóstico de 2007, pela primeira vez, foram incluídos os resultados dos indicadores de atendimento relativo à população total. Nesse diagnóstico, os índices médios de atendimento com os serviços para todo o conjunto participante do SNIS foram de 42,0% para coleta de esgotos e de 32,5% para tratamento dos esgotos gerados. No caso do tratamento de esgotos, houve pequeno acréscimo comparativamente ao ano de 2006, igual a 0,3 pontos percentual.

Em relação à população urbana, a análise dos índices gerais em termos de esgotamento sanitário demonstrou que o índice médio de atendimento urbano com a coleta de esgotos para todo o conjunto participante do SNIS, em 2007, foi de 49,1%, enquanto, em 2006, foi 48,3% (SNIS, 2010).

Conforme os resultados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), o Brasil aumentou em 1,4 ponto percentual sua rede coletora de esgoto em 2008, mas, mesmo assim, quase 50% da população ainda não têm acesso a esse serviço. Na região Norte, a situação é ainda mais alarmante e somente 9,5% dos domicílios estão ligados a uma rede de coleta (IBGE, 2009b).

2.4. Uso de esgotos na agricultura

A aplicação no solo constitui uma das práticas mais antigas de tratamento, destinação final e reciclagem de esgotos sanitários. Há evidências da utilização de sistemas de aplicação de águas residuárias em áreas agrícolas desde os tempos da civilização ocidental na antiga Atenas. Chineses, japoneses e indianos, por considerarem os resíduos orgânicos, provenientes das atividades humanas, importante fonte de fertilidade para os solos, praticam a utilização agrícola destes há milhares de anos (OUTWATER, 1994).

Na Alemanha, na cidade de Bunzlau, foi implantado, em 1550, um sistema de irrigação com águas residuárias, que esteve em funcionamento durante 300 anos (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM, 2005), sendo essa a experiência mais antiga descrita na literatura em país europeu (JEWELL; SEABROOK, 1979). Também as experiências inglesas, do início do século XIX, com a aplicação de águas residuárias no solo, que ficaram conhecidas como “fazendas de esgotos” e que logo se disseminaram pela Europa e Estados Unidos, são exemplos dessa prática. Outro exemplo significativo é o da cidade de Melbourne, na Austrália, onde um sistema em operação desde 1897 (Werribee Farm) recebe 510 milhões de litros de esgoto por dia, ocupando uma área de 10,850 ha e servindo de pastagem a um rebanho de 13.000 bovinos e 3.000 ovinos (BASTOS et al., 2003a).

No início do século XX houve redução na aplicação de esgotos em solos agrícolas devido ao receio de riscos sanitários e em razão do desenvolvimento de sistemas modernos de tratamento de esgoto. Contudo, no fim desse, foram retomadas diversas pesquisas, inclusive no Brasil, objetivando a disposição de esgotos ao solo como forma de tratamento e reutilização agrícola (VON SPERLING, 2005).

2.5. Uso de lodos de esgoto e biossólidos na agricultura

Os lodos de esgotos não existiam quando ainda não havia ETE's. Quando passaram a ser produzidos em larga escala, dada as experiências milenares de uso de excreta humana, esgoto bruto e esterco animais nas plantações, a aplicação dos lodos de esgotos na agricultura constituiu um desenvolvimento lógico. No início dos anos 70, a aplicação de lodos, de acordo com taxas agrônômicas recomendadas, passou a ser enfatizada e esforços científicos foram direcionados de forma a melhor se compreender o destino de constituintes potencialmente tóxicos e dos patógenos quando da aplicação de lodos de esgotos aos solos. O surgimento de informações técnicas relativas à aplicação de lodos de esgotos na agricultura, em grande número (mais de 2.300 artigos desde 1970), levou ao desenvolvimento de normalizações para uso nos EUA e na Europa. Nos EUA, embora a primeira normalização tenha sido proposta em 1974, somente em 1993 foi promulgado um regulamento federal (NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC, 1996).

No Brasil, a produção de lodo de esgoto, base seca, é estimada em 202.530 toneladas anuais, a partir do tratamento do esgoto gerado por 16,8 milhões de pessoas, conforme diagnóstico dos serviços de água e esgoto, em 2004 (BRASIL, 2005). A produção deste resíduo está aumentando, devido à crescente urbanização e ao aumento populacional (ANDREOLI et al., 1999). Dados publicados por Tsutiya et al. (2002) demonstraram que a região metropolitana de São Paulo produzia cerca de 500 toneladas por dia de biossólidos, com estimativa de triplicar tal produção até o ano de 2005. Diversas outras cidades do estado de São Paulo e do Brasil já estão produzindo este tipo de resíduo e outras deverão acompanhar esta tendência, segundo o autor.

O destino final adequado do lodo é fator fundamental para o sucesso de um sistema de saneamento. É muito comum que os projetos de ETES omitam o tema da gestão de resíduos, fazendo com que essa complexa atividade seja realizada sem planejamento pelos operadores das estações, muitas vezes em condições emergenciais. Por essa razão, alternativas inadequadas de disposição final têm sido adotadas, comprometendo os

benefícios dos investimentos realizados nos sistemas de esgotamento sanitário (VON SPERLING; ANDREOLI, 2001).

As principais alternativas de disposição final do lodo são os aterros sanitários, a disposição oceânica, a incineração e a reciclagem agrícola. Os aterros sanitários, além de possuírem o inconveniente de concorrer com os resíduos sólidos urbanos, apresentam altos custos de manutenção. A disposição oceânica, segundo Tsutiya (1999), foi proibida nos Estados Unidos, desde 1992, pela Ocean Dumping Act, na Comunidade Européia, desde 1998, e em vários outros países. A incineração por seu turno constitui técnica de custos elevados, pois, para evitar problemas de emissões atmosféricas, tem de usar incineradores de leito fluidizado, além de demandar quantidade de energia.

Segundo Oliveira (2000), a destinação do lodo de esgoto para a agricultura é a alternativa que merece maior destaque pelas seguintes razões: apresenta os menores custos; utiliza o solo como meio favorável ao consumo da carga orgânica potencialmente poluidora; pode trazer benefícios ao solo como a melhora da qualidade física e do teor de matéria orgânica; e proporciona a reciclagem de nutrientes.

A utilização do lodo de esgoto produzido nas ETE's pode ser uma valiosa ferramenta para a recuperação da cobertura vegetal de diversas regiões degradadas nas proximidades de centros urbanos. Segundo Oliveira Filho et al. (1987), a matéria orgânica é a principal responsável pela estruturação física de um solo, além de melhorar a circulação de água e ar. Como uma área degradada se caracteriza por não fornecer condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação, em função da falta de matéria orgânica, de nutrientes no solo e da atividade biológica, a adição de biossólido apresenta uma série de vantagens que favorecem a recuperação e o reaparecimento da vegetação (TSUTIYA, 2001). Dentre os efeitos do biossólido de lodo de esgoto sobre as propriedades físicas do solo, os resultados dos trabalhos de Simoneti e Kiehl (2002) mostram que o aumento da matéria orgânica com o aumento das doses de biossólido facilitou o estado de agregação das partículas do solo, com consequente diminuição da densidade, aumento na aeração e retenção de água.

A aplicação de lodo de esgoto tem sido recomendada a culturas perenes e anuais, cujas partes comestíveis não entram em contato com o

resíduo, pastagens e reflorestamentos (ANDREOLI et al., 1999; BETTIOL; CAMARGO, 2000). Já existem evidências do aumento na produtividade de diferentes culturas, como milho, soja, trigo, algodão, feijão e cana-de-açúcar, com a aplicação de lodos de esgotos urbanos (SILVA et al., 2002; PEDROZA et al., 2003; NOGUEIRA et al., 2007; TASSO JÚNIOR et al., 2007).

Em geral, os lodos de esgoto apresentam em sua composição macro, micronutrientes e matéria orgânica, o que lhes confere potencial de uso como fertilizante e condicionador do solo, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais (NASCIMENTO et al., 2004; PEGORINI; ANDREOLI, 2006; NOGUEIRA et al., 2006). Dessa forma, a reciclagem, via utilização agrônômica por meio da aplicação do lodo de esgoto no solo, apresenta-se como tendência mundial (LOPES et al., 2005).

Deve-se ressaltar a preocupação com a contaminação por constituintes indesejáveis, como poluentes orgânicos variados e agentes patogênicos. Portanto, antes de sua destinação final, o lodo deve passar pela remoção de organismos patogênicos (higienização), operação necessária se seu destino for a reciclagem agrícola, garantindo um nível de patogenicidade no lodo que, ao ser disposto no solo, não venha causar riscos à saúde humana e animal e impactos negativos ao meio ambiente (MIKI et al., 2001; VON SPERLING; ANDREOLI, 2001; TSUTIYA, 2001; PINTO, 2001).

2.6. Características físicas e químicas dos lodos de esgotos e dos biossólidos

O lodo de esgoto constitui material de composição variável e heterogênea, cujas características químicas, físicas e biológicas são modificadas, em função do tipo de sistema de tratamento de esgotos adotado da sua operação, da manutenção, do tempo e da temperatura (IMHOFF; IMHOFF, 2002; METCALF; EDDY, 2003; SILVA et al., 2007).

O lodo digerido é aquele que sofreu processo de estabilização biológica obtida por processos anaeróbios ou aeróbios, com redução de sólidos voláteis (SV) superior a 40%. Quando bem digerido, o lodo aeróbio ou anaeróbio, não possui odor ofensivo; o estabilizado aerobicamente é produzido em reatores biológicos e ETEs, que utilizam processo biológico de tratamento

como lodos ativados ou aeração prolongada, com aparência floculenta, coloração com tons de marrom e odor pouco ofensivo, quando mantido em condições aeróbias ou fresco (cheira a terra). Quando disposto em camada fina sobre leitos de secagem, seca no verão em duas semanas (PASSAMANI, 2001).

As características do biossólido que afetam sua aceitabilidade para a aplicação no solo e usos benéficos incluem o conteúdo orgânico (geralmente medido como sólidos voláteis), nutrientes, patógenos, metais e orgânicos tóxicos. O valor como fertilizante é baseado, primariamente, no conteúdo de nitrogênio, fósforo e potássio (SIMONETI, 2006).

O estado físico do biossólido depende da quantidade de umidade presente relativamente à quantidade de sólidos, ao grau de manipulação e à natureza do sólido (granular ou coeso). Quando o conteúdo de umidade diminui, o biossólido muda de estado de um líquido verdadeiro a um líquido em estado viscoso, um sólido plástico e, subsequentemente, um sólido seco (SIMONETI, 2006).

A densidade e, subsequentemente, a gravidade específica possui importância básica na caracterização do biossólido. A densidade é definida como a massa por unidade de volume. No caso do biossólido, esta se refere à densidade das partículas individuais ou o que poderia ser chamado de densidade efetiva, que leva em conta considerações do estado físico como tamanho da partícula, grau de floculação etc. (SIMONETI, 2006).

2.7. Características microbiológicas dos lodos de esgotos e biossólidos

A reciclagem agrícola do lodo de esgoto é prática popularmente consagrada entre os países desenvolvidos e representa alternativa particularmente interessante às regiões de agricultura intensiva e extensas áreas de solos depauperados e com baixos níveis de matéria orgânica. No entanto, para que o lodo seja utilizado com segurança, devem ser controlados alguns fatores que podem inviabilizar econômica, ambiental e agronomicamente sua disposição.

Do ponto de vista biológico, o lodo concentra a maioria dos organismos presentes no esgoto sanitário, podendo constituir significativa ameaça à saúde

pública. A contaminação microbiológica do lodo é originada principalmente do material fecal contido no esgoto, sendo então dependente das características sanitárias da população que produz os efluentes, ou seja, refletindo o perfil de saúde da população atendida.

O lodo de esgoto apresenta grande variedade de microrganismos, mas nem todos têm importância médica, como os saprófitas, que participam dos processos de tratamento biológico, porém não causam problemas à saúde. A presença de organismos patogênicos, vírus, bactérias, protozoários e helmintos, pode provocar transmissão de doenças em seres humanos e animais (MEDEIROS et al., 2001). Na Tabela 3, são mostrados os principais patógenos encontrados em lodos de esgoto e respectivas doenças e sintomas.

O manuseio e o emprego de lodo de esgotos sanitários sem prévio tratamento (estabilização e higienização) podem levar à infecção de seres humanos e animais pelos agentes patogênicos nele presentes, por meio da alimentação, do contato direto com o lodo ou inalação ou do consumo de água e produtos de origem animal. O contato direto com o lodo e a inalação expõem a maior risco os trabalhadores de ETEs, distribuidores de lodo, agricultores; enfim, os que manipulam produtos líquidos, secos ou pastosos derivados do lodo (CESÁRIO SILVA et al., 2001). Além disso, agentes patogênicos provenientes de dejetos de animais (cães, gatos, suínos e roedores) também são importantes, uma vez que o ser humano pode ser hospedeiro intermediário, definitivo ou acidental no ciclo de alguns desses patógenos, levando a quadros mórbidos às vezes graves.

Tabela 3 – Patógenos encontrados em lodo de esgoto e principais sintomas e doenças

Patógenos	Hospedeiro	Sintomas e doenças
Nematóides		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ser humano	Distúrbios digestivos, vômito e dor abdominal
<i>Ascaris suum</i>	Suíno	Distúrbios digestivos
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Ser humano	Anemia, emagrecimento
<i>Necator americanus</i>	Ser humano	Anemia, emagrecimento
<i>Trichuris trichiura</i>	Ser humano	Diarreia, anemia, perda de peso, dor abdominal
<i>Toxocara canis</i>	Cães e ser humano	Emagrecimento, diarreia, febre, sintomas neurológicos
<i>Trichostrongylus axei</i>	Ser humano, bovinos e eqüinos	Úlcera gástrica
Cestóides		
<i>Taenia solium</i>	Ser humano e suíno	Distúrbios digestivos, insônia, anorexia e dor
<i>Hymenolepis nana</i>	Ser humano	Diarreia e sinais nervosos
<i>Echinococcus granulosus</i>	Cães, ovinos e ser humano	
Protozoários		
<i>Entamoeba histolytica</i>	Ser humano	Enterite aguda
<i>Giardia lamblia</i>	Ser humano, cães e gatos	Diarreia
<i>Toxoplasma gondii</i>	Gatos, ser humano e aves	Alteração no sistema nervoso
<i>Cryptosporidium</i>	Ser humano e bovino	Gastroenterite.
Bactérias		
<i>Salmonella</i> sp.	Ser humano e bovino	Salmonelose
<i>Escherichia coli</i>	Ser humano e bovino	Gastroenterite
<i>Shigella</i> sp.	Ser humano	Disenteria bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Ser humano	Cólera
Vírus entéricos		
Vírus da hepatite A e E	Ser humano	Hepatite infecciosa
Rotavírus	Ser humano	Gastroenterite
Enterovírus		
Poliovírus	Ser humano	Poliomielite
Reovírus	Ser humano	Gastroenterite, infecções respiratórias
Coxsackievirus	Ser humano	Meningite, pneumonia.

Fonte: Adaptada de USEPA (1991).

Os patógenos presentes no lodo possuem vários modos de transmissão, que podem expor seres humanos e animais, sendo a via oral o mais importante do ponto de vista epidemiológico; entretanto, as vias cutânea e nasal não podem ser descartadas. A infecção se dá ao ingerir, por exemplo, cistos de protozoários ou ovos viáveis de helmintos, através do consumo de água ou vegetais crus, produzidos em solo adubado com lodos de esgoto não suficientemente tratados. Portanto, a fim de garantir o uso do lodo de esgoto na agricultura de forma segura, devem ser consideradas alternativas de desinfecção para reduzir a quantidade de agentes patogênicos, além de se adotarem restrições de uso, segundo a qualidade microbiológica do lodo alcançada após o tratamento. A higienização busca, dessa forma, eliminar ou reduzir a densidade de microrganismos patogênicos, constituindo importante ferramenta para a ampliação do leque de opções seguras para manuseio e disposição do lodo no solo (GONÇALVES; LUDOVICE, 2000).

2.7.1. Helmintos

Os helmintos parasitos constituem um dos grupos de microorganismos mais importantes, em se tratando de saúde, em função da frequência com que são encontrados na natureza, da resistência dos ovos de algumas espécies a condições adversas e, principalmente, pelo fato de um único ovo ser capaz de causar infecção. Os helmintos representam uns dos grupos de maior resistência a diversas condições ambientais e, portanto, para lodos de esgoto, constituem grupo indicador de contaminação microbiológica de grande importância (ELLIS et al., 1993). Segundo Rey (2001), ovos de helmintos podem permanecer viáveis por até sete anos em lodos de esgoto, quando em condições ideais. Esse fato representa sério problema sanitário, o que exige desinfecção eficaz do lodo para uma disposição final segura, definitiva e sustentável (ANDREOLI; BONNET, 2000).

Ovos de helmintos são resistentes às condições ambientais e podem permanecer infectantes por vários anos (BREWSTER et al., 2003). Johnson et al. (1998) encontraram ovos de *Ascaris suum* infectantes após 29 semanas em bio sólidos digeridos anaerobicamente e armazenado. A inativação térmica é relatada como a melhor opção para a não proliferação de ovos de helmintos

em biossólidos, pois sabe-se que com temperaturas de 50°C é alcançada redução de 10 vezes no número de ovos num tempo de cinco dias (AITKEN et al., 2005). Na Tabela 4 é apresentada a concentração de ovos de helmintos em alguns tipos de lodo.

Tabela 4 – Concentrações de ovos de helmintos em lodos digeridos

Tipo de lodo	Número de ovos (por kg de sólidos totais)
Lodo primário	10^3 a 10^4
Lodo digerido	10^2 a 10^3
Lodo semidesidratado	10^1 a 10^3
Lodo de tratamento aeróbio, semidesidratado	10^2 a $7,5 \times 10^4$
Lodo anaeróbio	$6,3 \cdot 10^3$ a $1,5 \times 10^4$

Fonte: Mascarenhas (2002).

2.7.2. *Escherichia coli*

Vários patótipos de *E. coli* são habitantes normais do trato intestinal do ser humano, e de muitas outras espécies de animais, e causadores de diarreias, sendo difícil a diferenciação clínica de diarreias provocadas por outros patógenos entéricos. A infecção assintomática é muito comum. Taxas de letalidade entre 5 e 10% podem ser verificadas em bebês e crianças não tratadas, mas são muito baixas entre os que recebem terapias de hidratação. O diagnóstico de diarreias por *E. coli* é difícil uma vez que todos os pacientes excretam grande quantidade de *E. coli* comensais (FEACHEM et al., 1983).

A sobrevivência nos esgotos é fortemente prolongada em baixas temperaturas, mas, em climas quentes, com temperaturas do esgoto de 25 a 30°C, mais de 99% de redução pode ser esperada num período de 10 a 15 dias para bactérias indicadoras, como as *E. coli* (FEACHEM et al., 1983). A sobrevivência prolongada por mais de seis meses pode ser esperada no inverno (AVERY et al., 2004).

Dentro do grupo dos coliformes totais, existem gêneros que não são exclusivamente de origem fecal. Esta constatação levou ao desenvolvimento de métodos que pudessem enumerar o subgrupo denominado coliformes fecais dos não fecais. Estas metodologias foram adotadas baseando-se no parâmetro temperatura, uma vez que os chamados coliformes fecais (termotolerantes) tinham a capacidade de fermentar a lactose à temperatura elevada ($44,5^{\circ} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$) (CLESCERL et al., 1998).

Ainda que a utilização dos coliformes termotolerantes em substituição aos totais tenha determinado melhoria significativa na detecção da contaminação fecal, logo se tornou evidente a existência de outros coliformes, também termotolerantes e que não são de origem fecal. Dentre estes grupos, podem-se citar os gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*, provenientes de contribuição ambiental (ALONSO et al., 1999). Ainda assim, não se pode ignorar a existência de outros gêneros de bactérias patogênicas “não coliformes” nos esgotos domésticos, em níveis consideráveis, causadores de disenterias e infecções intestinais, principalmente em crianças.

Atualmente, *E. coli* é apontada como o principal componente fecal detectado em águas, de ocorrência exclusivamente de origem humana e animal. Foi estabelecido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) que, dentro do grupo das bactérias, *E. coli* é o principal indicador microbiológico de contaminação fecal, tendo de haver critério de padrão de qualidade das águas, ainda que somente algumas espécies sejam patogênicas (BASTOS et al., 2003b).

2.7.3. *Salmonella* spp.

Quase todos os membros do gênero *Salmonella* são potencialmente patogênicos. As salmonelas são comensais do trato intestinal de vários animais, sobretudo aves e bovinos e reservatórios de infecção humana. Quando se verificam condições sanitárias precárias, elas podem contaminar os alimentos. A infecção ocasionada por *Salmonella* é iniciada na mucosa intestinal e algumas espécies se disseminam por outros órgãos, ao contrário da *Shigella*, causando choque séptico, principal causa das mortes, sobretudo em crianças. As espécies mais virulentas são a *Salmonella typhi* e *Salmonella*

paratyphi, causadoras das febres tifóides e paratifóides, respectivamente. A espécie *Salmonella typhimurium* é considerada uma das principais bactérias causadoras de uma doença gastrointestinal menos grave, conhecida como salmonelose, afetando animais e seres humanos em todo o mundo (PEREIRA et al., 2007).

Segundo Feachem et al. (1983), a maioria dos muitos sorotipos de *Salmonella* está associada a infecções intestinais, gastroenterites agudas com diarreia e câimbras abdominais em seres humanos. Muitas infecções por salmonelas, entretanto, são assintomáticas. Diferentes espécies de animais constituem reservatórios e hospedeiros para essa bactéria. Alguns poucos sorotipos são praticamente específicos, como a *S. typhi*, que é um patógeno do ser humano.

Bitton (1994) discorreu que a concentração de salmonelas nos esgotos varia de poucos a 8.000 organismos/100 mL. Block (1986) relata as seguintes concentrações médias de *Salmonella* spp. em lodos de esgoto: $4,1 \times 10^2$ organismos/g ST no lodo primário; $8,8 \times 10^2$ organismos/g ST, no secundário; e $2,9 \times 10^2$ organismos/g ST, no misto.

Segundo Bitton (1994) e Feachem et al. (1983), a sobrevivência dos organismos é aumentada em baixas temperaturas e prolongada no escuro. O crescimento em águas poluídas é possível, mas improvável; é mais viável nos sedimentos. Na ausência de informações específicas, pode-se assumir que a sobrevivência nos esgotos seja similar à dos coliformes termotolerantes, com valores de 90% de redução a uma temperatura entre 20 a 30°C, por um tempo de 20 a 100 horas em climas quentes.

Estudos têm mostrado que esses organismos podem sobreviver nos solos por vários meses, em condições ideais, sendo os fatores principais a temperatura, exposição à luz solar, umidade, pH e conteúdo de matéria orgânica. Segundo Bonnet et al. (1998), em estudos de aplicação de lodos digeridos aerobicamente ao solo no estado do Paraná, as salmonelas encontradas no lodo, antes da aplicação, foram imediatamente eliminadas, após a incorporação, sem qualquer tratamento adicional, ponderando que tenha ocorrido pelo estresse da competição com os microrganismos do solo. Posteriormente, verificou-se que o microrganismo foi detectado em amostras

de solo, após 13 e 28 dias da incorporação, sugerindo recuperação por causa das condições ambientais favoráveis.

Com base nesses experimentos, Medeiros et al. (1999) relataram que as salmonelas apresentaram sobrevivência de aproximadamente 30 dias, após a incorporação do lodo ao solo e que a sobrevivência de bactérias nos solos é tão dependente de fatores ambientais, físicos, químicos e biológicos que o estabelecimento de taxas definitivas de sobrevivência é praticamente impossível.

2.8. Tratamento de lodos de esgoto para fins de uso agrícola

Como consequência do tratamento de esgotos sanitários, tem-se a concentração de impurezas e do material potencialmente poluidor em um subproduto, o lodo de esgoto. Assim, pela própria forma como é originado, o lodo é o concentrado dos nutrientes, da matéria orgânica, dos metais pesados, dos organismos patogênicos e de outros elementos que podem oferecer risco ao meio ambiente e à saúde humana, caso não sejam controlados e monitorados adequadamente (TSUTIYA et al., 2002).

Segundo Andreoli et al. (2000), o lodo de esgoto é produto poluente tanto pelos níveis de patógenos quanto pelos teores de nutrientes presentes, mas o seu correto processamento viabiliza a sua utilização como fertilizante agrícola, constituindo solução promissora para a destinação final do produto.

A higienização do lodo, cujo objetivo é a redução ou eliminação de patógenos, trata-se da etapa de tratamento que assume grande importância, se a alternativa para disposição final do produto for a reciclagem agrícola (PASSAMANI; GONÇALVES, 2000). Muitos tratamentos biológicos removem patógenos presentes no esgoto, nem sempre pela destruição das suas funções vitais, mas frequentemente pela sua captura e concentração no lodo originado pelo processo de tratamento (GONÇALVES; LUDOVICE, 2000).

As técnicas disponíveis para higienização de lodos buscam minimizar os riscos de transmissão de patógenos, através da redução da concentração de microrganismos patogênicos a valores que assegurem sua utilização agrícola. Dentre os diversos mecanismos com capacidade de promover a higienização do lodo, a temperatura, o pH e a radiação são os mais indicados,

uma vez que a alteração de um desses fatores pode destruir os organismos. A eficiência dos processos de higienização está associada à intensidade e ao tempo a que esses fatores são impostos. Os processos mais econômicos de higienização se baseiam na alteração dos parâmetros que inviabilizam ou destroem os agentes patogênicos, alterando, por algum tempo, principalmente o pH e a temperatura. Os ovos de helmintos, pela sua maior capacidade de sobrevivência, constituem o indicador mais importante para avaliação das condições sanitárias do lodo (DA SILVA, 2007).

Existem vários processos disponíveis para a higienização do lodo; entretanto, não há um processo universalmente aceito que seja ideal para a maioria das situações (ANDREOLI, 2001). A maioria dos países, que possui alguma norma quanto aos aspectos sanitários da disposição agrícola do lodo, relaciona uma série de tecnologias de processamento que combinam mecanismos térmicos, químicos e, ou, biológicos para alcançar a inativação de patógenos. A higienização do lodo deve ser realizada por meio de mecanismos que sejam econômicos, seguros e de fácil aplicação prática (PINTO, 2001).

Nas pequenas comunidades, a desidratação do lodo tem sido feita nos leitos de secagem, que são unidades utilizadas com o objetivo de desidratar, por meios naturais, o lodo digerido em digestores aeróbios ou anaeróbios (AISSE et al., 1998). As principais vantagens na utilização dos leitos de secagem são:

- Baixo valor de investimento.
- Baixo nível de qualificação do operador.
- Baixo consumo de energia elétrica e produtos químico.
- Baixa sensibilidade a variações nas características do lodo.
- Torta resultante com alto teor de sólidos.

O lodo em condições normais de secagem poderá ser removido do leito de secagem depois de um período que varia de 12 a 20 dias, quando a umidade atinge valores de 70 a 60% (JORDÃO; PESSOA, 1995).

Os processos de higienização por caleação e por secagem em estufa agrícola são amplamente conhecidos e de baixo custo. Estas técnicas se baseiam na alteração dos parâmetros que promovem a destruição dos agentes patogênicos, já que alteram, pelo menos por algum tempo, as condições

químicas e, ou, físicas do lodo. Estes métodos valem-se da modificação de três fatores principais para promover a desinfecção: pH, temperatura e desidratação.

Quando é utilizada a via térmica, mediante o uso de secagem em estufa agrícola, duas variáveis de controle são combinadas que são o tempo de exposição do lodo a determinada temperatura (elevação da temperatura). Por meio da via química, utiliza-se produto alcalinizante para elevar o pH do lodo, alterando a natureza coloidal do protoplasma celular dos microrganismos patogênicos, de forma letal, culminando com a produção de ambiente inóspito para sua sobrevivência (PINTO, 2001). No entanto, conforme expõe Pinto (2001), as variáveis de controle dos processos não são iguais para os tipos de lodo que existem, o que traduz a grande variabilidade das condições ambientais e das características do lodo produzido por cada país.

A maioria dos países, que possui normas quanto aos aspectos sanitários da disposição agrícola do lodo, relaciona várias tecnologias de processamento que, se operadas adequadamente, são capazes de produzir biossólidos com níveis de patógenos aceitáveis para sua utilização agrícola segura (CARVALHO, 2001). Entretanto, estes processos têm suas vantagens e desvantagens e só uma análise local conduzirá à definição da melhor alternativa. Além do bom funcionamento e da eficiência, a tecnologia de tratamento escolhida também deve apresentar simplicidade técnica e operacional, conforme a realidade da região, sobretudo em países em desenvolvimento (FERNANDES; SOUZA, 2001).

2.8.1. Estabilização alcalina ou caleação

A caleação, ou estabilização alcalina, é um dos processos de higienização e estabilização do lodo mais difundidos, devido, principalmente, ao seu baixo custo e à facilidade de aplicação. Adicionalmente, o biossólido produzido tem a vantagem de, quando incorporado ao solo, auxiliar na correção da acidez do solo, necessária na maior parte dos solos brasileiros (ANDREOLI et al., 2001b).

Uma das desvantagens da higienização com cal, comparada a outros processos, é que há um incremento na massa do lodo ao final do tratamento,

devido à adição da cal. Outros aspectos negativos da calagem são a perda de nitrogênio por volatilização de amônia livre (NH_3), desprendimento de odores e limitações do lodo como insumo agrícola, no caso de solos com pH elevado, em razão do aumento do pH do produto final. Além desses fatores, ocorre ainda a elevação dos custos de disposição final, por causa, principalmente, do transporte deste material, por agregar massa ou volume ao lodo a ser descartado (GONÇALVES; LUDOVICE, 2000; PASSAMANI; GONÇALVES, 2000).

Atualmente, a caleação é empregada como opção eficaz para controlar patógenos em lodos de esgoto, podendo ser utilizada tanto a cal virgem (CaO) quanto a cal hidratada (Ca(OH)_2). A cal, por ser produto alcalino e de baixo custo, é usada em diversas atividades relacionadas à melhoria das condições sanitárias e higiênicas. Em função da alcalinidade que condiciona ao meio ao qual é adicionada, a maioria dos microrganismos encontra condições inadequadas para seu crescimento e sobrevivência (ANDREOLI et al., 2001b).

O processo de caleação se caracteriza pela adição de cal virgem (CaO) ao lodo numa proporção que varia de 30 a 50% do peso seco do lodo. O contato entre a cal e a água presente no lodo resulta numa reação exotérmica, fazendo com que haja liberação de calor e, conseqüentemente, aumento da temperatura do lodo. Além disso, tem-se a elevação do pH, que pode atingir valores acima de 12; nessa condição ocorre a inativação ou destruição de parte dos agentes patogênicos e a estabilização química do lodo (ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY – EPA, 1992; ELEUTÉRIO, 2004).

Esse efeito é dependente da qualidade e da proporção da cal utilizada em relação à quantidade de lodo. Se o processamento da cal (CaO) não for bem executado, parte do produto passará para a forma de calcário (CaCO_3), que apresenta velocidade de reação bem mais lenta (ILHENFELD et al., 1999). Com a cal virgem, os parâmetros que determinam a eficiência da caleação são os aumentos do pH e da temperatura e a ação da amônia (ANDREOLI et al., 2001b). Com a cal hidratada, somente a elevação do pH é verificada. De modo geral, quando o lodo recebe cal durante seu tratamento, sua aplicação ao solo promove aumento do pH e diminuição da acidez potencial e do alumínio trocável.

Andreoli (2001) também ressalta que a caleação reduz a contagem de ovos de helmintos, desde que respeitados os períodos de armazenagem e a correta dosagem de cal. Thomaz-Soccol et al. (2002) realizaram experimentos de tratamento do lodo para reduzir ovos de helmintos através da caleação, utilizando dosagem de cal igual a 50% em peso seco do lodo, e foi observado taxas de inativação dos ovos que variaram de 86 a 100%. Esses resultados dependeram dos níveis de pH alcançados pela mistura, do teor inicial de matéria seca e do período de estocagem, que variou entre 0 e 90 dias.

Estudos realizados por Passamani e Gonçalves (2000), sobre a inativação de ovos de helmintos presentes em lodo de lagoas de estabilização, submetido ao tratamento de caleação, utilizando cal hidratada, mostraram que a cal foi responsável pela elevação do pH em níveis superiores a 12,5. Esse valor variou em função do tempo de estocagem e da dosagem da cal utilizada. Os autores observaram que 24 horas de contato do lodo com a cal foram suficientes para inviabilizar 100% dos ovos.

Passamani (2001) desenvolveu estudos de higienização de lodo anaeróbio através da caleação, utilizando cal virgem e cal hidratada, com dosagens que variaram de 10 a 60%, teores de sólidos totais da ordem de 30% e período de estocagem dos produtos correspondentes a 24 horas. Sob essas condições, os autores observaram 100% de inviabilização dos ovos de helmintos presentes no lodo.

Segundo Ilhenfeld et al. (1999), um dos fatores de desinfecção é a elevação do pH da mistura, uma vez que organismos patogênicos expostos a níveis extremos de pH, seja ácido ou alcalino, tendem a ser destruídos. Da mesma forma que a ação da temperatura, as alterações mais intensas do pH demandam menor tempo de contato para a obtenção da eficaz higienização do material. A adição de cal virgem na proporção de 50% do peso seco do lodo eleva o pH da massa de lodo calado para níveis acima de 12, resultando na destruição dos principais agentes patogênicos, incluindo larvas e ovos de helmintos, desde que o tempo de ação seja adequado. Recomenda-se um prazo de 60 dias de armazenagem, após a mistura. A calagem reduz a concentração desses ovos, desde que respeitados os períodos de carência, e é eficiente na estabilização acelerada do lodo, eliminando os maus odores (PASSAMANI, 2001).

Gaspard et al. (1997), estudando o nível de contaminação de lodo de esgoto utilizado para fins agrícolas e a eficiência do tratamento do lodo pelo uso da cal na inativação de ovos de helmintos, verificaram que ocorreu redução desses organismos em 70% das amostras pesquisadas; porém, houve baixo efeito sobre os outros 30%. Esses autores também ressaltam que, na caleação, a observação dos parâmetros dosagem de cal, elevação do pH acima de 12,5 e tempo adequado de armazenamento são fatores importantes na eficácia do tratamento.

Conforme preconizado pela Environment Protection Agency (EPA, 1994), a eliminação dos microorganismos dos lodos, pela adição de cal, envolve a adição de quantidade suficiente deste produto para alcançar e manter o pH 12, pelo período mínimo de duas horas.

A eficiência da caleação na inativação de outros microrganismos patogênicos também tem sido estudada por vários pesquisadores, podendo-se citar como exemplo o trabalho de Wong e Fang (2000). Esses autores estudaram a adição de cal em amostras de lodo previamente compostado, concluindo que a adoção dessa combinação causou um efeito “excelente” na diminuição de bactérias. Já Moscalewski et al. (1996) estudaram a utilização da cal virgem na eliminação de *Vibrio cholerae* em dosagens de 40 e 50% e tempos de armazenamento de 1, 10, 20 e 30 dias, não verificando, após 10 dias de armazenamento, a presença do vibrião colérico.

2.8.2. Solarização (secagem em estufa agrícola)

A solarização é um processo utilizado normalmente para o controle de fitopatógenos do solo. O sucesso dessa técnica se dá devido, principalmente, ao aquecimento do solo úmido, com a utilização de um plástico transparente, para o qual as altas temperaturas que se apresentam são letais à maioria dos patógenos do solo (TSUTIYA, 2001). Segundo Ghini e Bettiol (1999), originalmente a solarização foi desenvolvida em Israel; posteriormente, esta técnica foi sendo adotada em diversos países, como Estados Unidos, Japão, Itália, Egito, Espanha e Brasil.

No processo de solarização de lodo de esgoto, o decaimento na concentração de patógenos se dá através da secagem dos lodos em estufa

agrícola, processo simplificado e de baixo custo que procura aproveitar as condições climáticas de elevada insolação e temperatura ambiente. A técnica consiste no recobrimento do lodo com plástico transparente, de espessura reduzida (30-50 mm), visando criar efeito estufa e também proteger o lodo contra a água das chuvas. Os raios ultravioletas agem na superfície, enquanto, no interior, a ação predominante fica a cargo do aumento e diminuição da temperatura, que ocorre periodicamente, durante o tratamento, produzindo alterações nas condições físicas, químicas e biológicas do meio. Sendo assim, com a diminuição da umidade (não interferência de chuvas) e o aumento da temperatura (efeito estufa causado pelo plástico transparente), o processo de desinfecção é acelerado (GHINI, 1997)

Bonnet et al. (1998) indicaram que a utilização de estufa agrícola é uma forma de aproveitar a radiação solar, atuando no aquecimento do ar interno, efeito estufa, promovendo efeito de regularização na temperatura do lodo e afirmam que as concentrações de bactérias são reduzidas de maneira significativa pela radiação solar e desidratação do lodo.

Segundo Reis et al. (1999), o filme plástico transparente permite a passagem da radiação solar e sua conversão, em energia calorífica (promoção do efeito estufa), gerando vapores que podem alcançar 50°C, temperatura suficiente para eliminar os principais microrganismos presentes no lodo, como bactérias, fungos, vírus e nematóides (GHINI, 1997).

A realização de pesquisas de higienização de lodos com estufas plásticas pode dar indicações de como esse processo, ou mesmo técnicas já conhecidas, pode levar à higienização completa ou parcial de lodo de esgoto, particularmente nas condições brasileiras, que têm diferentes reações climáticas.

Ferreira (2001) apresentou resultados de experimentos conduzidos no Paraná, com lodos anaeróbios dispostos em leitos de secagem por 28 dias, aplicando diferentes tratamentos, com a finalidade de reduzir a concentração de ovos de helmintos e a umidade, que foram: cobertura do leito com estufa plástica, com e sem revolvimento do lodo; e cobertura do leito com estufa plástica e aquecimento com biogás, com e sem revolvimento do lodo e solarização, com e sem revolvimento do lodo. Os resultados obtidos indicaram reduções médias de 54,72 a 87,71%, na concentração de ovos viáveis, e de

20,9 a 70,26%, na umidade. No experimento da cobertura com estufa plástica, foram obtidas concentrações finais de ovos viáveis de 5,12 e 27,07 ovos por grama de matéria seca, para valores de umidade de 18,83 e 60,20%, respectivamente.

No estudo conduzido por Comparini (2001), o bio sólido foi disposto em leiras montadas no interior de uma estufa agrícola com cobertura e laterais fechadas com lona plástica translúcida, com 150 micras de espessura, de forma a evitar o contato com águas de chuva. O bio sólido inicial continha elevada umidade, cerca de 80%; à medida que o material secava, as leiras eram formadas com altura máxima de aproximadamente 0,50 m e eram revolvidas com pá uma vez por semana. Além de conseguir teores de umidade baixos (< 25%), o autor observou a redução expressiva de organismos indicadores após 90 dias, indicando a quantidade final de microrganismos pesquisados: coliformes totais $\approx 10^3$ NMP/g ST, *E. coli* < 10^3 NMP/g ST, ovos de helmintos $\approx 0,7$ /g ST e inviabilização completa desses.

Em experimentos conduzidos na ETE Franca, SP, com solarização para higienização do lodo de esgoto, em caixas cobertas com plástico transparente, foram obtidos resultados com redução de coliformes e *E. coli* de até 99,99%, caracterizando o lodo como classe A, de acordo com a norma CETESB P4230. Para profundidades menores que 0,10 m e tempo de exposição de 15 dias ou mais, foram alcançadas reduções acima de 80% de ovos de helmintos (COMPARINI, 2001).

A solarização apresenta a vantagem de menor impacto no ambiente, baixo custo, não geração de resíduos, além de ser simples e de fácil aplicação.

2.9. Normas para uso agrícola de bio sólidos

Os regulamentos para aplicação de bio sólidos se encontram em estágio bastante desenvolvido nos países que, tradicionalmente, vêm fazendo a utilização agrícola há muitos anos, ou mesmo décadas. A aplicação agrícola em milhares de hectares, a cada ano, de grandes quantidades de lodo/bio sólidos gerados nas estações de tratamento de esgotos espalhadas pelos países da Europa (16 milhões t/ano) e nos EUA (13 milhões t/ano) levou ao estabelecimento de regulamentos bastante completos, que estão em

permanente discussão (TSUTIYA, 2000). Na Tabela 5 é mostrada a disposição final de biossólidos na Europa e EUA.

Tabela 5 – Disposição final de biossólidos nos Estados Unidos e na Europa

Formas de disposição	EUA	Europa
Aterro	41%	40%
Uso agrícola	25%	37%
Incineração	16%	11%
Demais usos*	1%	2%
Disposição oceânica	6%	6%
Outras formas	10%	4%

Nota: * Reflorestamentos/recomposição de áreas degradadas.

Fonte: Sabesp (1998, citado por TSUTIYA, 2000).

No Brasil, as quantidades de biossólidos produzidas são incomparavelmente inferiores às daquelas nações, pelo fato de ainda contar com baixos índices de tratamento dos esgotos nas cidades. Essa situação, entretanto, vem sendo gradualmente revertida, gerando a necessidade do estabelecimento de regras próprias de utilização.

2.9.1. Regulamentação norte americana

Antes dos anos 70 não havia nos EUA uma autoridade formal diretamente relacionada à disposição de lodos de esgotos. Em 1972, o Congresso americano indicou a Environmental Protection Agency (EPA) para regular a disposição de lodos em águas navegáveis. Em 1977, foi solicitado à EPA que desenvolvesse regulamentos contendo as regras para o uso e a disposição de lodos de esgoto no solo e nas águas. Em 1979, foi expedido o código federal intitulado 40 CFR Part 257, identificando práticas aceitáveis para a disposição de resíduos sólidos. Este código é também aplicável, quando lodos de estações de tratamento de águas residuárias industriais são aplicados

em solos (EPA, 1992). Finalmente, e por solicitação do Congresso Nacional, em 1993, foi promulgado o código federal 40 CFR 503, comumente denominado como 'Norma 503', intitulado de Standards for Use and Disposal of Sewage Sludge (EPA, 1992).

Essa norma classifica o biossólido quanto a sua utilização na agricultura em duas classes. O classe A, que não sofre qualquer restrição quanto ao seu uso e acesso público; e o classe B, que sofre restrições em relação às culturas e formas de utilização e acesso público.

As características microbiológicas limites para as duas classes, conforme a 'Norma 503', são:

- Classe A: menos de 10^3 coliformes termotolerantes por grama de sólidos secos ou menos de três *Salmonella* sp. por 4 gramas de sólidos secos. O limite estabelecido para coliformes termotolerantes foi fixado pelas evidências de resistência superior em comparação a outras bactérias patogênicas como *Salmonella*. O valor baseia-se no experimento de Yanko (1987, citado por EPA, 1992), que mostrou que esse nível de concentração se relaciona com os níveis muito baixos de *Salmonella* em biossólidos compostados. A abertura na normalização para se testarem os limites de *Salmonella*, em lugar de coliformes termotolerantes, se deve ao fato de que, em alguns tratamentos, como a compostagem e a aplicação de cal, a destruição de *Salmonella* pode ser completa, enquanto a presença de coliformes termotolerantes pode ser ainda verificada pela ocorrência de crescimentos (EPA, 1992).
- Classe B: menos de $2,0 \times 10^6$ coliformes termotolerantes por grama de sólidos secos no momento do uso ou da disposição. Além desse requisito, são estabelecidas restrições para a aplicação de biossólidos classe B no solo, fixadas com base no tempo necessário à ocorrência de redução significativa de ovos de helmintos. As restrições vão de 38 meses a 20 dias, dependendo do local onde o biossólido for aplicado.

Os biossólidos classe B têm qualidade sanitária inferior aos de classe A, podendo ser aplicados aos solos sob variedade de restrições. De acordo com o regulamento, há três formas distintas para enquadramento de biossólidos nessa categoria:

- a) A média geométrica da concentração de coliformes fecais de sete amostras deve ser inferior a 2×10^6 NMP/g ST. Estas amostras são consideradas suficientes para reduzir o erro das variações na qualidade do lodo e da precisão do método analítico, a valores razoáveis (EPA, 1992).
- b) No tratamento do lodo deve ser utilizada uma das alternativas indicadas como Processos de Redução Significativa de Patógenos (PSRP): digestão aeróbia, associando tempo e temperatura (tempo entre 40 dias, a 20°C, e 60 dias, a 15°C); secagem ao ar, em leitos de areia ou em áreas pavimentadas ou não, durante no mínimo três meses, com temperatura ambiente média acima de 0°C, durante pelo menos dois meses; digestão anaeróbia, com associação de tempo e temperatura (tempo entre 15 dias, a 35-55°C, e 60 dias, a 20°C); compostagem do lodo, elevando a temperatura acima de 40°C, assim permanecendo por cinco dias, e elevação acima de 55°C, durante quatro horas nesse período; e adição de cal, a fim de elevar o pH a 12, após duas horas de contato;
- c) Utilização de processos de tratamento equivalentes aos de redução significativa de patógenos.

O limite de coliformes termotolerantes de 2×10^6 NMP/g ST foi estabelecido com resultados obtidos pela EPA (1992), indicando que, neste limite, os vírus e as bactérias estão reduzidos. Esta densidade é resultante de redução equivalente a 2 log, para coliformes termotolerantes no tratamento, sendo esperada correlação com redução de 1,5 log, na densidade de *Salmonella*, e de 1,3 log, na de vírus entéricos.

Além desses requisitos, são estabelecidas restrições para aplicação de biossólidos da classe B no solo, fixadas com base no tempo necessário à ocorrência de redução significativa de ovos de helmintos (NRC, 1996):

- Culturas alimentícias em que partes comestíveis tocam a mistura solo/biossólido e que estão totalmente acima da superfície do solo como melões, pepinos, morangos etc.; a colheita será somente após 14 meses da aplicação e o plantio pode ser iniciado antes deste período.
- Culturas alimentícias em que partes comestíveis ficam abaixo da superfície do solo, em contato direto com a mistura solo/biossólido como batatas, cenouras, rabanetes etc.; a colheita será somente após 20 meses depois da aplicação, se o biossólido permanecer na superfície do solo por quatro

meses ou mais, antes de ser incorporado ao solo. Caso o biossólido seja incorporado nos últimos quatro meses, as culturas não devem ser colhidas nos 38 meses seguintes à aplicação.

- Outros alimentos, forragens e fibras: a colheita será somente após 30 dias depois da aplicação do biossólido.
- Pastagens: é proibido usar o pasto antes de 30 dias, após a aplicação do biossólido.
- Gramados: a ceifa será somente após um ano da aplicação do biossólido.
- Locais com elevado potencial de acesso público como campos de futebol: o acesso será restrito durante um ano, após a aplicação do biossólido.
- Locais com baixo potencial de acesso público como plantações de milho ou soja: será restrito durante 30 dias da aplicação do biossólido.

2.9.2. Regulamentação europeia

A Diretiva 86/278/CEE, de 12/06/86, é a diretriz europeia que regulamenta o uso agrícola de biossólido na Comunidade Europeia. Esta diz respeito à proteção do meio ambiente e limita as concentrações máximas admissíveis de cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco nos biossólidos, que se destinam à aplicação em solos agrícolas, e nos próprios solos receptores; não fixa limites ou concentrações de microrganismos patogênicos nos biossólidos a serem utilizados, estabelecendo, entretanto, algumas regras:

- Os membros devem proibir o uso de biossólidos em solos, nos quais serão cultivadas frutíferas, exceto para árvores.
- Os biossólidos devem ser tratados antes do uso na agricultura, podendo os membros autorizar, sob condições fixadas, a injeção no solo de biossólidos não tratados.
- Os membros devem proibir o uso de biossólidos em pastagens e em forrageiras, antes de certos períodos de tempo decorrido, a serem por eles estabelecidos, levando em consideração as condições geográficas e climáticas. Este período, em nenhuma circunstância, deve ser inferior a três semanas.

- Para as áreas onde serão cultivadas frutas e vegetais que entram em contato direto com o solo, normalmente ingeridos crus, a colheita só pode ser efetuada decorrido período mínimo de 10 meses após a aplicação.

2.9.3. Legislação brasileira

No Brasil, o controle do uso agrícola de lodos de esgoto é estabelecido pela Resolução CONAMA 375, de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006). Esta norma define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados e dá outras providências.

Segundo essa Resolução, são definidas duas 'classes' de biossólidos, A e B, cujos parâmetros de qualidade microbiológica são caracterizados por.

- Biossólido classe A: coliformes termotolerantes < 10³ NMP/g de ST; ovos viáveis de helminto < 0,25 ovo/g de ST; *Salmonella* ausência em 10 g de ST; e vírus < 0,25 UFP ou UFF/g de ST.
- Biossólido classe B: coliformes termotolerantes < 10⁶ NMP/g de ST; ovos viáveis de helminto < 10 ovos/g de ST.

Na Tabela 6 é resumida esta informação.

Tabela 6 – Limites para ovos de helmintos, coliformes termotolerantes, *Salmonella* e vírus em lodos, segundo Resolução CONAMA 375/2006

Parâmetro	Limites lodo classe A	Limites lodo classe B
Contagem de ovos viáveis de helminto	< 0,25 ovo/g ST	< 10 ovos/g ST
Coliformes termotolerantes	< 10 ³ NMP/g de ST	< 10 ⁶ NMP/g de ST
<i>Salmonella</i>	Ausência em 10 g de ST	-
Vírus	< 0,25 UFP ou UFF/g de ST	-

Fonte: Brasil (2006).

A legislação também descreve os processos de redução: significativa de patógenos, necessários para a obtenção de lodos de esgoto ou produto derivado tipo B; adicional de patógenos, necessários para a obtenção de lodos de esgoto ou produto derivado tipo A; e da atratividade de vetores. Segundo a resolução, outros processos poderão ser propostos, desde que haja comprovação de sua eficiência e seja aceito pelo órgão ambiental. A seguir, são descritos estes processos:

a) Processos de redução significativa de patógenos

- Digestão aeróbia – a ar ou oxigênio, com retenções mínimas de 40 dias a 20°C ou por 60 dias a 15°C.
- Secagem em leitos de areia ou em bacias, pavimentadas ou não, durante período mínimo de três meses.
- Digestão anaeróbia por período mínimo de 15 dias a 35-55°C ou de 60 dias a 20°C.
- Compostagem, desde que a biomassa atinja temperatura mínima de 40°C, durante pelo menos cinco dias, com a ocorrência de pico de 55°C, ao longo de quatro horas sucessivas, durante este período.
- Estabilização com cal, mediante adição de quantidade suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12, por período mínimo de duas horas.

b) Processos de redução adicional de patógenos

- Compostagem confinada ou em leiras areadas, três dias a 55°C no mínimo, ou com revolvimento das leiras, 15 dias a 55°C no mínimo, com revolvimento mecânico da leira, durante pelo menos cinco dias ao longo dos 15 do processo.
- Secagem térmica direta ou indireta para reduzir a umidade do lodo de esgoto ou produto derivado a 10% ou menos, devendo a temperatura das partículas de lodo de esgoto e seus produtos derivados superarem 80°C ou a temperatura de bulbo úmido de gás, em contato com o lodo de esgoto e seus produtos derivados, no momento da descarga do secador, ser superior a 80°C.

- Tratamento térmico pelo aquecimento do lodo de esgoto ou produto derivado líquido a 180°C, no mínimo, durante período de 30 minutos.
- Digestão aeróbia termofílica a ar ou oxigênio, com tempos de residência de 10 dias a temperaturas de 55 a 60°C.
- Processos de irradiação com raios beta a dosagens mínimas de 1 megarad a 20°C, ou com raios gama na mesma intensidade e temperatura, a partir de isótopos de Cobalto 60 ou Césio 137.
- Processos de pasteurização, pela manutenção do lodo de esgoto ou produto derivado à temperatura mínima de 70°C, por período de pelo menos 30 minutos.

A normalização apresenta algumas opções para a demonstração de que os processos de tratamento utilizados alcançam os padrões microbiológicos requeridos (Tabela 7). Resumidamente:

- Tratamento aeróbio do lodo por, ao menos, 14 dias, acima de 40°C, com a temperatura média superior a 45°C.
- Adição de composto alcalino de forma a elevar o pH até pelo menos 12 a 25°C, mantendo-o acima deste valor por duas horas, e, acima de 11,5, por mais 22 horas;
- Teor de sólidos maior ou igual a 75%, antes da mistura com outros materiais, para lodos sem sólidos não estabilizados.
- Teor de sólidos maior ou igual a 90%, antes da mistura com outros materiais, para lodos contendo sólidos não estabilizados.
- Incorporação do lodo no solo dentro de seis horas da aplicação.

2.9.4. Avaliação comparativa entre as legislações dos Estados Unidos, Comunidade Europeia e do Brasil

Embora estabeleça restrições, a legislação europeia preocupa-se muito mais com a presença de metais do que de microrganismos, não utilizando “classes” de lodo.

As legislações americana e brasileira estabelecem, de forma similar, dois níveis de qualidade dos bio-sólidos, determinados como bio-sólidos classe “A” e “B”. Outra característica é que essas diretrizes têm estabelecidas

diferentes restrições de aplicação ou uso do bioestabilizado, que variam desde a simples proibição de aplicações específicas, restrições de culturas, até o estabelecimento de restrições para colheita, pastagem e acesso público, baseadas no entendimento de que, dado o tempo suficiente, os patógenos ainda presentes nos bioestabilizados tratados passarão por decaimento natural no solo. Dessa maneira, a definição de classes de bioestabilizados, A e B, e as respectivas restrições de uso alcançam o nível de proteção da saúde. Na Tabela 7 são mostrados os padrões microbiológicos para uso de bioestabilizados no solo.

Tabela 7 – Padrões microbiológicos de bioestabilizados para aplicação e uso agrícola, segundo as legislações dos Estados Unidos, Reino Unido e Brasil

País	<i>E. coli</i> ou CF (CTer)	Salmonella	Vírus entéricos	Ovos de helmintos
Bioestabilizados Classe A				
EUA	< 10 ³ CF/gST	< 3 NMP/4 gST	< 1 UFP/4 gST	< 1/4 gST
Reino Unido	< 10 ³ <i>E.coli</i> /gST	ND em 2 gST	< 0,25 UFP/gST ou < 0,25 UFF/gST	< 0,25/gST
Brasil	< 10 ³ CTer/gTS	ND em 10 gST	-	-
Bioestabilizados Classe B				
EUA	< 2 x10 ⁶ CF/gST	-	-	-
Reino Unido	< 10 ⁵ <i>E.coli</i> /gST	-	-	-
Brasil	< 10 ⁶ CTer/gST	-	-	< 10/gS

Fonte: Bastos (2009).

Notas: CF: coliformes fecais; CTer: coliformes termotolerantes; NMP: número mais provável; UFP: unidade formadora de placa; UFF: unidade formadora de foco; ST: sólidos totais seco; e ND: não detectável.

Os critérios de qualidade classe A são essencialmente os mesmos nas três legislações, em termos de padrão de *E. coli* ou coliformes termotolerantes (10³ organismos por g ST), o que é assumido nos Estados Unidos como indicador, ou parâmetro substituto, da ausência de *Salmonella*.

No Reino Unido, para ser designado como bioestabilizado classe A, o produto final deve apresentar concentração máxima permitida de 10³ *E. coli*/g

de ST e ausência de *Salmonella* spp. Adicionalmente, o tratamento avançado deve assegurar remoção de *E. coli* de 99,9999%.

Essas restrições não devem desestimular a realização de pesquisas de processos de pós-tratamento, principalmente os de custos mais baixos, visando à produção de material com maior segurança sanitária e com campo maior de utilização.

Em geral, as restrições fixadas na regulamentação brasileira para os diferentes usos de bio sólidos classe B são similares às das legislações dos EUA, do Reino Unido e Comunidade Européia. A princípio, comparadas às dos EUA e do Reino Unido, as condições climáticas brasileiras deveriam ser as menos favoráveis para a sobrevivência de patógenos, mas ainda assim a Resolução CONAMA 375/2006 estabelece critérios muito mais restritivos, ao ponto de proibir a aplicação em culturas alimentícias e pastagens. Mais uma vez, a abordagem brasileira aparenta ser extremamente conservadora, exceto, contraditoriamente, pelo padrão bastante permissivo de ovos de helmintos. Além disso, é possível que os regulamentos se tornem mais restritivos no futuro, a fim de obrigar um tratamento mais avançado do bio sólido antes da sua utilização (BASTOS, 2009).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar o decaimento de organismos patogênicos em lodo de esgoto higienizado por solarização e caleação.

3.2. Objetivos específicos

- Avaliar o decaimento microbiano (*Escherichia coli* e *Salmonella* spp.) e de ovos de helmintos em biossólido higienizado por solarização e caleação, em escala real.
- Determinar o decaimento microbiano (*Escherichia coli* e *Salmonella* spp.) em biossólidos higienizados por solarização e caleação, em experimentos de bancada.
- Estimar tempo de permanência dos microrganismos (*Escherichia coli* e *Salmonella* spp.) e ovos de helmintos em solo adubado com biossólido, em experimentos de bancada.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de campo (produção de biossólido e avaliação do decaimento de microrganismos) foram desenvolvidos na Unidade Experimental de Tratamento de Esgotos e Utilização de Efluentes da Violeira, Viçosa, MG. Trata-se de uma unidade experimental implantada no âmbito do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), em operação desde outubro de 2001. Como parte desta unidade, existe instalada a ETE Violeira, um sistema de tratamento de esgoto operado pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município de Viçosa (SAAE-Viçosa).

As análises laboratoriais e os experimentos de bancada foram realizados nas dependências do Laboratório de Controle da Qualidade da Água da Divisão de Água e Esgotos (DAG/UFV).

4.1. Lodo de esgoto utilizado no experimento

O lodo de esgoto utilizado no experimento foi proveniente da ETE-Violeira, a qual é constituída por conjunto reator UASB + biofiltro aerado submerso (UASB + BF) e leitos de secagem para o lodo (Figura 1A). Esse sistema de tratamento de esgoto foi projetado para uma população de projeto de 1.500 habitantes e, atualmente, recebe a contribuição de 800 habitantes.

O lodo produzido no conjunto UASB + BF, e utilizado neste trabalho, era descartado com frequência quinzenal nos leitos de secagem (Figura 1B).

Lodos classe A ou B foram produzidos no local, utilizando técnicas de caleação ou solarização (secagem em estufa agrícola).



Figura 1 – ETE Violeira, Viçosa, MG: (A) Reator UASB + biofiltro e leitos de secagem cobertos; e (B) Detalhe dos leitos de secagem.

4.1.1. Amostragem do lodo não tratado

O lodo não tratado eram subamostras tomadas em pontos aleatórios; na sequência, misturadas para compor amostra composta de aproximadamente 1 kg. As amostras coletadas eram acondicionadas em sacos plásticos estéreis e transportadas ao laboratório em caixas de isopor com gelo. No laboratório, foram pesquisados os seguintes organismos: bactérias (coliformes totais, *Escherichia coli* e *Salmonella* spp.) e ovos de helmintos, além dos parâmetros umidade, pH e sólidos totais (ST). A amostragem era realizada depois do descarte do reator, com frequência de 15 dias entre lotes, para um total de três lotes amostrados.

4.2. Decaimento microbiano em biossólidos higienizados por solarização e caleação em experimento de campo

4.2.1. Higienização do lodo

O lodo produzido na ETE-Violeira foi tratado (higienizado) por solarização e caleação. No primeiro caso, o lodo foi disposto em leiras no interior de estufa agrícola medindo 9,0 x 6,4 m, com cobertura e laterais constituídas de lona plástica translúcida de 150 micra e cortina com sistema de fechamento na entrada. A estufa, com altura mínima de 1,80 m, pilares e arcos de sustentação metálicos, foi instalada em área com piso em concreto, com leve declive em direção à entrada, e com paredes laterais e ao fundo fabricadas de tijolo com 40 cm de altura (Figura 2). Apesar de as laterais da estufa contarem com cortinas reguláveis, possibilitando a abertura e ventilação interna, optou-se por mantê-las fechadas ao longo de todo o experimento, sendo abertas somente para a coleta de amostras. Para a caleação, o lodo retirado do reator foi misturado à cal virgem na proporção de 50% do peso seco, quando o lodo atingia 70% de umidade. A mistura durava três minutos em betoneira. Este tempo é suficiente para que ocorra contato da massa de lodo com a cal. Posteriormente, a mistura foi disposta em leiras em estufa agrícola e coberta com lona plástica de cor preta por 15 dias (Figura 3). O objetivo de cobrir o lodo foi de reter a amônia formada pela reação de adição de cal e com isto otimizar a morte de patógenos. Esta prática não é usual se aplicada em grandes quantidades de massa de lodo estocado.



Figura 2 – Estufa agrícola para solarização de lodos, ETE Violeira, Viçosa, MG.



Figura 3 – Estufa agrícola com lodo caleado coberto com lona plástica, ETE Violeira, Viçosa, MG.

4.2.2. Coleta de amostras em biossólidos caleado e solarizado

A partir das leiras de lodo, higienizado por solarização e caleação, foram coletadas quatro subamostras de lodo em diferentes camadas das leiras (superficial, mediana e profunda). Estas amostras, colhidas com pá de jardim, eram dispensadas em um mesmo saco plástico estéril e, posteriormente, homogeneizadas, conformando, assim, uma amostra composta com massa aproximada de 2 kg. Estas, armazenadas sob refrigeração, caixa de isopor com gelo, eram transportadas ao laboratório para processamento. A amostragem foi realizada com intervalo de sete dias até atingir biossólidos classe B, aproximadamente 42 dias. Foram pesquisados parâmetros microbiológicos (coliformes totais, *E. coli*, *Salmonella* spp. e ovos viáveis de helmintos), físico (umidade) e químicos (pH e sólidos totais – ST).

4.2.3. Análises laboratoriais

4.2.3.1. Parâmetros físicos e químicos

a) Determinação do pH

O princípio da técnica consiste em misturar o lodo à água e a solução aquosa resultante deverá ser lida no pHmetro.

As análises de pH, realizadas em pHmetro digital, seguiram o seguinte procedimento, conforme especificações na EPA Método 9045 D, descrito no *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods* (USEPA, 2004):

- Pesar 20 g da amostra e transferir para um becker de 100 mL.
- Adicionar 50 mL de água destilada.
- Agitar por cinco minutos e deixar em repouso por 15 minutos.
- Realizar a leitura do pH em pHmetro digital.

b) Umidade

A pesquisa do parâmetro umidade seguiu as especificações de Andreoli et al. (2001b), cujo procedimento consta, basicamente, das seguintes etapas:

- Colocar em cadinho de porcelana em estufa a 103°C, por uma hora.
- Esfriar até temperatura ambiente em dessecador.
- Acrescentar ao cadinho de porcelana, aproximadamente, 200 g de lodo e distribuir a amostra uniformemente.
- Deixar em estufa, a 65°C, entre 24 e 30 h.
- Esfriar em dessecador e pesar novamente.

A diferença entre a massa inicial da amostra e a amostra após a secagem em estufa, corresponde à umidade da amostra, perdida durante o processo de dessecação, a qual é expressa em percentual de água ou umidade, conforme a equação 1.

$$U(\%) = \frac{MU(g) - MS(g)}{MU(g)} \quad (1)$$

em que U é umidade; UM, massa úmida; e MS, massa seca.

c) Determinação do teor de sólidos totais

A pesquisa de sólidos totais seguiu as especificações do Standard Methods (CLESCERL et al., 1998). O procedimento analítico é constituído das seguintes etapas:

- Utilizar recipiente que tenha passado pelo dessecador e esteja com peso constante.
- Colocar 50 mg de lodo e pesar novamente.
- Colocar o recipiente e seu conteúdo em estufa mantida a 103-105°C, durante pelo menos uma hora.
- Diminuir a temperatura da amostra até a temperatura ambiente, em dessecador, e pesar novamente.
- Repetir o processo de secagem até que a perda de peso não seja maior do que 4% do peso anterior.

O cálculo do teor de sólidos totais é feito utilizando a equação 2.

$$ST(\%) = \frac{(A-B) \times 100}{C-B} \quad (2)$$

em que A é massa do resíduo seco + prato (mg); B, massa do prato (em mg); C, massa da amostra úmida + prato (em mg).

4.2.3.2. Parâmetros microbiológicos

a) Determinação do número de coliformes

As bactérias do grupo coliformes totais e *E. coli* foram quantificadas por meio do método do substrato cromogênico, com base na ativação de enzimas presentes nessas bactérias, por meio de substratos específicos, conforme descrito em Environmental Protection Agency (EPA, 2003). Foram utilizados nas análises o meio de cultura Colilert-24 horas e cartelas quanti-tray (Sovereign Brasil®).

O método consiste em preparar, em um recipiente, uma diluição inicial da amostra original com 10 g de lodo de esgoto e adição de 90 mL de água destilada ou deionizada, homogeneizando a mistura. O conteúdo de um sachê Colilert é então adicionado ao frasco, que, posteriormente, é adicionado à cartela, que é selada e incubada à temperatura de $37,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$ durante, pelo menos, 18 horas e não mais de 24 horas. Após a incubação, os números de poços que apresentam cor amarela são considerados positivos, para coliformes totais, e os que exibem fluorescência sob luz ultravioleta (365 nm), positivos para *E. coli*.

Após a leitura, identificar, na tabela de números mais provável (NMP), o número correspondente de coliformes totais e *E. coli*, encontrado nas amostras. A expressão final dos resultados de coliformes por sólidos totais é feita utilizando as equações 3 e 4.

Para o NMP (C_w) por g de lodo original (úmido):

$$C_w = \frac{N \times b \times d}{a} \quad (3)$$

em que C_w é número de coliformes totais ou *E. coli*, em 1 g do lodo original (úmido); N, NMP de coliformes totais ou *E. coli*, obtido na tabela de

probabilidade, por 100 mL examinados; a, volume da amostra diluída (tipicamente, 1 mL); b, fator de diluição inicial do lodo (neste caso, 10 – representa 10 g em 90 mL); d, fator de diluição das diluições seriais em água deionizada ou destilada (número de diluições feitas).

Para o NMP (C_d) por g de sólidos secos, ou seja, por g de lodo seco:

$$C_d = \frac{C_w \times 100}{e} \quad (4)$$

em que C_d é NMP de coliformes totais ou *E. coli*, em 1 g do lodo seco; C_w , NMP de coliformes totais ou *E. coli*, em 1 g do lodo original (úmido); e, conteúdo de sólidos secos expresso em porcentagem do lodo original (úmido).

b) Pesquisa de *Salmonella* spp.

A pesquisa de *Salmonella* seguiu as recomendações da Environmental Protection Agency (EPA, 2004), basicamente obedecendo as seguintes etapas: pré-enriquecimento não seletivo em água peptonada tamponada (Acumedia), em diferentes concentrações (normal e duplicada), seguido de enriquecimento seletivo em Rappaport Vassiliads (Himedia), com adição do antibiótico Novobiocina, plaqueamento diferencial em ágar Xilose Lisina Desiciolato (XLD) (Acumedia), verificação de reações características em ágar Tríplice Açúcar Ferro (TSI) (Himedia) e em ágar Lisina Ferro (LIA) (Himedia) e, finalmente, testes sorológicos, utilizando soros polivalentes somático e flagelar.

c) Determinação do número de ovos de helmintos

Para a determinação do número de ovos de helmintos, adotou-se o método de Meyer, conforme descrito por Andreoli e Bonnet (2000). Este consiste, basicamente, em pesar 75 g de lodo; lavar com água sanitária a 50%, centrifugar a 2.800 rpm, durante três minutos; e descartar o sobrenadante. Após a etapa de lavagens, adicionar 75 mL da solução de $ZnSO_4$, densidade 1,18; centrifugar a 2.800 rpm, durante três minutos; e filtrar em membrana de Milipore 0,45 μm de porosidade. Posteriormente, é incubado por 28 dias, a 25°C para determinação da viabilidade dos ovos, contar e identificar os ovos em microscopia ótica, utilizando câmara de Sedgwick-Rafer.

Após a recuperação dos ovos do lodo, a placa de Petri, contendo os ovos recuperados, deve ser envolvida em papel-alumínio e incubada no escuro, em estufa a 28°C, durante 28 dias. Este tempo tem sido considerado como período ótimo, pois garante margem de segurança para a análise da viabilidade. Após esse período, proceder à leitura.¹

O cálculo do número de ovos de helmintos nas amostras é feito utilizando a equação 5.

$$N_f = 1.000 \times \left(\frac{N_i \times V_f}{V_i \times C} \right) \quad (5)$$

em que N_f é número final de ovos na amostra analisada (ovo/g de sólidos totais – ST); N_i , número de ovos contados (média dos valores encontrados em cada câmara); V_f , volume final da amostra; V_i , volume inicial da amostra (75 g); C , concentração de sólidos totais (g/L).

4.3. Decaimento microbiano em misturas de biossólido com solo em experimentos de bancada

4.3.1. Delineamento experimental

Para os experimentos de bancada, foram utilizadas amostras de solo coletadas na área experimental (Unidade Experimental de Tratamento de Esgotos e Utilização de Efluentes da Violeira, Viçosa, MG), provenientes da camada do solo localizada entre 0 e 30 cm de profundidade. Estas foram secas ao ar e passadas por peneira de 4 mm de malha.

As amostras de biossólido utilizadas foram constituídas de biossólidos higienizados por solarização e caleação, produzidas, conforme descrito no item 4.2.1, e caracterizadas como classe B, segundo a Resolução CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006).

¹ É necessário oxigenar as placas pelo menos em dias alternados, para que os ovos se desenvolvam. Como o H_2SO_4 evapora durante a incubação, basta completar o volume da amostra, mantendo-o em torno de 15 mL na placa.

A partir das amostras de solo e biossólido, foram empregadas quatro combinações, para formar os tratamentos, que, para cada um, foram feitas três repetições, com as seguintes proporções:

- Tratamento 1: 75% de biossólido + 25% de solo.
- Tratamento 2: 50% de biossólido + 50% de solo.
- Tratamento 3: 25% de biossólido + 75% de solo.
- Tratamento 4: 100% de solo.

As misturas biossólido + solo foram dispostas em vasos plásticos individuais.

Previamente lavados, com capacidade de 3 kg, os quais foram armazenados em área coberta para monitoramento. A disposição dos vasos em bancadas seguiu um desenho completamente casualizado (Figura 4).



Figura 4 – Vasos plásticos contendo as misturas biossólido + solo, nas dependências do Laboratório de Controle da Qualidade da Água da Divisão de Água e Esgotos (DAG/UFV).

Considerando os tipos de biossólidos (solarizado e caleado), as combinações biossólido + solo e as três repetições, foram monitorados 24 vasos, 12 com biossólido solarizado e 12 caleado.

Os vasos eram irrigados com água destilada livre de contaminação, evitando qualquer interferência nos tratamentos. A irrigação foi realizada uma ou duas vezes por semana, dependendo da temperatura do ambiente, com o objetivo de simular as condições de campo como chuvas etc.

4.3.2. Coleta de amostras no experimento de bancada

A amostragem contendo a mistura biossólido + solo foi realizada em intervalos de 15 dias. A primeira amostra de cada vaso foi retirada logo após a mistura do biossólido com o solo. Para helmintos, a amostragem foi de 0, 45, 60, 75 e 90 dias.

A colheita de amostras foi realizada em cada vaso, incluindo as repetições, coletando-se, aproximadamente, 400 g da mistura, que foram armazenadas em sacos plásticos estéreis e transportadas ao laboratório para a realização das análises. Foram pesquisados parâmetros microbiológicos (coliformes totais, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. e ovos viáveis de helmintos), físico (umidade) e químicos (pH e sólidos totais – ST).

4.4. Análises laboratoriais

As metodologias analíticas adotadas nos experimentos de bancada foram as mesmas utilizadas para a determinação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nas amostras de lodo monitoradas no experimento de campo. As técnicas estão descritas no item 4.2.3.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados nos experimentos de campo e de bancada são apresentados e discutidos a seguir.

5.1. Avaliação do decaimento microbiano em biossólidos higienizados por caleação e solarização, em experimento de campo

Os resultados apresentados a seguir se referem ao monitoramento do lodo submetido a tratamento por caleação e solarização. Foram acompanhados três lotes de lodo bruto (descargas do conjunto UASB + BF) durante um período suficiente para que este atingisse características microbiológicas de biossólidos classe B, ou seja, < 10 ovos viáveis de helmintos/g ST e < 10⁶ NMP de coliformes termotolerantes/g de ST. Estas características foram alcançadas aos 42 dias de monitoramento, nos lotes 1 e 2, e aos 35 dias, no lote 3, sendo interrompido o monitoramento nestas datas.

5.1.1. Caracterização física e química

a) pH

O pH foi monitorado em três diferentes lotes de lodo submetidos ao processo de higienização por caleação. Observou-se que o lodo bruto dos lotes 1 e 2, antes do processo de caleação, apresentou pH médio (médias

aritméticas entre as repetições) de 7,1, elevando-se para 12,6, após sete dias; e, ao final do experimento (42 dias), o valor médio encontrado foi de 12,5 (Figura 5A). O lote 3 apresentou valores de pH inicial e final iguais a 7,1 e 12,5, respectivamente. A elevação súbita do pH está ligada à adição de cal ao lodo, promovendo inicialmente o aumento da temperatura (reação exotérmica), seguido pelo incremento de pH e, finalmente, a liberação de amônia livre. Os resultados encontrados são similares aos encontrados por Andreoli et al. (2001b), os quais mostraram significativa elevação do pH com a adição de cal, obtendo incremento do pH de 2,6 para 10,25. Passamani (2000) detectou valores de pH acima de 12, no dia da caleação; e os valores de pH encontrados por Mendonça e Campos (2000) foram de 11,9 a 12,5.

Os lotes 1 e 2 de lodo submetidos à solarização apresentaram valores médios de pH ao início e ao final do monitoramento (42 dias) iguais a, respectivamente, 7,1 e 6,3 (Figura 5B). No lote 3, a variação de pH foi de 6,4, no início do monitoramento, e 6,2, aos 35 dias. O pH do lodo de estufa caiu com o decorrer do tempo devido à atividade microbiana (ANDREOLI, 2001).

O processo de solarização não resulta em incremento do pH, já que é um processo físico que não aporta íons alcalinos ao biossólido tratado. É uma forma de aproveitar a radiação solar com a aplicação de um filme plástico transparente sobre a camada de lodo (KATAN et al., 1976, citados por ANDREOLI, 2001), promovendo o seu aquecimento interno (efeito-estufa). Atua como fator desinfetante na perda de umidade do lodo e, por conseguinte, na dessecação dos organismos.

b) Umidade e sólidos totais

Ao longo do monitoramento, ocorreu redução gradativa da umidade e do aumento do teor de sólidos totais, em ambos os processos de higienização, e as alterações observadas foram mais acentuadas no tratamento por solarização.

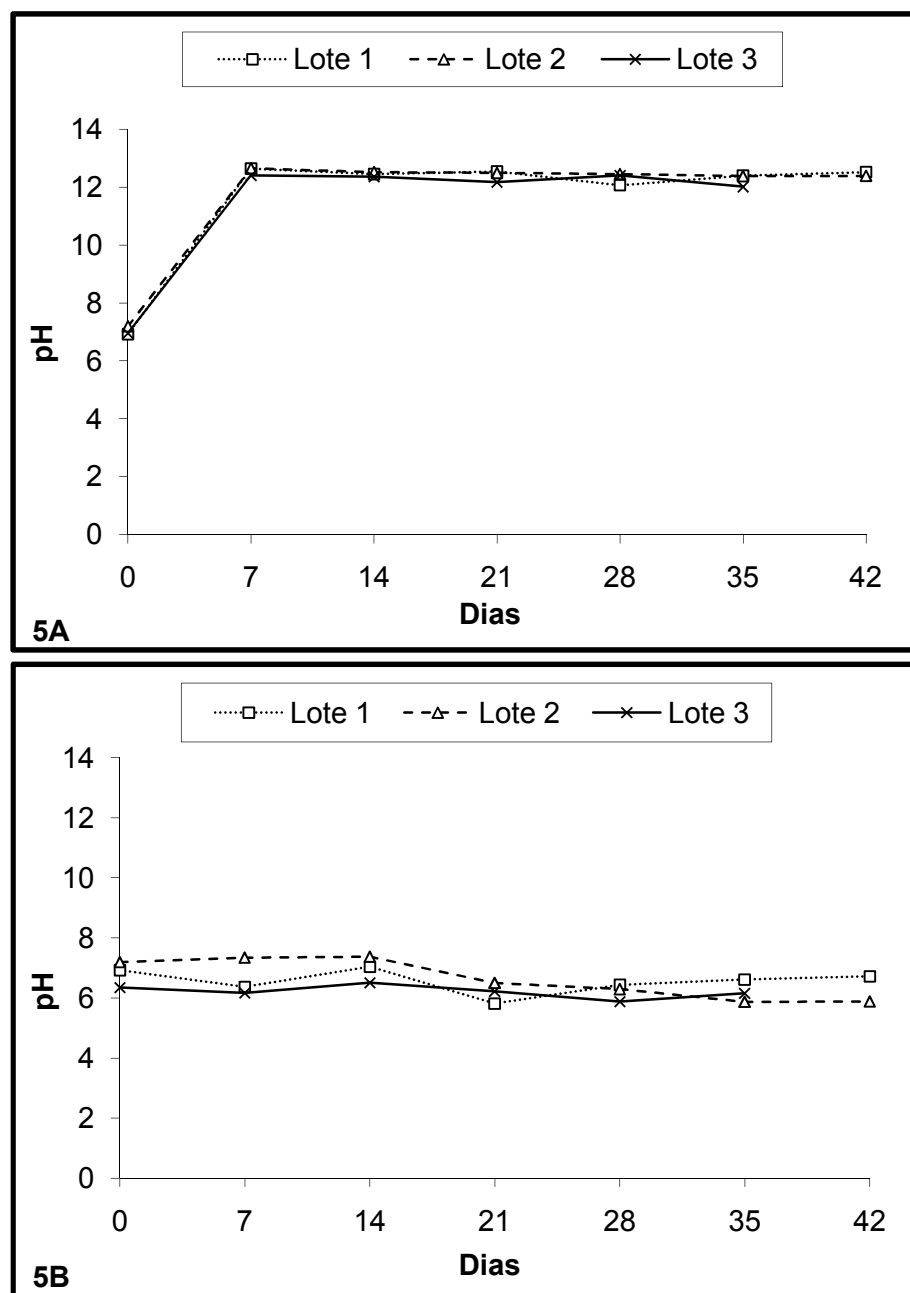


Figura 5 – Valores de pH em biossólidos caleado (A) e solarizado (B), ao longo do período de monitoramento.

Para o parâmetro umidade, foi observada redução dos teores a partir da segunda semana de coleta. Considerando o período de 42 dias de monitoramento nos lotes 1 e 2 caleados, a umidade média variou de 71,2 a 49,5%. No lote 3, foram apresentados valores de umidade inicial e final iguais a 67,2 e 13,4%, respectivamente. No tratamento por solarização, nos lotes 1 e 2 foram demonstrados umidade média inicial igual a 71,2% e, aos 42 dias de monitoramento, 33,6%. Contudo, no lote 2 foi mostrado, ao final do período de monitoramento, valor de umidade bem reduzido, 5,8%. No lote 3, foram evidenciados valores de umidade inicial e final iguais a 67,2 e 4,6%, respectivamente (Figuras 6A e 6B).

A redução da umidade pode ser explicada devido ao processo de mineralização que ocorre na matéria orgânica presente no lodo, com consequente perda de água, quando o lodo é submetido aos processos de caleação e solarização.

Quanto aos teores de sólidos totais, foi observada elevação dos níveis desse parâmetro, em ambos os tratamentos. Nos lotes 1 e 2, tratados por caleação, foram encontrados valores médios inicial de 44,5% e final de 70,5%. No lote 3, foram apresentados valores inicial e final iguais a 24,1 e 89,0%, respectivamente. Para o lodo submetido à solarização, os teores médios inicial e final (lotes 1 e 2) foram, respectivamente, 44,57 e 74,5%. No lote 3, foram exibidos valores inicial e final iguais a 24,1 e 95,6%, respectivamente (Figuras 7A e 7B).

Como era de se esperar, numa mesma amostra, a redução da umidade implicou no aumento do teor de sólidos totais. O incremento dos sólidos totais é explicado pelo efeito da secagem, pois a massa de lodo perde água por evaporação ao longo do processo de tratamento. Em estudos realizados por Andreoli et al. (2000), percebeu-se que a secagem de lodo em estufa plástica pode produzir lodo com 80% de sólidos totais, em 28 dias. Sabe-se que quanto maior a quantidade de material orgânico no lodo, maior a retenção de umidade; assim, sua decomposição faz com que a retenção de água seja menor.

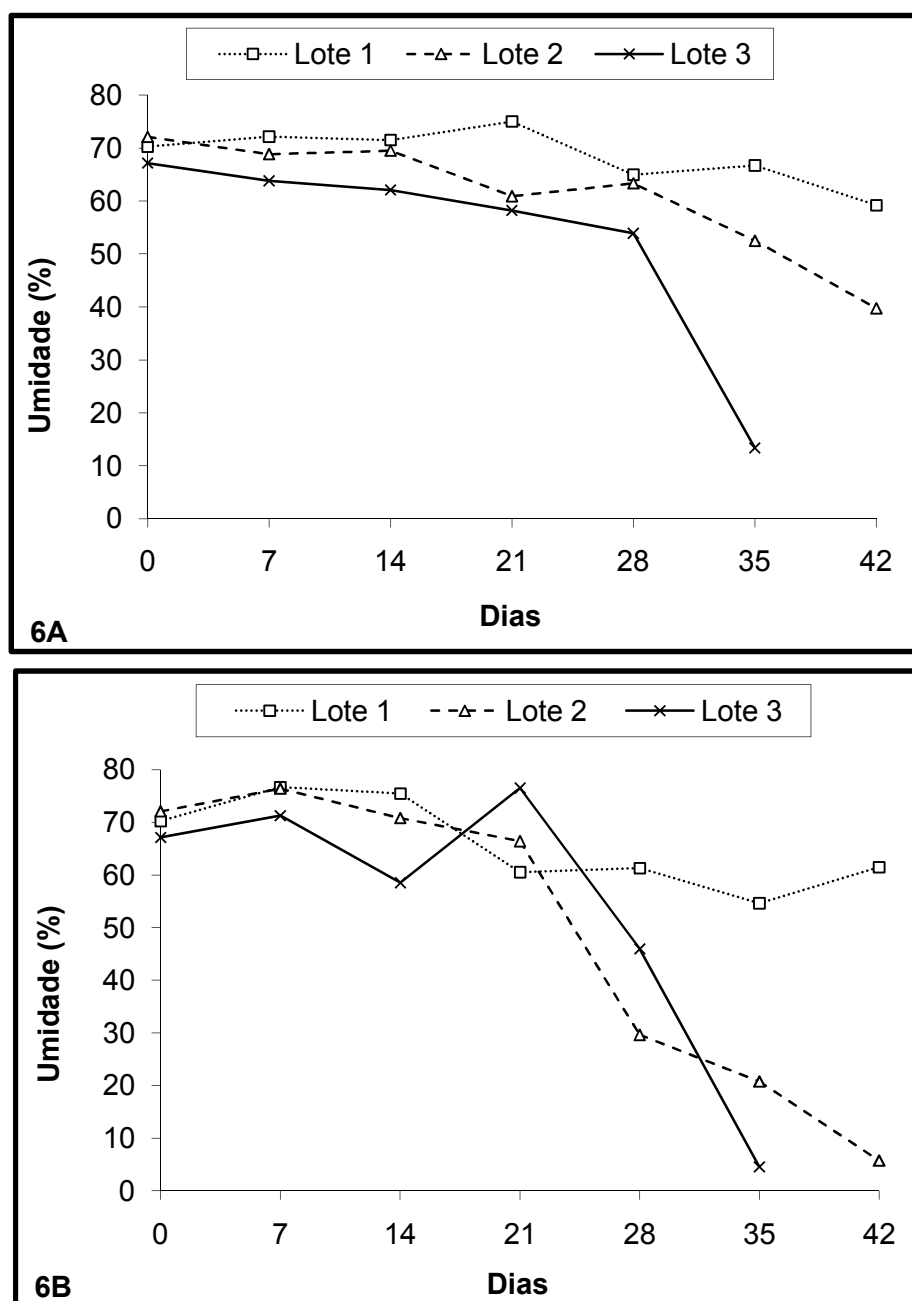


Figura 6 – Valores de umidade em biossólidos calcinado (A) e solarizado (B), ao longo do período de monitoramento.

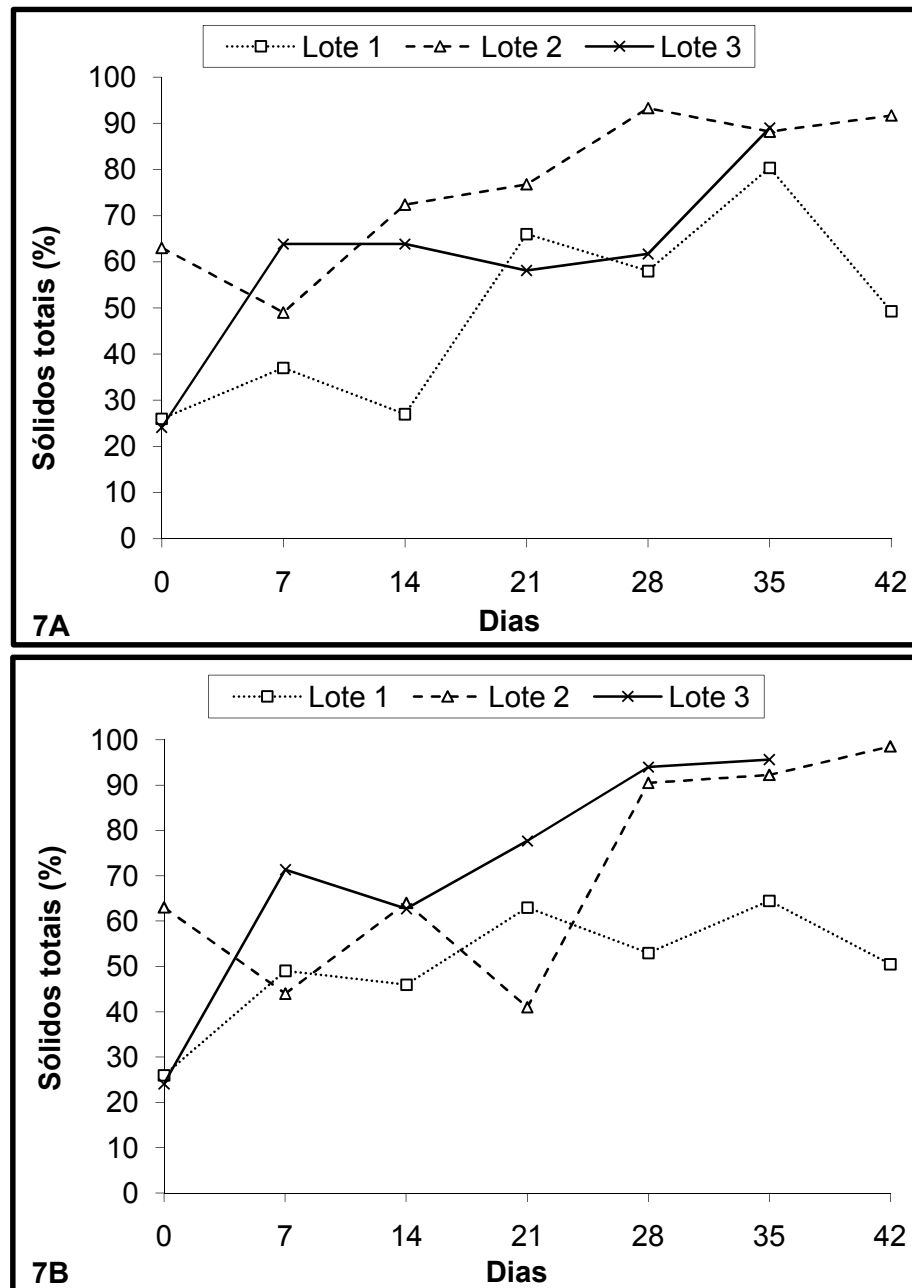


Figura 7 – Valores de sólidos totais em biossólidos caledado (A) e solarizado (B), ao longo do período de monitoramento.

Van Haandel e Lettinga (1994), ao trabalharem com a secagem de lodo em estufa plástica sobre leito de secagem, observaram bons resultados de incremento de sólidos, atingindo teor de sólidos desejável ao processo de reciclagem, considerado fundamental para o processo de higienização.

Bastos et al. (2007) conseguiram, em seu trabalho, lodo de estufa com 4% de umidade, aos 56 dias, após o descarte.

5.1.2. Caracterização microbiológica

a) Bactérias do grupo coliformes totais e *E. coli*

Para coliformes totais, foi encontrada concentração média inicial (lotes 1 e 2) igual a $1,44 \times 10^9$ NMP/g ST. O lote 3 apresentou concentração inicial igual a $3,09 \times 10^9$ NMP/g ST. Após sete dias, não foi detectada a presença destes microrganismos no lodo caleado nos três lotes. Segundo Camperos et al. (2000), os materiais alcalinos têm alto poder bactericida, que favorece a inativação de coliformes. Esses autores estimaram redução de coliformes da ordem de duas a quatro unidades logarítmicas, no transcurso de 60 dias depois da aplicação de doses maiores que 7 g de Ca(OH)_2 /kg de lodo.

No lodo tratado por solarização, observou-se, no lote 1, aumento da concentração de coliformes totais aos 28 dias e aos 42 dias. No lote 2, também se observou aumento da população de coliformes totais. Infere-se que esta variação populacional pode estar relacionada ao ciclo reprodutivo muito curto e com isso a oscilação populacional é constante; à alteração ambiental que resultou na reativação bacteriana como queda da temperatura ambiente; e à homogeneização da amostra que pode revelar estas diferenças na massa de lodo.

O lote 3 foi monitorado somente 21, 28 e 35 dias, após o início do tratamento por solarização, sendo os valores de coliformes totais iguais a $1,15 \times 10^8$ NMP/g ST, $2,97 \times 10^7$ NMP/g ST e $1,53 \times 10^6$ NMP/g ST, respectivamente.

Considerando os valores iniciais e finais de coliformes totais, observou-se redução de 2 log nos lotes 1 ($1,99 \times 10^9$ NMP/g para $2,64 \times 10^7$ NMP/g ST, aos 42 dias de monitoramento) e 2 ($8,84 \times 10^8$ NMP/g para $2,05 \times 10^6$ NMP/g ST, aos 42 dias de monitoramento) e de 3 log no lote 3 ($3,09 \times 10^9$ NMP/g para $1,53 \times 10^6$

NMP/g ST, aos 35 dias de monitoramento). Estes resultados coincidem com os relatados por Bitton (1994), que indicam que a secagem ao ar até teores de 95% de sólidos reduz a concentração de bactérias de 0,5 a 4 log. Da mesma forma, Bonnet et al. (1998) afirmaram que as concentrações de bactérias são reduzidas de maneira significativa pela radiação solar e desidratação do lodo. A caleação foi mais efetiva na eliminação de coliformes totais do lodo, comparando os dois tipos de tratamento.

Segundo Carrington (2001) e Koné et al. (2007), a rápida redução dos teores de umidade favorece a inativação dos microrganismos; entretanto, a simples restrição de umidade não é suficiente para diminuir os microrganismos patogênicos dos lodos de esgotos em níveis desejados.

Ainda segundo Bidone (2001), Liang et al. (2003) e Haug (1993), um teor de umidade inferior a 50% reduz significativamente a atividade biológica. No entanto, Tanner (2009) indicou que o nível de umidade mínimo, cuja sobrevivência de microrganismos é possível, situa-se aproximadamente em torno de 45%, teor de umidade maior do que o encontrado no lote 3, de biossólido tratado por caleação, e nos lotes 2 e 3, tratado por solarização (Figuras 6A e 6B).

Com relação à pesquisa de *E. coli* no lodo, nos lotes 1 e 2, foi apresentada concentração média de $4,26 \times 10^7$ NMP/g ST, o lote 3 apresentou concentração inicial igual a $1,00 \times 10^8$ NMP/g ST. Após sete dias, não foi detectada a presença dessa bactéria nos três lotes de lodo caleado. No lodo tratado por solarização, verificou-se aumento na concentração de *E. coli*, aos 28 e 35 dias, no lote 1, e, aos 21 e 28 dias, no lote 2 (Figuras 8 e 9).

Considerando os valores iniciais e finais de *E. coli* no lodo solarizado, observou-se redução de 2 log no lote 1 ($6,18 \times 10^7$ NMP/g para $4,11 \times 10^5$ NMP/g ST, aos 42 dias de monitoramento) e de 3 log nos lotes 2 ($2,34 \times 10^7$ NMP/g para $3,19 \times 10^4$ NMP/g ST, aos 42 dias de monitoramento) e 3 ($1,00 \times 10^8$ NMP/g para $9,18 \times 10^5$ NMP/g ST, aos 35 dias de monitoramento).

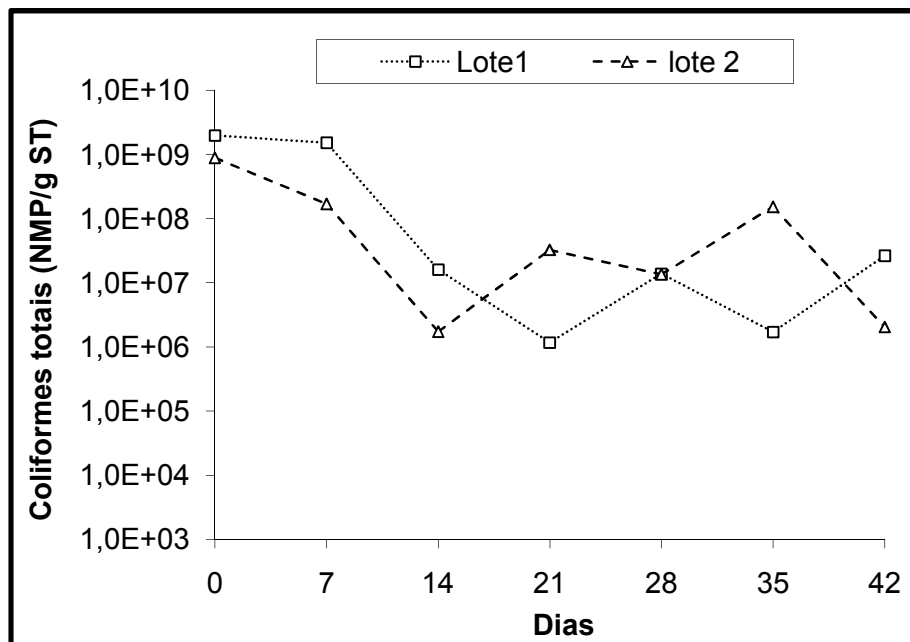


Figura 8 – Concentração de coliformes totais no bioossólido solarizado, ao longo do período de monitoramento.

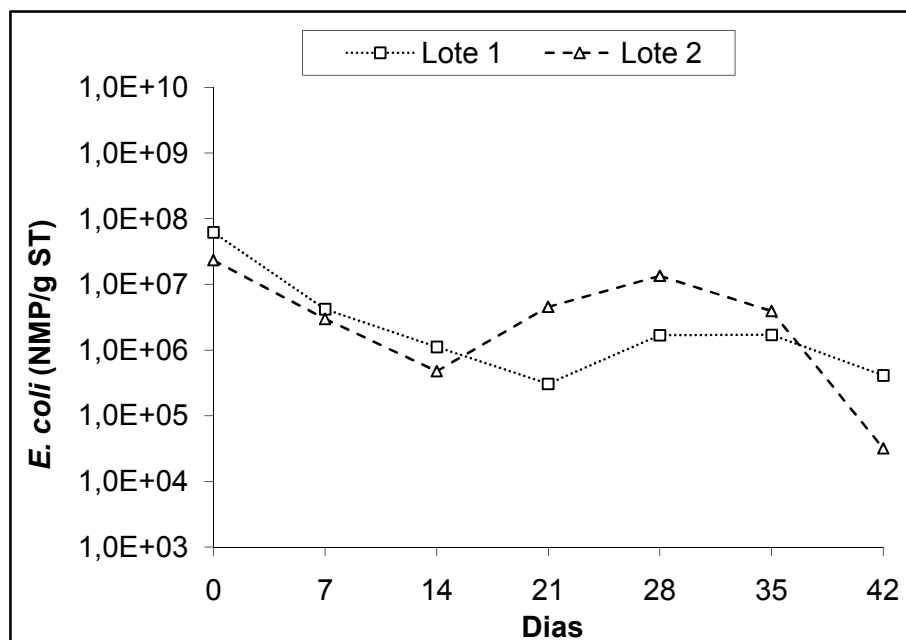


Figura 9 – Concentração de *E. coli* no bioossólido solarizado, ao longo do período de monitoramento.

Em experimentos conduzidos na ETE Franca, SP, utilizando a técnica de solarização para higienização do lodo de esgoto em caixas cobertas com plástico transparente, foram obtidos resultados com redução de coliformes e *E. coli* de até 99,99%, onde se registraram temperaturas maiores de 60°C, com permanência acima de 55°C, no interior da caixa, por mais de 24 horas, caracterizando o lodo como classe A (BUENO, 2000). Tchoubanoglous (1993) expôs que um ambiente com temperatura superior a 50°C, durante período maior que 60 minutos, pode ser letal para *Ascaris lumbricoides*, *Taenia saginata* e inclusive *E. coli*. A United States Environmental Protection Agency indicou que vírus, helmintos, protozoários e bactérias patogênicas são inteiramente destruídos, quando o lodo de esgoto é mantido a uma temperatura de 70°C, durante um intervalo maior que 30 minutos (USEPA, 1992).

Ressaltou-se que, no tratamento por caleação, o padrão de coliformes termotolerantes para biossólido classe A ($< 10^3$ NMP/g de ST) e B ($< 10^6$ NMP/g de ST), conforme preconizado pela legislação brasileira (BRASIL, 2006), foi alcançado aos sete dias, em razão de o monitoramento ter sido semanal. No tratamento por solarização, o padrão referido foi alcançado aos 42 dias, nos lotes 1 e 2, e aos 28 dias, no lote 3.

b) Ovos viáveis de helmintos

As concentrações iniciais de ovos viáveis de helmintos foram de 5,61; 2,96; e 10,0 ovos/g ST, para os lotes 1, 2 e 3, respectivamente. No tratamento por caleação, as concentrações de ovos foram iguais a 1,08; 0,14; e N.D. (não detectáveis) ovos/g ST, nos lotes 1, 2 e 3, respectivamente. As concentrações finais foram obtidas, após 42 dias, no caso dos lotes 1 e 2 e após 35 dias, no 3 (Tabela 8 e Figura 10A).

No tratamento por solarização, as concentrações finais de ovos viáveis detectadas foram 2,13; 0,87; e 0,0 ovos/g ST, nos lotes 1, 2 e 3, respectivamente. Também, nesse caso, as concentrações finais foram obtidas após 42 dias, nos lotes 1 e 2, e, após 35 dias, no 3 (Tabela 8 e Figura 10B).

No biossólido caleado, obteve-se redução de ovos de helmintos de 80,8; 95,3; e 100%, respectivamente para os lotes 1, 2 e 3. No solarizado, a diminuição foi de 62,0; 10,6 e 100% para os lotes 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 8 – Número de ovos viáveis de helmintos nos lotes de lodos, segundo o tipo de tratamento e o período de monitoramento

Lotes/Tratamento	Dias						
	0	7	14	21	28	35	42
Caleação							
1	5,61	4,74	2,63	1,31	1,49	0,49	1,08
2	2,96	2,99	1,66	1,05	0,64	0,00	0,14
3	10,00	0,41	ND	ND	ND	ND	⁽¹⁾
Solarização							
1	5,61	4,89	3,70	3,27	3,39	2,39	2,13
2	2,96	5,0	5,62	4,87	1,77	0,43	0,87
3	10,0	2,38	2,36	0,68	0,77	ND	⁽¹⁾

Nota: (1) Não realizado. ND: não detectado.

Ainda que os tratamentos tenham apresentado eficácias diferentes na eliminação de ovos de helmintos, ambos tiveram êxito em produzir biossólido com características adequadas, segundo o padrão previsto na Resolução CONAMA 375/2006 para biossólido classe A (< 0,25 ovos de helmintos/g ST) e classe B (< 10 ovos viáveis de helmintos/g ST). Considerando o lodo classe A, esse padrão foi alcançado aos 42 dias, no lote 2, e aos 14 dias, no 3. O lote 1 não alcançou o padrão previsto. Já o classe B, apenas no lote 3 a concentração inicial de ovos viáveis de helmintos não estava conforme a legislação; aos sete dias, o padrão de < 10 ovos viáveis de helmintos/g ST foi alcançado (Tabela 8).

No caso do tratamento por solarização, apenas o lote 3 alcançou, aos 35 dias, padrão de lodo classe A. Em se tratando de lodo classe B, apenas o lote 3 não apresentou concentração inicial de ovos viáveis de helmintos, conforme a legislação, tendo-se alcançado o padrão previsto na legislação, após sete dias de tratamento (Tabela 8).

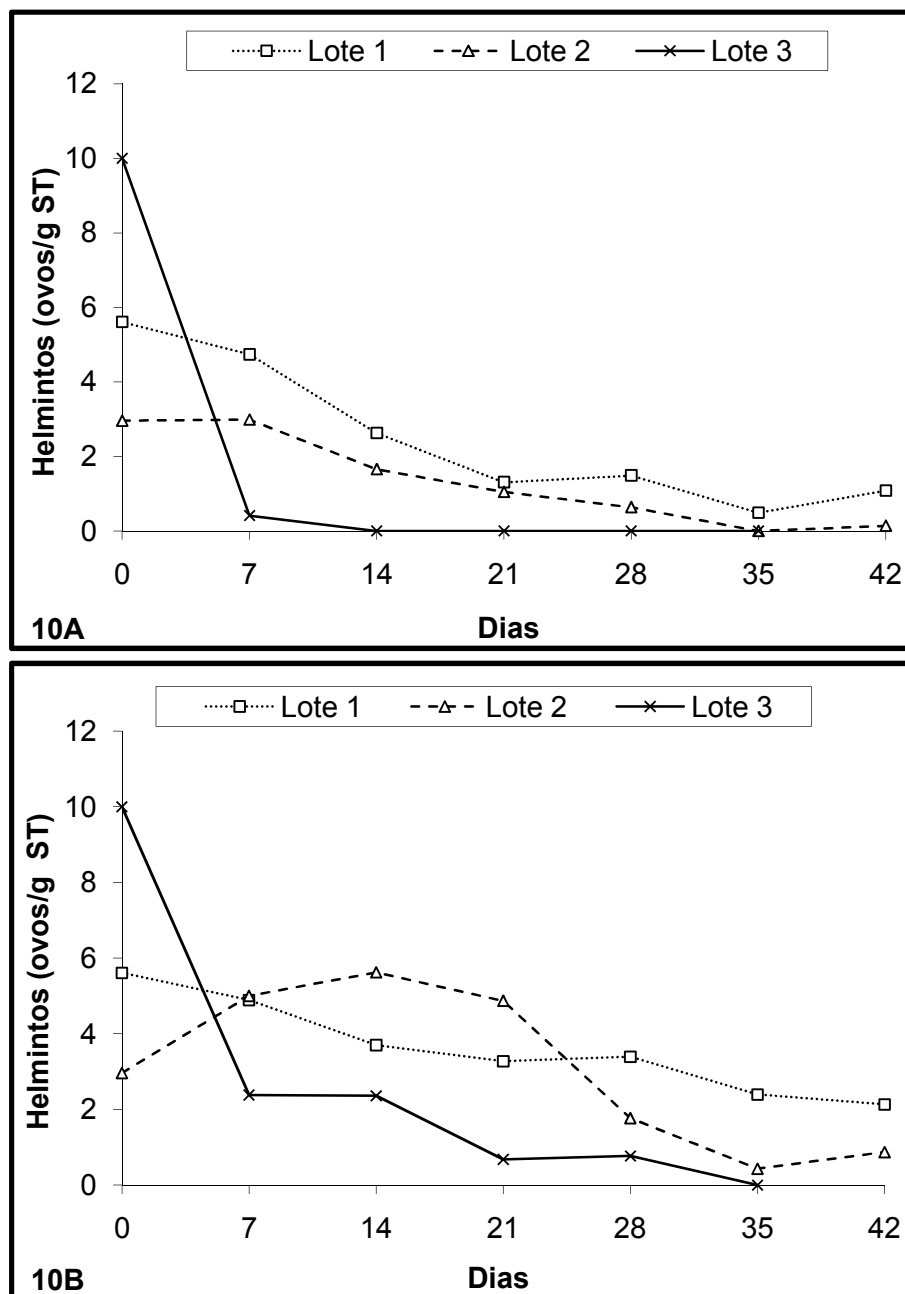


Figura 10 – Número de ovos viáveis de helmintos em biossólidos caleado (A) e solarizado (B), ao longo do período de monitoramento.

A diferença na eficácia de eliminação de ovos de helmintos verificada entre os tratamentos pode ser explicada pelo efeito alcalino que produz a aplicação da calagem, a qual modifica as condições físico-químicas, principalmente temperatura e pH, do lodo, após a aplicação da cal; estes efeitos podem inviabilizar os ovos de helmintos e, ao mesmo tempo, ocasionar a morte de outros microrganismos presentes no bio sólido.

Ghiglietti et al. (1995) estudaram os efeitos do tratamento alcalino, usando NH_4OH , sobre ovos de *Ascaris* spp. e *Trichuris* sp. e relataram que o aumento do pH foi devido principalmente ao radical OH, tendo o pH alcançado valores da ordem de 11,9. Esses autores confirmaram que o pH é um dos parâmetros mais importantes, quando se visa a higienização de bio sólido com elevação dos teores de alcalinidade. Carrington (2001) expôs que a combinação de pH e temperaturas elevadas destroem os ovos de *Ascaris lumbricoides*, em 24 horas. Fernandes et al. (1996), utilizando lodo aeróbio e doses de 30, 40 e 50% de cal e 20 dias de contato entre os dois produtos, encontraram redução média de 64,8; 80 e 90,68%, respectivamente. Já a caleação com cal a 40% e 90 dias de contato eliminou 100% dos ovos de helmintos do lodo (GODINHO et al., 2003).

Resultados similares foram encontrados por Thomaz-Soccol et al. (1999), quando testaram aplicação de 50% de cal num lodo aeróbio, observando que o percentual de viabilidade dos ovos no dia zero foi de 40% e que, após 90 dias, todos os ovos se apresentaram inviáveis. Bastos et al. (2007) não detectaram ovos com 10 dias, após a caleação com 50% de cal. Com 56 dias, conseguiram valor de 1 ovo, no lodo de estufa, não detectaram no lodo de classe A.

Segundo Andreoli et al. (2001b), a caleação é uma das alternativas mais econômicas para a higienização do lodo de esgoto. Os resultados encontrados neste estudo também estão de acordo com Reimers e Desocio (2001), que demonstraram a necessidade do tratamento por caleação como valores de pH entre 12 e 12,6 por períodos de 20 a 60 dias, para a eliminação de *Salmonella* e ovos de helmintos.

c) *Salmonella*

Esta variável microbiológica foi avaliada em termos de presença e ausência nos três lotes de lodo submetidos aos dois processos de tratamento. Desde a primeira análise realizada, em lodo não tratado, não foi detectada a presença de *salmonella* spp. Uma possível explicação para o fato, é o tempo que o lodo permanecia no leito de secagem antes de ser transportado para os processos de tratamento, de cinco a seis dias, o que pode ter provocado inativação dessa bactéria.

Almeida et al. (2006) não detectaram a presença de *Salmonella* spp. em lodos de esgotos e atribuiu o observado ao fato de que, nas condições experimentais, o lodo de esgoto permaneceu no leito de secagem, exposto ao sol, por período prolongado (60 dias). Tal fato criou condições desfavoráveis para a sobrevivência de alguns organismos patogênicos. Alem Sobrinho (2002) também não detectou *Salmonella* spp. no biossólido em todas as amostras analisadas ao longo dos primeiros 70 dias em experimento em valas de estocagem de 3m de largura, 6m de comprimento e 1m de profundidade e condições médias de temperatura de 23,5°C e temperatura do biossólido de 27,2°C.

5.2. Avaliação do decaimento microbiano em biossólidos higienizados por caleação e solarização, em experimentos de bancada

Os lotes tratados por caleação e solarização, e com qualidade correspondente a lodo classe B (helmintos < 10 ovos/g ST, ausência de salmonela e coliformes termotolerantes < 10⁶ NMP/g de ST), foram misturados a um solo para a avaliação das características físicas e químicas e da sobrevivência de alguns microrganismos. Foram utilizadas diferentes combinações de solo + biossólido como tratamentos.

Nas Tabelas 9 e 10, são resumidos os resultados físico-químicos e microbiológicos do experimento de bancada para as combinações com biossólidos caleado e solarizado. Estes dados serão discutidos mediante gráficos, onde se observam com mais clareza as tendências encontradas ao longo do experimento.

Tabela 9 – Resultados dos parâmetros monitorados nas amostras das misturas de solo + bioossólido caledado

Parâmetros	Tratamentos solo + bioossólido caledado ⁽¹⁾			
	0%	25%	50%	75%
pH ⁽²⁾⁽³⁾	5,7 (0,2)	8,2 (0,2)	8,1 (0,2)	8,2 (0,1)
Umidade (%) ⁽²⁾⁽³⁾	16,9 (3,5)	30,1 (1,3)	35,1 (2,2)	37,9 (4,0)
Sólidos totais (%) ⁽²⁾⁽³⁾	91,6 (3,6)	88,7 (5,4)	84,3 (8,4)	75,1 (10,2)
Coliformes totais (NMP/g ST) ⁽²⁾⁽⁴⁾	4,40x10 ³ (6,72x10 ³)	8,88x10 ⁴ (1,07x10 ⁵)	3,62x10 ⁴ (2,82x10 ⁴)	1,47x10 ⁵ (1,23x10 ⁵)
<i>E. coli</i> (NMP/g ST) ⁽²⁾⁽⁴⁾	ND ⁽⁵⁾	ND	ND	ND
Helmintos (ovos/g ST) ⁽²⁾⁽⁶⁾	ND (0,0)	0,73 (0,45)	0,80 (0,46)	0,91 (0,57)
Salmonela	ND	ND	ND	ND

Notas: (1) Percentual de bioossólido adicionado ao solo. (2) Média aritmética (desvio-padrão aritmético). (3) n = 7. (4) n = 6. (5) A amostra referente ao primeiro dia de monitoramento, logo após a mistura do bioossólido ao solo, não foi realizada. As amostras seguintes foram sistematicamente negativas para este parâmetro. (6) n = 5. ND: não detectado.

Tabela 10 – Resultados dos parâmetros monitorados nas amostras das misturas de solo + bioossólido solarizado

Parâmetros	Tratamentos solo + bioossólido solarizado ⁽¹⁾			
	0%	25%	50%	75%
pH ⁽²⁾⁽³⁾	4,8 (0,2)	4,8 (0,9)	4,9 (1,0)	5,1 (0,9)
Umidade (%) ⁽²⁾⁽³⁾	14,0 (5,0)	34,0 (2,0)	40,2 (0,9)	42,8 (4,9)
Sólidos Totais (%) ⁽²⁾⁽³⁾	89,4 (4,2)	88,2 (5,2)	85,5 (8,2)	70,5 (10,0)
Coliformes Totais (NMP/g ST) ⁽²⁾⁽⁴⁾	4,54x10 ⁵ (7,72x10 ⁵)	1,01x10 ⁶ (8,47x10 ⁵)	1,12x10 ⁶ (8,11x10 ⁵)	1,37x10 ⁶ (9,48x10 ⁵)
<i>E. coli</i> (NMP/g ST) ⁽²⁾⁽⁴⁾	7,86x10 ¹	3,45x10 ²	2,10x10 ³	3,49x10 ³
Helmintos (ovos/g ST) ⁽²⁾⁽⁵⁾	0,0 (0,0)	0,89 (0,56)	1,18 (0,67)	1,38 (0,61)
Salmonela	ND	ND	ND	ND

Notas: (1) Percentual de bioossólido adicionado ao solo. (2) Média aritmética (desvio-padrão aritmético). (3) n = 7. (4) n = 6. (5) n = 5. ND: não detectado.

5.2.1. Caracterização física e química

a) pH

Observou-se que a adição de biossólido obtido por caleação provocou elevação do pH do solo. O valor médio do pH do solo ao longo do monitoramento foi 5,7, desvio-padrão de 0,24, referente às amostras de solo sem adição de biossólido. Já as amostras das misturas solo + biossólido caleado apresentaram valores médios acima de 8,0, ao longo de todo o experimento (Tabela 10 e Figura 11A).

O processo de caleação utilizado no tratamento do lodo (adição de 50% de calcário ao lodo produzido no conjunto UASB + BF) permitiu a manutenção de valores elevados de pH, mesmo depois de realizada a mistura de biossólido caleado com o solo. Este fato permite supor que a característica alcalina do biossólido possa ter efeitos sobre os microorganismos presentes no biossólido e, ou, no solo utilizado nas misturas.

Nas misturas solo + biossólido solarizado, observou-se redução de quase duas unidades de pH, ao longo do monitoramento. Já nas amostras referentes ao tratamento sem adição de biossólido solarizado, o pH se manteve quase constante, com valor médio igual a 4,7 e desvio-padrão igual a 0,24 (Tabela 11 e Figura 11B).

A diferença do pH entre os diferentes tratamentos se faz notória a partir do 60.º dia de monitoramento e pode ser explicada pela acidificação do biossólido solarizado, à medida que ocorre a mineralização ou decomposição da matéria orgânica. No tratamento do lodo por solarização, não há aporte de íons que possam impedir a acidificação, como no tratamento do lodo por caleação.

Alterações do pH do solo também foram observadas por outros autores, mesmo utilizando biossólido não caleado. Moreno et al. (1996) e Walter et al. (2002), trabalhando com diferentes doses de biossólido estabilizado aeróbia e anaerobiamente e solo de pH elevado (valores de pH entre 8 e 9), encontraram decréscimo do pH do solo na faixa de 0,4 a 1,7 unidades, explicado, possivelmente, pela não estabilização do biossólido aplicado. Walter et al. (2002) observaram diminuição do pH pela aplicação de lodo aeróbio não higienizado com cal em solo ácido.

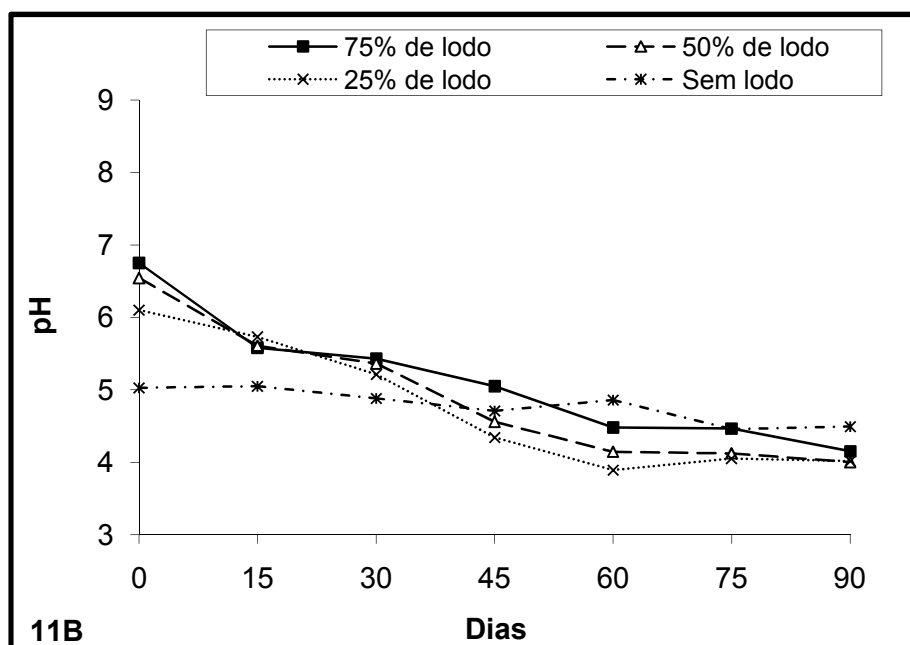
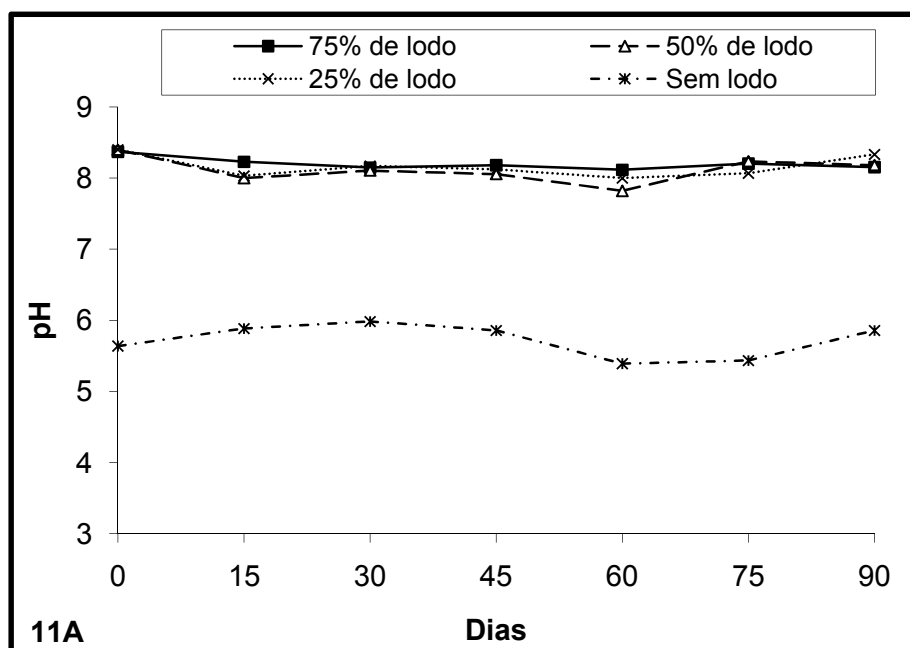


Figura 11 – Valores de pH nas misturas de solo + biossólidos calcado (A) e solarizado (B).

b) Umidade e sólidos totais

Nas misturas de solo + biossólido caleado, os valores médios de umidade para todo o período de monitoramento foram iguais a 37,9; 35,1; e 30,1%, respectivamente, para as misturas com teores de 75, 50 e 25% de biossólido. Os teores de umidade apresentaram tendência crescente ao longo do monitoramento na combinações solo + 75% de biossólido caleado e solo + 50% de biossólido caleado, sendo a maior variação verificada para a mistura com 75% de biossólido (desvio-padrão de 4,0). Na combinação solo + 25% de biossólido, os valores de umidade apresentaram tendência decrescente (desvio-padrão de 1,5). Considerando as amostras de solo sem biossólido, a umidade média verificada foi igual a 16,9 (desvio-padrão de 3,5), com tendência crescente bem evidente ao longo do monitoramento (Tabela 9 e Figura 12A).

Com relação às misturas solo + biossólido solarizado, os valores médios de umidade para todo o período de monitoramento foram iguais a 42,8; 40,2; e 34,0%, respectivamente, para as misturas com teores de 75, 50 e 25% de biossólido. A variação dos teores de umidade ao longo do monitoramento foi crescente na combinação solo + 75% de biossólido solarizado (desvio-padrão de 4,9) e decrescente nas combinações solo + 50% de biossólido solarizado e solo + 25% de biossólido solarizado, com a maior variação verificada para esta última combinação (desvio-padrão de 2,0). Considerando as amostras de solo sem biossólido, a umidade média verificada foi igual a 13,9 (desvio-padrão de 5,0), com tendência crescente ao longo do monitoramento (Tabela 10 e Figura 12B).

Os maiores teores de umidade verificados nas amostras das combinações solo + biossólido caleado ou solarizado quando comparadas às amostras de solo sem biossólido, podem ser explicados pela incorporação de matéria orgânica (biossólido) ao solo, melhorando suas características físicas da mistura e, conseqüentemente, e retenção de umidade.

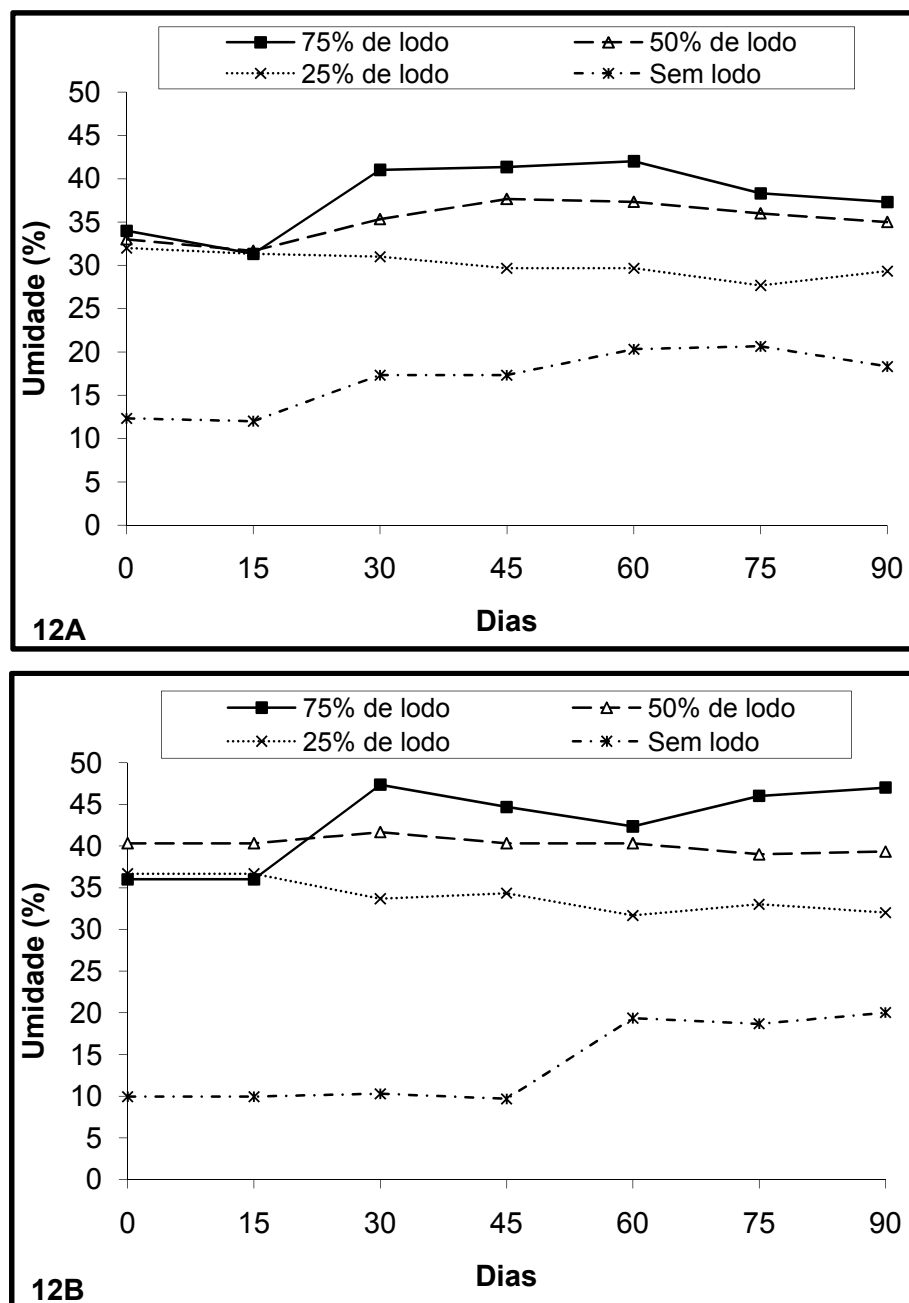


Figura 12 – Valores de umidade nas misturas de solo + biossólidos caleado (A) e solarizado (B).

Com relação ao comportamento desse parâmetro, ao longo do período nas diferentes combinações de solo + biossólido, não é possível discussão mais consistente, uma vez que os vasos contendo as misturas foram irrigados uma ou duas vezes por semana. Assim, este procedimento, que não foi controlado, pode ter interferido na retenção de umidade pelas diferentes misturas. Este procedimento foi necessário, objetivando-se reduzir o efeito da evaporação no decaimento dos microrganismos.

Para o parâmetro sólidos totais, verificou-se, como esperado, caracterização inversa em relação às combinações de solo + biossólido e somente solo. Assim, para as misturas com biossólido caleado, os valores médios de sólidos totais para todo o período de monitoramento foram iguais a 75,1; 84,3; e 88,7%, respectivamente, para as misturas com teores de 75, 50 e 25% de biossólido. Considerando as amostras de solo sem biossólido, a média verificada foi igual a 91,6 (Tabela 9 e Figura 13A). Para as misturas com biossólido solarizado, os valores médios de sólidos totais foram iguais a 70,5; 85,5; e 88,2%, respectivamente, para as misturas com teores de 75, 50 e 25% de biossólido. Considerando as amostras de solo sem biossólido, a média verificada foi igual a 89,4 (Tabela 10 e Figura 13B).

Verifica-se que as combinações solo + biossólido caleado ou solarizado apresentaram valores de sólidos totais menores que as amostras de solo sem biossólido. Adicionalmente, os teores de ST são maiores nas combinações que utilizam menores proporções de biossólidos. De forma semelhante ao apontado para o parâmetro umidade, a incorporação de biossólido ao solo melhora as características físicas da mistura.

A variação dos teores de ST, ao longo do monitoramento, foi crescente para todas as combinações de solo + biossólido caleado e solarizado e solo sem biossólido (Figuras 13A e 13B). Basicamente, o aumento de ST está relacionada à perda de umidade devido à evaporação.

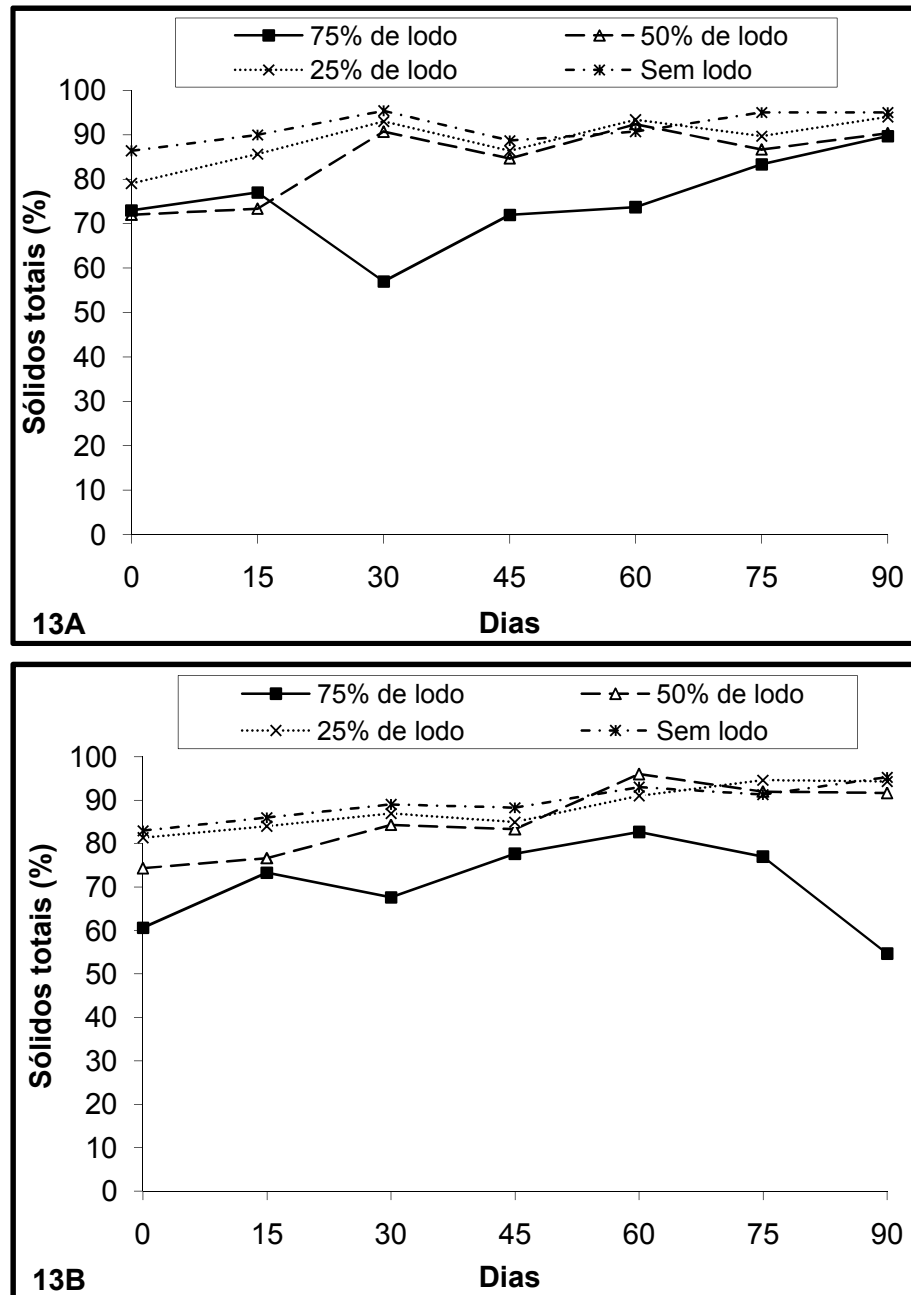


Figura 13 – Valores de sólidos totais nas misturas de solo + biossólidos caçado (A) e solarizado (B).

Ao se fazer a comparação entre as médias de umidade obtidas nas misturas de solo + bioossólidos caleado e solarizado, observou-se diferença entre os tratamentos para as diferentes combinações, sendo os valores médios de umidade nas combinações com bioossólido caleado menores do que com bioossólido solarizado (Figura 14). Esta diferença entre os mesmos tratamentos de bioossólidos caleado e solarizado (por exemplo, 75% de bioossólido caleado e 75% de bioossólido solarizado) se explica pela rápida decomposição ou mineralização da massa orgânica que compõe o bioossólido. Quando se fez o processo de aplicação de cal para a higienização dos bioossólidos, observou-se baixa retenção de umidade pela rápida decomposição.

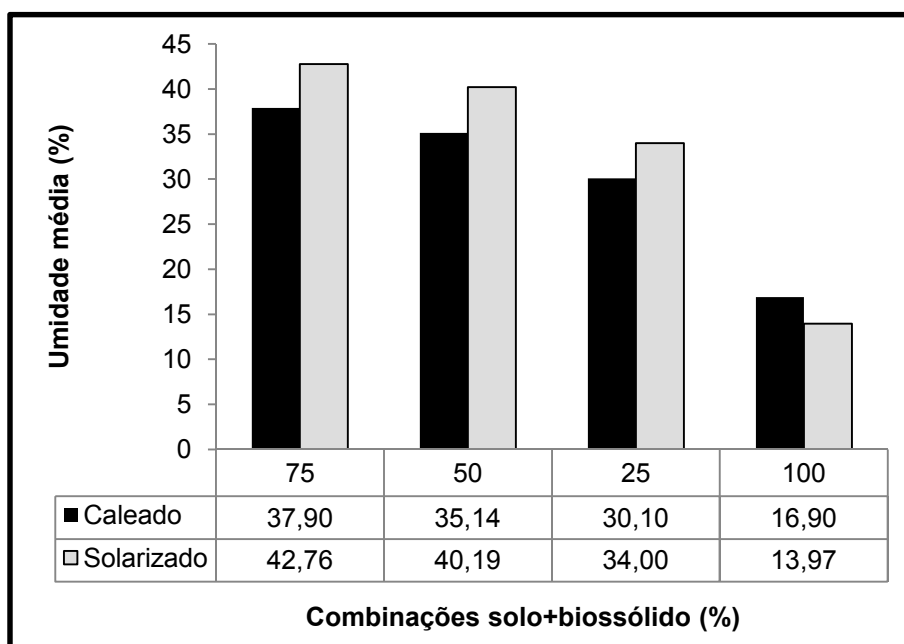


Figura 14 – Valores médios de umidade segundo as combinações de solo + bioossólidos caleado e solarizado.

5.2.2. Caracterização microbiológica

a) Bactérias do grupo coliformes totais e *E. coli*

Foi observada redução no número de coliformes totais em todas as misturas de solo + biossólido caleado, ao longo do monitoramento (Figura 15A). Esta progressiva diminuição pode ser explicada pelo efeito alcalino do biossólido caleado adicionado às misturas de solo + biossólido. As características de pH elevado, observadas quando analisada o comportamento dessa variável nas misturas de solo + biossólido caleado (Tabela 10 e Figura 11A), fazem com que o ambiente se torne inóspito à maioria dos microrganismos, ocorrendo assim decaimento destes.

Nas misturas de solo + biossólido solarizado, também se observou tendência decrescente de coliformes totais ao longo do monitoramento, contudo a redução não foi tão acentuada (Figura 15B) como nas misturas de solo + biossólido caleado, explicado pela forte alteração das condições químicas intrínseca aos biossólidos caleados.

Com relação ao parâmetro *E. coli*, também se verificou redução no número de organismos. Contudo, observou-se aumento na concentração de *E. coli*, nas misturas solo + biossólido solarizado, entre os dias 15 e 30 de monitoramento (Figura 16). Este fato pode estar relacionado ao maior teor de matéria orgânica presente no biossólido tratado por solarização, favorecendo o crescimento de microrganismos devido à disponibilidade de nutrientes.

Contudo, as misturas de solo + biossólido solarizado apresentaram valores médios e absolutos de *E. coli* menores (Figura 16) que o estabelecido para biossólido classe B ($< 10^6$ coliformes termotolerantes/g ST), conforme preconizado na Resolução nº 375/2006 (BRASIL, 2006). Este fato também ocorreu com as misturas de solo + biossólido caleado, pois não foi identificada presença de *E. coli* nas amostras coletadas. Estes resultados indicaram a possibilidade de uso de biossólidos caleado e solarizado misturados ao solo em práticas agrícolas.

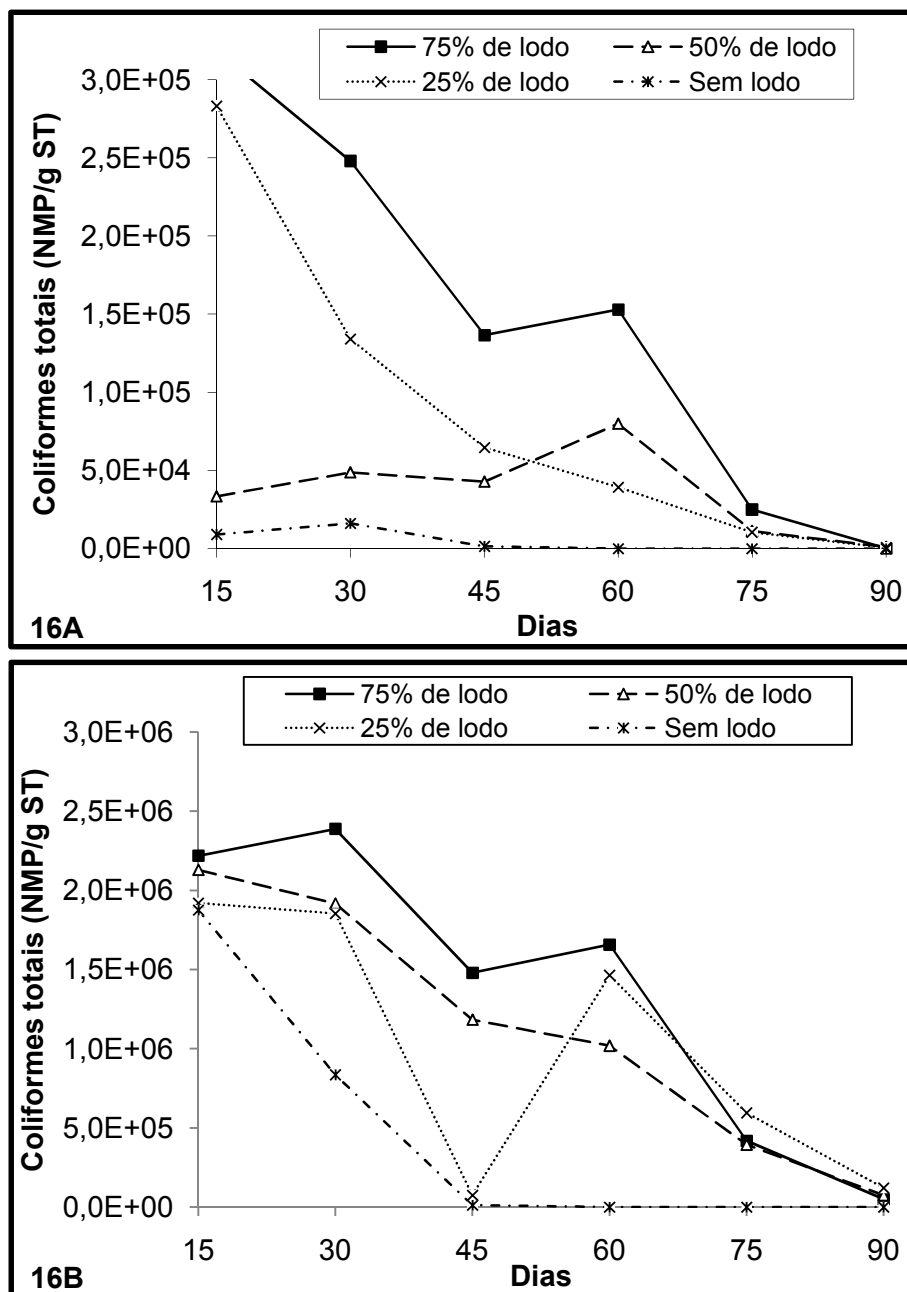


Figura 15 – Concentrações de coliformes totais nas misturas de solo + bioossólidos caído (A) e solarizado (B).

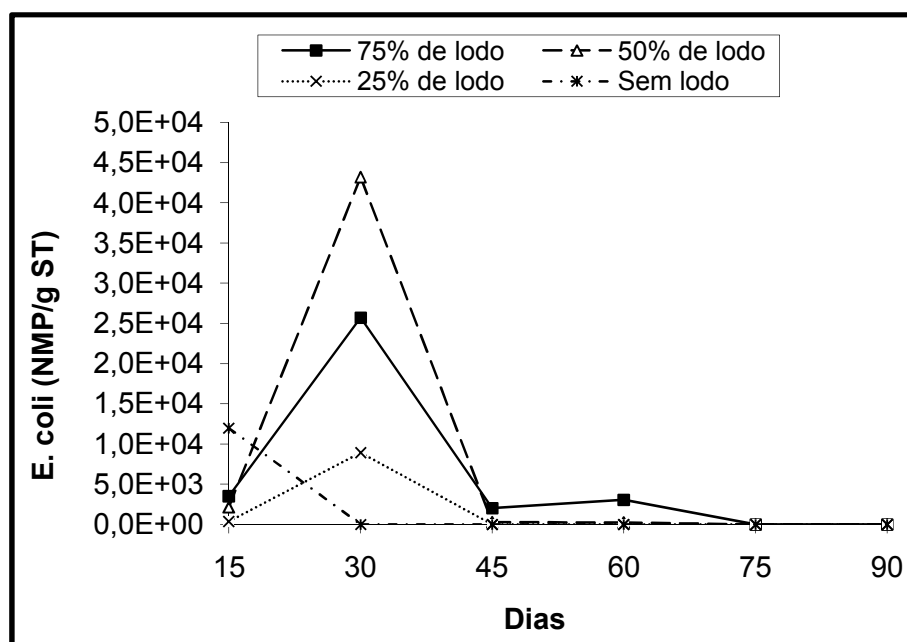


Figura 16 – Concentrações de *E. coli* nas misturas de solo + bioossólido solarizado.

Shengjin et al. (2009), trabalhando com inoculação de *E. coli* em solo e processo de solarização, encontraram concentração inicial de 2×10^5 UFC/g de solo; este número decresceu rapidamente até 7×10^2 UFC/g de solo seco. A partir destes resultados, evidenciou-se que a solarização é processo efetivo na inativação de *E. coli*, quando é feito a aplicação de bioossólidos diretamente no solo.

Os coeficientes de decaimento de coliformes totais nas misturas de solo + bioossólidos caleado e solarizado, aos 90 dias de tratamento, são apresentados na Tabela 11. Para 75, 50 e 25% de bioossólido caleado, os Kb foram, respectivamente, 0,0828; 0,0389; e 0,0699, maiores que os dos mesmos tratamentos com bioossólido solarizado, indicando que o decaimento dos organismos é mais rápido no primeiro caso. Esta diferença provavelmente é explicada devido à aplicação de cal na higienização do lodo, logrando maior controle dos microorganismos.

Tabela 11 – Valores de decaimento microbiano (Kb) para coliformes totais, segundo as combinações de solo + bioossólidos caleado e solarizado

Bioossólido caleado	
Tratamentos (% de bioossólido)	K _b ⁽¹⁾
75	0,0828
50	0,0389
25	0,0699
Sem bioossólido*	0,0419
Bioossólido solarizado	
Tratamentos (% de bioossólido)	K _b
75	0,0418
50	0,0371
25	0,0307
Sem bioossólido*	0,1136

Nota: * Dados igual a 0 (1) Kb para as combinações de solo + 75, 50 e 25% de bioossólido foram obtidos aos 90 dias de monitoramento; para a combinação sem lodo, aos 60 dias.

b) Helmintos

Nas Figuras 17A e 17B são apresentados, respectivamente, o comportamento das concentrações de ovos viáveis de helmintos, em amostras obtidas das combinações de solo + bioossólidos caleado e solarizado. Percebeu-se que, em ambos os experimentos, a concentração de ovos apresentou tendência decrescente ao longo do monitoramento.

A quantificação de ovos de helmintos foi importante para a avaliação da qualidade sanitária de bioossólidos e indicou o grau de higienização destes lodos, em particular porque estes microrganismos têm sobrevivência mais prolongada que as bactérias indicadoras de contaminação fecal como coliformes termotolerantes e *E. coli* (WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO, 2004; USEPA, 2003).

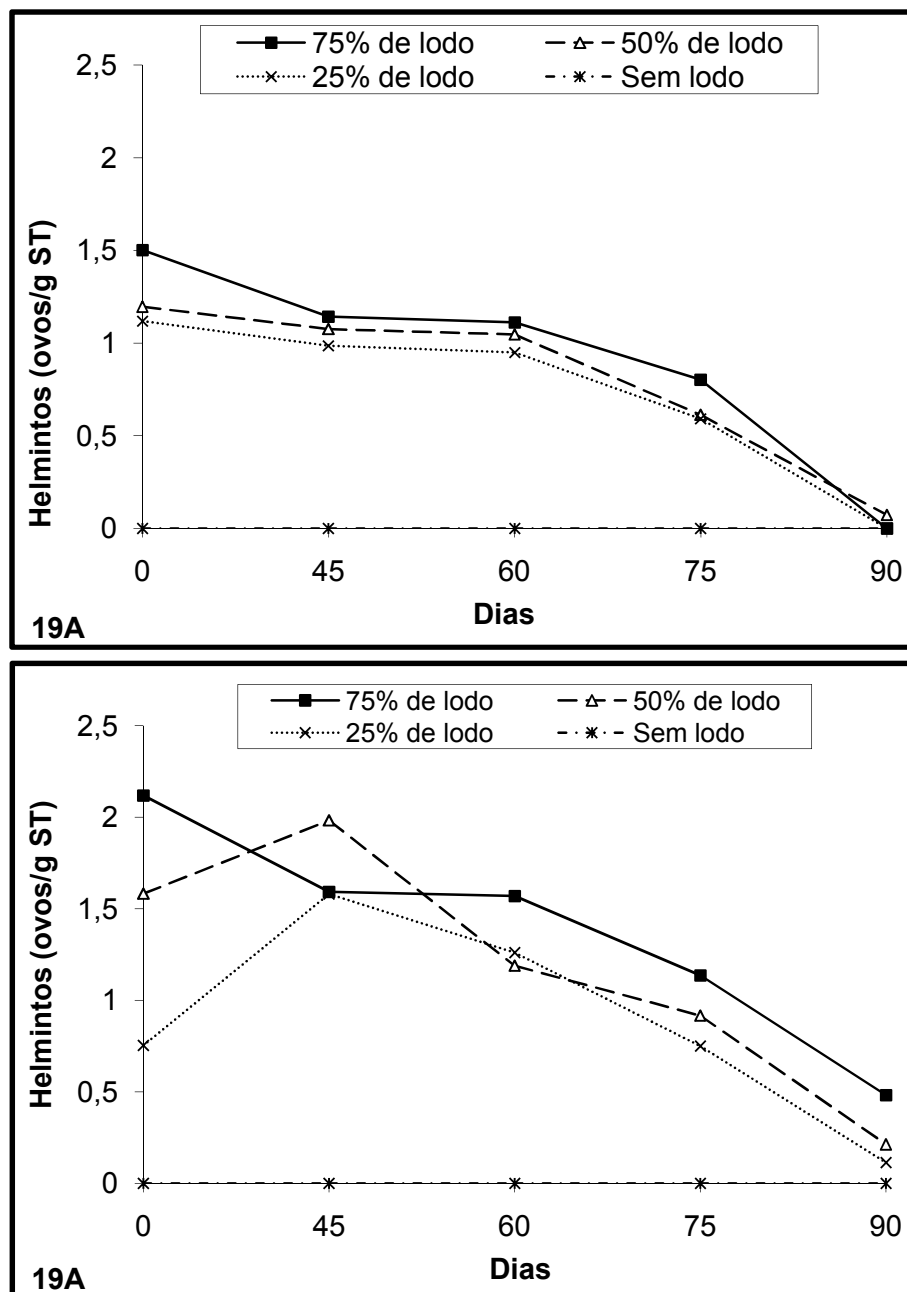


Figura 17 – Concentrações de ovos viáveis de helmintos nas misturas de solo + biossólidos caleado (A) e solarizado (B).

É importante ressaltar que, de forma geral, as combinações com maior quantidade de bio sólidos apresentaram maior quantidade de ovos (Figuras 17A, 17B e 18), ou seja, existiu relação entre a quantidade de lodo e o número de ovos presente nas misturas. Este fato é importante para o planejamento da aplicação do bio sólido higienizado no solo na agricultura.

Segundo WHO (2004), ovos de helmintos não suportam longos períodos sob condições de baixa umidade (< 80%), temperaturas termofílicas (> 40°C), pH alcalino (> 11,5) e exposição aos raios solares. De acordo com a Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR (1998), o tempo de sobrevivência máximo comum de patógenos no solo é de até 75 dias, para bactérias; 12, para vírus, oito dias, para protozoários; e dois anos para helmintos.

Comparando os tipos de tratamento, observou-se que as combinações de solo + bio sólido calcado apresentaram, em média, menores concentrações de ovos viáveis de helmintos do que as combinações de solo + bio sólido solarizado. Esta diferença também pode ser explicada pela qualidade alcalina do bio sólido calcado aplicado ao solo, acelerando o decaimento microbiano (Figura 18).

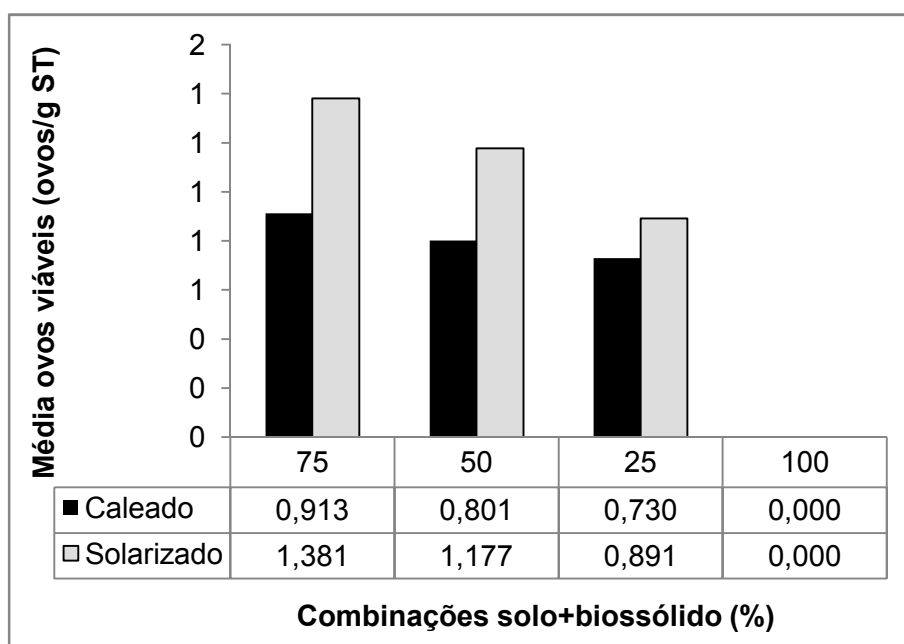


Figura 18 – Valores médios de ovos de helmintos, segundo as combinações de solo + bio sólidos calcado e solarizado.

Os coeficientes de decaimento de ovos de helmintos em bioossólido caleado apresentaram valores de 0,0084; 0,0089; e 0,0085 para os tratamentos 75, 50 e 25%, respectivamente. Os Kb para as combinações de solo + bioossólido solarizado foram 0,0197; 0,0267 e 0,0253, sendo maiores que os Kb dos tratamentos de bioossólido caleado (Tabela 12).

Tabela 12 – Valores de decaimento microbiano (Kb) para ovos de helmintos

Bioossólido caleado	Kb
Tratamentos (% de bioossólido)	
75	0,0084
50	0,0074
25	0,0085
Bioossólido solarizado	Kb
Tratamentos (% de bioossólido)	
75	0,0197
50	0,0267
25	0,0253

c) *Salmonella* spp.

No primeiro experimento, quando foi realizado o monitoramento de *Salmonella* em três lotes dos bioossólidos caleado e solarizado, até se atingir a qualidade de bioossólido classe B (item 5.1), não foi identificada presença de *Salmonella*. Nos experimentos, envolvendo as combinações de solo + bioossólido caleado ou solarizado, também não foram encontradas amostras positivas para esta bactéria, no período avaliado. Nesse sentido, a avaliação da potencialidade do uso das técnicas de caleação e solarização para higienização do lodo, visando a eliminação de *Salmonella*, não foi possível de ser realizada neste trabalho.

A ausência de detecção de *Salmonella* nos lodos analisados pode ter como causas a existência de baixa concentração de *Salmonella* nas amostras de lodo avaliado e, ou, a microbiota competitiva presente na amostra, uma vez que estes meios seletivos permitem o desenvolvimento de outros microrganismos, o que impediria o crescimento de um número maior destes microrganismos (AGUAS, 1987).

Almeida et al. (2006) observaram que, num período prolongado, quando o biossólido permaneceu no leito de secagem por 60 dias, exposto ao sol, criaram-se condições desfavoráveis para a sobrevivência de alguns organismos patogênicos como *Salmonella*. Godfree et al. (1984), testando produtos químicos para desinfecção do lodo, concluíram que, com a adição de cal para elevar o pH até 11,5 e após tempo de contato de 15 minutos, obtiveram-se 99% de redução do número de salmonelas no lodo.

6. CONCLUSÕES

Conforme parâmetros estabelecidos pela legislação Conama 375/2006, comparativamente a produção de biossólido classe B foi alcançada sempre com período inferior a 42 dias, em ambos os processos de higienização. O tratamento por caleação apresentou redução mais acelerada de microrganismos do que o por lodo de estufa, graças ao efeito do pH acima de 12, associados ao tempo de exposição.

Já no experimento de bancada, lodo com solo, houve tendência de queda de microrganismos em todos os potes das combinações, sendo ainda mais acelerado nas combinações que usaram lodo caleado, indicando efeito posterior deste tipo de higienização, mesmo depois de disposto no ambiente.

Tais resultados indicam que não há riscos quanto à reativação destes microrganismos, após a disposição do lodo no ambiente, como na agricultura, já que estarão expostos a adversidades do meio.

REFERÊNCIAS

ABICALIL, T.M. **Os serviços de saneamento no Brasil**: transformar para universalizar. Rio de Janeiro: FASE/Caixa Econômica Federal, 1998. 125 p.

AGUAS, I.F. **Estudo comparativo de diversos esquemas de isolamento de *Salmonella* spp. em águas residuais**. 1987. 122 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Parasitária) – Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, RJ.

AISSE, M.M.; AMARAL, C.; SOVIERSOSKI, A. **Estudo da desidratação do lodo anaeróbio, obtido em reatores tipo RALF, através do uso de leite de secagem**. Curitiba: ISAM, 1998. 8 p.

AITKEN, M.D.; SOBSEY, M.D.; BLAUTH, K.E.; SHEHEE, M.; CRUNK, P.L.; WALTERS, G.W. Inactivation of *Ascaris suum* and poliovirus in biosolids under thermophilic anaerobic digestion conditions. **Environ. Sci. Technol.**, v. 39, n. 15, p. 5804-5809, 2005.

ALEM SOBRINHO, P.; COMPARINI, J.A.P. Decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas. In: CONGRESO INTERAMERICANO DA INGENIARIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 28, 2002, Cancun, Mexico. **Anales...** Cancun, Mexico, 2002.

ALMEIDA, G.C.; FANHANI, J.C.; D'OLIVEIRA, P.S.; DIAS FILHO, B.P. Eficiência dos processos químico e térmico na higienização de lodo de esgoto. **Iniciação Científica CESUMAR**, v. 8, n. 1, p. 95-99, 2006.

ALONSO, J.L.; SORIANO, A.; CARBAJO, O.; AMOROS, I.; GARELICK, H. Comparison and recovery of *Escherichia coli* and thermotolerant coliforms in water with chromogenic medium incubated at 41 and 44,5°. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 65, p. 3746-3749, 1999.

ANDREOLI, C.V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2001. 282 p. (Projeto PROSAB).

ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: Sanepar, 2000. 85 p.

ANDREOLI, C.V.; BARRETO, C.L.G.; BONNET, B.R.P. et al. Tratamento e disposição do lodo de esgoto no Paraná. **Sanare**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 10-15, 1994.

ANDREOLI, C.V. et al. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: SANEPAR/PROSAB, 1999. 98 p.

ANDREOLI, C.V.; FERREIRA, A.C.; TELES, C.R.; CHERUBINI, C.; BERNERT, P.M.; FAVARIN, F.; CASTRO, L.R. Avaliação da eficiência do uso de estufa plástica, revolvimento de lodo e injeção de calor na secagem e desinfecção de lodo anaeróbio em leito de secagem. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9, 2000, Porto Seguro. **CD-ROM...** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. (Orgs.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG/SANEPAR, 2001a. 484 p.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S.; FERNANDES, F. Disposição do lodo no solo. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos, tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG/SANEPAR, 2001b. v. 6, 484 p.

AVERY, S.; MOORE, A.; HURCHISON, M.L. Fate of *Escherichia coli* originating from livestock faeces deposited directly onto pasture. **Lett. Appl. Microbiol.**, v. 35, p. 355-359, 2004.

AZEVEDO NETTO, J.M. Cronologia do abastecimento de água (até 1970). **Revista DAE**, v. 44, n. 137, p. 106-111, 1984.

AZEVEDO NETTO, J.M.; ALVAREZ, G.A. **Manual de hidráulica**. 6.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

BASTOS, R.K.X. **Avaliação quantitativa de risco microbiológico aplicada ao uso agrícola de biossólidos na perspectiva de riscos à saúde pública**. Viçosa: UFV, 2009.

BASTOS, R.K.X.; ANDRADE NETO, C.O.; CORAUCCI FILHO, B.; MARQUES, M.O. Introdução. In: BASTOS, R.K.X. (Orgs.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e psicultura**. São Carlos: RiMa Artes e Texto, 2003a. p. 1-22. (Projeto PROSAB).

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; KELLER, R. Desinfecção de efluentes sanitários. In: GONÇALVES, R.F. **Organismos patogênicos e efeitos sobre a saúde humana**. ABES/RIMA/Projeto PROSAB, 2003b. 438 p.

BASTOS, R.K.X.; ASSUNÇÃO, F.A.L.; ROSA, A.P.; HENRIQUE, C.S.; SOUZA, A.C.S. Gerenciamento do lodo em um sistema UASB + BF. **Revista AIDIS de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales**, v. 1, n. 2, p. 1-7, 2007.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312 p.

BIDONE, F.R.A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. 109 p.

BITTON, G. **Wastewater microbiology**: wiley series in ecological and applied microbiology. USA: Willey-Liss, 1994. 127 p.

BLOCK, J.C. Biological health risks of sludge disposal. In: BLOCK, J.C.; HAVELAAR, A.H.; L'HERMITE, P.L. **Epidemiological studies of risks associated with the agricultural use of sewage sludge: knowledge and needs**. Inglaterra: Elsevier Applied Science Publishers, 1986. p. 123-132.

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. (Coords.) **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: SANEPAR, 1998. p. 11-26.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial, Brasília, DF, seção 1, p. 58-63, 18 mar. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências**. Resolução n.º 375, de 29 de agosto de 2006. Diário Oficial, Brasília, DF, 2006.

BREWSTER, J.; OLESZKIEWICZ, J.; BUJOCZEK, G.; REIMERS, R.S.; ABU-ORF, M.; BOWMAN, D. et al. Inactivation of *Ascaris suum* eggs in digested and dewatered biosolids and lime and fly ash at bench scale and full scale. **J. Environ. Eng. Sci.**, v. 2, p. 395-400, 2003.

BUENO, R.C.R. **Biossólido**: processo de redução adicional de patógenos com a utilização de energia solar. 2000. 108 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

CAMPEROS, E.R.; ARMENTA, S.L.; NACHEVA, P.M.; VIGUEROS, L.M.C.; CHÁVEZ, G.M. Transformaciones en la digestión alcalina de lodos residuales municipales. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: AIDS/ABES, 2000. p. 1-8.

CARRINGTON, E.G. **Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction**. Luxembourg: European Communities, 2001. 44 p. (Final Report).

CARVALHO, P.C.T. Compostagem. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.; MELFI, J.A.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: USP, 2001. p. 133-180.

CESÁRIO SILVA, S.M. et al. Principais contaminantes do lodo. In: VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos**: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2001. p. 69-121. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6).

CLESCERL, L.S.; GREENBERG, A.E.; EATON, A.D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1998.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ – SANEPAR. **Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná**. Curitiba, 1998. 96 p.

COMPARINI, J.B. **Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa agrícola**. 2001. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

DA SILVA, R.F. **Compostagem e solarização para higienização de lodo de esgoto e uso no cultivo de cássia amarela (Senna siamea Lam)**. 2007. Tese (Doutorado) – Recife, PE.

DETURK, E.E. Adaptability of sewage sludge as a fertilizer. **Sewage Works**, v. 7, p. 597-610, 1935.

ELEUTÉRIO, M.F. **Uso do biossólido de estação de tratamento de esgoto na cultura da alface**. 2004. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, PR.

ELLIS, K.; V. RODRÍGUEZ, P.C.C.; GOMEZ, C.L. Parasite ova and cysts in waste stabilization ponds. **Water Research**, v. 27, p. 1455-1460, 1993.

ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY – EPA. **Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge, under 40 CFR**. Part 503 – environmental regulations and technology. Ohio, 1992. 152 p.

ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY – EPA. **Biosolids recycling: beneficial technology for a better environment** – environmental regulations and technology. 1994. 31 p. (Office of Water, 4204).

ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY – EPA. **The microbiology of sewage sludge**. Part 2: Practices and procedures for sampling and sample preparation. 2003.

ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY – EPA. **The microbiology of sewage sludge**. Part 4: Methods for the detection, isolation and enumeration of Salmonellae. 2004.

EPSTEIN, E. **Land application of sewage sludge and biosolids**. 1929.

FEACHEM, R.G.; BRADLEY, D.J.; GARELICK, H.; MARA, D.D. **Sanitation and disease**: health aspects of excreta and wastewater management. Washington: The International Bank for Reconstruction and Development, 1983.

FERNANDES, F.; SOUZA, S.G. **Estabilização de lodo de esgoto**. In: _____. **Resíduos sólidos do saneamento**: processo, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro, 2001. p. 29-55.

FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.J.C.; CANTO, L.A.; MEDEIROS, M.L.B. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-Belém com vista a seu uso agrícola. **Sanare**, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 46-58, 1996.

FERREIRA, A.C. **Monitoramento do uso de estufa plástica e aproveitamento do biogás na secagem de e desinfecção de lodo anaeróbio em leito de secagem**. 2001. 110 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. Belo Horizonte, 2005.

GASPARD, P.; WIART, J.; SCHWARTZBROD, J. Parasitological contamination of urban sludge. **Waste Management & Research**, v. 15, p. 429-436, 1997.

GHIGLIETTI, R.; ROSSI, P.; RAMSAN, M.; COLOMBI, A. Viability of *Ascaris suum*, *Ascaris lumbricoides* and *Trichuris muris* eggs to alkaline pH and different temperatures. **Parasitology**, v. 37, p. 229-232, 1995.

GHINI, R. **Desinfestação do solo com o uso de energia solar**: solarização e coletor solar. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1997. 29 p.

GHINI, R.; BETTIOL W. **Controle físico de patógenos radiculares**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999.

GODFREE, A.F.; JONES, F.; SATCHWELL, M.; WATSON, D.C. The effectiveness of chemical disinfection on faecal bacteria in sludge. In: BRUCE, A. (Ed.) **Sewage sludge stabilization and disinfection**. Chichester, U.K.: 1984. p. 412-425.

GODINHO, V.M.; CHERNICHARO, C.A.L.; HONÓRIO, Karina Barbosa. Caracterização de lodos gerados em sistemas de tratamento de esgotos quanto à presença de ovos de helmintos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2003. v. 1, p. 1-10.

GONÇALVES, R.F.; LUDOVICE, M. Alternativas de minimização da produção e desaguamento de lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap. 2, p. 25-44.

HAUG, T.R. **The practical handbook of compost engineering**. United States of America: Lewis Publishers, 1993. 717 p.

ILHENFELD, R.G.; ANDREOLI, C.A.; LARA, A.I. Higienização do lodo de esgoto. In: FERNANDES, F. et al. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. 97 p.

IMHOFF, K.I.; IMHOFF, K.R. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. 301 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo demográfico 2000**. Rio de Janeiro, 2009a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **PNAD 2009** - Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios. Rio de Janeiro, 2009b.

JEWELL, W.J.; SEABROOK, B.L. **A history of land application as a treatment alternative**. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 1979. p. 12-13.

JOHNSON, P.W.; DIXON, R.; ROSS, A.D. An in-vitro test for assessing the viability of Ascaric suum eggs exposed to various sewage treatment processes. **Int. J. Parasitol.**, v. 28, p. 627-633, 1998.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3.ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

KONÉ, D.; COFIE, O.; ZURBRUGG, C.; GALLIZZI, K.; MOSER, D.; DRESCHER, S.; STRAUSS, M.. Helminth eggs inactivation efficiency by faecal sludge dewatering and co-composting in tropical climates. **Water Research**, v. 41, p. 4397-4402, 2007.

LIANG, C.; DAS, R.C.; McCLENDON, R.W. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. **Bioresource Technology**, v. 86, n. 2, p. 131-137, 2003.

LOPES, J.C.; RIBEIRO, L.G.; ARAÚJO, M.G.; BERALDO, M.R.B.S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 143-147, 2005.

MACHADO, M.F.S.; FIGUEIREDO, R.F.; CORAUCCI-FILHO, B. Produção brasileira de lodos de esgotos. **Sanare**, v. 22, p. 66-74, 2004.

MASCARENHAS, L.C.A.M. **Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasas, em série, para o pós-tratamento de efluente de reator UASB**. 2002. 123 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. MG.

MEDEIROS, L.B.; SOCCOL, V.T.; CASTRO, E.A.; TOLEDO, E.B.S.; BORGES, J.C.; PAULINO, R.C.; SILVA, S.M.C.P.; ANDRAUS, S. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto**: aspectos sanitários. Curitiba: Sanepar/Finep, 1999. p. 121-126.

MEDEIROS, M.L.B. et al. Aspectos sanitários. In: ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. (Orgs.). **Reciclagem de bio sólidos**: transformando problemas em solução. 2.ed. Curitiba: Sanepar/Finep, 2001. p. 126-175.

MENDONÇA, L.C.; CAMPOS, J.R. Comparação do desempenho de três concepções de leitos de secagem na desidratação de lodos de reator UASB. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9, 2000, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, 2000.

METCALF, L.; EDDY, H.P. **Tratamiento y depuración de las aguas residuales**. Barcelona, Espanha: Labor, 1977. 837 p.

METCALF, L.; EDDY, H.P. **Wastewater engineer treatment disposal, reuse**. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1729 p.

MIKI, M.K.; ANDRIGUETI, E.J.; ALEM SOBRINHO, P. Tratamento da fase sólido em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T; MELO, A.J.; MARQUES, M.O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. 468 p.

MORENO, J.L.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; PASCUAL, J.A. Transference of heavy metals from a calcareous soil amended with sewage-sludge compost to barley plants. **Bioresource Technology**, v. 55, p. 251-258, 1996.

MOSCALEWSKI, W.S.; LEAL, T.E.; RAUTENBERG, L.C.X.B.; SENFF, A.M.; SERATIUCK, L.I.K.I.; SOUZA, C.L.G. **Eliminação por tratamento químico do *Vibrio cholerae* em amostras de lodo**. SANERE, 1996.

NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. Committee on the Use of Treated Municipal Wastewater Effluents and Sludge in the Production of Crops for Human Consumption. **Use of reclaimed water and sludge in food crop production**. Washington, D.C., 1996.

NOGUEIRA, T.A.R.; SAMPAIO, R.A.; FERREIRA, C.S.; FONSECA, I.M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 122-131, 2006.

NOGUEIRA, T.A.R.; SAMPAIO, R.A.; FONSECA, I.M.; FERREIRA, C.S.; SANTOS, S.E.; FERREIRA, L.C.; GOMES, E.; FERNANDES, L.A. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 331-338, 2007.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário, coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 355 p.

OLIVEIRA, F.C. **Disposição de lodo de esgoto e composto de lixo urbano num latossolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar**. 2000. 247 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

OLIVEIRA, C.F. **A gestão dos serviços de saneamento básico no Brasil**. 2005. 333 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

OLIVEIRA FILHO, J.M.; CARVALHO, M.A.; GUEDES, G.A.. Matéria orgânica do solo. **Inf. Agropec.**, Belo Horizonte, v. 13, n. 147, p. 22-24, 1987.

OUTWATER, A.B. **Reuse of sludge and minor wastewater residuals**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1994. 179 p.

PASSAMANI, F.R.F. **Remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos em uma ETE do tipo UASB + biofiltro aerado submerso tratando esgoto sanitário e em lodo anaeróbio submetido à higienização por caleagem ou por pasteurização**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.

PASSAMANI, F.R.F.; GONÇALVES, R.F. Higienização de lodos de esgoto. In: FRANCI, R. (Coord.). **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizados**. Rio de Janeiro: ABES/Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 2000. p. 63-67.

PEDROZA, J.P.; HAANDEL, A.C. van; BELTRÃO, N.E.M.; DIONÍSIO, J.A. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 483-488, set./dez. 2003.

PEGORINI, E.S.; ANDREOLI, C.V. Introdução. In: ANDREOLI, C.V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 1-6.

PEREIRA, C.S.; MEDEIROS, L.M.; COSTA, R.G.; FESTIVO, M.L.; REIS, E.M.F.; SEKI, L.M.; RODRIGUES, D.P. Phage typing and multidrug resistance profile in *S. typhimurium* isolated from different sources in Brazil from 1999 to 2004. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 38, p. 385-390, 2007.

PINTO, M.T. Higienização de lodos. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG/Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484 p.

REIMERS, R.S.; DESOCIO, E.R. Current/future advances in biosolids disinfection processing. In: GANTZER, C.; GASPARD, P.; GALVEZ, L.; HUYARD, A.; DUMOUTHIER, N.; SCHWARTZBROD, J. Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. **Water Research**, London, v. 35, n. 16, p. 3763-3770, 2001.

REIS, M.F.P.; SELBACH, P.A.; BIDONE, F.R.A. **Compostagem: aspectos teóricos e operacionais**. Porto Alegre: ABES, 1999. p. 54.

REY, L. **Parasitologia: parasitos e doenças parasitárias do homem nas Américas e na África**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 519 p.

REZENDE, S.C.; HELLER, L. **O saneamento no Brasil: políticas e interfaces**. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

SHENGJIN, W.; NISHIHARA, M.; KAWASAKI, Y.; YOKOYAMA, A.; MATSUURA, K.; KOGA, T.; UENO, D.; INOUE, K.; SOMEYA, T. Inactivation of *Escherichia coli* in soil by solarization. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 55, p. 258-263, 2009.

SILVA, J.E. et al. Alternativa agronômica para o bio-sólido produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no cerrado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 26, p. 487-495, 2002.

SILVA, A.V.A.; VON SPERLING, M.; OLIVEIRA FILHO, J.M. Avaliação das unidades de tratamento do lodo em uma ETE de lodos ativados convencional submetida a distintas estratégias operacionais. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 127-133, 2007.

SIMONETI, M.F. **Inativação térmica de ovos de helmintos em água e em bio-sólidos digeridos**: cinética em reator batelada e modelagem matemática em reator tubular. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta à adição de lodo de esgoto no solo. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 3, p. 555-563, 2002.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 3 mar. 2010.

TANNER, M. **Nitrogen in co-compost**. Disponível em: <<http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec>>. Acesso em: 13 jun. 2009.

TASSO JÚNIOR, L.C.; MARQUES, M.O.; FRANCO, A.; NOGUEIRA, G.A.; NOBILE, F.O.; CAMILOTTI, F.; DA SILVA, A.R. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 276-283, 2007.

TCHOUBANOGLIOUS, G. **Integrated solid waste management – engineering principles and management issues**. New York: McGraw Hill, 1993.

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

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A.; TRACZ, J. Eficácia dos diferentes processos de tratamento do lodo na redução da viabilidade de ovos de helmintos. **Sanare**, Curitiba, v. 8, n. 8, p. 24-32, 2002.

TSUTIYA, M.T. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

TSUTIYA, M.T. Alternativa de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Brasília: Embrapa, 2000. p. 69-106.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M.T. et al. (Eds.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 133-178.

TSUTIYA, M.T. et al. **Biossólidos na agricultura**. 2.ed. São Paulo: ABES, 2002. 468 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Biosolids generation, use, and disposal in the United States**: solid waste and emergency response (5306W). Washington: Office of Solid Waste, 1991. 74 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Environmental regulations and technology**: control of pathogens and vector attraction in sewage sludge. Washington, 2003. 119 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Method 1623**: Cryptosporidium and Giardia in water by filtration/IMS/FA. Cincinnati, OH: Office of Ground Water and Drinking Water Technical Support Center, 2005. 76 p.

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**: um manual para regiões de clima. Campina Grande: Epgraf, 1994. 3 p.

VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452 p.

VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C.V. Introdução. In: ANDREOLI, C.V. **Lodo de esgotos**: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: UFMG/Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. p. 1-16. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 6).

WALTER, I.; MARTÍNEZ, F.; ALONSO, L.; GRACIA, J.; CUEVAS, G. Extractable soil heavy metals following the cessation of biosolids application to agricultural soil. **Environmental Pollution**, v. 117, p. 315-321, 2002.

WEBBER, L.R.; HILLARD, B.C. Agricultural use of sludge. In: CONFERENCE OF PROGRAM ABATEMENT MUNIC. POLLUT. PROVIS., 1974, Canada. **Proceedings...** Canada: Agreement Great Lakes Water Qual., University of Guelph, 1974. p. 120-142.

WONG, J.W.C.; FANG, M. Effects of lime addition on sewage sludge composting process. **Water Research**, v. 34, n. 15, p. 3691-3698, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Integrated guide to sanitary parasitology**. Amman, Jordan: Regional Centre for Environmental Health Activities, 2004. 110 p.

YANKO, T. **Método analítico para ovos de helmintos viáveis**. Brasília: Companhia de Saneamento do Distrito Federal, 1987. 3 p.