

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

ESTUDO SOBRE A OCORRÊNCIA DE OVOS DE
HELMINTOS E VIABILIDADE DE *ASCARIS* SP EM LODOS
ANAERÓBIOS *IN NATURA* E SUBMETIDOS À
HIGIENIZAÇÃO POR CALEAÇÃO E POR TRATAMENTO
TÉRMICO

Valéria Martins Godinho

Belo Horizonte

2003

**Estudo Sobre a Ocorrência de Ovos de Helmintos e
Viabilidade de *Ascaris* sp em Lodos Anaeróbios *in natura* e
Submetidos à Higienização por Caleação e por Tratamento
Térmico**

Valéria Martins Godinho

Valéria Martins Godinho

Estudo Sobre a Ocorrência de Ovos de Helmintos e Viabilidade de *Ascaris* sp em Lodos Anaeróbios *in natura* e Submetidos à Higienização por Caleação e por Tratamento Térmico

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Digestão anaeróbia e técnicas de tratamento e pós-tratamento de esgotos.

Orientador: Professor Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2003

DEDICATÓRIA

A DEUS.

Aos meus pais (à minha mãe pela total paciência).

À memória dos meus avós.

AGRADECIMENTOS

Todos os dias, a DEUS, pelo amor incondicional.

Ao prof. Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, pela orientação deste trabalho, pela dedicação, seriedade e paciência nos momentos necessários.

Ao Instituto René Rachou, na pessoa do pesquisador e colega Cristiano Lara Massara e sua equipe, pelas orientações e colaboração com os procedimentos para aquisição dos ovos de *Ascaris*, e pelo bom humor e convívio agradável.

Ao professor Marcos von Sperling, pela cordialidade, educação e simplicidade com os alunos e pelo empréstimo dos livros.

À CAPES, pela concessão da bolsa.

À ICAL, que forneceu a cal.

Ao SAAE de Itabira e aos operadores que ajudaram na coleta do lodo (Hélder e Sidney).

Aos colaboradores na ETE Experimental UFMG/COPASA (Sr. Raimundo).

Aos pacientes, cujo sofrimento causado pela ausência do saneamento e saúde, forneceram “vermes” para que pudéssemos estudar e no futuro ajudá-los a ter uma vida mais digna.

Às minhas irmãs, meu irmão e aos meus sobrinhos Mariana, Luiz, Raquel, Leonardo, Pedro e Ana Raquel que me salvaram do “stress” brincando comigo.

À professora Sílvia Costa Gouveia, que me inspirou o amor pela Parasitologia e pela amizade, desde a graduação.

Ao prof. David Pereira Neves, por ser um estudioso da Parasitologia e incentivar a formação de outros estudiosos.

Ao Belmiro Gustavo Ribeiro pelo apoio total, por ter rezado, torcido e me ajudado sempre.

À Flávia d'Ávila Reis por todo o apoio desde antes do mestrado, pelo suporte emocional, respeito, entendimento e por ter sempre acreditado que seria possível.

À amiga Adriana Molina Zerbini, que me incentivou ao mestrado e me ensinou a trabalhar com o saneamento. Pela garra e a paciência com que sempre me respeitava, me entendia e por todos os momentos (bons e ruins) em que estivemos juntas.

Ao amigo Eduardo Sales Machado Borges, pela parceria no trabalho, pela paciência e dedicação em ajudar e ensinar e sem o qual parte desse trabalho não teria sido possível.

Ao Reginaldo Vieira de Souza que sempre fez a parte administrativa funcionar tão perfeitamente, sem deixar faltar nada nem um dia e pela amizade, brincadeiras e pelo “quibe”.

Às bolsistas Cida e Karina, pelo apoio nas análises e convivência agradável no laboratório.

À amiga Carlota Virgínia Pereira Alves, por toda ajuda dispensada em cada momento dessa caminhada (sobretudo com o computador), pela Serra do Cipó, pela presença dos “super gêmeos” quando era necessário ativar (e ao Estêvão).

À amiga Vanessa Pereira de Sousa, que também esteve presente em todos os momentos e (também) me ajudou com o computador.

Às colegas Luciana (pelo empréstimo da dissertação) e Neuza, ambas pelos dias de Itabira.

À Iara, pela presteza em sempre atender-nos e facilitar os processos da secretaria, também à Cláudia e à Dayse.

Aos colegas do Prosab: Fernandinha, Deneb (que me ajudou a formatar o trabalho), Ana Sílvia, Michelle, Jacson, Lívia, Fernando, Flaviano e todos os outros.

Às colegas de Mestrado Célia, Frieda, Socorro, que dividiram o lanche comigo nos sábados.

À Dona Chica pelo café e a Alaíde por manter o laboratório limpo e agradável de se trabalhar.

Aos meus tios, tias e padrinho que sempre me incentivaram a estudar.

Às amigas (os), Selma do Valle, Adriana Piscitelli, Sânzia Romanova, Mônica Dourado, Berenice Vieira, Ludmila de Brito, Allisson Badaró, aos colegas do “Pé no Chão”, da Brahma Kumaris, da SEF/MG e a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

**“Guerreiros, guerreiros, assim nos chamamos.
Lutamos pela gloriosa virtude,
por elevadas aspirações,
pela sublime sabedoria.
Por isso nos dizemos guerreiros.”**

Aunguttara Nikaya

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo a caracterização de lodos anaeróbios quanto à presença de ovos de helmintos e a viabilidade de ovos de *Ascaris* sp em lodos *in natura*, higienizados por caleação e por tratamento térmico, e o estudo de identificação e contagem de ovos de helmintos presentes em diferentes tipos de lodos.

Para o experimento de caleação, o lodo foi obtido de um reator UASB em escala de demonstração, após etapa de desaguamento em leito de secagem, tendo sido testadas três dosagens de cal hidratada (30, 40 e 50%). Os experimentos de tratamento térmico foram realizados em aparatos em escala piloto e de demonstração, utilizando lodos de reatores UASB *in natura* (não submetidos à etapa de desaguamento). Para estes experimentos, foram utilizados ovos de *Ascaris lumbricoides* como organismo indicador. Para o estudo da presença de ovos de helmintos e viabilidade de ovos de *Ascaris* sp, foram utilizados três tipos de lodo, sendo dois obtidos de reatores UASB, ambos desidratados em leitos de secagem, e o terceiro obtido de um digestor anaeróbio de lodo primário, desidratado mecanicamente por meio de centrífuga.

A higienização por caleação mostrou-se 100% eficiente na inviabilização de ovos de *Ascaris* sp após 30 dias de contato, para as três dosagens testadas. Quanto ao tratamento térmico, foi observada a total inativação de ovos de *A. lumbricoides* para tempos de aquecimento da ordem de 4 a 5 horas e temperaturas máximas próximas a 70 °C. Os resultados referentes ao número total de ovos indicaram não só a inativação dos ovos viáveis, mas também sua possível destruição. Quanto à caracterização dos diferentes tipos de lodo, verificou-se a presença de ovos de helmintos em todas as amostras analisadas, com a predominância de ovos de *Ascaris* sp, sendo que em dois tipos de lodos, mais da metade dos ovos mostraram-se viáveis.

ABSTRACT

This study aims at the characterisation of anaerobic sludge regarding the presence of helminth eggs and viability of *Ascaris* sp eggs in sludges *in natura* and sanitization using lime and thermic treatment, besides the identification and counting of helminth eggs in different types of sludges.

For the experiment of sanitization with lime, the sludge was obtained from an UASB reactor, in demonstration scale, after being dewatered in drying bed, with three dosages of hydrated lime (30, 40 and 50 %) being used. The experiments of thermic treatment were carried out in pilot- and demonstration scale treatment plants, with raw sludge (*in natura*) from UASB reactors being used. For these experiments, *Ascaris lumbricoides* eggs were used as indicator organism. For the study regarding the presence of helminth eggs and viability of *Ascaris* sp eggs, three types of sludges were used, two of them being obtained from the UASB reactor, after being dewatered in drying beds, while the third one originated from an Primary Sludge Anaerobic Digester, after being dewatered in centrifuges.

The sanitization of sludge with lime was 100% efficient in the inactivation of *Ascaris* sp eggs, after 30 days contact time, for the three chemical dosages tested. Regarding the thermic treatment, the total inactivation of viable eggs was observed for heating times around 4 to 5 hours and temperatures close to 70° C. The results concerning the total amount of eggs indicated not only the inactivation of viable eggs, but also its possible destruction. In relation to the characterization of different types of sludge, the presence of helminth eggs was detected in all samples, with prevalence of *Ascaris* sp eggs. In two types of sludge, more than a half of eggs were viable.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	5
2.1	OBJETIVO GERAL	5
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3	REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1	REATOR UASB (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET)	6
3.2	LODO BIOLÓGICO	7
3.2.1	<i>Organismos patogênicos presentes no lodo e suas implicações</i>	10
3.3	HELMINTOS	13
3.3.1	<i>Preliminares</i>	13
3.4	NEMATÓIDES	17
3.4.1	<i>Preliminares</i>	17
3.4.2	<i>Casca dos ovos de nematóides</i>	20
3.5	DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS HELMINTOS DE INTERESSE PARA O PRESENTE ESTUDO	23
3.5.1	<i>Toxocara</i>	23
3.5.2	<i>Hymenolepis</i>	25
3.5.3	<i>Ancilostomídeos</i>	26
3.5.4	<i>Trichuris trichiura</i>	28
3.5.5	<i>Ascaris lumbricoides</i>	31
3.6	PROCESSOS DE HIGIENIZAÇÃO DO LODO	37
3.6.1	<i>Caleação</i>	42
3.6.2	<i>Tratamento térmico</i>	45
4	MATERIAL E MÉTODOS	49
4.1	EXPERIMENTO DE CALEAÇÃO	49
4.1.1	<i>Lodo utilizado no experimento</i>	49
4.1.2	<i>Descrição das unidades experimentais</i>	49
4.1.3	<i>Protocolo experimental</i>	51
4.2	EXPERIMENTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO	56
4.2.1	<i>Lodos utilizados nos experimentos</i>	56
4.2.2	<i>Descrição do aparato experimental em escala piloto</i>	56
4.2.3	<i>Protocolo experimental</i>	57
4.2.4	<i>Descrição do aparato experimental em escala de demonstração</i>	64
4.3	IDENTIFICAÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE ASCARIS SP PRESENTES EM LODOS IN NATURA	66
4.3.1	<i>Lodos utilizados nos experimentos</i>	66
4.3.2	<i>Protocolo experimental</i>	68
4.4	ANÁLISE DE OVOS DE HELMINTOS	69
4.4.1	<i>Recuperação dos ovos de helmintos do lodo</i>	69
4.5	TRATAMENTO DOS RESULTADOS	74
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
5.1	EXPERIMENTOS DE CALEAÇÃO	76

5.1.1	<i>Identificação e contagem de ovos de helmintos e análise da viabilidade de Ascaris sp no lodo in natura</i>	76
5.1.2	<i>Higienização por caleação</i>	79
5.2	EXPERIMENTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO.....	89
5.2.1	<i>Etapa 1 (experimentos em escala piloto)</i>	89
5.2.2	<i>Etapa 2 (aparato em escala de demonstração)</i>	98
5.3	IDENTIFICAÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE ASCARIS SP EM LODOS IN NATURA	101
5.3.1	<i>Lodo 1 (lodo de reator UASB escala real)</i>	101
5.3.2	<i>Lodo 2 (lodo de reator UASB escala de demonstração)</i>	102
5.3.3	<i>Lodo 3 (lodo de digestor anaeróbio de lodo primário)</i>	103
5.3.4	<i>Discussão conjunta dos resultados</i>	103
6	CONCLUSÕES	111
6.1	EXPERIMENTOS DE CALEAÇÃO.....	111
6.2	EXPERIMENTOS DE TRATAMENTO TÉRMICO	112
6.3	IDENTIFICAÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS E ANÁLISE DA VIABILIDADE DE ASCARIS SP EM LODOS IN NATURA	113
7	RECOMENDAÇÕES	114
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

LISTA DE ABREVIATURAS

COPASA/MG	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
DMI	Dose Mínima Infectante
DESA	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
gMS	Gramas de matéria seca
LIP	Laboratório de Instalações Piloto
NMP	Número Mais Provável
OMS	Organização Mundial de Saúde
pH	Potencial Hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
rpm	Rotações por minuto
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
Reator UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor
USEPA	United States Environmental Protection Agency

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1	Perspectiva esquemática de um reator UASB convencional.....	7
FIGURA 3.2	Helmintoses mais freqüentes no mundo.....	14
FIGURA 3.3	Ciclo doença e pobreza, segundo a OMS.....	16
FIGURA 4.1	Corte esquemático do reator UASB compartimentado.....	50
FIGURA 4.2	Reator UASB (Vista frontal).....	50
FIGURA 4.3	Reator UASB (Vista superior).....	50
FIGURA 4.4	Lodo de descarte.....	51
FIGURA 4.5	Lodo seco após 14 dias.....	51
FIGURA 4.6	Coleta do lodo no leito de secagem.....	51
FIGURA 4.7	Amostra total de lodo coletada.....	51
FIGURA 4.8	Homogeneização do lodo.....	52
FIGURA 4.9	Procedimento de caleação do lodo.....	54
FIGURA 4.10	Mistura entre o lodo e a cal.....	54
FIGURA 4.11	Disposição esquemática do aparato experimento / Escala piloto.....	57
FIGURA 4.12	Fêmea de <i>A. lumbricoides</i>	58
FIGURA 4.13	Abertura da fêmea de <i>A. lumbricoides</i>	58
FIGURA 4.14	Interior da fêmea de <i>A. lumbricoides</i>	58
FIGURA 4.15	Útero da fêmea de <i>A. lumbricoides</i>	58
FIGURA 4.16	Retirada dos ovos do útero da fêmea de <i>A. lumbricoides</i>	58
FIGURA 4.17	Amostra de ovos para inóculo no lodo.....	58
FIGURA 4.18	Disposição esquemática do aparato experimental / Escala de demonstração.....	64
FIGURA 4.19	Ovo viável de <i>A. lumbricoides</i>	73
FIGURA 4.20	Ovo não viável de <i>A. lumbricoides</i>	73
FIGURA 5.1	Ensaio 1– Caracterização do lodo <i>in natura</i> quanto à presença de ovos de helmintos.....	78
FIGURA 5.2	Ensaio 1– Viabilidade de ovos de <i>Ascaris</i> sp no lodo <i>in natura</i>	78
FIGURA 5.3	Ensaio 2– Caracterização do lodo <i>in natura</i> quanto à presença de ovos de helmintos.....	78
FIGURA 5.4	Ensaio 2– Viabilidade de ovos de <i>Ascaris</i> sp no lodo <i>in natura</i>	78
FIGURA 5.5	Ensaio 3– Caracterização do lodo <i>in natura</i> quanto à presença de ovos de helmintos.....	78
FIGURA 5.6	Ensaio 3– Viabilidade de ovos de <i>Ascaris</i> sp no lodo <i>in natura</i>	78

FIGURA 5.7	Ensaio 1- Variação do pH e temperatura na caleação a 30%.....	80
FIGURA 5.8	Ensaio 1- Variação do pH e temperatura na caleação a 40%.....	80
FIGURA 5.9	Ensaio 1- Variação do pH e temperatura na caleação a 50%.....	80
FIGURA 5.10	Ensaio 2- Variação do pH e temperatura na caleação a 30%.....	81
FIGURA 5.11	Ensaio 2- Variação do pH e temperatura na caleação a 40%.....	81
FIGURA 5.12	Ensaio 2- Variação do pH e temperatura na caleação a 50%.....	81
FIGURA 5.13	Ensaio 3- Variação do pH e temperatura na caleação a 30%.....	82
FIGURA 5.14	Ensaio 3- Variação do pH e temperatura na caleação a 40%.....	82
FIGURA 5.15	Ensaio 3- Variação do pH e temperatura na caleação a 50%.....	82
FIGURA 5.16	Ensaio 1- Variação do nº de ovos viáveis de <i>Ascaris</i> sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e a cal.....	85
FIGURA 5.17	Ensaio 1- Variação do nº de ovos não viáveis de <i>Ascaris</i> sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e a cal.....	85
FIGURA 5.18	Ensaio 2- Variação do nº de ovos viáveis de <i>Ascaris</i> sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e a cal.....	85
FIGURA 5.19	Ensaio 2- Variação do nº de ovos não viáveis de <i>Ascaris</i> sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e a cal.....	85
FIGURA 5.20	Ensaio 3- Variação do nº de ovos viáveis de <i>Ascaris</i> sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e a cal.....	85
FIGURA 5.21	Ensaio 3- Variação do nº de ovos não viáveis de <i>Ascaris</i> sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e a cal.....	85
FIGURA 5.22	Ovo de <i>Ascaris</i> sp alterado pela caleação.....	88
FIGURA 5.23	Ovo de <i>Ascaris</i> sp alterado pela caleação.....	88
FIGURA 5.24	Ovo de <i>Ascaris</i> sp alterado pela caleação.....	88
FIGURA 5.25	Variação do nº de ovos de <i>A. lumbricoides</i> no decorrer da fase 1.....	89
FIGURA 5.26	Variação do nº de ovos de <i>A. lumbricoides</i> no decorrer da fase 2.....	91
FIGURA 5.27	Variação do nº de ovos de <i>A. lumbricoides</i> no decorrer da fase 3.....	94
FIGURA 5.28	Variação do nº de ovos de <i>A. lumbricoides</i> no decorrer da fase 4.....	96
FIGURA 5.29	Variação do nº de ovos de <i>A. lumbricoides</i> no decorrer da etapa 2/ ensaio 1.....	98
FIGURA 5.30	Variação do nº de ovos de <i>A. lumbricoides</i> no decorrer da etapa 2/ ensaio 2.....	98
FIGURA 5.31	Variação do nº de ovos de <i>A. lumbricoides</i> no decorrer da etapa 2/ ensaio 3.....	99
FIGURA 5.32	Variação média do nº de ovos de <i>A. lumbricoides</i> no decorrer da etapa 2.....	99
FIGURA 5.33	Distribuição dos diferentes ovos de helmintos no lodo 1.....	101
FIGURA 5.34	Distribuição percentual dos diferentes ovos de helmintos no lodo 1....	101

FIGURA 5.35	Distribuição dos diferentes ovos de helmintos no lodo 2.....	102
FIGURA 5.36	Distribuição percentual dos diferentes ovos de helmintos no lodo 2....	102
FIGURA 5.37	Distribuição dos diferentes ovos de helmintos no lodo 3.....	103
FIGURA 5.38	Distribuição percentual dos diferentes ovos de helmintos no lodo 3....	103
FIGURA 5.39	Ovo de <i>Ascaris</i> sp.....	105
FIGURA 5.40	Ovo de <i>Trichuris</i> sp.....	105
FIGURA 5.41	Ovo de <i>Toxocara</i> sp.....	105
FIGURA 5.42	Ovo de <i>Hymenolepis nana</i>	105
FIGURA 5.43	Ovo de <i>Hymenolepis diminuta</i>	105
FIGURA 5.44	Ovo de Ancilostomídeo.....	105
FIGURA 5.45	Distribuição dos diferentes ovos de helmintos nos três tipos de lodo..	106
FIGURA 5.46	Distribuição percentual dos diferentes ovos de helmintos nos três tipos lodo.....	106
FIGURA 5.47	Relação entre ovos de helmintos e teor de sólidos no lodo.....	107
FIGURA 5.48	Valores totais da viabilidade dos ovos de <i>Ascaris</i> sp nos três lodos (ovo viável/gMS).....	109
FIGURA 5.49	Valores totais da viabilidade dos ovos de <i>Ascaris</i> sp nos três lodos (ovo não viável/gMS).....	109
FIGURA 5.50	Análise comparativa da viabilidade dos ovos de <i>Ascaris</i> sp nos três lodos (ovos viáveis %)......	109
FIGURA 5.51	Análise comparativa da viabilidade dos ovos de <i>Ascaris</i> sp nos três lodos (ovos não viáveis %)......	109

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1	Etapas e objetivos do gerenciamento do lodo.....	9
TABELA 3.2	Dose mínima infectante (DMI) para cistos de protozoários e ovos de helmintos.....	11
TABELA 3.3	Concentração de agentes patogênicos em lodo primário e digerido....	11
TABELA 3.4	Parasitas cujos ovos ou cistos podem ser encontrados no lodo ou no esgoto, hospedeiros normais, acidentais e principais sintomas.....	12
TABELA 3.5	Tempo de sobrevivência de patógenos no solo e plantas.....	13
TABELA 3.6	Sinopse de alguns helmintos que ocorrem em hospedeiros humanos..	17
TABELA 3.7	Prevalência de ascaridíase em crianças entre 1 e 5 anos no aglomerado da Serra/Belo Horizonte.....	36
TABELA 3.8	Limite de patógenos no lodo, segundo a EPA	40
TABELA 3.9	Limite para ovos viáveis de helmintos e coliformes fecais, segundo a legislação do estado do Paraná.....	40
TABELA 3.10	Experimentos sobre temperaturas e tempos de exposição com ovos de <i>Ascaris</i> sp.....	46
TABELA 4.1	Características do reator UASB compartimentado.....	49
TABELA 4.2	Parâmetros monitorados nos experimentos de caleação.....	54
TABELA 4.3	Frequência do monitoramento dos experimentos de caleação.....	55
TABELA 4.4	Principais características do aparato experimental escala piloto.....	56
TABELA 4.5	Temperaturas e tempos de exposição da fase 1 do tratamento térmico..	60
TABELA 4.6	Temperaturas e tempos de exposição da fase 2 do tratamento térmico..	60
TABELA 4.7	Temperaturas e tempos de exposição da fase 3 do tratamento térmico..	61
TABELA 4.8	Temperaturas e tempos médios de exposição da fase 4 do tratamento térmico.....	62
TABELA 4.9	Resumo das fases experimentais da etapa 1 do tratamento térmico.....	63
TABELA 4.10	Parâmetros monitorados nos experimentos de tratamento térmico.....	63
TABELA 4.11	Aparato experimental em escala de demonstração	64
TABELA 4.12	Características dos ensaios realizados na etapa 2 do trabalho experimental.....	65
TABELA 4.13	Características do reator UASB.....	66
TABELA 4.14	Características do reator UASB.....	67
TABELA 4.15	Identificação e origem dos diferentes tipos de lodos utilizados.....	68
TABELA 4.16	Marca/modelo dos equipamentos utilizados no laboratório de Microbiologia do DESA/UFMG.....	70

TABELA 5.1	Experimento de caleação – estatística descritiva da identificação e contagem de ovos de helmintos no lodo <i>in natura</i> (amostras controle) .	76
TABELA 5.2	Experimento de caleação – estatística descritiva da análise da viabilidade de ovos de <i>Ascaris</i> sp no lodo <i>in natura</i>	79
TABELA 5.3	Experimento de caleação – estatística descritiva da análise da viabilidade de ovos de <i>Ascaris</i> sp após o tratamento pela cal.....	86
TABELA 5.4	Estatística descritiva tratamento térmico (Etapa 1 – Fase 1).....	90
TABELA 5.5	Estatística descritiva tratamento térmico (Etapa 1 – Fase 2).....	92
TABELA 5.6	Estatística descritiva tratamento térmico (Etapa 1 – Fase 3).....	94
TABELA 5.7	Estatística descritiva tratamento térmico (Etapa 1 – Fase 4).....	97
TABELA 5.8	Estatística descritiva tratamento térmico (Etapa 2).....	100

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas que o Brasil vem enfrentando no decorrer de sua história é a questão Saneamento/Saúde. Saúde (ou a ausência desta), que atinge principalmente as classes mais baixas da população, impondo-lhes desde a falta de alimento até o precário atendimento nos hospitais públicos, que ainda não conseguiram ajustar ou se adequar a um modelo de gerenciamento que ofereça à população direitos que lhe são garantidos pela Constituição. Assim, doenças há muito conhecidas ainda continuam ameaçando a população e, em muitos casos, causando a morte, principalmente, de crianças, e dos adultos de forma lenta e silenciosa. Um dos problemas responsáveis por essa situação de caos está relacionado à falta de saneamento básico.

Os resíduos líquidos e sólidos gerados pelas populações e despejados nos corpos d'água são a principal causa da poluição das águas. Um corpo d'água receptor de esgotos pode incorporar uma enorme quantidade dos mais variados gêneros de organismos, muitos deles organismos patogênicos e causadores de inúmeras doenças. As doenças infecciosas e parasitárias têm uma relação causal direta com a ausência de saneamento.

No Brasil, dados do IBGE sobre a *Pesquisa Nacional do Saneamento Básico* referentes ao ano de 2000 indicam que cerca de 80% dos municípios brasileiros não tratam seus esgotos; apenas 64% dos domicílios são abastecidos por rede de água; 52,2% dos municípios têm serviço de esgotamento sanitário e em 84,6% dos casos o esgoto é lançado nos rios. Na região Norte do Brasil, a situação é ainda pior, onde cerca de 93% dos municípios não têm nem o serviço de coleta de esgotos (Montenegro & Siqueira, 2002). Estes dados demonstram que a situação do saneamento no Brasil não evoluiu a ponto de concretizar as metas estabelecidas por programas governamentais em décadas passadas, que tinham como meta a ampliação da cobertura de esgoto para 65% da população.

Com este quadro sanitário, fica cada vez mais evidente que para se manter a qualidade de vida da população e do ambiente, investir em saneamento, há muito, não é mais uma questão política e que, realmente, é imprescindível adequar-se aos novos modelos de qualidade ambiental, uma vez que, investindo-se em saneamento, economiza-se com saúde pública e com questões de ordem ambiental com as quais tem-se convivido.

Mesmo com os baixos índices de investimentos em saneamento nas últimas décadas, o Brasil assiste, atualmente, a um aumento significativo no número de Estações de Tratamento de Esgotos, que, sem dúvida, contribui para uma melhor qualidade de vida mas traz também à tona o problema do lodo, que é produzido nos sistemas de tratamento e cuja disposição final representa um percentual considerável dos custos de operação de uma ETE (20 a 60%) (Fernandes et al., 2001). Este incremento no atendimento à população por sistemas de tratamento de esgoto tem sido efetivado, principalmente, por meio de sistemas anaeróbios, notadamente reatores do tipo UASB, que vêm consolidando-se como uma alternativa bem sucedida e de baixo custo de implantação, mas que, como qualquer outro processo de tratamento, gera o lodo.

Visto que saneamento é uma questão de saúde pública, tratar o esgoto e ignorar a existência do lodo levaria a uma perda da verdadeira finalidade do processo, uma vez que uma etapa importante estaria sendo negligenciada. O lodo é um produto que contém substâncias orgânicas, inorgânicas e microrganismos. Os microrganismos encontrados podem ser saprófitas, comensais, simbiontes e parasitos. Destes, apenas uma parte é patogênica, sendo capaz de causar doença em humanos e nos animais (Thomaz-Soccol, 1998). Dentre os organismos patogênicos podem ser encontrados: fungos, vírus, bactérias, cistos de protozoários e ovos de helmintos.

Estudos epidemiológicos têm demonstrado que ovos de helmintos, cistos de protozoários e bactérias são os patógenos que mais colocam em risco a saúde humana ou animal devido principalmente aos seguintes fatores (Thomaz-Soccol, 1999):

- ampla distribuição geográfica que os helmintos, protozoários e bactérias apresentam;
- a alta frequência do parasitismo na população em diferentes partes do mundo;
- o grande tempo de sobrevivência no meio externo (ovos de *Ascaris* sp podem sobreviver até sete anos no solo);
- sua dose infectante, ou seja, um ovo ou cisto é suficiente para contaminar o hospedeiro;
- ausência de imunidade específica permanente no hospedeiro.

A quantidade e diversidade da população de patógenos presentes no lodo também é variável de acordo com os seguintes fatores (Thomaz-Soccol, 1998):

- condições sócio-econômicas da população;
- condições sanitárias;
- região geográfica;
- presença de indústrias agro-alimentares;
- tipo de tratamento a que o esgoto foi submetido.

Tem-se observado que grande parte dos microrganismos acabam concentrando-se no lodo, tornando-o um produto indesejável e perigoso, que coloca em risco o meio ambiente, tornando-se uma maneira de veicular doenças ao homem e aos animais. Porém, quando devidamente tratado, o lodo torna-se um produto inócuo e pode ser reaproveitado para fins benéficos, como a agricultura, recuperação de áreas degradadas, pastagens. Assim, para a utilização do lodo sem riscos para a saúde humana e animal, aconselham-se tratamentos de higienização para reduzir a quantidade de patógenos nele presentes (Thomaz-Soccol, 1998).

As tecnologias disponíveis para higienização do lodo buscam minimizar os riscos da transmissão de doenças de veiculação hídrica, por meio da redução da concentração de patógenos, em níveis que assegurem sua utilização agrícola de forma irrestrita. A maioria dos países que possuem normas quanto aos aspectos sanitários da disposição agrícola do lodo relacionam várias tecnologias de processamento que, se operadas adequadamente, são capazes de produzir biossólidos com níveis de patógenos aceitáveis para disposição irrestrita.

Os lodos que, após a etapa de estabilização da matéria orgânica, passam por um processo complementar de tratamento, são denominados pela USEPA de PFRP (Processes to Further Reduce Pathogens). Desses processos de higienização, os mais importantes são (Pinto, 2001):

- compostagem;
- digestão aeróbia autotérmica;
- pasteurização;
- caleação ou estabilização alcalina;
- secagem térmica.

Além destes, existem outros processos, tais como a incineração e a oxidação úmida, cuja operação é mais complexa, requerendo mais investimentos na sua implantação. Os produtos finais resultantes são inertes e estéreis, podendo ser utilizados como agregado de concreto, cobertura de aterros etc.

O presente trabalho vem de encontro à necessidade de se buscarem alternativas simples de higienização do lodo, de maneira que este não venha causar danos à saúde das pessoas, dos animais e do ambiente, pois, dadas as condições climáticas de país tropical, que fornece condições ótimas para a persistência desses organismos no lodo, sua disposição inadequada pode gerar grandes problemas de saúde pública.

Em regiões com deficiência sanitária, um dos grupos de organismos patogênicos mais encontrados nas fezes humanas são os helmintos. Estes constituem um grupo muito numeroso, com espécies de vida livre e parasitas. Para o presente trabalho é de interesse principalmente o filo *Aschelminthes*, notadamente a classe Nematoda, que constitui uma das classes mais numerosas dentre os helmintos e cujos representantes são alguns dos parasitos mais frequentemente encontrados na população, principalmente infantil, como é o caso do *Ascaris lumbricoides*.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral deste trabalho é a identificação e contagem de ovos de helmintos em lodos anaeróbios provenientes de reatores UASB, além do estudo da viabilidade de ovos de *Ascaris* sp presentes em lodos *in natura* e em lodos higienizados pela caleação e pelo tratamento térmico.

2.2 *Objetivos específicos*

- Identificação e contagem de ovos de helmintos presentes no lodo de reatores UASB, submetidos à desidratação em leitos de secagem (lodo *in natura*).
- Estudo da viabilidade dos ovos de *Ascaris* sp presentes em lodo *in natura* de reatores UASB.
- Estudo da presença e viabilidade de ovos de *Ascaris* sp em lodo de reatores UASB submetidos à secagem e ao tratamento químico por caleação.
- Estudo da viabilidade de ovos de *A. lumbricoides* em lodo obtido de reator UASB, *in natura* e submetido ao tratamento térmico.
- Estudo da presença de ovos de helmintos e análise da viabilidade de *Ascaris* sp em lodos *in natura* obtidos de diferentes sistemas de tratamento de esgotos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo visa uma contextualização dos tópicos relacionados ao tema da dissertação, a saber, o uso de reatores anaeróbios para tratamento dos esgotos, a identificação de patógenos presentes no lodo (neste caso, ovos de helmintos), técnicas de higienização dos lodos pela caleação e por tratamento térmico como alternativas de diminuir ou eliminar organismos patogênicos. Além de focar os trabalhos mais relevantes em relação aos helmintos (principalmente seus ovos), à problemática do lodo, do seu gerenciamento, do tratamento e da disposição final e alguns comentários a respeito do seu uso benéfico, uma vez que este é um subproduto rico em nutrientes.

3.1 *Reator UASB (Upflow anaerobic sludge blanket)*

Atualmente, o Brasil assiste a um aumento crescente em relação à implantação de estações de tratamento de esgotos. Este incremento no atendimento à população por sistemas de tratamento de esgotos tem sido efetivado principalmente por meio de sistemas anaeróbios, notadamente reatores do tipo UASB. Estes sistemas apresentam diversas características favoráveis, tais como, o baixo custo operacional e de implantação, baixos requisitos de área, baixo consumo de energia e aplicabilidade em pequena e grande escala. As diversas características favoráveis dos sistemas anaeróbios, passíveis de serem operados com elevados tempos de retenção de sólidos e baixíssimos tempos de detenção hidráulica, conferem um grande potencial para a sua aplicabilidade no tratamento de águas residuárias de baixa concentração (Chernicharo, 1997).

Nos reatores UASB, os esgotos atravessam, em fluxo ascendente, um leito de lodo denso e de alta atividade. A concentração da biomassa no reator varia de muito densa e com partículas de elevado potencial de sedimentação (leito de lodo), até um lodo mais leve, de distribuição mais dispersa, próximo ao topo do reator (manta de lodo). A biomassa cresce dispersa no meio líquido, e assim não são necessários quaisquer meios suporte.

A transformação da matéria orgânica em gases e água ocorre em todas as zonas de reação (leito e manta de lodo). O esgoto entra pelo fundo e o efluente tratado sai do reator através de um decantador interno, localizado na parte superior do reator. A presença de um dispositivo de separação de gases, sólidos e líquido (separador trifásico) fornece condições ótimas para que as partículas que se soltam da manta de lodo se sedimentem e retornem à câmara de

digestão, ao invés de serem arrastadas para fora do reator. O cultivo de um lodo anaeróbio de boa qualidade é conseguido através de um processo cuidadoso de partida do sistema, durante o qual a seleção artificial da biomassa é imposta, o que permite que o lodo leve (de má qualidade) seja arrastado para fora e o lodo de boa qualidade fique retido (Chernicharo, 1997).

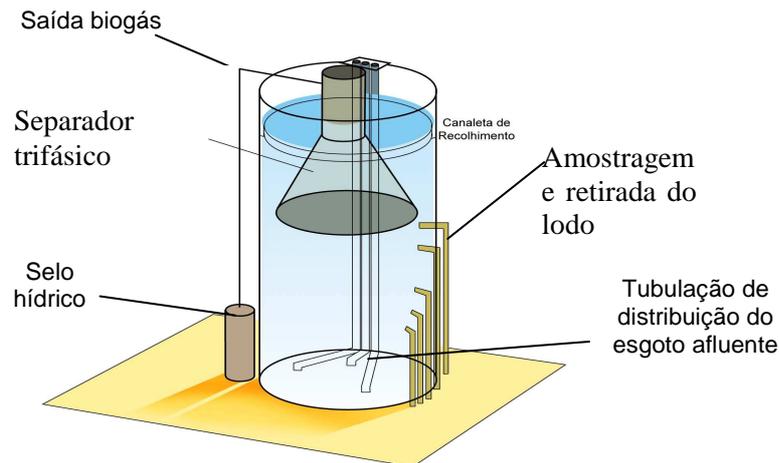


Figura 3.1- Perspectiva esquemática de um reator UASB convencional

Fonte: Adaptado de Mascarenhas (2002).

Como resultado da atividade anaeróbia, são formados gases dos quais destacam-se o metano e o gás carbônico. As bolhas de gás formadas apresentam um movimento ascendente e, juntamente com o fluxo ascensional, garantem a mistura que permite um maior contato entre a biomassa e o substrato. O gás é coletado na parte interior do separador trifásico, podendo ser queimado ou reaproveitado. A produção de lodo é relativamente baixa, este já sai estabilizado, porém não eliminando organismos patogênicos.

3.2 Lodo biológico

Nos processos biológicos do tratamento de esgoto, parte da matéria orgânica é absorvida e convertida em biomassa microbiana, que é denominada genericamente de lodo biológico. Segundo von Sperling & Andreoli (2001), o termo “lodo” tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos. O lodo é convencionalmente chamado de “biossólido” como uma forma de ressaltar os seus aspectos benéficos, valorizando a sua

utilização produtiva, em comparação à mera disposição final através de aterros, da disposição superficial no solo ou incineração.

A problemática do gerenciamento do lodo é um tema bastante preocupante e de grandes dimensões, pois considerando-se o atendimento de 87 milhões de habitantes, por sistemas de esgotamento sanitário no Brasil e admitindo-se que todo este montante venha a receber algum tipo de tratamento, seriam produzidas as seguintes faixas de valores aproximadas de lodo (calculado em função de valores médios de produção *per capita* de diversos processos anaeróbios, segundo faixas intermediárias) (von Sperling & Andreoli, 2001):

- 90.000 a 350.000 toneladas por dia de lodo líquido a ser tratado (produção per capita volumétrica de cerca de 1 a 4 L/hab.dia).
- 9.000 a 13.000 toneladas por dia de lodo desaguado a ser disposto (produção per capita volumétrica de cerca de 0,10 a 0,15 L/hab.dia).

O lodo de esgotos em seu estado “puro” (lodo bruto) é rico em organismos patogênicos, sendo putrescível e rapidamente gerando fortes odores. Os processos de estabilização foram desenvolvidos para estabilizar a fração biodegradável da matéria orgânica, reduzindo o risco de putrefação, além de diminuir a concentração de patógenos. A higienização do lodo tem por objetivo promover a remoção de organismos patogênicos e materiais indesejáveis, de forma que possa ser utilizado para fins mais adequados do que o simples aterramento ou incineração.

A Tabela 3.1 mostra as principais etapas do gerenciamento do lodo e seus respectivos objetivos.

Tabela 3.1 – Etapas e objetivos do gerenciamento do lodo

Etapa	Objetivo
Adensamento	Remoção da umidade (redução de volume)
Estabilização	Remoção da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis)
Condicionamento	Preparação para a desidratação (principalmente mecânica)
Desaguamento	Remoção da umidade (redução de volume)
Higienização	Remoção de organismos patogênicos
Disposição Final	Destinação final dos subprodutos

Fonte: von Sperling e Gonçalves (2001).

O adensamento é um mecanismo físico de concentração de sólidos no lodo, objetivando reduzir a umidade e, como consequência, o seu volume. A estabilização propicia atenuar o inconveniente de maus odores no tratamento e manuseio do lodo. A redução dos odores é conseguida pela remoção da matéria orgânica biodegradável presente no lodo. Os processos de estabilização podem ser divididos em (Luduvic, 2001):

- Estabilização biológica → utiliza bactérias específicas para promover a estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica.
- Estabilização química → a estabilização é atingida mediante a oxidação química da matéria orgânica.
- Estabilização térmica → obtida a partir da ação do calor sobre a fração volátil em recipientes hermeticamente fechados.

O condicionamento é a preparação do lodo, pela adição de produtos químicos, aumentando assim, sua habilidade ao desaguamento e melhorando a captura de sólidos nos sistemas de desidratação. A próxima fase, que é a desidratação do lodo, pode ser realizada por métodos naturais ou mecânicos. Esta fase objetiva a remoção de água reduzindo ainda mais seu volume. A desidratação do lodo tem impacto importante nos custos de transporte e destino final. A higienização do lodo é uma operação necessária se seu destino for a reciclagem agrícola ou qualquer outro fim que venha a colocá-lo em contato direto ou indireto com humanos ou animais.

3.2.1 Organismos patogênicos presentes no lodo e suas implicações

Os esgotos sanitários contêm aproximadamente 0,1% de sólidos e 99,9% de água. As ETE's têm como finalidade básica separar essas duas fases, retornando a água para os corpos d'água e processando a fase sólida, de forma a permitir sua disposição de maneira econômica, segura em termos de saúde pública e ambientalmente aceitável (Pinto, 2001).

É no lodo que se concentra a maioria dos constituintes indesejáveis, tais como metais pesados, poluentes gerados pela atividade humana, além de poluentes orgânicos variados. Isto faz com que o lodo seja um produto que reproduza as características de uma comunidade, podendo variar com o tempo e com a capacidade de remoção da estação de tratamento.

Assim, fica claro que, em uma população que apresenta baixos índices de doenças, o esgoto gerado por ela conterà muito menos organismos patogênicos do que o gerado por uma população com alta incidência de doenças, principalmente infecciosas e parasitárias. Além disso, agentes patogênicos provenientes de dejetos de animais (cães, gatos, suínos e roedores) ou sua própria presença também constituem um aspecto sanitário do lodo, uma vez que o homem pode ser um agente intermediário na veiculação de zoonoses, ou atuar como hospedeiro acidental no ciclo de algumas dessas doenças, levando a quadros mórbidos às vezes graves.

Um dos fatores mais preocupantes em relação ao lodo de esgotos é, sem dúvida, a presença de microrganismos patogênicos. Existem várias vias de penetração que podem infectar humanos e animais, sendo a via oral a mais importante do ponto de vista epidemiológico. As vias cutânea e nasal também não podem ser descartadas como forma de contaminação.

A infecção se dá ao se ingerir, por exemplo, cistos de protozoários ou ovos viáveis de helmintos, juntamente com água contaminada ou pelo consumo de vegetais crus plantados em solo adubado com biossólido sem tratamento. A Tabela 3.2 mostra a dose infectante de ovos de helmintos e cistos de protozoários capazes de infectar o hospedeiro.

Tabela 3.2 - Dose mínima infectante (DMI) para cistos de protozoários e ovos de helmintos

Agente patogênico	Dose mínima infectante
Cistos de protozoários	1 a 100
Ovos de helmintos	1 a 10

Fonte: OMS (1989) *apud* (Silva et al., 2001)

A quantidade de organismos patogênicos presentes nos lodos não é sempre a mesma, podendo variar com o tempo (mês, ano, estação do ano), com a amostragem, com a saúde da população, dentre outros fatores. Esta carga patogênica varia ainda de uma região para outra e depende do tipo de tratamento a que o esgoto e o lodo foram submetidos.

A literatura tem mostrado que o número de ovos de helmintos contidos no lodo primário pode ser da ordem de 10^3 a 10^4 ovos/kg de matéria seca, ou mais. Já para vírus pode variar de 10^0 a 10^6 por kg de matéria seca. A maioria dos dados disponíveis sobre a carga patogênica em lodo são provenientes da Inglaterra, França, Estados Unidos e países do Leste Europeu, sendo que no Brasil dados recentes disponíveis são escassos (Andreoli et al., 2001). A Tabela 3.3 apresenta a concentração de ovos de helmintos em alguns tipos de lodo.

Tabela 3.3 – Concentrações de ovos de helmintos em lodo primário e digerido

Agente patogênico	Tipo de lodo	Número de ovos
Ovos de helmintos	Lodo primário	10^3 a 10^4 /kg MS
	Lodo digerido	10^2 a 10^3 /kg MS
	Lodo semi desidratado	10^1 a 10^3 /kg MS
	Lodo de tratamento aeróbio, semi desidratado	10^2 a $7,5 \times 10^4$ /kg MS
	Lodo anaeróbio	$6,3 \cdot 10^3$ a $1,5 \times 10^4$ /kg MS
	Lodo de lagoa anaeróbia ETE - Maringá/ES	76,4 ovos/gMS
	Lodo de lagoa de polimento sem chicana ETE - Nova Vista/MG (valor médio de três pontos de amostragem).	577 ovos/gMS

Fonte: Adaptado de Gonçalves et al., (1999), Silva et al., (2001), Mascarenhas (2002)

Os patógenos de águas residuárias estão primariamente associados aos sólidos insolúveis, razão pela qual os processos de tratamento primário de esgotos concentram estes sólidos no lodo. O nível de patógenos presentes no lodo depende da redução alcançada pelo processo de

tratamento do esgoto (EPA, 1992). Bactérias, vírus, protozoários e ovos de helmintos são os patógenos mais comuns no lodo, sendo que, dentre eles ovos de helmintos são os que causam maiores preocupações por serem os estágios mais resistentes no ciclo de vida dos helmintos. A Tabela 3.4 apresenta os principais parasitos que podem ser encontrados no lodo e os sintomas que eventualmente podem causar aos hospedeiros.

Tabela 3.4 - Parasitos cujos ovos ou cistos podem ser encontrados no lodo ou no esgoto, hospedeiros normais, acidentais e principais sintomas

Grupo	Parasito	Hospedeiro	Sintomas principais
Nematóides	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Humanos	Distúrbios digestivos, vômito, dor abdominal
	<i>Ascaris suum</i>	Suíno	Distúrbios digestivos e nutricionais, emagrecimento, tosse, febre
	<i>Ancilostoma duodenale</i>	Humanos	Anemia e emagrecimento
	<i>Necator americanus</i>	Humanos	Anemia e emagrecimento
	<i>Trichuris trichiura</i>	Humanos	Diarréia, anemia, perda de peso, dor abdominal
	<i>Toxocara canis</i>	Cães, Humanos	Emagrecimento, diarréia, febre, desconforto abdominal, sintomas neurológicos (larva migrans visceral)
	<i>Trichostrongylus axei</i>	Bovinos, Equinos, Humanos	Gastrite, úlcera gástrica
Cestóides	<i>Taenia solium</i>	Humanos, Suínos	Distúrbios digestivos, insônia, anorexia, dor abdominal, distúrbios nervosos, irritação e emagrecimento
	<i>Taenia saginata</i>	Humanos, Bovinos	Distúrbios digestivos, insônia, anorexia, dor abdominal, emagrecimento
	<i>Hymenolepis nana</i>	Humanos, Artrópodes	Diarréia, sinais nervosos
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	Roedores, Artrópodes	Distúrbios digestivos
	Cisto hidático	Ovinos, Humanos	Distúrbios hepáticos e pulmonares
Protozoários	<i>Entamoeba histolytica</i>	Humanos	Enterite
	<i>Giardia lamblia</i>	Humanos, cães, gatos	Diarréia, perda de peso
	<i>Toxoplasma gondii</i>	Gatos, Humanos, mamíferos e aves	Alterações de sistema nervoso, coriorretinite
	<i>Balantidium coli</i>	Humanos, Suínos	Distúrbios digestivos
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Humanos, Bovinos	Gastroenterite

Fonte: Thomaz-Soccol et al. (1999)

Dentre os helmintos mais comuns nas águas residuárias e, conseqüentemente, no lodo, incluem-se os *Ascaris*, *Trichuris*, *Toxocara*, ancilostomídeos, *Hymenolepis*, e *Taenia*. Desses, os três primeiros são bastante resistentes a uma ampla variedade de condições físicas e químicas adversas, sendo capazes de sobreviverem por vários anos no solo (EPA, 1992). A Tabela 3.5, mostra o tempo de sobrevivência de alguns patógenos no solo e na superfície de plantas.

Tabela 3.5 - Tempo de sobrevivência de patógenos no solo e plantas

Patógeno	Solo		Plantas	
	Máximo absoluto	Máximo usual	Máximo absoluto	Máximo usual
Bactéria	1 ano	2 meses	6 meses	1 mês
Vírus	1 ano	3 meses	2 meses	1 mês
Cistos de Protozoários	10 dias	2 dias	5 dias	2 dias
Ovos de Helmintos	7 anos	2 anos	5 meses	1 mês

Fonte: EPA (1992)

A presença de helmintos no lodo não pode ser avaliada por meio de bactérias indicadoras, tornando-se necessária a utilização de um outro indicador para este tipo de organismo. Assim, foi sugerido pela OMS (1989) citada por König (2000), que se utilizasse *A. lumbricoides* como o indicador mais adequado para este grupo de patógenos. A avaliação para ovos de helmintos, no entanto, não pode ser somente quantitativa, pois é a viabilidade dos ovos que os tornam “importantes” epidemiologicamente. Os ovos férteis não embrionados, quando eliminados pelo hospedeiro, juntamente com as fezes, não são infecciosos até que se transformem em larvas infectantes.

3.3 *Helmintos*

3.3.1 Preliminares

Os helmintos constituem um grupo bastante numeroso, cujos representantes podem ser de vida livre ou parasitos de humanos e de animais. Os representantes desse grupo encontram-se distribuídos em três Filos:

- *Platyelminthes* – vermes achatados dorso-ventralmente;
- *Aschelminthes* – vermes com o corpo em geral de forma cilíndrica;

- *Acanthocephala* – vermes com o corpo cilíndrico ou ligeiramente comprimido lateralmente.

Os helmintos parasitos constituem um dos grupos mais importantes, quando se trata de saúde. Isto em função da freqüência com que são encontrados na natureza, da resistência dos ovos de algumas espécies a condições adversas, e devido à baixa dose infectante para contaminação do hospedeiro (um único ovo é capaz de infectar humanos). A Figura 3.2 ilustra a distribuição das principais helmintoses intestinais no mundo de acordo com a WHO (1990).

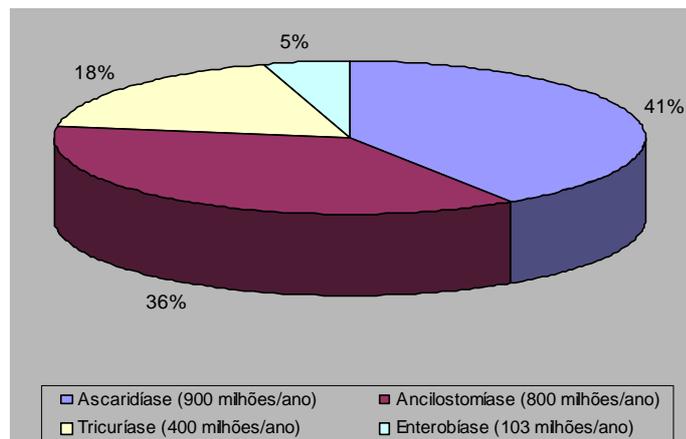


Figura 3.2 – Helmintoses mais freqüentes no mundo
 Fonte: OMS (1990) *apud* Thomaz-Soccol et al. (1999)

Durante a sua fase parasitária, os helmintos intestinais vivem no trato gastrointestinal dos hospedeiros (humanos e/ou animais). Seus ovos chegam ao exterior juntamente com a eliminação das fezes. Os ovos de helmintos sofrem sucessivas transformações até atingirem o estágio de larvas, que darão prosseguimento aos respectivos ciclos biológicos e atingirão outros hospedeiros. Os ovos larvados são infectantes para os humanos e animais quando ingeridos juntamente com água, alimentos, mãos sujas, poeira e solos que estejam contaminados. O grau da infecção e a espécie do parasito têm papel importante na sua patogenicidade.

A patogenicidade dos helmintos é muito variável, sendo que, apenas alguns grupos apresentam uma relação epidemiológica de importância no saneamento. Os geo-helmintos que possuem parte do seu ciclo biológico no solo, conferem grande interesse, destacando-se o *A. lumbricoides*, o *T. canis*, o *T. trichiura*, o *A. duodenale*, o *N. americanus* e o *S. stercoralis*.

Os parasitos geralmente apresentam especificidade de hospedeiro podendo ser representados como a seguir (adaptado de Thomaz-Soccol et al., 1999):

- específicos para um hospedeiro, em caso de parasitos monoxênicos (necessitam apenas um hospedeiro para completar seu ciclo biológico). Exemplo: *A lumbricoides* e *T. trichiura*, que são infectantes apenas para os humanos;
- específicos para os hospedeiros intermediários, em caso de parasitos heteroxênicos (precisam mais de um hospedeiro para completar o ciclo biológico). Neste caso o risco direto é para o hospedeiro intermediário, mas na seqüência representam risco para o hospedeiro definitivo. Exemplo: *Taenia* sp, que é infectante para bovinos e suínos (hospedeiros intermediários) num primeiro instante, porém, se humanos (hospedeiro definitivo) ingerirem carne infectada destes animais vai desenvolver o parasito adulto no intestino;
- acidentais: quando o homem ingere ovos larvados de certos parasitos de animais, *Toxocara*, por exemplo, que habitualmente parasitam cães e gatos. Nesses casos a evolução do ciclo é abortiva, porém, o início do ciclo nos humanos pode ter repercussão patológica grave, conhecida como Larva Migrans Visceral e Larva Migrans Ocular.

Sendo assim, há uma grande variabilidade na taxa de infecção entre as populações, fazendo com que os riscos de infecção humana para cada helmintose possam variar de lugar para lugar ou, periodicamente, ocorram no mesmo local. Dentre os fatores de maior importância para a distribuição e a prevalência das helmintoses encontram-se (Rey, 1991 & Neves et al., 2000):

- características genéticas e fenotípicas, particularmente quanto à suscetibilidade e resistência às infecções;
- condições ambientais (serviços sanitários, temperatura, umidade e altitude favoráveis);
- os hospedeiros intermediários e os definitivos desses parasitos;
- presença de hospedeiros suscetíveis apropriados;
- potencial biótico elevado;
- migrações humanas;
- densidade.

Todos esses fatores, associados a outros, como hábitos religiosos, baixo grau de conhecimento e precárias condições de vida, favorecem a disseminação e podem elevar à prevalência das parasitoses em determinadas regiões. A maioria das parasitoses torna-se, assim, ao mesmo tempo causa e conseqüência do subdesenvolvimento, não podendo nunca dissociar a doença da sub-alimentação, da pobreza e vice-versa. Assim, pode-se entender melhor o ciclo doença e pobreza, cujo esquema dado pela OMS é apresentado na Figura 3.3.

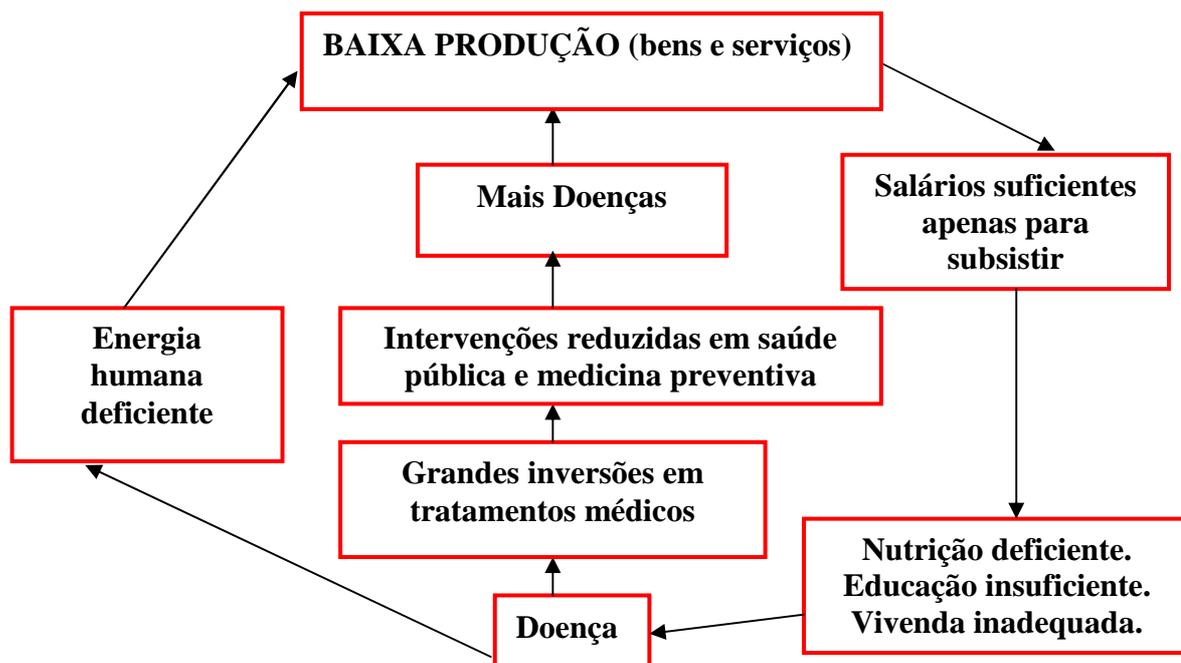


Figura 3.3 - Ciclo doença e pobreza segundo a OMS.

Fonte: Neves et al. (2000)

Para um melhor conhecimento, a Tabela 3.6 apresenta um resumo da distribuição dos principais helmintos dentro da chave de classificação. As características morfo-fisiológicas dos helmintos marcados com * são discorridas neste trabalho.

Tabela 3.6 - Sinopse de alguns helmintos que ocorrem em hospedeiros humanos

Filo	Classe	Superfamília	Família	Gênero	Espécie
Platyhelminthes	Trematoda		<i>Schistosomatidae</i>	<i>Schistosoma</i>	<i>S. mansoni</i> <i>S. japonicum</i> <i>S. haematobium</i>
			<i>Fasciolidae</i>	<i>Fasciola</i>	<i>F. hepatica</i>
	*Cestoda		<i>Taeniidae</i>	<i>Taenia</i>	<i>T. solium</i> <i>T. saginata</i>
			<i>Hymenolepididae</i>	<i>Echinococcus</i> <i>*Hymenolepis</i>	<i>E. granulosus</i> <i>H. nana</i> <i>H. diminuta</i>
Aschelminthes	*Nematoda	<i>Ascaroidea</i>	<i>Ascarididae</i>	<i>*Ascaris</i> <i>*Toxocara</i>	<i>A. lumbricoides</i> <i>T. canis</i>
		<i>Oxyuroidea</i>	<i>Oxyuridae</i>	<i>Enterobius</i>	<i>E. vermicularis</i>
		<i>Rhabdiasoidea</i>	<i>Strongyloididae</i>	<i>Strongyloides</i>	<i>S. stercoralis</i>
		<i>Strongyloidea</i>	<i>Ancylostomidae</i>	<i>*Ancylostoma</i>	<i>A. duodenale</i> <i>A. braziliense</i>
				<i>Necator</i>	<i>N. americanus</i>
		<i>Trichuroidea</i>	<i>Trichuridae</i>	<i>*Trichuris</i>	<i>T. trichiura</i>
<i>Filarioidea</i>	<i>Onchocercidae</i>	<i>Wuchereria</i> <i>Onchocerca</i>	<i>W. bancrofti</i> <i>O. volvulus</i>		

Fonte: Neves et al., (2000)

3.4 Nematóides

3.4.1 Preliminares

Os representantes desta classe têm aspecto geral cilíndrico e filiforme (do grego *nema*, *nematos* = filamento). Medem desde milímetros até vários centímetros. Na maioria dos casos, apresentam dimorfismo sexual, sendo os machos menores que as fêmeas. Os espermatozoides fecundam os ovócitos em sua passagem pelo útero, completando a formação do ovo envolvido por três membranas. Em alguns nematóides o embrião desenvolve-se dentro do ovo, no meio exterior (*Ascaris* sp). Em outros, o embrião desenvolve-se dentro do ovo, ainda no útero da fêmea (*Strongyloides stercoralis*).

O aparelho genital das fêmeas é constituído fundamentalmente por ovário, oviduto, útero, vagina e vulva. Entre o útero e a vulva pode-se distinguir uma estrutura denominada

ovojector, dotado de um esfíncter cuja função é regular a passagem dos ovos (Neves et al., 2000).

A grande maioria apresenta ciclo biológico monoxênico, não necessitando de hospedeiro intermediário. Neste tipo de ciclo, os ovos de alguns representantes não eclodem no meio externo, assim humanos infectam-se quando ingerem os ovos larvados.

A localização mais comum dos nematóides em humanos é no aparelho digestivo, sobretudo em sua luz ou nas vias excretoras anexas. Os nematóides podem atravessar ilesos o tubo digestivo de humanos e de outros animais, podendo viver aí temporariamente e até produzir manifestações clínicas. No aparelho digestivo, do duodeno ao reto, alojam-se muitas espécies de nematóides, por ser este um meio rico em elementos nutritivos facilmente assimiláveis.

No desenvolvimento pós-embriônico o nematóide passa por cinco estádios e, na passagem de um para o outro, ocorre uma troca de cutícula. O embrião que se forma dentro do ovo é uma larva de primeiro estágio – L₁, que se transforma em L₂. Ao alcançar o estágio de larva infectante - L₃, torna-se necessário infectar o hospedeiro definitivo, para ocorrer a continuidade do desenvolvimento. A infecção pode ser passiva, quando ocorre a ingestão do ovo contendo a larva infectante (*Ascaris* sp, *Trichuris* sp, *Enterobius* sp), ou ativa quando a larva infectante penetra através da pele ou mucosa (ancilostomídeos e *Strongyloides*). No entanto, para que essas transformações do embrião ocorram no meio externo são necessárias cinco condições básicas que são (Neves et al., 2000):

- radiação solar;
- temperatura;
- oxigênio;
- umidade;
- pH.

Na ausência ou alteração de uma destas condições, a continuidade do desenvolvimento biológico do parasito pode ficar comprometida, ou então ele permanece em estado de latência até encontrar condições que favoreçam seu retorno ao seu ciclo biológico. Há ainda uma possibilidade da larva em estágio L₃ ser ingerida por um hospedeiro que não o definitivo, nele

encistar, aguardando até que o hospedeiro definitivo o ingira, comportando-se como hospedeiro paratênico ou de transporte.

O processo de eclosão ocorre somente quando fatores ambientais, tais como temperatura e umidade do meio, forem adequados. Antes da eclosão, as larvas movem-se ativamente dentro do ovo. Essa movimentação, mais a produção eventual de enzimas capazes de destruir a membrana ovular interna impermeável, modificam a permeabilidade da casca à água que existe ao redor. A pressão exercida pela larva dentro do ovo, e talvez modificações enzimáticas nas camadas externas, conduzem finalmente à ruptura e liberação da larva.

A sobrevivência dos nematóides e sua abundância em determinado meio ou população de hospedeiros depende de condições ambientais, que variam freqüentemente ou segundo ritmos periódicos anuais ou outros. Condições estas que podem ser resumidas em (Rey, 1991):

- os lugares onde vivem os parasitos;
- os fatores climáticos;
- a disponibilidade de alimentos;
- as relações com outros seres vivos.

Quanto aos lugares onde vivem os parasitos, eles dependem de encontrar no meio externo condições que assegurem a sobrevivência (sob a forma de ovo ou de larva) em quantidade suficiente, a fim de que a população parasitária permaneça viável. Frequentemente, os programas de controle de helmintoses buscam interferir nesse ponto do ciclo parasitário com medidas de saneamento e higiene, para reduzir ou impedir a transmissão. Porém, os parasitos desenvolveram mecanismos adaptativos, como, por exemplo, o número elevado de ovos produzidos pelas fêmeas, (*Ascaris* sp), a espessa casca dos ovos (*Ascaris* sp e *Trichuris* sp), a penetração cutânea dos ancilostomídeos, além dos hábitos e comportamento dos hospedeiros (disseminação fecal).

Diante dos fatores desfavoráveis do meio, os nematóides e outros parasitos apresentam mecanismos especiais de sobrevivência (Rey, 1991):

- dormência ou hipometabolismo, quando ocorre a redução da atividade metabólica;
- latência ou ametabolismo, quando ocorre a paralisação das atividades metabólicas.

No caso do homem, os seguintes aspectos influenciam no parasitismo (Rey, 1991):

- hábitos higiênicos, comportamento, educação e grau de informação;
- estado nutricional e imunológico;
- condições que o cercam;
- política sanitária adotada por seus dirigentes.

3.4.2 Casca dos ovos de nematóides

Os helmintos são os parasitos mais resistentes a condições ambientais externas, sobretudo seus ovos. O aumento na transmissão das parasitoses teria um efeito equivalente ao aumento da fecundidade do parasito e poderia ser uma estratégia que favoreceria sua manutenção na natureza. Por isso é que a estrutura e a função da casca dos ovos dos nematóides têm papel relevante e que deve sempre ser considerada. Sua resistência, complexidade e variabilidade podem ser consideradas como adaptações que aumentariam a sobrevivência do embrião e da larva no meio ambiente.

A casca do ovo também é responsável pela resistência a anti-helmínticos. O estudo da estrutura e função da casca do ovo objetiva entender sua resistência para facilitar seu controle. A casca dos ovos de nematóides pode consistir de 1 a 5 camadas, sendo que o padrão mais freqüentemente encontrado consiste em (Wharton, 1980):

- uma camada interna lipídica;
- uma camada média quitinosa;
- uma camada externa vitelina.

Essas camadas são formadas interiormente, por oôgenese e são elaboradas pelo próprio ovo. Além disso, a casca dos ovos de alguns nematóides pode possuir uma ou duas camadas externas secretadas por células uterinas, ainda na parede do útero das fêmeas. A camada uterina pode conter mucopolissacarídeos e proteínas, sendo em geral grossa e irregular, fornecendo ao ovo o aspecto típico de uma membrana mamilonada, como nos ovos de *A. lumbricoides*.

Descrição das principais camadas

A camada interna lipídica é responsável pela extrema impermeabilidade da casca do ovo de alguns nematóides. Em ovos de *A. lumbricoides*, ela tem uma natureza química única, com 25% de proteína e 75% de lipídeos, sendo a principal barreira à permeabilidade (Wharton, 1980).

A camada média, de natureza quitinosa, é geralmente a mais espessa da casca, sendo que sua composição fornece uma resistência estrutural ao ovo onde a proteína está frequentemente presente em associação com a quitina.

A camada externa vitelina é formada de lipoproteína, que por sua vez é derivada da membrana vitelina do ovo. É espessa e quando molda a camada externa da casca, um material particulado tem sido observado aderido à superfície externa. Segundo Fairbairn (1957), a camada vitelina é “derretida” à 70 °C.

Resistência da casca do ovo

A casca dos ovos de nematóides é uma estrutura biológica extremamente resistente, sendo impermeável à maioria das substâncias, com exceção de gases e solventes lipídicos. O papel principal da camada de quitina é, provavelmente, fornecer resistência estrutural. Caso fosse removida, a camada lipídica seria facilmente submetida a danos mecânicos o que permitiria a entrada de produtos químicos nocivos (Arthur & Sanborn, 1969 *apud* Wharton, 1980). Ligações covalentes entre quitina e proteína fornecem alguma resistência aos ataques químicos.

A extrema resistência química da casca do ovo pode ser observada durante os testes de embrionamento, quando os ovos são incubados em meios contendo ácido sulfúrico 0,1 N e nenhuma alteração substancial é notada (Massara, 1988).

Permeabilidade da casca dos ovos

O embrionamento dos ovos sob uma variedade de soluções nocivas confirma a impermeabilidade da casca do ovo a compostos solúveis em água. Os ovos também desenvolvem-se normalmente em soluções hiper e hipo-osmóticas, o que sugere que a casca do ovo seja impermeável à água (Arthur & Sanborn, 1969, citado por Wharton, 1980).

Capizzi & Schwartzbrod (2001), estudando as propriedades hidrofóbicas da superfície de ovos de *A. suum* a partir da verificação da aderência de compostos de hidrocarbonetos (hexadecano e octano), encontraram que os percentuais hidrofóbicos do octano foram sempre acima de 70%, sugerindo que a superfície dos ovos de *Ascaris* tenham características hidrofóbicas.

Quanto à respiração, a molécula de oxigênio é maior que a molécula de água. Assim, não é possível ter uma membrana biológica que seja permeável ao oxigênio, e impermeável ao vapor de água. Conseqüentemente a casca do ovo deve apresentar uma permeabilidade muito baixa a trocas gasosas, restringindo perdas de água, ao mesmo tempo que permite um adequado suprimento de oxigênio para o desenvolvimento do embrião.

Efeito da temperatura na permeabilidade da casca do ovo

A taxa de perda de água dos ovos de nematóides é afetada pelas mudanças de temperatura verificadas no ambiente natural em que se encontram. O efeito da temperatura sobre a permeabilidade da casca do ovo é, dessa forma, um importante fator de influência na capacidade dos ovos em sobreviverem às condições adversas do meio ambiente.

Quando os ovos são expostos a dessecação em temperaturas constantes diferentes, a taxa de perda de água aumenta exponencialmente em função do aumento da temperatura. Isto pode ser devido ao efeito da temperatura na permeabilidade da casca do ovo (Wharton, 1979). Ainda, segundo este autor, a temperatura em que os ovos aparentemente perdem sua capacidade de impedir a perda de água depende do tempo de exposição. A temperatura afeta a capacidade da casca do ovo em diminuir a taxa de perda de água.

Parasitas de interesse para o presente trabalho

O presente trabalho, como mencionado nos objetivos, abordou experimentos distintos onde foram identificados e/ou utilizados diferentes ovos de helmintos, dentre os quais destacam-se

representantes da classe Nematoda. Como o representante mais notável deste estudo foi o *Ascaris* sp e por ter sido o organismo indicador na condução dos experimentos, sua descrição encontra-se mais detalhada. Os demais parasitos, tais como, *Toxocara* sp, *Trichuris* sp, ancilostomídeos e *Hymenolepis* sp, (pertencente a classe Cestoda), são descritos de maneira geral.

3.5 Descrição dos principais helmintos de interesse para o presente estudo

3.5.1 *Toxocara*

O *Toxocara* é um ascaridídeo cosmopolita que freqüentemente parasita o intestino delgado de cães e gatos, eliminando milhares de ovos por dia juntamente com as fezes. Quando os ovos atingem o solo e, sob condições favoráveis de umidade, temperatura e oxigenação, sofrem desenvolvimento embrionário e em aproximadamente 28 dias a larva atinge o estágio L₃ dentro do ovo, que constitui a forma infectante.

Os ovos de *Toxocara* sp, como os de *Ascaris* sp sobrevivem longo tempo no meio exterior, suportando bem as condições ambientais que para outros helmintos seriam desfavoráveis. Os ovos medem cerca de 90 µm quando embrionados. Os animais infectam-se ao ingerir o ovo com a larva em estágio L₃, que eclodem no intestino delgado e através da circulação atingem o fígado, coração e pulmão, onde mudam para L₄. Migram, então, para os alvéolos, brônquios, traquéia e são deglutidos.

O ciclo de *Toxocara* sp entre os animais é assegurado essencialmente pela transmissão congênita. Assim, animais com apenas três semanas de vida já eliminam ovos nas fezes. A infecção no homem ocorre quando este ingere acidentalmente ovos contendo L₃. No intestino delgado, há eclosão e as L₃ penetram na parede intestinal, atingem a circulação, distribuindo-se por todo o organismo. Algumas larvas encistam-se, mantendo-se viáveis por vários anos. Em primatas infectados experimentalmente, já foi observado que as larvas de *T. canis* permanecem vivas por um período de dez anos (Neves et al., 2000).

As manifestações clínicas em humanos são causadas pela migração das larvas que atingem tecidos do fígado, rins, pulmões, coração, medula óssea, músculos estriados e olhos, levando ao desenvolvimento de uma síndrome conhecida por Larva Migrans Visceral (LMV) e Larva Migrans Ocular (LMO). Os cães recém-nascidos são considerados como principal fonte de

infecção devido à alta frequência de transmissão transplacentária. Além disso, o grande número de ovos eliminado diariamente contribui para maior contaminação do solo.

Dubin et al. (1972) fizeram um estudo sobre o grau de infecção de animais e do nível de contaminação do solo por ovos de nematóides que têm os animais como principal hospedeiro e humanos como hospedeiro acidental, dentre eles o *Toxocara* sp. No estudo, amostras de fezes de animais obtidas em dois hospitais veterinários e amostras de solo obtida de dois parques públicos da Filadélfia/EUA, foram examinadas. Os resultados, mostraram que mais da metade das amostras de fezes que estavam positivas abrigavam parasitas ascaridídeos, sendo que uma grande proporção dos animais de estimação, cujas fezes foram obtidas dos hospitais veterinários estavam infectadas por ovos de *Toxocara* sp.

Quanto às amostras de solo coletadas nos parques, eles verificaram que no parque 1, freqüentado por animais de estimação, levados para defecar no parque, presos em coleiras, mais de 40% das amostras do solo e de 30% das amostras de fezes estavam positivas para ovos de nematóides. No parque 2, freqüentado por crianças, onde a contaminação com fezes desses animais era menos óbvia, uma vez que os cães dessa área são praticamente alguns “vira-latas” que transitam livremente, 19% das amostras de solo estavam contaminadas entretanto 73% das fezes coletadas, tinham ovos de nematóides, principalmente *Toxocara* sp.

Os autores também relatam que o estudo das helmintoses é significativamente importante uma vez que a ingestão dos ovos de *Toxocara* sp pelo hospedeiro acidental (na maioria das vezes, crianças com idade de 4 anos pelo fato de exercerem suas brincadeiras muitas vezes no chão e não raro levarem as mãos à boca tornam-se mais expostas) pode levar ao desenvolvimento de Larva Migrans Visceral (LMV) e Larva Migrans Ocular (LMO), enfermidades, como já mencionado, que pode ocasionar graves manifestações clínicas, sendo esta última muitas vezes confundida com retinoblastoma.

No Brasil, considerando-se o nº de casos registrados de LMV e LMO, estes são relativamente poucos em relação à população de cães e gatos existentes e a alta prevalência de infecção desses animais. Este fato, talvez seja devido as diversidades das manifestações clínicas e à dificuldade de diagnóstico (Neves et al., 2000).

3.5.2 *Hymenolepis*

3.5.2.1 *Hymenolepis nana*

O *H. nana* é o menor cestódeo que ocorre no homem, sendo também muito encontrada no íleo de ratos e camundongos. Os ovos são quase esféricos, medindo cerca de 40 µm de diâmetro. Este helminto pode apresentar dois tipos de ciclo: um monoxênico, não necessitando de hospedeiro intermediário, e o outro heteroxênico, em que usa hospedeiros intermediários (pulgas e carunchos de cereais). No ciclo monoxênico, os ovos são eliminados com as fezes podendo ser ingeridos. No ciclo heteroxênico, os ovos presentes no meio externo são ingeridos pelas larvas de alguns dos insetos citados. Humanos podem ingerir acidentalmente um inseto contendo larvas cisticercóides.

O mecanismo mais freqüente de transmissão é a ingestão de ovos presentes nas mãos ou em alimentos que foram contaminados. Apesar de *H. nana* ser um cestódeo cosmopolita, ele é mais freqüentemente encontrado nos países de clima quente. Os principais fatores que parecem determinar sua distribuição e incidência são (Neves et al., 2000):

- pequena resistência do ovo no meio externo, até dez dias;
- promiscuidade e maus hábitos de higiene;
- presença de hospedeiros intermediários próprios no ambiente;
- possibilidade de transmissão ser também direta: criança – fezes – ovos – solo – criança.

3.5.2.2 *Hymenolepis diminuta*

São parasitas habituais de ratos e raramente do homem. Os ovos medem cerca de 75 µm de diâmetro. O ciclo é sempre heteroxênico e o homem infecta-se ingerindo acidentalmente, ovos ou insetos, como pulgas etc. Normalmente o parasitismo humano não leva a nenhuma alteração orgânica, sendo o verme eliminado dois meses após a infecção.

3.5.3 Ancilostomídeos

Generalidades

Os ancilostomídeos são parasitos que apresentam ampla distribuição geográfica. Dentre as espécies conhecidas, apenas três podem atingir o homem causando as ancilostomíases humanas: *A. duodenale*, *N. americanus* e *A. ceylanicum*, sendo as duas primeiras espécies os principais parasitos humanos. A espécie *A. ceylanicum*, ainda que ocorra em hospedeiros humanos, tem os canídeos e felídeos como hospedeiros definitivos. As ancilostomíases humanas, embora às vezes negligenciadas, têm grande importância no contexto universal, pois estima-se que cerca de 900 milhões de pessoas estejam parasitadas por *A. duodenale* e *N. americanus*, das quais, 60 mil morrem anualmente (Neves et al., 2000).

O *A. duodenale* é um parasito predominantemente de regiões mais temperadas, embora ocorra em regiões tropicais cujo clima seja mais temperado. No Brasil, a ancilostomíase mais freqüente é por *N. americanus*. Os mais recentes inquéritos coprológicos feitos no Brasil, na década de 80, permitiram avaliar que em algumas regiões ainda permanece alarmante a presença de ancilostomídeos (Neves et al., 2000).

Os ovos das várias espécies são muito parecidos, ovóides ou elípticos, de casca fina e transparente, diferindo-se principalmente quanto ao tamanho médio: *A. duodenale* mede em torno de 60 µm e *N. americanus*, 70 µm. O número de ovos que a fêmea põe por dia varia com a espécie e com a densidade parasitária. Segundo algumas estimativas, a oviposição de *A. duodenale* é da ordem de 20.000 a 30.000 ovos por dia, enquanto *N. americanus* está em torno de 9.000 ovos/dia (Rey, 1991).

Os ancilostomídeos, assim como outros nematóides parasitos, apresentam ciclo biológico direto, não necessitando de um hospedeiro intermediário. Os ovos de ancilostomídeos depositados pelas fêmeas (após a cópula) no intestino delgado são eliminados para o meio exterior através das fezes. Os ovos necessitam de um ambiente propício de oxigenação, alta umidade (> 90%) e temperatura elevada para que ocorra seu embrionamento, a formação da larva de primeiro estágio (L₁) e sua eclosão (Neves et al., 2000). Esta continuará o desenvolvimento até alcançar o estágio de larva infectante.

A infecção dos humanos pelos ancilostomídeos só ocorre quando as larvas em estágio L₃ (larva filarióide ou infectante) penetram ativamente pela pele, conjuntiva e mucosas, ou,

passivamente, por via oral. A patogenia da enfermidade é diretamente proporcional ao número de parasitos presentes no intestino delgado. A anemia causada pelo intenso hematofagismo exercido pelos vermes adultos é o principal sinal da ancilostomíase.

O entedimento da epidemiologia da ancilostomíase requer um conhecimento sobre a cadeia epidemiológica: parasito, transmissão, hospedeiro e ambiente. A doença ocorre preferencialmente em crianças com mais de seis anos, adolescentes e indivíduos mais velhos, independente do sexo, onde os parasitos podem sobreviver até 18 anos. Na natureza, os ovos dos parasitos não se desenvolvem bem em umidade inferior a 90% e os raios ultravioleta do sol são letais para o embrionamento. O solo argiloso, que preserva mais umidade e oxigenação, e é rico em matéria orgânica, favorece bem o desenvolvimento dos estágios de vida livre. A temperatura é outro fator limitante para o desenvolvimento e sobrevivência de ovos e larvas, sobretudo em locais de clima temperado e tropical.

Em áreas endêmicas, a aplicação de medidas preventivas e tecnicamente efetivas para o controle das ancilostomíases são (Neves et al., 2000):

- engenharia sanitária (pela implantação de saneamento básico);
- educação sanitária;
- suplementação alimentar de ferro e proteínas;
- uso de anti-helmínticos (embora de uso mais curativo, tem seu efetivo valor).

Essas aplicações estão geralmente condicionadas às limitações sociais e econômicas, onde grande parte da população mantém-se em condições precárias de educação, nutrição, saneamento, saúde, habitação, etc. Esses fatores integram-se mantendo elevada a prevalência da ancilostomíase. Porém, enquanto não se pode tomar medidas que solucionem em definitivo o controle ou a erradicação da doença, medidas mais simples tais como, destino adequado das fezes humanas pelo uso de privadas ou fossas, hábito de lavar as mãos antes das refeições, lavar os alimentos ingeridos crus, usar calçados e luvas ao freqüentar locais ou ao manipular objetos contaminados, podem atenuar a incidência e a prevalência da enfermidade.

3.5.4 *Trichuris trichiura*

O *T. trichiura* é um nematóide com distribuição cosmopolita e de alta prevalência entre a população humana. Os vermes adultos apresentam uma forma característica, assemelhando-se a um chicote (são conhecidos na língua inglesa como *whipworms*). O *T. trichiura* parece ser uma espécie tão antiga quanto o gênero humano, já que parasitos idênticos ou espécies afins encontram-se em muitos primatas do Velho Mundo. Os registros mais antigos sobre a presença de *T. trichiura* entre os primitivos habitantes do território brasileiro datam de mais de 5000 anos, de acordo com estudos paleoparasitológicos (Rey, 1991). O fato de atualmente se encontrar uma alta prevalência desta parasitose somente em regiões tropicais e subtropicais seria possivelmente pelo resultado da melhoria das condições sanitárias das populações humanas residentes em regiões temperadas.

Os vermes adultos de *T. trichiura* medem de 3 a 5 cm de comprimento, sendo os machos menores que as fêmeas. Os vermes adultos são dióicos, com dimorfismo sexual. Os ovos medem aproximadamente 50 µm de comprimento por 22 µm de largura, apresentam formato elíptico, característico, com poros salientes e transparentes em ambas as extremidades, preenchidos por material lipídico. A casca do ovo de *Trichuris* é semelhante a do *Ascaris*, possuindo uma camada externa vitelina, uma intermediária quitinosa e uma camada interna lipídica (Neves et al., 2000).

Os vermes adultos de *T. trichiura* parasitam o intestino grosso do homem, em infecções moderadas, estes vermes estão localizados principalmente no ceco e cólon ascendente. Já nas infecções intensas, ocupam também o cólon distal, o reto e a porção distal do íleo. A porção posterior de *T. trichiura* permanece exposta no lúmen intestinal, facilitando a fecundação e eliminação dos ovos. A fecundidade da espécie é muito grande, sendo calculada entre 200 e 300 a média do número de ovos eliminados diariamente, por grama de fezes e por fêmea, o que equivale a uma oviposição de 3.000 a 7.000 ovos por fêmea por dia, podendo chegar a 14.000 ovos/dia (Rey, 1991) ou 20.000 ovos/dia (Neves et al., 2000).

O ciclo biológico de *T. trichiura*, como de outros nematóides, é do tipo monoxênico. Fêmeas e machos que habitam o intestino grosso são eliminados para o meio externo juntamente com as fezes. A sobrevivência dos adultos no homem é estimada em cerca de três a quatro anos (estimativa máxima do parasito). Porém, estimativas indiretas, com base na intensidade da

infecção em diferentes faixas etárias da população de áreas endêmicas, indicam uma sobrevivência de um a dois anos para os vermes adultos (Neves et al., 2000).

O embrião contido no ovo recém eliminado se desenvolve no ambiente para tornar-se infectante. O período de desenvolvimento do ovo depende das condições ambientais, sendo que, à temperatura de 25° C, o processo de embriogênese ocorre com cerca de 28 dias. Temperaturas muito elevadas (acima de 40° C) não permitem o desenvolvimento dos ovos de *T. trichiura* e em baixas temperaturas este processo pode ser bem retardado. Estes ovos são mais sensíveis à dessecação do que os ovos de *Ascaris* sp. Em condições ambientais favoráveis, os ovos contendo as larvas infectantes podem permanecer viáveis por longos períodos.

Os ovos infectantes (com L₁) podem contaminar alimentos sólidos e líquidos e assim ser ingeridos pelo homem. Após cerca de uma hora da ingestão dos ovos, a larva de *T. trichiura* eclode através de um dos poros presentes nas extremidades do ovo. Estudos *in vitro* indicam que a exposição sequencial dos ovos infectantes aos componentes do suco gástrico e do suco pancreático estimulam o processo de eclosão (Neves et al., 2000). No intestino grosso, as larvas L₁ sofrem 4 mudas até atingirem a fase adulta.

Apenas uma pequena parte (5% a 22%) dos ovos infectantes de *T. trichiura* ingeridos completam o desenvolvimento até vermes adultos. Estima-se que o tempo entre a infecção e a eliminação dos ovos através das fezes do hospedeiro humano é de aproximadamente 60 a 90 dias. Os ovos eliminados com as fezes do hospedeiro infectado contaminam o ambiente em locais sem saneamento básico.

Como os ovos são resistentes às condições ambientais, podem ser disseminados pelo vento ou pela água e contaminar os alimentos sólidos ou líquidos, sendo então ingeridos pelo hospedeiro. Os ovos podem também ser disseminados por mosca doméstica, que os transporta na superfície externa do corpo, do local onde as fezes foram depositadas até os alimentos. Para as crianças, as mais importantes fontes de infecção são as práticas de geofagia (comer terra) e se alimentarem sem antes lavar as mãos.

Mesmo sendo grande o número de pessoas infectadas, a tricuriase não tem recebido a devida atenção por parte das autoridades de saúde pública das regiões com alta prevalência da

doença. Provavelmente o descaso seja devido ao grande número de casos assintomáticos da doença e da falta de informação quanto à real consequência da infecção crônica.

Como não existe migração sistêmica das larvas no homem, as lesões provocadas pelo verme estão restritas ao intestino. O número de espécimes que vive no intestino grosso das pessoas infectadas varia entre 2 e 10, elevando-se em casos excepcionais para 100 e 1000 vermes. Em 28 autópsias feitas em São Paulo, a média encontrada foi de 8 vermes (Rey, 1991). Em infecções intensas e crônicas, a presença do parasito produz distúrbios locais sérios tais como: dor abdominal, disenteria, sangramento e prolapso retal, além de alterações sistêmicas como perda de apetite, vômito, anemia, má-nutrição e retardamento no desenvolvimento. O prolapso retal devido à tricuriase é relativamente raro na região Centro-Sul do Brasil, porém muito freqüente em crianças da região Norte, onde o clima quente e úmido e as precárias condições sanitárias de algumas áreas favorecem o estabelecimento de infecções intensas.

No Brasil, inquéritos epidemiológicos com base em amostras de dois milhões de pessoas de diferentes estados, realizados no final dos anos 60 pelo Departamento de Endemias Rurais, mostraram que a prevalência de tricuriase no país variava entre 35% e 39%. A variação regional no entanto foi bastante grande, com taxas muito elevadas nos estados do Norte, Nordeste e região litorânea, como Pará (68%), Alagoas (72%), enquanto que em Goiás e Mato Grosso a prevalência era respectivamente de 2,5% e 8,9%. Em Minas Gerais a prevalência era de 13,8% (Neves et al., 2000). Não há dados mais recentes cuja amostragem tenha sido tão significativa, mas estudos regionais indicam que não houve alterações significativas no quadro apresentado

A intensidade da infecção varia com a idade do hospedeiro, sendo que as crianças infectam-se entre os 18 e 24 meses de idade. A intensidade máxima da infecção ocorre em crianças com quatro a dez anos (principalmente entre seis e sete) diminuindo em jovens, permanecendo baixa em adultos. O homem é a única fonte da infecção por *T. trichiura* que apresenta relevância epidemiológica. Assim, o “sucesso” da transmissão da tricuriase depende de condições ambientais, que favoreçam o desenvolvimento e a sobrevivência dos seus ovos no meio ambiente, além da falta de saneamento básico adequado que favoreceria a contaminação do ambiente. Assim, as medidas profiláticas para o controle da enfermidade são bastante semelhantes a do *A. lumbricoides*.

3.5.5 *Ascaris lumbricoides*

Preliminares

Dentre os parasitos intestinais descritos, os *A. lumbricoides* são os mais mencionados pela literatura devido à sua distribuição geográfica cosmopolita, por ser o mais freqüente dos helmintos humanos e devido aos danos que são capazes de causar aos hospedeiros. São popularmente conhecidos por “lombrigas” ou “bicha” e causam a doença denominada ascaridíase (Rey, 1991). Dados da OMS (1984) avaliam que na população mundial mais de 1 bilhão de pessoas apresentam-se infectadas por *A. lumbricoides* (Neves et al., 2000).

Na maioria dos casos, a infecção é leve e clinicamente benigna, se bem que um único verme possa responder por acidentes graves, de natureza obstrutiva, exigindo tratamento cirúrgico de urgência. Estima-se em seis a média de vermes por pessoa, mas há também registros de casos de 500 a 700 parasitos. As crianças são as mais atingidas, razão pela qual a ascaridíase constitui importante problema pediátrico e social (Rey, 1991).

Patogenia

A intensidade das alterações provocadas, tanto pelas larvas quanto pelos vermes adultos, está diretamente relacionada ao número de formas presentes no hospedeiro. Em infecções de baixa intensidade pelas larvas, não se observam alterações; já em infecções maciças ocorrem lesões hepáticas e pulmonares. Quanto aos vermes adultos, as infecções podem ser classificadas em (Neves et al., 2000):

- infecções de baixa intensidade (3 a 4 vermes), o hospedeiro não apresenta alterações;
- infecções médias (30 a 40 vermes);
- infecções maciças (100 ou mais vermes), o hospedeiro pode apresentar várias alterações de natureza mecânica, tóxica, espoliadora e ectópicas.

Muitas vezes o parasitismo é totalmente assintomático, e mesmo no caso das formas sintomáticas o diagnóstico clínico é difícil de ser feito, devido à semelhança do quadro clínico com outras parasitoses (Neves et al., 2000). Usualmente os vermes são longos, robustos e cilíndricos, apresentando as extremidades afiladas, sobretudo na região anterior.

Hábitat

Os vermes adultos vivem no intestino delgado dos hospedeiros, principalmente jejuno e íleo. Em infecções intensas, podem ser encontrados em toda a extensão do intestino delgado. Estes mantêm-se em atividade contínua, movendo-se contra as correntes peristálticas. Algumas vezes fixam-se à mucosa, por meio de seus lábios.

O tamanho dos exemplares adultos de *A. lumbricoides* depende do número de formas albergadas pelo hospedeiro e do estado nutricional deste. Eventualmente, em infecções maciças, ou quando sofrem alguma ação irritativa, podem dirigir-se para outros locais diferentes do seu hábitat normal, não sendo raro em crianças fortemente parasitadas a eliminação de vermes pela boca e narinas, podendo localizar-se em regiões anômalas, como, ouvido médio, trompa de Eustáquio, apêndice cecal, vias biliares, traquéia, brônquio ou seios da face (Rey, 1991). Para sua nutrição, utilizam-se de microrganismos e materiais semidigeridos existentes na luz intestinal, e dispõem das enzimas necessárias para a digestão de proteínas, carboidratos e lipídeos.

As fêmeas medem cerca de 30 ou 40 cm de comprimento e os machos cerca de 15 ou 30 cm de comprimento. Uma carga parasitária elevada pode vir a ser um fator desfavorável para o helminto, levando a uma redução do seu tamanho, assim como à diminuição de sua fecundidade. Um aspecto interessante é observado quando o próprio hospedeiro (humanos) apresenta forte deficiência de vitamina A, ou estando muito debilitado, ocorrendo nesses casos a inviabilização ou retardamento do ciclo evolutivo do helminto.

Morfologia

Machos e fêmeas apresentam diferenças morfológicas e de tamanho. Os machos apresentam um característico enrolamento ventral e espiralado de sua extremidade caudal. As fêmeas são maiores e mais grossas, tendo a parte posterior retilínea ou ligeiramente encurvada. Esta deve ser fecundada pelo macho várias vezes e os espermatozoides acumulam-se nos úteros ou começo dos ovidutos, onde os ovos são fertilizados à medida que por aí passam, sendo as fêmeas capazes de ovipor cerca de 200.000 ovos ou mais, por dia, durante um ano (Rey, 1991). Estes chegam ao meio exterior pela eliminação das fezes.

A morfologia dos ovos é muito típica, devido à presença da membrana mamilonada que possuem externamente, secretada pela parede uterina, embora os ovos possam apresentar-se

sem esta. A casca dos ovos, quando estes são removidos diretamente do útero, é destituída de coloração, porém, uma vez que esteja junto com o material fecal é geralmente de cor castanho-amarelada. Há algumas evidências que a coloração da casca proteja o ovo dos efeitos nocivos dos raios ultravioleta (Fairbairn, 1957).

Os ovos eliminados nas fezes podem ser férteis ou inférteis. Os ovos férteis medem, em média, 60 x 45 μm , com variações entre 45 e 70 μm no maior diâmetro. Os ovos inférteis são mais alongados e medem 80 a 90 μm de comprimento.

As fêmeas que foram fecundadas pelo macho eliminam ovos férteis, que são envolvidos por uma casca grossa, possuindo forma oval ou quase esférica, contendo uma massa de células germinativas (célula ovo), capaz de evoluir. Por outro lado, as fêmeas não fecundadas eliminam ovos inférteis, cuja forma é mais alongada e com a casca mais delgada. Esses ovos possuem uma camada albuminosa muito reduzida, irregular ou ausente, sendo incapazes de evolução posterior. Eles aparecem nas fezes quando fêmeas jovens e ainda não fecundadas começam a ovipor, ou quando a proporção de fêmeas por macho é muito grande.

O embrionamento dos ovos ocorre no meio externo e requer a presença de oxigênio. O desenvolvimento do embrião e da larva são obrigatoriamente aeróbio, exigindo um suprimento externo de oxigênio e a permeabilidade da casca ao oxigênio (Passey & Fairbain, 1955). Nessa fase, o parasito queima suas reservas lipídicas e apresenta metabolismo aeróbio, assim como respiração por meio do sistema citocromo-oxidase. Nos últimos estádios as larvas infectantes já suportam prolongados períodos em anaerobiose podendo ser considerados aeróbios facultativos.

Wharton (1979) relata que um dos maiores perigos do ambiente terrestre para os embriões é a dessecação, mas, devido à proteção conferida pela casca espessa e impermeável, os ovos podem resistir muito tempo à insolação e à dessecação, promovendo a propagação da ascaridíase em regiões bastante áridas.

Ciclo biológico

O ciclo de *A. lumbricoides* é do tipo monoxênico. Em temperaturas ótimas, (entre 20° C e 30° C), umidade mínima de 70% e presença de oxigênio, ocorre o embrionamento dos ovos. A primeira larva L₁ sofre uma muda e se transforma em L₂; após nova muda transforma-se em larva filarióide L₃, infectante (dentro do ovo). A larva L₃ pode manter seu potencial infectante

por vários meses, ou anos, se as condições do meio ambiente forem adequadas, esperando somente a oportunidade de ser ingerida pelo hospedeiro.

Após a ingestão dos ovos contendo L₃, esses atravessam todo o trato digestivo e as larvas vão eclodir no intestino delgado, devido à presença de estímulos específicos fornecidos pelo hospedeiro. O estímulo mais importante para provocar a eclosão das larvas de ovos de *Ascaris* é o gás carbônico. Fatores secundários como o pH, temperatura e a presença de sais também estão presentes. No entanto, sem a presença de CO₂ dissolvido, ou ácido carbônico não dissociado (H₂CO₃), não há eclosão (Rey, 1991).

Após a eclosão, as larvas liberadas efetuam um longo percurso migratório através dos tecidos do hospedeiro, antes de tornarem-se adaptadas para viver em seu hábitat definitivo. Isso porque essas larvas são aeróbias e não conseguem desenvolver-se na cavidade intestinal. Nesse percurso migratório, as larvas sofrem mudas que são acompanhadas de transformações morfológicas e fisiológicas importantes, como o crescimento das larvas jovens até tornarem-se adultos jovens (após 20 a 30 dias da infecção) e o desenvolvimento sexual até alcançarem a maturidade sexual, sendo então capazes de ovipor.

O período que decorre entre a infecção e o aparecimento das primeiras formas detectáveis dos ovos, é em geral de 60 dias, sendo que o verme adulto possui uma longevidade de 1 a 2 anos. A ação patogênica desenvolve-se, habitualmente, em duas etapas: i) durante a migração das larvas; e ii) quando os vermes adultos já se encontram em seu hábitat definitivo. Em ambas as situações, a intensidade das alterações provocadas está diretamente relacionada com o número de formas presentes e com a sensibilidade do hospedeiro.

As evidências de uma imunidade protetora contra o *Ascaris*, em humanos, são escassas, ainda que algumas observações indiquem a possibilidade de sua existência. No entanto, estudos recentes não confirmam essa hipótese, indicando que a redução da prevalência e da carga parasitária em populações adultas estariam mais relacionadas a mudanças comportamentais, que reduziriam a exposição aos riscos de infecção (Rey, 1991).

No ciclo biológico de *A. lumbricoides*, como na maioria de outros helmintos, o solo desempenha um papel extremamente importante uma vez que a etapa de desenvolvimento do embrião até a larva infectiva ocorre no solo ou em culturas agrícolas, protegendo-os por determinado tempo (até anos) se as condições forem adequadas (Galván & de Victórica,

1998). Durante o embrionamento dos ovos, a larva de primeiro estágio é mais sensível à falta de umidade e de oxigênio. Depois de formada a larva infectante, esta resiste a condições adversas facilmente e pode permanecer infectante por vários meses, ou anos, se as condições do meio ambiente forem favoráveis. Experimentalmente, comprovou-se a infectividade dos ovos após sete anos de permanência no solo, mas em condições naturais esse tempo pode ser menor (Rey, 1991).

Costa et al., (1998) citados por Campos et al., (2002) afirmam que a prevalência elevada de *A. lumbricoides* está associada a precárias condições sanitárias, constituindo-se assim um importante indicador do estado de saúde de uma população, além de diversos fatores tais como: área geográfica, tipo de comunidade, nível sócio-econômico, acessibilidade a bens e serviços, assim como o estado nutricional, idade e ocorrência de pré disposição a infecções parasitárias.

Os ovos, apesar de muito resistentes, não se tornam infectantes em meio seco e em anaerobiose. A sua vitalidade está relacionada com as condições climáticas e com a textura do solo. O solo úmido e sombreado é muito favorável à sobrevivência e embrionamento dos ovos, sendo melhor o solo argiloso, devido às condições higroscópicas da argila. As temperaturas baixas (-9 a -12° C) não os afetam, mas o calor (50° C) pode matá-los em 45 minutos. E ainda assim, muitos ovos resistem às técnicas habituais de tratamento de esgotos, sendo encontrados vivos nos efluentes lançados aos rios, ou nos lodos secos empregados como adubo, mesmo após meses (Rey, 1991).

Transmissão

A transmissão da ascaridíase se dá pela ingestão de alimentos ou água que estejam contaminados com ovos contendo a larva infectante. A dispersão destes pode ser feita pelas chuvas, ventos e insetos (moscas e baratas). Poeira de solos muito poluídos são muito ricas em ovos, que podem ser aspirados, retidos pelo muco nasal ou pelas secreções brônquicas e depois deglutidos. Além desses mecanismos, foi verificada a contaminação do depósito subungueal (material presente sob as unhas) com ovos deste parasito, em escolares de alguns estados brasileiros, verificando-se níveis de contaminação que variaram de 20% até 52% (Neves et al., 2000).

Assim, a maior incidência da parasitose em crianças é atribuída ao fato de elas estarem mais expostas ao contato com os ovos, por brincarem no chão e possuírem hábitos higiênicos menos controlados que os adultos. Neste sentido, o ciclo de transmissão da doença e a manutenção da endemia desenvolvem-se, fundamentalmente, no domicílio e no peridomicílio quando poluídos com as dejeções dos indivíduos infectados, sobretudo das crianças.

Ainda sobre a dinâmica da transmissão, cabe ressaltar a importância das migrações humanas. Assim, de endemia rural, como era entendida no passado, passou a ser um problema também urbano em virtude dessas migrações do campo para as cidades, povoando densamente os bairros pobres e favelas onde as condições de insalubridade são muito graves.

Mesmo com os avanços acumulados sobre o conhecimento do *Ascaris* e da descoberta de medicamentos eficazes, seguros e de fácil administração, a ascaridíase ainda continua sendo um dos grandes problemas de saúde pública em escala mundial.

Teixeira (2002) e Azevedo (2003) fizeram um estudo sobre a prevalência de doenças parasitárias em crianças entre 1 e 5 anos, em áreas de invasões em Juiz de Fora/MG e no Aglomerado da Serra em Belo Horizonte, respectivamente. Teixeira (2002) encontrou que dentre 753 crianças inventariadas 111 mostraram-se positivas para ascaridíase, o que corresponde a 17% de casos positivos. Já os resultados encontrados por Azevedo (2003) são mostrados na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Prevalência de ascaridíase em crianças entre 1 e 5 anos no Aglomerado da Serra/Belo Horizonte

Localização	Tipo de serviço de saneamento básico	Pacientes com exame de fezes positivo	Pacientes com exame de fezes negativo	Percentual de casos positivos
Área 1	Com água e esgoto	28	127	22%
Área 2	Com água e sem esgoto	55	99	55%
Área 3	Sem água e sem esgoto	46	106	43%

Fonte: Azevedo (2003)

Como as demais helmintoses, as medidas que têm efeito definitivo contra a ascaridíase estão relacionadas à educação sanitária, ao saneamento básico, à proteção dos alimentos e ao tratamento em massa da população afetada.

3.6 Processos de higienização do lodo

Águas residuárias e resíduos sólidos de esgoto são freqüentemente dispostos como fertilizantes de áreas agrícolas e usados para irrigação, embora eles possam conter patógenos humanos e de animais. O risco da transmissão de doenças pelo uso desses produtos depende do número de patógenos presentes, da sua viabilidade e, ainda, da “oportunidade” dos parasitos em infectar o hospedeiro adequado (Capizzi & Schwartzbrod, 2001).

Assim, por todo o mundo, tem crescido o conhecimento sobre os riscos que esses resíduos causam à saúde, quando são dispostos inadequadamente ou quando utilizados como adubo, sem tratamento prévio. Este conhecimento tem, assim, incentivado as pesquisas que objetivam melhorar os processos para sua desinfecção e, com isso, tornar seguro o uso do lodo.

Os ovos dos parasitos intestinais são pouco afetados pelos processos convencionais de digestão do lodo, requerendo uma etapa complementar a esses processos convencionais para que sejam completamente inativados. Este processo é denominado higienização. Atualmente, as alternativas mais usuais para o destino final de lodos são as seguintes (Tsutiya, 2001):

- uso agrícola: pela aplicação direta no solo, como fertilizante e solo sintético (N-Viro Soil);
- aplicação em plantações florestais;
- na recuperação de áreas degradadas e de áreas de mineração;
- o reúso industrial para a produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmicas e produção de cimento;
- incineração;
- disposição em aterro sanitário.

A disposição oceânica é uma prática que vem sendo proibida na maioria dos países que possuem legislação específica, por ser potencialmente impactante, uma vez que os movimentos marinhos podem resultar na volta à praia do material que foi lançado ou, ainda, podem gerar a formação de uma película superficial de resíduos. Esta situação leva a outros impactos que estão relacionados a aspectos estéticos e sociais, envolvendo a aceitação da comunidade e também à perda de locais de lazer (Lara et al., 2001).

O reúso agrícola do lodo vem sendo considerado uma das formas de disposição final mais adequadas, por ser econômica e ambientalmente correta quando aplicado de forma controlada.

Constitui-se, ainda, numa alternativa interessante em regiões com agricultura intensiva e com extensas áreas de solos extenuados e que tenham baixos níveis de matéria orgânica. Do ponto de vista biológico, a contaminação microbiológica do lodo é proveniente principalmente do material fecal contido nos esgotos. Assim, os agentes patogênicos constituem um elemento que limita o uso do lodo na agricultura, mas que podem ser controlados através de técnicas de higienização que conduzam a redução e/ou eliminação destes.

Assim, para que se faça o uso do lodo na agricultura é necessário considerar alternativas de higienização, de forma a reduzir a quantidade de agentes patogênicos. As tecnologias disponíveis para higienização de lodos buscam minimizar os riscos de transmissão de doenças de veiculação hídrica, através da redução da concentração de microrganismos patogênicos a valores que assegurem sua utilização agrícola de modo irrestrito. Embora alguns países tenham sua legislação própria, os limites sanitários adotados são muitos semelhantes, diferindo na abordagem das restrições de uso e em alguns parâmetros de processo.

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 que estes fatores são impostos. Os processos mais econômicos de higienização baseiam-se na alteração dos parâmetros que promovam a inviabilização ou destruição dos agentes patogênicos, alterando, por algum tempo, principalmente o pH e a temperatura. Os ovos de helmintos, pela sua maior capacidade de sobrevivência, tornam-se o indicador mais importante para avaliação das condições sanitárias do lodo.

A agência de proteção ambiental americana (USEPA) lista uma série de técnicas destinadas a remover patógenos e classificam os processos quanto à sua capacidade de remover organismos patogênicos em PFRP – Process to Further Reduce Pathogens e PSRP - Process to Significantly Reduce Pathogens.

Assim, a EPA (1992) reconhece sete processos na categoria PFRP, que são:

- compostagem: método Within-vessel, ou em leiras estáticas aeradas, onde a temperatura da mistura é mantida a 55 °C, ou superior, por 13 dias ou mais;
- secagem por aquecimento: o lodo proveniente de esgoto é seco, por contato direto ou indireto, por gases aquecidos, desidratando-o a 10% de umidade ou menos;

- tratamento térmico: o lodo de esgoto líquido é aquecido à temperatura de 180 °C ou superior, por 30 minutos;
- digestão aeróbia termofílica: o lodo proveniente de esgoto líquido é agitado, com ar ou oxigênio, para manter as condições aeróbias, a um tempo médio de detenção de 10 dias, entre 55 °C e 60 °C;
- irradiação com raios Beta: o lodo proveniente de esgoto líquido é irradiado com raios Beta, através de otimizador de dosagens, em ambiente climatizado à temperatura de 20 °C;
- irradiação com raios Gama: o lodo de esgoto é irradiado com isótopos de Cobalto 60 ou Césio 137, em ambiente climatizado à temperatura de 20 °C;
- pasteurização: a temperatura do lodo de esgoto é mantida à 70 °C, ou superior, durante 30 minutos ou mais.

O lodo resultante de um desses processos de tratamento é classificado pela EPA como lodo classe A, mas não se trata de um lodo estéril. Ao contrário, contém bactérias patogênicas, vírus entéricos e ovos viáveis de helmintos, todavia reduzidos em níveis de acordo com os limites apresentados na Tabela 3.8. O lodo classe A pode ser aplicado no solo para uso agrícola de forma irrestrita, incluindo gramados e jardins.

Os cinco processos reconhecidos como PSRP pela EPA (1992) são os seguintes:

- digestão aeróbia: o lodo é agitado com ar ou oxigênio para manter as condições aeróbias. O tempo médio de detenção é de 40 dias, à 20 °C, e de 60 dias, à 15 °C;
- digestão anaeróbia: ocorre na ausência de oxigênio, com tempo médio de detenção de 15 dias, entre 35 °C e 55 °C, ou 60 dias à 20 °C;
- secagem ao ar: o lodo é seco em pátio de areia, cuja base pode ser pavimentada ou não, durante no mínimo três meses. Durante dois desses três meses, a temperatura média diária deve ser superior à 0 °C;
- compostagem: métodos Within-vessel, de leiras estáticas aeradas, ou de Windrow. A temperatura do lodo atinge 40 °C ou mais, e é mantida por 5 dias. Por 4 horas, ou durante 5 dias, a temperatura do composto excede a 55 °C;
- caleação: cal é adicionada ao lodo para elevar o pH a 12, após duas horas de contato.

Os lodos tratados por estes processos são classificados como lodos classe B e apresentam restrições de uso e exigências de certos períodos de tempo para que possa ser utilizado.

Tabela – 3.8 Limites de patógenos no lodo, segundo a EPA

Microrganismo	Lodo Classe A	Lodo Classe B
Coliformes fecais	$< 10^3$ NMP/gMS	$< 10^6$ /gMS em 7 amostras por duas semanas
<i>Salmonella</i> sp	< 3 NMP/4 gMS	Não especificado
Ovos viáveis de helmintos	$< 0,25$ ovos/gMS	Não especificado

Fonte: Adaptado de EPA (1992).

Conforme relata Pinto (2001), o Brasil não dispõe de legislação específica sobre os aspectos sanitários da disposição de lodo no solo. Existe, porém, um consenso mundial de que quem produz o lodo é responsável pela sua adequada disposição, garantindo que não cause riscos à saúde da população e impactos negativos ao meio ambiente.

Andreoli et al. (2001 b) relatam que no estado do Paraná, para fins de caracterização do perfil sanitário do lodo, foram estabelecidos os seguintes indicadores: contagem e viabilidade de ovos de helmintos e coliformes fecais. Conforme citam estes mesmos autores, dentre os agentes patogênicos, os helmintos são os que apresentam maior capacidade de resistência às condições ambientais, e uma vez realizado o controle desses patógenos, os demais estarão também em níveis admissíveis, compatíveis com o uso agrícola, não acarretando riscos aos usuários do produto e ao ambiente.

No estado do Paraná, os indicadores da qualidade sanitária do lodo higienizado são dados por número de ovos de helmintos viáveis e densidade de coliformes fecais, conforme Tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Limite para ovos viáveis de helmintos e coliformes fecais em lodos, segundo a legislação do estado do Paraná

Parâmetros	Limites
Contagem de ovos viáveis de helmintos	0,25 ovo/gMS
Coliformes fecais	10^3 NMP/ gMS

Fonte: Fernandes et al., (1999)

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 et al.,

2001b). A maioria dos países que possuem alguma norma quanto aos aspectos sanitários da disposição agrícola do lodo relacionam uma série de tecnologias de processamento que combinam mecanismos térmicos, químicos e/ou biológicos para alcançar a inativação de patógenos. Qualquer tecnologia escolhida para a higienização de lodos precisa atentar para suas particularidades quanto à sobrevivência aos agentes ambientais. A sanidade do lodo, caracterizada pela diminuição ou ausência de agentes patogênicos, como por exemplo os ovos de helmintos, é realizada por meio de mecanismos de higienização que sejam econômicos, seguros e de fácil aplicação prática.

Assim, a via térmica combina duas variáveis de controle que são o tempo de exposição do lodo a uma determinada temperatura. A via química utiliza um 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 um ambiente inóspito para sua sobrevivência. A via biológica ainda carece de maiores experiências e de dados mais consistentes, para garantir melhores condições de reprodutibilidade e aceitação científica. A via por radiação, que utiliza raios Beta e Gama, também age alterando as estruturas coloidais das células dos microrganismos, inativando-os (Pinto, 2001).

De qualquer forma, existe um certo consenso entre os países quanto às tecnologias que conseguem produzir um lodo sanitariamente seguro para aplicação na agricultura ou outra utilização benéfica (recuperação de áreas degradadas). Entretanto, conforme menciona Pinto (2001), as variáveis de controle dos processos não são iguais para todos os tipos de lodo, o que traduz a grande variabilidade das condições ambientais e das características do lodo produzido por cada país.

Cada alternativa de higienização tem suas vantagens e desvantagens, sendo que só uma análise local conduzirá à definição da melhor alternativa. O que não deve acontecer, conforme relata Fernandes et al., (2001), é a existência de regras fixas nas formas de processamento e destino final do lodo, mas sim um estudo criterioso de casos, onde as alternativas escolhidas sejam compatíveis entre si e determinadas de forma que o rendimento operacional e econômico seja o melhor possível.

Outro fator importante é que, além do bom funcionamento e da eficiência, a tecnologia de tratamento escolhida também deve apresentar uma simplicidade técnica e operacional,

conforme a realidade da região, sobretudo em países subdesenvolvidos como o Brasil, que na sua totalidade não investe maciçamente em saneamento básico.

Como já mencionado, o presente trabalho tem por objetivo o estudo de dois métodos de higienização de lodo que são a caleação e o tratamento térmico. A seguir é feita uma contextualização das duas tecnologias e seus principais aspectos.

3.6.1 Caleação

Por cerca de 2000 anos, a cal tem sido usada para desodorização e estabilização de excretas e estrume. Atualmente, a caleação é utilizada como uma opção eficaz para controlar patógenos em lodos de esgoto (EPA, 1992) podendo ser utilizada tanto a cal virgem quanto a cal hidratada. A cal virgem é mais indicada para lodos na fase sólida, pela sua capacidade de reagir com a umidade e liberar calor, enquanto que com a cal hidratada não se obtém um aumento significativo da temperatura ao ser aplicada ao lodo, requerendo maior tempo para manutenção das condições alcalinizantes (Pinto, 2001).

A cal virgem é mais utilizada a granel e para grandes quantidades, enquanto a cal hidratada é vendida em embalagens de até 20 kg e manipulada com maior facilidade (Fernandes, 2000). Com a cal virgem, os parâmetros que determinam a eficiência da caleação são o aumento do pH e da temperatura e a ação da amônia (Andreoli, 2001). Já com a cal hidratada, somente a elevação do pH é verificada.

O processo de caleação é simples, consistindo, basicamente, da adição de cal em quantidades suficientes para que o pH alcance níveis acima de 12, tornando o meio impróprio para o desenvolvimento e sobrevivência de patógenos (EPA, 1992). Uma variedade de processos de estabilização pela cal (alguns patenteados) estão correntemente em uso. O crescimento da popularidade deste mecanismo de tratamento e novas técnicas irão sem dúvida ser desenvolvidas no futuro (EPA, 1992).

Vários trabalhos foram publicados acerca da utilização da cal como higienizante de lodos (Polprasert & Valencia, 1981; Fernandes, 1996; Gaspard et al., 1997; Thomaz-Soccol, 1998; Mendonça, 1999; Passamani, 2001), mas as condições metodológicas de avaliação foram sempre diferenciadas.

Thomaz-Soccol (1998), em seus trabalhos, cita que três parâmetros mostraram-se fundamentais na eficiência do processo para reduzir ovos de helmintos: o pH, o teor de matéria seca e o tempo de armazenagem do lodo. O pH no momento da caleação deve ser superior a 12,5 e manter-se nesta faixa por no mínimo um mês. O teor de matéria seca do lodo deve ser considerado para que se obtenha um bom resultado, onde concentrações de matéria seca inferiores a 20% tendem a requerer mais tempo para redução de ovos de helmintos, além do tempo de estocagem que é extremamente importante para o sucesso do tratamento. Andreoli et al (2001b) também ressaltam 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. (1997) realizaram experimentos de tratamento do lodo na redução de ovos de helmintos através da caleação, utilizando dosagens de cal igual a 50% em peso seco do lodo, tendo 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 & Gonçalves (1999), sobre a inativação de ovos de helmintos presentes em lodo de lagoas de estabilização, submetido ao tratamento de caleação por cal hidratada, mostraram que a cal foi responsável pela elevação do pH em níveis superiores a 12,5. Este valor variou em função do tempo de estocagem e da dosagem da cal utilizada. Eles 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 por cal virgem e 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, tendo observado que essas condições foram suficientes para inviabilizar 100% de ovos de helmintos presentes no lodo.

Já Polprasert & Valência (1981) estudaram os efeitos da cal hidratada na inativação de ovos de *A. lumbricoides* em amostras de fezes obtidas de crianças infectadas. O tempo que o material fecal permaneceu em contato com a cal variou entre 3 e 48 horas, as dosagens de cal utilizadas foram em níveis que proporcionassem a elevação do pH a valores iguais a 9, 10, 11 e 12. Os resultados mostraram que 48 horas não foram suficientes para inviabilizar 100% de ovos de *Ascaris lumbricoides*, mesmo na dosagem em que o pH elevou-se a 12. Este achado,

no entanto, pode estar relacionado ao tipo de resíduo, assim como aos tempos de contato utilizados.

Gaspard et al (1997) estudando o nível de contaminação parasitológica 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 uma diminuição destes organismos em 70% das amostras pesquisadas, porém houve baixo efeito sobre os outros 30%. Estes 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.

Pesquisas conduzidas por Eriksen et al., (1995), sobre a inativação de ovos de *A. suum* presentes em lodo de esgoto e submetido ao tratamento pelo uso da cal virgem, apresentaram ótimos resultados, onde tempos suficientes de armazenamento da mistura (lodo e cal) associados a valores de pH maior que 12 destruíram completamente o potencial de viabilidade dos ovos após 10 semanas de armazenamento. Observaram, ainda, que após o tratamento pela cal há um efeito irreversível na capacidade dos ovos em se desenvolver, bloqueando completamente a capacidade dos ovos em atingir estágio de larva infectiva, mesmo quando transferidos novamente para pH neutro. Confirmam também, que os ovos de helmintos presentes no lodo foram influenciados principalmente pela elevação do pH e concluíram por um resultado muito semelhante também para ovos de *A. lumbricoides* devido a suas semelhanças morfo-fisiológicas com ovos de *A. suum*.

Mendonça (1999), testando, os efeitos da temperatura e do uso de cal hidratada conjuntamente, na higienização de lodo de reatores UASB, em percentuais de cal que variaram de 10 a 50% em relação ao peso seco do lodo, e tempos de contato de 5 e 15 dias, encontraram que o pH da mistura para o menor percentual de cal situou-se em torno de 10,8, enquanto para o maior percentual o pH se manteve sempre próximo de 12. As dosagens de 40 e 50% de cal foram as que tiveram melhores resultados, não sendo detectados parasitos (helmintos e protozoários) para os tempos de contato de 5 ou 15 dias. Já para a menores concentrações de cal (10, 20 e 30 %) ainda foram detectados ovos de helmintos e a presença de protozoários, mesmo a temperaturas de 40 °C e 50 °C. Este resultado, mais uma vez confirma que o principal aspecto da caleação é a elevação do pH, requerendo valores acima de 12 para que o processo alcance maior eficiência.

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) que estudaram a adição de cal em amostras de lodo previamente compostado, afirmando 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, encontrando que após 10 dias de armazenamento não mais se verificou a presença do vibrião colérico.

3.6.2 Tratamento térmico

O tratamento térmico é um processo utilizado tanto para higienizar quanto para estabilizar o lodo e implica no seu aquecimento por um determinado período de tempo (EPA, 1992). A temperatura (por meio de qualquer fonte energética) é bastante eficaz na inativação de helmintos, uma vez que as enzimas, que fazem parte da constituição dos microrganismos, diminuem ou percam totalmente sua capacidade funcional, devido à modificação de sua estrutura pelo efeito térmico. Ovos de helmintos e vírus quando inativados termicamente não se tornam viáveis novamente (Hay, 1996).

Vários autores, como Cram (1943), Hays (1977), Farrel (1979), Stevenson (1979), Barnard et al. (1987), Plym-Forshell (1995), Hindiyeh (1995), Gantzer et al., (2001), Andreoli et al., (2001b) estudaram os efeitos da temperatura sobre diferentes tipos de microrganismos patogênicos, utilizando parâmetros bastante diferenciados, mas que ainda assim apresentaram semelhanças nos resultados.

Segundo Hays (1977), citado por Cabirol et al., (2001), a destruição de ovos de helmintos depende da associação dos fatores temperatura e tempo de exposição, sendo que a temperatura de 60 °C, por 30 minutos, foi suficiente para inativar ovos de *Ascaris sp* do lodo. Farrel (1979), citado por Hay (1996), reportou que existe uma temperatura limite, em torno de 51 °C para que ocorra a destruição de ovos de helmintos. Particularmente, não ocorre destruição abaixo dessa temperatura.

Feachem et al (1983), citado por Hindiyeh (1995), elaboraram um abrangente resumo dos tempos e temperaturas de exposição requeridos para a destruição de ovos de *Ascaris*,

Trichuris, *Taenia* e ancilostomídeos, concluindo que, em geral, temperaturas acima de 60 °C são rapidamente letais para os ovos.

As temperaturas mesofílicas, de até 34 °C, não são suficientes para a inviabilização de ovos de helmintos. Já as temperaturas termofílicas, acima de 50 °C, associadas ao tempo de exposição, têm apresentado boa eficiência com relação a estes indicadores (Andreoli et al., 2001b). Hindiyeh (1995) descreveu uma sinopse da literatura de experimentos sobre temperaturas e tempos de exposição requeridos para se verificar qual o grau de desenvolvimento de ovos de *Ascaris* sp, apresentados na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Experimentos sobre temperatura e tempo de exposição com ovos de *Ascaris* sp

Temperatura (°C)	Tempo	Desenvolvimento	Referência
55	6,5 mins	Ovos desenvolvidos	Barnard et al. (1987)
50	10 mins	Ovos mortos*	Kiff & Lewis-Jones (1984)
55	10 mins	Ovos mortos	
60	10 mins	Ovos mortos	
60	10 mins	30% larvas móveis	Arfaa (1978)
60	15 mins	Ovos mortos	
65	5 mins	43% larva móveis	
65	10 mins	Ovos mortos	
70	3 mins	34% larvas móveis	
70	5 mins	5% larvas móveis	
70	10 mins	Ovos mortos	
55	19,5 mins	Eclosão <i>in vitro</i>	Reyes et al. (1963)
65	2 mins		
54-55	5 horas	Ovos mortos	Keller (1951)
60	10 mins	Larvas móveis	Rudolfs (1950)
37,8	8 dias	Ovos mortos	Seamster (1950)
34,4	13 dias	10% larvas móveis	
103	3 mins	Ovos mortos	Cram (1943)
	1 mins	41% larvas móveis	
50	20 mins	29% larvas móveis	
53	3 mins	68% larvas móveis	Nolf (1932)
70	1 segundo	Ovos mortos	Ogata (1925)
55	40 segundos	Larvas móveis	

Fonte: Hindiyeh (1995). * Ovos mortos: aqueles que não apresentaram clivagem da célula e nenhum embrião móvel.

Rudolfs et al. (1951) conduziram um experimento em laboratório, onde tubos contendo uma solução de ovos de *A. suum* foram imersos em água quente, a temperaturas de 45°, 50°, 60° e 65 °C e tempos de exposição variando entre 3 e 120 min. Estes autores verificaram que os

ovos não foram afetados quando expostos à temperatura de 45 °C, após 2 horas. A 50 °C e tempo de exposição de 30 minutos, foi observado um “retardamento” no desenvolvimento dos ovos, que aumentava à medida que o tempo de exposição aumentava e após 2 horas de exposição a 50 °C, 80% dos ovos foram incapazes de iniciar seu desenvolvimento em 10 dias, sendo assim considerados mortos. Já nas temperaturas de 55 ° e 60 °C, todos os ovos foram mortos dentro de 10 minutos e a 65 °C a morte ocorria dentro de 3 minutos.

Barnard et al. (1987) verificaram a “morte” de 100% de ovos de *Ascaris* sp com as seguintes combinações de tempo e temperatura: 55 °C a 6,5 minutos de aquecimento; 52 °C e 47 minutos de aquecimento e 50 °C com 4,8 horas de aquecimento. Confirmando-se que temperaturas menores requeriam maior tempo de exposição para inviabilizar ovos de *Ascaris* sp.

Burden e Ginnivan (1978) estudaram um processo de tratamento de lodo, proveniente de resíduos de suínos, contendo ovos de *Ascaris suum* e *Trichuris suis*, onde o lodo era mantido a temperatura de 55 °C, e a “alimentação” do processo era feita a intervalos de 30 minutos e várias seqüências de tempo. Encontrando resultados positivos em relação a destruição de ovos de helmintos quando estes são submetidos ao tratamento termofílico, concluindo que a maioria dos ovos de *A. suum* foram mortos após 30 minutos de exposição a 55 °C.

Schaffer & Strauch (1976), citados por Plym-Forshell, estudando um sistema de tratamento de lodo, gerado de suinocultura, tratado por meio de aeração rotativa, associado a temperaturas termofílicas, encontrou que a 52,5 °C - 53 °C, mudanças letais e irreversíveis ocorriam nos ovos de *Ascaris* e concluíram que após alcançar 55 °C (não deixam claro qual o tempo de contato necessário) o lodo era aceitável do ponto de vista parasitológico.

Kiff & Lewis-Jones (1984), citados por Hindiyeh (1995), encontraram que temperaturas de 50 °C, 55 °C e 60 °C levavam a uma completa inibição no desenvolvimento normal de ovos de helmintos e relataram ainda que o percentual de alteração dos ovos aumenta em relação ao aumento da temperatura e ao tempo de exposição à temperatura selecionada.

Gantzer et al., (2001) estudando diferentes tipos de tratamento que visavam alcançar um nível de sanitização do lodo compatível com os valores determinados pela legislação francesa para reúso na agricultura (<0,3 ovos viáveis/gMS), encontrou que processos que utilizam temperaturas mesofílicas (até 37 °C) não foram eficientes para eliminar ovos viáveis de

nematóides, porém, nos tratamentos conduzidos sob condições termofílicas, onde as temperaturas alcançaram valores acima de 48 °C, nenhum ovo viável foi detectado.

A destruição dos ovos é um fato que pode ser verificado quando se observa a constituição da casca do ovo. Como já mencionado, a casca do ovo de alguns nematóides, dentre eles *Ascaris* sp, é formada por várias camadas que constituem uma barreira, impermeável à maioria das substâncias. Wharton (1979) menciona que a elevação da temperatura é capaz de destruir a barreira de permeabilidade da casca dos ovos. Afirma, ainda, que esta temperatura seria entre 63 e 65 °C e que, presumivelmente, esta temperatura representaria o ponto em que o total derretimento da camada lipídica se processaria levando à destruição dos ovos.

Os dados apresentados mostram uma variação de resultados, contudo percebe-se que minutos de exposição a mais ou a menos, associados ao aumento ou diminuição da temperatura, fazem que o percentual de desenvolvimento ou morte dos ovos também se altere.

Mesmo com os diferenciais observados nos aspectos metodológicos na condução dos trabalhos e com a diversidade de resultados demonstrados, a alteração da temperatura para o processo de desenvolvimento dos ovos de helmintos até os estágios infectivos é um fator que sempre deve ser considerado, uma vez que interfere, comprovadamente, na “quebra” dos estágios de desenvolvimento desses parasitos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram desenvolvidos experimentos de higienização de lodos por caleação e por tratamento térmico, além da caracterização de diferentes tipos de lodos quanto à diversidade de ovos de helmintos e a análise da viabilidade dos ovos de *Ascaris* sp, conforme a seguir.

4.1 Experimento de caleação

4.1.1 Lodo utilizado no experimento

O lodo utilizado nos experimentos de caleação era proveniente de um reator UASB compartimentado, tendo sido coletado após o desaguamento em leitos de secagem.

Tanto o reator UASB compartimentado quanto os leitos de secagem encontravam-se implantados junto à ETE Nova Vista, na cidade de Itabira (19°37'00" latitude sul e 43°13'40" longitude Oeste), que dista 115 km de Belo Horizonte. O lodo formado no reator UASB decorria do tratamento de esgotos tipicamente domésticos, oriundo de uma região de periferia da cidade de Itabira (bairro Nova Vista).

4.1.2 Descrição das unidades experimentais

O reator UASB compartimentado possui uma configuração geométrica especial, com três câmaras de digestão, três separadores trifásicos e um único compartimento de decantação, tratando-se de uma modalidade do reator UASB proposta por Cardoso & Chernicharo (1999). As principais características do reator UASB compartimentado estão detalhadas na Tabela 4.1. As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 ilustram o reator UASB (Mascarenhas, 2000).

Tabela 4.1 – Características do reator UASB compartimentado

Características	Valor
Largura (m)	1,0
Comprimento (m)	3,0
Profundidade (m)	3,0
Volume (m ³)	9,0
TDH médio (h)	7,5
Vazão med. (m ³ /d)	28,8

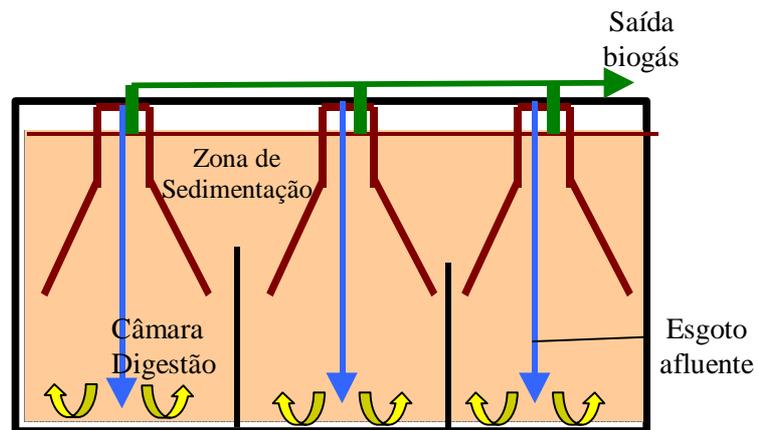


Figura 4.1→Corte Esquemático do reator UASB compartimentado.



Figura 4.2 - Reator UASB (Vista Frontal).



Figura 4.3 - Reator UASB (Vista superior).

Os dois leitos de secagem eram do tipo convencional, cada um com área igual a 10,5 m². Procedia-se o descarte de lodo para os dois leitos de secagem sempre que a qualidade do efluente líquido começava a ficar comprometida.

4.1.3 Protocolo experimental

4.1.3.1 Coleta do lodo

Dadas condições climáticas da época e a dimensão dos leitos, o lodo descartado permanecia aproximadamente quatorze dias exposto às condições ambientais de insolação, umidade relativa e secagem, a fim de que o lodo atingisse um teor de umidade que fosse o mais próximo possível dos teores recomendáveis, ou seja, da ordem de 30% a 40% de sólidos. Esta concentração de sólidos possibilita uma boa relação de contato entre o lodo e a cal, para que se obtenha uma mistura apropriada, proporcionando uma boa reação entre os dois produtos, conforme recomendado por Ilhenfeld et al. (1999).

Após o período de secagem, o procedimento para retirada do lodo do leito era feito de forma a se obter uma amostra parcialmente composta. Assim, traçavam-se quadrantes imaginários em cada leito, coletando-se, em seguida, porções aleatórias de lodo de cada um dos “quadrantes”. A amostra total obtida foi de aproximadamente 10 quilos.



Figura 4.4 - Lodo de descarte



Figura 4.5 - Lodo seco após 14 dias



Figura 4.6 - Coleta do lodo no leito de secagem.



Figura 4.7 - Amostra total de lodo coletada.

4.1.3.2 Homogeneização e preservação do lodo

O lodo coletado era levado ao Laboratório de Análises Microbiológicas do DESA/UFMG. No Laboratório, o conteúdo total do lodo era distribuído em uma bandeja e homogeneizado com uma colher plástica grande e com instrumentos de jardinagem. A homogeneização era feita duas vezes seguidas. Após a homogeneização numa primeira bandeja, retiravam-se porções de lodo de pontos aleatórios, alternando-se essas porções em camadas, em uma segunda bandeja, com o intuito de garantir que todo o lodo ficasse bem distribuído.

A homogeneização era feita manualmente, constituindo-se em uma etapa que requereu paciência e esforço. O montante total de lodo, após ser homogeneizado, foi redividido em porções menores e redistribuído em novos sacos plásticos, também aleatoriamente, obtendo-se ao final três pacotes com aproximadamente 3,2 quilos de lodo cada um.



Figura 4.8 - Homogeneização do lodo.

Em seguida, os pacotes de lodo eram acondicionados sob refrigeração a 4 °C. À medida em que os ensaios eram conduzidos, as alíquotas de lodo eram retiradas da geladeira.

O experimento de caleação foi repetido três vezes, em datas diferentes, porém o lodo utilizado foi o mesmo inicialmente coletado no leito de secagem e que ficou estocado. As condições metodológicas na realização dos ensaios 1, 2 e 3 tiveram as mesmas características, sendo a diferença somente em relação ao tempo em que o lodo ficou preservado sob refrigeração.

Assim, o primeiro ensaio foi realizado após o lodo ter ficado 25 dias sob refrigeração; o segundo ensaio (2^a repetição) após 75 dias sob refrigeração, e o terceiro ensaio (3^a repetição) após 118 dias. Tal procedimento não interferiu no estudo, conforme discutido posteriormente no item 5.1.1.

4.1.3.3 Desenvolvimento do experimento

Uma amostra controle (sem cal) era sempre preparada a cada ensaio e servia para identificar e quantificar os ovos de helmintos que ocorriam com mais frequência.

Um dos sacos plásticos contendo lodo era previamente retirado da geladeira e aguardava-se até que atingisse uma temperatura próxima à ambiente. Do lodo *in natura* (sem cal) era retirada uma alíquota de 75 gramas para a identificação e contagem de ovos de helmintos e outra de 10 gramas para medir o pH, constituindo a amostra controle.

Em seguida, três amostras de lodo, de 1 kg cada eram colocadas em três bandejas plásticas que correspondiam às dosagens de cal que seriam acrescentadas: 30, 40 e 50% de cal, com base no teor de matéria seca. Cada quantidade de cal, correspondente às respectivas dosagens, era, então, introduzida na bandeja contendo o lodo. O cálculo das dosagens de cal a ser acrescentado ao lodo foi feito conforme o exemplo a seguir:

Ex.: Uma pilha de 1 kg (1000g) de lodo com 37,5% de sólidos

$$1000 \times 0,375 = \mathbf{375,4 \text{ g de MS}}$$

Na dosagem de 50% de cal:

$$375,4 \times 0,5 = \mathbf{187,7 \text{ g de cal}}$$

O lodo e a cal eram misturados até que os dois produtos formassem uma mistura bastante homogênea. A homogeneização também era feita manualmente, buscou-se eliminar a maioria dos torrões e grânulos que se formaram após a mistura dos produtos. Em seguida, uma alíquota correspondente a 10 gramas era imediatamente retirada para verificar se a amostra atingira o valor de pH desejado, ou seja, valores superiores a 12,0. Cada bandeja era então envolvida em um saco plástico escuro e deixada sobre a bancada, sendo posteriormente monitorada nos tempos de contato especificados no item seguinte.



Figura 4.9 - Procedimento de caleação do lodo **Figura 4.10** – Mistura entre o lodo e cal

4.1.3.4 Monitoramento dos experimentos

Durante os experimentos de caleação foram monitorados os seguintes parâmetros (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Parâmetros monitorados nos experimentos de caleação

<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos Totais • pH • Temperatura (embora não se estivesse avaliando sua elevação) 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de contato entre o lodo e a cal • Identificação e contagem de ovos de helmintos • Viabilidade de <i>Ascaris</i> sp.
--	---

O pH foi medido conforme descrito no Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas e Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto (Andreoli & Bonnet, 2000), que consiste basicamente das seguintes etapas:

- pesar 10 g de lodo em um béquer;
- levar à ebulição 50 mL de água destilada em outro béquer de vidro, cobrindo-o com vidro relógio até atingir a temperatura ambiente;
- juntar a água ao lodo, homogeneizando bem;
- deixar em repouso por no mínimo 3 horas e máximo 12 horas;
- medir o pH sem agitação com potenciômetro calibrado.

O potenciômetro usualmente utilizado no Laboratório de Análises Microbiológicas do DESA/UFMG é da marca Corning, modelo Ion Meter 450, embora não tenha sido utilizado o mesmo aparelho até o término do experimento. Porém, procedia-se a calibração a cada medição.

Cabe ressaltar que, como é conhecido, a cal hidratada não eleva a temperatura da mistura em níveis que possam ser considerados adequados para auxiliar na higienização do lodo. Neste trabalho, optou-se por utilizar a cal hidratada por objetivar-se apenas avaliação da elevação do pH, e por ser o experimento em escala de laboratório, o que facilitaria o manuseio do produto, uma vez que poderia ser adquirido em volumes menores.

A temperatura era medida sempre que se monitorava o pH, uma vez que seu valor era obtido juntamente com o pH através do mesmo aparelho. Isto tornou-se um ponto positivo, a mais, pois verificou-se que esta realmente não se elevava, ficando sempre próxima da temperatura ambiente, confirmando que o parâmetro temperatura não foi determinante no processo de higienização pela caleação. A análise da concentração de sólidos totais era feita antes da caleação, uma vez que esta era determinante para se estabelecer a quantidade de cal que seria utilizada, de acordo com as dosagens estabelecidas (ver cálculo da dosagem de cal).

A Tabela 4.3 mostra a frequência do monitoramento dos principais parâmetros.

Tabela 4.3 - Frequência do monitoramento dos experimentos de caleação

Percentual de cal	pH e Temperatura	Identificação e contagem de ovos de helmintos e viabilidade de <i>Ascaris</i> sp
30%	0, 24, 48, 72 horas 7, 14, 21, 30, 60 dias	0, 1, 30, 60 dias
40%		
50%		

4.2 Experimentos de tratamento térmico

4.2.1 Lodos utilizados nos experimentos

Os lodos utilizados nos experimentos de tratamento térmico foram obtidos a partir de dois reatores anaeróbios de manta de lodo (reatores UASB), sendo um em escala piloto e outro em escala de demonstração. Os lodos eram utilizados *in natura*, sem passar por qualquer etapa prévia de desaguamento.

O aparato em escala piloto encontrava-se implantado no Laboratório de Instalações Piloto do DESA/UFMG e o aparato em escala de demonstração no Campus Experimental implantado junto à ETE/Arrudas, em Belo Horizonte. O lodo formado no reator UASB, tanto do aparato em escala piloto quanto em escala de demonstração, decorria do tratamento de esgotos sanitários, oriundos da cidade de Belo Horizonte.

4.2.2 Descrição do aparato experimental em escala piloto

Reator UASB

O aparato experimental em escala piloto era constituído de um reator UASB, um reservatório de biogás e um reator térmico, cujas características principais são mostradas na Tabela 4.4 e na Figura 4.11.

Tabela 4.4 - Principais características do aparato experimental em escala piloto

Unidade experimental	Material	Volume útil (L)
Reator UASB	Acrílico	400
Reservatório de biogás	Bombonas plásticas	300
Reator térmico	Aço carbono	5

O biogás produzido nos reatores UASB (tanto no aparato em escala piloto, quanto em escala de demonstração) era queimado e utilizado como fonte de energia calorífica para aquecimento do lodo.

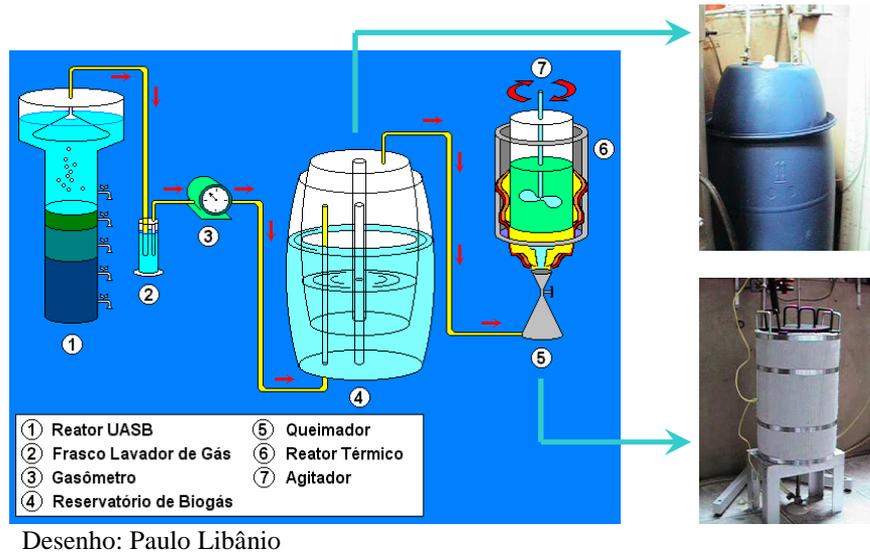


Figura 4.11 – Disposição esquemática do aparato experimental em escala piloto

4.2.3 Protocolo experimental

4.2.3.1 Obtenção e inoculação de ovos de *A. lumbricoides*

A partir de uma análise prévia do lodo do reator UASB em escala piloto, constatou-se que a quantidade de ovos de helmintos naturalmente presentes era pequena. Assim, para se obter uma quantidade significativa de ovos no lodo e possibilitar uma recuperação representativa, decidiu-se por inocular ovos de *Ascaris lumbricoides*, como organismo indicador, nas amostras do lodo *in natura* descartadas do reator UASB, a cada ensaio.

Foram escolhidos ovos de *A. lumbricoides* pelos seguintes fatores (Meyer et al., 1978): i) a ascaridíase é uma infecção comum e onipresente; ii) ovos de *Ascaris* tendem a sedimentar-se no lodo; iii) ovos de *Ascaris* serem mais resistentes às condições ambientais adversas do que outros organismos entéricos, sendo assim, fornecem maior segurança no monitoramento dos processos de tratamento.

Para isso, tornou-se necessária uma etapa de trabalho bastante ampla e cuidadosa, destinada à coleta de vermes, retirada e preservação dos ovos de *A. lumbricoides*. Essa etapa consistiu da obtenção de fêmeas adultas de *A. lumbricoides*, retiradas de fezes de crianças infectadas e tratadas com anti-helmínticos. Os vermes (algumas vezes misturados às fezes do paciente) eram coletados em potes plásticos e recebidos no laboratório. Os exemplares machos e fêmeas eram separados e as fêmeas eram lavadas para retirar os resíduos fecais. Em seguida eram

escolhidas as fêmeas de melhor tamanho e, na seqüência, eram fixadas em cortiça para retirada dos ovos.

Procedia-se a um corte longitudinal em toda extensão da cutícula do verme (Figuras 4.12, 4.13 e 4.14). Devido à sua fragilidade, os órgãos eram cuidadosamente retirados para que não houvesse a ruptura do útero. Este era colocado separadamente em uma placa de Petri contendo água destilada e delicadamente era feita a extração dos ovos, raspando-os com uma pinça com ponta em diagonal (Figuras 4.15 e 4.16).



Figura – 4.12 Fêmea de *A. lumbricoides*



Figura – 4.13 Abertura da fêmea de *A. lumbricoides*

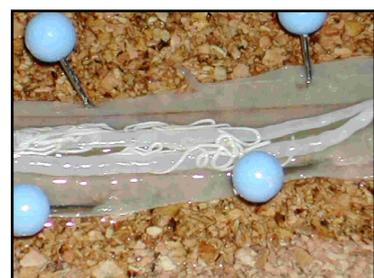


Figura – 4.14 Interior da fêmea de *A. lumbricoides*



Figura 4.15 - Útero da fêmea de *A. lumbricoides*



Figura 4.16 - Retirada dos ovos do útero da fêmea.

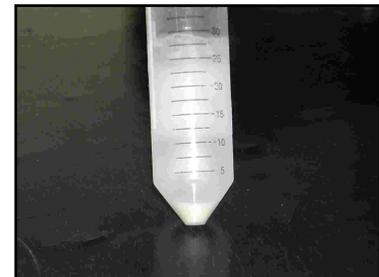


Figura 4.17 - Amostra de ovos para inóculo no lodo.

Após esse procedimento, toda a massa de ovos obtida era recolhida com uma pipeta de Pasteur, compondo uma amostra única de ovos. Estes eram centrifugados, estocados em tubo de ensaio plástico graduado, contendo Ácido Sulfúrico 0,1N e preservados a 4 °C (Figura 4.17). Parte desse procedimento foi realizado no Laboratório de Helmintos Intestinais da Fundação Osvaldo Cruz/Centro de Pesquisas René Rachou em Belo Horizonte.

Antes da realização dos ensaios, foi feita inicialmente, a contagem (em duplicata) de um volume conhecido da solução dos ovos, a fim de se estimar o volume de ovos a ser inoculado ao lodo, almejando-se uma concentração inicial de cerca de 100 ovos/g MS.

4.2.3.2 Desenvolvimento dos experimentos

A primeira etapa do trabalho (aparato em escala piloto) constituiu-se de 4 fases experimentais. Nas fases 1, 2 e 3, com base em referências bibliográficas já citadas, definiu-se como uma primeira temperatura de referência a temperatura de 70 °C, situada dentro da faixa de trabalho almejada, que era de 60 a 80 °C. Como alcançá-la demandaria elevados tempo e volume de biogás devido às baixas pressão e vazão de trabalho, o que consumiria grande parte do volume de biogás a ser empregado no ensaio, decidiu-se por utilizar uma outra fonte de energia calorífica, que foi o gás de cozinha, para que se atingisse de maneira rápida a temperatura definida. A partir daí, passava-se então ao uso exclusivo do biogás, a fim de manter-se a constância da temperatura.

Fase 1

Na fase 1 foram feitos cinco ensaios. O volume de lodo descartado do reator UASB, correspondente a três litros, era introduzido no reator térmico e, em seguida, era inoculado com o volume, pré-determinado, da solução de ovos de *Ascaris*. Antes de se iniciar o aquecimento do lodo, coletava-se a amostra 1, correspondente ao tempo de aquecimento zero (temperatura ambiente), e que servia como controle. Em seguida, iniciava-se o aquecimento, permitindo-se a elevação da temperatura até que esta atingisse o valor de 70 °C ± 2. A partir deste momento, a temperatura era mantida constante até o término do ensaio.

As amostras 2, 3 e 4, correspondentes aos tempos de exposição de 20, 40 e 60 minutos de aquecimento, respectivamente, eram então coletadas. O tempo gasto para que se elevasse a temperatura de 24 °C (temperatura ambiente) a 70 °C era em torno de 30 minutos. O lodo era mantido sob constante agitação, para minimizar as variações de temperatura do lodo em aquecimento e para evitar que os ovos sedimentassem. As amostras coletadas eram trituradas em um mini-processador para fragmentar os grânulos de lodo, com o objetivo de facilitar o procedimento de “lavagem” do lodo, sendo então encaminhadas ao Laboratório de Análises Microbiológicas do DESA/UFMG, onde eram processadas. A Tabela 4.5 mostra os dados da fase 1 do tratamento térmico.

Tabela 4.5 - Temperaturas e tempos de exposição da fase 1 do tratamento térmico

Amostra	Temperatura no instante da coleta (°C)	Tempo de exposição(min)*
1	24 (ambiente)	-
2	70	20
3	70	40
4	70	60

(*) na primeira fase de trabalho, a amostra 1 era coletada à temperatura ambiente e as demais somente a partir do instante em que atingia-se a temperatura de 70 °C, que era a temperatura de referência neste momento da pesquisa. O tempo gasto para que se elevasse a temperatura de 24 a 70 °C situou-se em torno de 30 minutos. Assim, entre a coleta da amostra 1, e as seguintes, decorriam-se os 30 minutos iniciais de aquecimento, além dos tempos de exposição referenciados na Tabela.

Fase 2

Em virtude das observações verificadas na fase 1, na fase 2 foi avaliada a inativação dos ovos de *A. lumbricoides* durante o período de aquecimento do lodo, iniciando-se desde a temperatura ambiente até atingir-se a temperatura de 70 °C. O lodo era descartado do reator UASB, transferido para o reator térmico, em seguida era inoculado com a alíquota de ovos e coletava-se a amostra 1, referente ao tempo zero (temperatura ambiente) e iniciava-se o aquecimento. Quando a temperatura atingia o valor médio entre a temperatura ambiente e a temperatura de 70 °C, coletava-se a amostra 2.

Em seguida, aguardava-se até que a temperatura atingisse 70 °C e então coletava-se a amostra três. Apenas a amostra quatro ficava exposta por 20 minutos à temperatura de 70 °C, quando então era coletada. Nesta fase foram feitos dois ensaios. Com os resultados obtidos, optou-se por inserir imediatamente a terceira fase, uma vez que foi constatado que já a partir do momento em que a temperatura alcançava os 70 °C não se detectava mais a presença de ovos viáveis. A Tabela 4.6 mostra as temperaturas e tempos de exposição da fase 2 do tratamento térmico.

Tabela 4.6 - Temperaturas e tempos de exposição da fase 2 do tratamento térmico

Amostra	Temperatura no instante da coleta (°C)	Tempo de exposição(min)
1	24 (ambiente)	-
2	47	13
3	70	27
4	70	20

Com o decorrer dos trabalhos, percebeu-se que uma parte dos ovos de *A. lumbricoides* da solução em uso não estavam atingindo o estágio de larva e que isso poderia interferir nos resultados. Assim, foi necessário preparar uma nova amostra da solução de ovos, repetindo-se

todo o procedimento de coleta e preparo dos ovos, descrito anteriormente. Com a obtenção da nova amostra de ovos e a recontagem destes, em duplicata, redefiniu-se o volume a ser inoculado e os ensaios recomeçaram.

Fase 3

Com base nos resultados obtidos nas duas fases anteriores, a terceira fase do trabalho foi mais otimizada e consistia em proceder à coleta das amostras analisando-se menores temperaturas e tempos de exposição. As temperaturas de coleta nesta fase dos trabalhos foram definidas adotando-se uma faixa de temperatura situada entre a temperatura ambiente e a temperatura de 70 °C, uma vez que, após esta temperatura, os resultados das análises já se mostravam satisfatórios. Sendo assim, foram definidos 3 intervalos de temperatura que situavam-se entre 25 a 40 °C, 40 a 55 °C e 55 a 70 °C.

As amostras eram coletadas à temperatura ambiente e nos tempos médios destes intervalos, chegando-se às temperaturas de 23 °C, 32,5 °C, 47,5 °C e 62,5 °C, sendo realizados cinco ensaios. Os procedimentos iniciais foram os mesmos das fases anteriores: descarte do lodo do reator UASB, introdução no reator térmico, inoculação da solução de ovos, coleta da primeira amostra correspondente ao tempo zero e início do aquecimento do lodo, sob constante agitação.

A amostra 2 era coletada quando a temperatura alcançava 32,5 °C, correspondendo a aproximadamente 7 minutos de aquecimento. A amostra 3 era coletada após à temperatura de 47,5 °C, correspondendo a aproximadamente 15 minutos de exposição, enquanto a amostra 4 era coletada após a elevação da temperatura à 62,5 °C, correspondendo a aproximadamente 25 minutos de aquecimento, conforme mostra a Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Temperaturas e tempos de exposição da fase 3 do tratamento térmico

Amostra	Temperatura no instante da coleta (°C)	Tempo de exposição(min)
1	23 (ambiente)	-
2	32,5	≅ 7
3	47,5	≅ 15
4	62,5	≅ 25

Fase 4

A quarta fase do tratamento térmico consistiu em se verificar o potencial de sustentabilidade do sistema, quando o biogás era a única fonte de calor a alimentar o reator térmico no

aquecimento do lodo. Esta seria mais uma vantagem em relação à utilização de reatores UASB para tratamento de esgotos, uma vez que o biogás gerado pelo reator poderia ser reutilizado na higienização do lodo, confirmando-se o seu potencial como um elemento útil, tornando o sistema auto-sustentável, ao invés de o biogás ser meramente queimado sem nenhum objetivo ou liberado para a atmosfera.

Sendo assim, para que tal análise pudesse ser desenvolvida, o volume de biogás armazenado correspondeu à produção ocorrida em 24 horas, a qual situou-se próxima a 205 L/dia, da mesma forma que o volume de lodo descartado para tratamento térmico (cerca de 4,5 L, a uma concentração média de sólidos próxima a 3,5%) também foi correspondente à produção de um dia.

Os procedimentos iniciais eram os mesmos das etapas anteriores até a inoculação dos ovos e a coleta da amostra 1. Em seguida, iniciava-se o aquecimento do lodo e após 2 horas coletava-se a amostra 2. A amostra 3, era coletada após 3 horas de aquecimento e a última amostra era coletada após 4 horas de aquecimento.

O biogás produzido foi suficiente para manter o aquecimento do lodo por um período de 7 horas. Porém, as amostras eram coletadas pelo período máximo de 4 horas de aquecimento, principalmente porque, além deste tempo, os efeitos da temperatura sobre os ovos já são conhecidos na literatura citada. Além disso, manteve-se o número de amostras coletadas, estabelecido no início dos trabalhos (total de 4 amostras a cada ensaio).

A Tabela 4.8 apresenta a variação média da temperatura e os intervalos médios do tempo de aquecimento para os 4 ensaios desta fase.

Tabela 4.8 - Temperaturas e tempos médios de exposição da fase 4 do tratamento térmico

Amostra	Temperatura no instante da coleta (°C)	Tempo de exposição(min)
1	23 (ambiente)	-
2	54	120
3	63	180
4	69	240

Apresenta-se na Tabela 4.9 um resumo das quatro fases realizadas na primeira etapa do tratamento térmico.

Tabela 4.9 – Resumo das fases experimentais da etapa 1 do tratamento térmico

Fase	Amostra coletada	Tempo de aquecimento (min)	Temperatura no instante da coleta (°C)
1	1	0	24
	2	20	70
	3	40	70
	4	60	70
2	1	0	24
	2	13	47
	3	27	70
	4	47	70
3	1	0	24
	2	7	32,5
	3	15	47,5
	4	25	62,5
4	1	0	23
	2	120	54
	3	180	63
	4	240	69

4.2.3.3 Monitoramento dos experimentos

Na etapa 1 do tratamento térmico foram monitorados os seguintes parâmetros (Tabela 4.10).

Tabela 4.10 – Parâmetros monitorados na etapa 1 do tratamento térmico

<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura ambiente e de aquecimento do lodo • Sólidos Totais 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de exposição do lodo às temperaturas determinadas • Viabilidade de ovos de <i>A. lumbricoides</i>
---	--

A análise da concentração de sólidos totais era feita de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (AWWA/APHA/WEF, 1998) e a temperatura medida por um termômetro digital.

4.2.4 Descrição do aparato experimental em escala de demonstração

Na 2ª etapa do trabalho, o aparato experimental foi em escala de demonstração. O objetivo principal desta etapa era verificar a sustentabilidade do sistema e reafirmar se o volume de biogás produzido em escalas maiores seria suficiente para manter o aquecimento do lodo a fim de higienizá-lo. As principais características do aparato são mostradas na Tabela 4.11 e na Figura 4.18.

Tabela 4.11 – Aparato experimental em escala de demonstração

Unidade experimental	Material	Volume útil
Reator UASB	Fibra de vidro	23 m ³
Reservatório de biogás	Lona	8 m ³
Reator térmico	Aço carbono	200 L

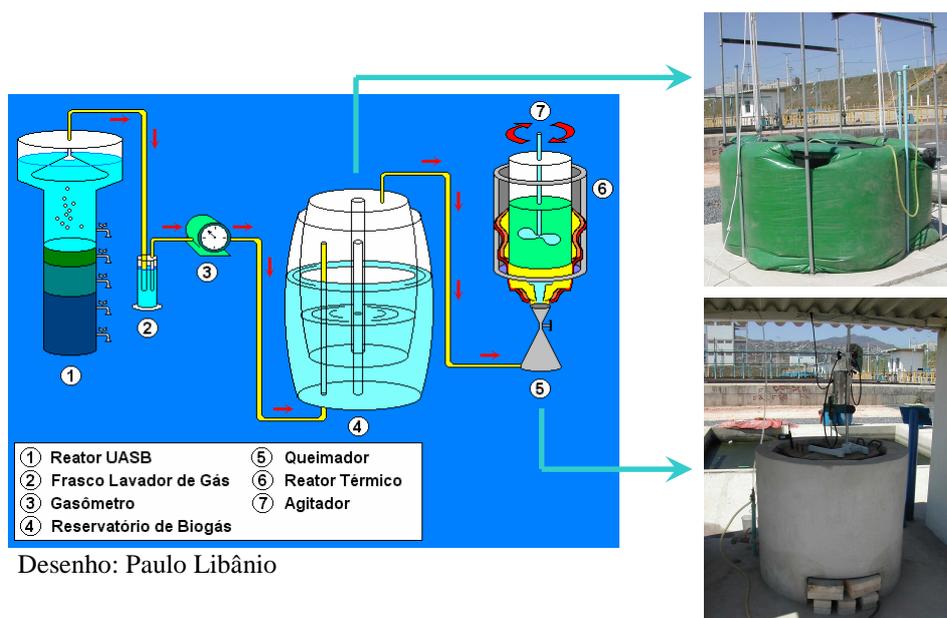


Figura 4.18 – Disposição esquemática do aparato experimental em escala de demonstração

Excetuando-se as diferenças de escala, os trabalhos desenvolvidos na segunda etapa foram feitos tal como na fase 4 da etapa 1, onde empregou-se somente o biogás como fonte de energia calorífica, sendo o tempo e a temperatura monitorados sem exercer nenhuma

intervenção externa no decorrer de todo o processo do tratamento do lodo. Foram feitos três ensaios, com algumas peculiaridades que diferenciaram-se da etapa 1.

Nesta etapa, buscou-se também trabalhar com a produção de biogás ocorrida em 24 horas, a qual situou-se próxima a 6,5 m³/dia, sendo que o volume descartado a cada ensaio, para o tratamento térmico (cerca de 210 L, a uma concentração média próxima a 2,2% de sólidos), embora fosse um objetivo inicial, não foi o equivalente à produção de um dia, devido à baixa concentração de sólidos do lodo descartado.

O primeiro ensaio foi feito sem inocular ovos de *A. lumbricoides*, sendo os ovos detectados provenientes da contaminação natural do lodo. Neste ensaio, foram coletadas somente duas amostras, ou seja, uma no tempo zero, que correspondia à temperatura ambiente do lodo, e a segunda após 5,5 horas de aquecimento, quando a temperatura estava próxima a 70 °C.

No segundo e terceiro ensaios, para melhorar a recuperação da quantidade de ovos, inoculou-se um volume da solução de ovos. Nesta etapa, a estimativa do volume de ovos a ser inoculado no lodo foi feita com base nas experiências anteriores e observações pessoais verificadas no decorrer da pesquisa.

A Tabela 4.12 mostra as condições dos ensaios no aparato em escala de demonstração.

Tabela 4.12 – Características dos ensaios realizados na etapa 2 do trabalho experimental

	Amostras coletadas	Tempo de aquecimento (horas)	Temperatura no instante da coleta (°C)
Ensaio 1	1	0	25
	2	5,5	70
Ensaio 2	1	0	26
	2	3	59
	3	5	65
Ensaio 3	1	0	25,5
	2	3	51,5
	3	5	65,5

4.3 Identificação de ovos de helmintos e análise da viabilidade de *Ascaris sp* presentes em lodos in natura

Nesta etapa da pesquisa, o objetivo principal foi identificar e quantificar os ovos de helmintos predominantes em amostras de lodos gerados em diferentes sistemas de tratamento de esgotos, e também analisar a viabilidade dos ovos de *Ascaris sp*, não tendo sido feito nenhum procedimento de higienização. Um outro fator positivo desta etapa do trabalho seria auxiliar os operadores das ETE's quanto à disposição final do lodo.

4.3.1 Lodos utilizados nos experimentos

Os lodos utilizados nesta etapa foram obtidos de três sistemas de tratamento de esgotos, conforme descrito nos itens seguintes.

Lodo 1

O lodo 1 foi obtido na ETE Nova Vista, município de Itabira/MG, a partir da unidade de tratamento em escala plena que atende parte da população. A unidade é composta por um reator UASB, dois leitos de secagem e uma lagoa facultativa.

O reator UASB apresenta formato circular, tronco-cônico invertido, cujas principais dimensões são apresentadas na tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Características do reator UASB

Características	Valor
Volume (m ³)	477
Diâmetro de base (m)	9,65
Diâmetro ao nível do vertedor (m)	13,30
Altura (m ³)	4,50
TDH médio (h)	
Início de plano	13,5
Fim de plano	9,8

Os leitos de secagem possuem área de 60 m² e altura útil (da camada de lodo) de 0,30 m.

Lodo 2

O lodo 2 foi obtido no Campus Experimental junto à ETE Arrudas em Belo Horizonte/MG. A Tabela 4.14 apresenta as principais dimensões do reator UASB

Tabela 4.14 – Características do reator UASB

Características	Característica/Valor
Material	Ferro-cimento
Volume (m ³)	14,2
Diâmetro (m)	2,0
Altura (m)	4,5
TDH (h)	7,5
Vazão med. (m ³ /d)	40

O respectivo leito de secagem possui 10m². O descarte era feito a partir de 50 cm de altura do fundo do reator UASB. Inicialmente, dava-se um pequeno descarte de 30 segundos e a partir de então procedia-se o descarte propriamente dito.

O lodo era proveniente de três descartes. O volume de lodo do primeiro e segundo descartes foi de 3 m³ e correspondia a uma altura no leito de 30 cm. No terceiro descarte o volume foi de 2 m³ e altura no leito de 20 cm. No primeiro descarte, após aproximadamente 10 dias, o lodo apresentava teores de umidade de aproximadamente 30% de sólidos sendo coletado do leito e encaminhado ao laboratório para ser analisado.

No segundo e terceiro descartes, por ter havido uma alteração no leito de secagem, em relação ao escoamento, o lodo começou a secar mais rapidamente. Assim, já com 4 ou 5 dias o lodo estava seco. O terceiro descarte foi praticamente um descarte adicional ao segundo. Como o volume descartado foi menor que os dois primeiros ocasionou uma camada de lodo muito fina após a secagem, e um teor de sólidos em torno de 70%, tendo o lodo secado muito acima do desejado. Este fato, no entanto, tornou-se um elemento positivo, pois confirmou a resistência dos ovos de helmintos às condições ambientais adversas.

Lodo 3

O lodo 3 foi obtido a partir de um digestor anaeróbio de lodo primário (oriundo de um decantador primário), após desaguamento mecânico em centrífuga, localizado na ETE – Arrudas, em Belo Horizonte.

A Tabela 4.15 apresenta o resumo das principais características dos sistemas de tratamento de onde foram obtidos os lodos utilizados nos estudos.

Tabela 4.15 – Identificação e origem dos diferentes tipos de lodos utilizados

Lodo	Tipo de tratamento	Unidade de desidratação	Escala do sistema de tratamento
1	Reator UASB	Leito de Secagem	Pequeno porte P = 7.000 hab.
2	Reator UASB	Leito de Secagem	Escala de demonstração P = 250 hab.
3	Decantador primário e Digestor Anaeróbio	Centrífuga	Grande porte P = 1.000.000 hab.

4.3.2 Protocolo experimental

Coleta e preservação do lodo

As amostras do lodo 1 e 2 foram retiradas dos leitos de secagem e do lodo 3 das caçambas coletoras. Do lodo 1, foi coletada uma quantidade de aproximadamente 8 kg, proveniente de somente um descarte, sendo feita a análise de três amostras. Para o lodo 2 foram feitos três descartes e analisado um total de 9 amostras (3 amostras do primeiro descarte, 3 do segundo e 3 do terceiro). Para o lodo 3 foram coletadas três amostras de 2 kg cada, sendo duas no mesmo dia, em caçambas diferentes, e a terceira após 15 dias.

Cada lodo coletado era acondicionado em sacos plásticos, e levado ao Laboratório de Microbiologia do DESA/UFMG. Procedia-se à homogeneização de cada lodo e em seguida a preservação sob refrigeração por período máximo de uma semana, quando era feita a recuperação e contagem dos ovos de helmintos presentes no lodo e análise da viabilidade de *Ascaris* sp.

Parâmetros monitorados

Foram os seguintes os parâmetros monitorados nos estudos de identificação, quantificação e análise de viabilidade:

- Sólidos Totais.
- Presença de ovos de helmintos.
- Viabilidade de *Ascaris* sp.

4.4 Análise de ovos de helmintos

4.4.1 Recuperação dos ovos de helmintos do lodo

Para recuperação dos ovos de helmintos do lodo foi empregado o método de Meyer (Meyer et al., 1978).

4.4.1.1 Descrição da metodologia

a) Equipamentos e materiais necessários

- Microscópio óptico comum, com objetivas de 10 x e 40 x
- Centrífuga para operar a 1000g
- Tubos de centrífuga
- Equipamento de filtração a vácuo para membrana de 47 mm de diâmetro
- Bomba de sucção para operar até 40 cm de Hg
- Membranas de éster de celulose de 47 mm de diâmetro e 0,45 µm de porosidade (Millipore ou equivalente)
- Proveta de 250 mL
- Proveta de 100mL
- Bastão de vidro
- Pipeta volumétrica
- Pipeta de Pasteur
- Pinça
- Placa de Petri
- Câmara de Sedgwick-Rafter (quadriculada)
- Estufa para operar a 28 °C
- Agitador tipo Vórtex
- Frascos plásticos para amostragem de lodo
- Balança analítica
- Solução Triton X-100 ou Tween 80
- Solução de Hipoclorito de Sódio a 50%
- Solução de ácido Sulfúrico a 0,1 N
- Solução de Sulfato de Zinco d = 1,18

No âmbito do DESA/UFMG (Laboratório de Microbiologia) são utilizados os equipamentos especificados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Marca/Modelo dos equipamentos utilizados no DESA/UFMG

Equipamento	Marca/Modelo
Microscópio óptico	Olympus BX 50
Estufa	Fanem (28 °C)
Vortex	Quimus/Q.220.1
Centrífuga	Heraus/Megafuge 2.0R
Tubos de centrífuga	100 mL
Balança analítica	Sartori basic/BA 2100
Equipamento de filtração a vácuo	Quimex
Bomba de sucção	Gast/DAA – V174-EB

b) Preparo das soluções

- Solução detergente Triton X-100 ou Tween 80: pipetar 1 mL da solução e adicionar em 1 litro de água de torneira.
- Solução de hipoclorito de sódio a 50%: em uma proveta, adicionar 500 mL de água sanitária comercial e 500 mL de água destilada.
- Solução de sulfato de zinco ($ZnSO_4$): pesar 33 g de $ZnSO_4$ e diluir em 100 mL de água destilada (utilizar um densímetro para verificar se a densidade é igual a 1,18).
- Solução de ácido sulfúrico 0,1 N: adicionar 2,8 mL de ácido sulfúrico concentrado em 1000 mL de água destilada.

c) Procedimentos

- Pesar 75 g de lodo em um béquer de 250 ml;
- adicionar 100ml da solução de hipoclorito de sódio a 50%;
- deixar reagir por 5 minutos e transferir o conteúdo do béquer para uma proveta de 250 mL;
- lavar o béquer com a solução de hipoclorito de sódio e transferir o resíduo para a proveta até completar 225 ml na proveta;
- agitar e aguardar 50 minutos;
- transferir o conteúdo da proveta para tubos de centrífuga. Lavar bem a proveta com a solução Tween 80 e completar os tubos;
- centrifugar a 2800 rpm durante 3 minutos;
- descartar o sobrenadante;
- Lavar o sedimento até que este fique clarificado. Colocar 2 mL de Tween 80 em cada tubo com sedimento. Misturar com bastão de vidro, completar com água destilada e centrifugar novamente a 2800 rpm durante 3 minutos;

Nota: A quantidade de lavagens varia de amostra para amostra. Até se conseguir um sobrenadante clarificado podem ser necessárias várias lavagens (caso contrário torna-se muito difícil filtrar a amostra). Com o tempo cada laboratório pode definir quantas são necessárias para cada tipo de lodo que será analisado. Quando o lodo está mais seco, as vezes são necessárias de 10 a 15 lavagens; já com o lodo mais fluido, 3 a 5 são suficientes. O volume de tween 80 para lavar o lodo pode ser aumentado para 3 a 5 mL ao invés de 2 mL, conforme o tipo de lodo, uma vez que não altera a característica do lodo e facilita para lavar.

- Após a etapa de lavagens, adicionar 75 mL da solução de ZnSO₄ densidade 1,18 ao sedimento. Agitar no vortex (ou com bastão de vidro) e centrifugar novamente a 2800 rpm durante 3 minutos;
- deixar o sobrenadante descansar por 3 minutos para garantir a flotação dos ovos e então filtrar através de membrana de Milipore 0,45µm de porosidade e 47mm de diâmetro sob pressão negativa.

Nota: Algumas vezes uma única membrana é suficiente para filtrar toda a amostra. Ocasionalmente, pode ser necessário mais de uma membrana.

- Lavar bem as paredes do copo de filtração com água destilada.
- Em seguida raspar o sedimento da (s) membrana (s) com uma lamínula para uma placa de Petri contendo 10 a 15 mL da solução de H₂SO₄, 0,1N;
- Para fazer somente a identificação e contagem dos ovos, basta transferir uma alíquota da amostra para a câmara de Sedgwick-Rafter e proceder a leitura ao microscópio.

4.4.1.2 Incubação para análise da viabilidade dos ovos de *Ascaris*

O procedimento de incubação, *in vitro*, dos ovos recuperados do lodo é utilizado quando se deseja avaliar a viabilidade dos ovos. No âmbito do DESA/UFMG o procedimento de incubação foi adaptado a partir do procedimento adotado pelos autores Meyer et al. (1978), Cáceres & Flores (1987), Yanko (1987), Stott (1998), sendo os procedimentos básicos bastante semelhantes.

Procedimento

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 um período ótimo que garante uma margem de segurança na análise da viabilidade. Após esse período, proceder a leitura.

Nota: É necessário oxigenar as placas pelo menos em dias alternados, para que os ovos se desenvolvam. Como o H₂SO₄ evapora durante a incubação, basta completar o volume da amostra, mantendo-o em torno de 15 mL na placa

4.4.1.3 Identificação, contagem e viabilidade dos ovos

Os critérios para identificação dos ovos de helmintos é baseado, principalmente, no tamanho e nas características morfológicas específicas dos ovos, tais como: forma, conteúdo do ovos, espessura da membrana externa (casca), além de modificações, tais como, protuberâncias, espículas, rolhas polares e opérculo. Quanto à viabilidade, não há um padrão para se definir ovo viável e não viável. Assim, neste trabalho considerou-se ovo viável aquele que após o período de 28 dias de incubação apresentou em seu interior uma larva formada e ovo não viável aquele que permaneceu em qualquer outro estágio anterior, mas não se diferenciou em larva (Figuras 4.19 e 4.20).

*Nota: A UFMG quando faz a identificação e contagem de ovos de helmintos no lodo, tem por rotina verificar a análise da viabilidade dos ovos de *Ascaris*. Assim a leitura dos ovos é, geralmente, feita ao final dos 28 dias, onde são contados os diferentes tipos de ovos em sua totalidade e consecutivamente o número de ovos de *Ascaris* viáveis e não viáveis. Esse procedimento evita a perda de ovos, quando esses são transferidos para a câmara de contagem.*

São contadas 3 câmaras de cada amostra de lodo, procedendo-se uma média dos ovos encontrados. É contada a câmara toda, se o lodo em questão tiver muitos ovos, podem ser contados 300 quadrados e fazer uma proporcionalidade. O uso de um contador manual é extremamente importante quando a quantidade de ovos é muito elevada.

Expressão dos resultados

A fórmula para expressão dos resultados foi adaptada para seguir o padrão de expressão da EPA, que é dado em Ovos/grama de matéria seca .

Expressão dos Resultados

$$N_f = 1000 \times \frac{[N_i \times V_f]}{V_i \times C} \quad (4.1)$$

Na qual:

N_f = número de ovos contados na amostra analisada (ovo/g MS)

N_i = número de ovos contados (média dos valores encontrados em cada câmara)

V_f = Volume final da amostra (mL) (na placa de Petri)

V_i = Volume inicial da amostra de lodo (75 g)

C = Concentração de Sólidos Totais (g/L)



Figura 4.19 - Ovo viável de *A. lumbricoides*



Figura 4.20 - Ovo não viável de *A. lumbricoides*

Cabe a observação de que o ambiente domiciliar e peridomiciliar é freqüentemente o hábitat de vários animais, que por estarem convivendo com o homem acabam por se inserirem no seu ambiente. Com isso seus resíduos fecais e parasitos também estão presentes nos esgotos e conseqüentemente no lodo (exemplo: *Ascaris suum*, *Toxocara canis*) assim, para uma representação mais fidedigna, os helmintos são apresentados em nível de gênero. Somente para o experimento de tratamento térmico, os ovos são com absoluta certeza da espécie, *A. lumbricoides*, uma vez que foram obtidos diretamente do útero de fêmeas adultas destes vermes.

4.5 Tratamento dos resultados

Os resultados obtidos são apresentados em sua totalidade, através de figuras, tabelas e, em anexo, planilhas. A análise do comportamento dos reatores UASB não é parte integrante da pesquisa, assim não são apresentados valores relacionados ao desempenho dos sistemas de tratamento do efluente líquido.

Os principais tipos de gráficos (apresentados em Figuras) são os gráficos em pizza, linhas e colunas, uma vez que, devido à forma de apresentação dos resultados, mostraram-se mais compreensíveis.

As análises estatísticas básicas são apresentadas em Tabelas e mostram valores máximo, mínimo, médio e desvio padrão.

As planilhas são referentes a cada experimento realizado no decorrer da pesquisa, contendo informações para os esclarecimentos que se fizerem necessários.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme exposto no item 4.1 e 4.2, foram realizados experimentos de higienização de lodo anaeróbio utilizando-se duas técnicas diferentes: caleação e tratamento térmico. Para o experimento de caleação, foram feitas três repetições, em datas diferentes. O experimento de tratamento térmico foi realizado em duas etapas, conforme a seguir:

- Etapa 1 (aparato em escala piloto): constou de 4 fases, em um total de 16 ensaios
- Etapa 2 (aparato em escala de demonstração): constou de apenas 1 fase, em um total de 3 ensaios

Os experimentos de identificação de ovos de helmintos e análise da viabilidade de *Ascaris sp* foram desenvolvidos com lodos *in natura* obtidos de três sistemas de tratamento de esgotos, de diferentes escalas, conforme a seguir:

- Lodo 1: obtido a partir de um descarte de um reator UASB escala real, sendo analisadas três amostras
- Lodo 2: obtido a partir de três descartes de um reator UASB em escala de demonstração, com análise de nove amostras
- Lodo 3: obtido de digestor anaeróbio de lodo primário, após desaguamento em centrífuga, com análise de três amostras.

Para um melhor entendimento, cabe aqui uma breve observação em relação à nomenclatura não padronizada dos ovos de nematóides, que faz com os autores utilizem terminologias diferenciadas para classificar os ovos quanto à sua viabilidade. Termos como “ovo não viável”, “ovo morto”, “destruição dos ovos”, “eliminação dos ovos” são sempre verificados em diversos trabalhos. Embora seja freqüente esta variação de terminologias, é conhecido que somente os ovos contendo larva em estágio L₃ são capazes de conferir enfermidade a humanos ou animais. No presente trabalho, o termo “destruição dos ovos” foi considerado quando os ovos foram eliminados do lodo, não sendo passíveis de recuperação e de quantificação.

5.1 Experimentos de caleação

5.1.1 Identificação e contagem de ovos de helmintos e análise da viabilidade de *Ascaris sp* no lodo *in natura*

Os resultados de identificação e contagem de ovos de helmintos no lodo *in natura* são apresentados na Tabela 5.1 (estatística descritiva) e nas Figuras 5.1, 5.3 e 5.5. Pode-se observar que os ovos de helmintos que ocorreram com maior frequência, nas três amostras controle (antes da higienização pela cal), foram *Ascaris sp*, *Trichuris sp*, *Toxocara sp* e *Hymenolepis sp*.

Tabela – 5.1 Experimento de Caleação - Estatística descritiva da identificação e contagem de ovos de helmintos no lodo *in natura* (Amostras - controle)

Ovos de Helmintos (ovo/gMS)					
	<i>Ascaris sp</i>	<i>Trichuris sp</i>	<i>Toxocara sp</i>	<i>Hymenolepis sp</i>	<i>Outros</i>
N ^o de Amostras	3	3	3	3	3
Média	45.2	0.3	8.4	8.6	0
Máximo	55.8	0.7	10.7	12.6	0
Mínimo	33.6	0	6.3	5.2	0
Desvio Padrão	11.1	0.4	2.2	3.7	0

Ovos de *Ascaris sp* foram os que ocorreram em quantidades mais elevadas, enquanto ovos de *Trichuris sp* foram observados em menor quantidade (ou não detectados, como na amostra 3 - Figura 5.5). Ovos de *Ascaris sp* foram encontrados também com maior frequência (entre 67 e 79%) nas três amostras analisadas. Quanto aos ovos de *Hymenolepis sp* e *Toxocara sp*, conforme mostram as Figuras 5.3 e 5.5, pode-se verificar que seus valores percentuais se alternaram entre as amostras 2 e 3.

A predominância dos ovos de *Ascaris sp*, *Trichuris sp*, *Toxocara sp* e *Hymenolepis sp* em relação a outros helmintos é justificável, por serem parasitos frequentemente encontrados na população humana e/ou animal, principalmente em localidades que não se empenharam na solução dos problemas de saneamento básico. Por isso, são também os mais frequentes quando se faz a análise de esgotos domésticos e do lodo resultante dos processos de tratamento.

Ovos de outros parasitos talvez não tenham sido detectados nas amostras possivelmente pelos seguintes motivos:

- determinados parasitos não são endêmicos nas regiões estudadas. Com isso, a população não se encontra infectada ou a prevalência é baixa;
- a metodologia adotada para recuperação de ovos de helmintos no lodo não é bastante eficaz na recuperação de determinados tipos de ovos (*Taenia* sp, por exemplo);
- as larvas de alguns helmintos eclodem de ovos fora do organismo do hospedeiro, por exemplo no solo e no lodo (ancilostomídeos ou *Strongyloides* sp por exemplo);
- por uma simples questão do acaso, uma vez que as amostras são coletadas aleatoriamente.

É importante ressaltar que o prolongado tempo de estocagem do lodo sob refrigeração, conforme descrito no item 4.1.3.2 (preservação do lodo), não alterou substancialmente a contagem dos ovos conforme pode ser visto na Tabela 5.1, mantendo-se valores médios de 45,2, 0,3, 8,4 e 8,6 ovos/gMS para *Ascaris* sp, *Trichuris* sp, *Toxocara* sp e *Hymenolepis* sp respectivamente. Este fato, mostra que a temperatura em torno de 4° à 6° C é capaz de inibir o desenvolvimento dos ovos, mas não de destruí-los, confirmando-se sua resistência no ambiente.

Quanto à análise da viabilidade dos ovos de *Ascaris* sp, o percentual de ovos viáveis também apresentou-se elevado nos três ensaios, conforme mostrado nas Figuras 5.2, 5.4 e 5.6 (entre 67 e 75% de viabilidade) e na Tabela 5.2, que apresenta a estatística descritiva dos resultados de análise da viabilidade de ovos de *Ascaris* sp.

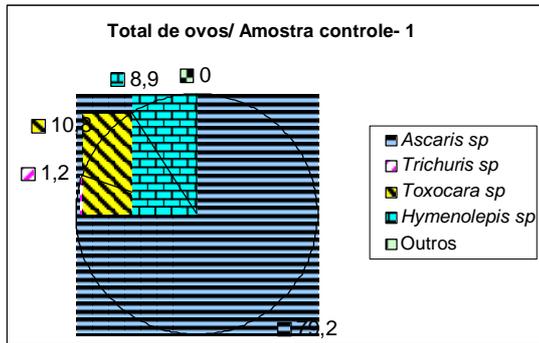


Figura 5.1– Ensaio 1- Caracterização do lodo *in natura* quanto a presença de ovos de helmintos (%).

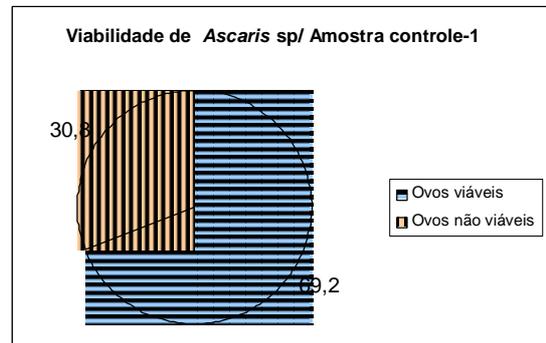


Figura 5 2– Ensaio 1 - Viabilidade de ovos de Ascaris sp no lodo *in natura* (%).

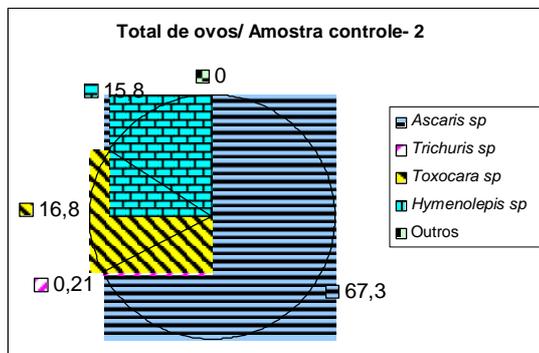


Figura 5.3– Ensaio 2 - Caracterização do lodo *in natura* quanto a presença de ovos de helmintos (%).

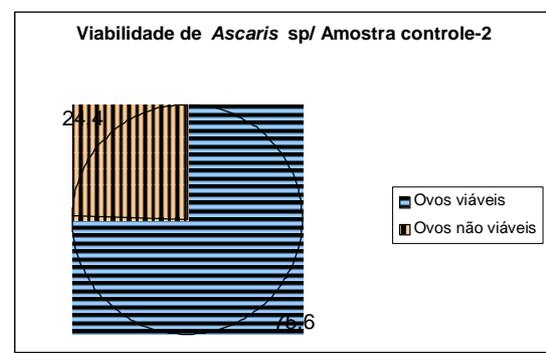


Figura 5.4– Ensaio 2- Viabilidade de ovos de Ascaris sp no lodo *in natura* (%).

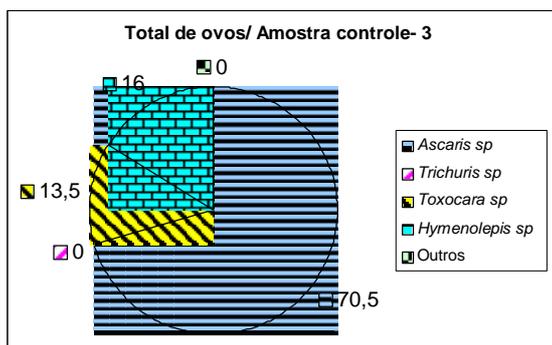


Figura 5.5– Ensaio 3- Caracterização do lodo *in natura* quanto a presença de ovos de helmintos (%).

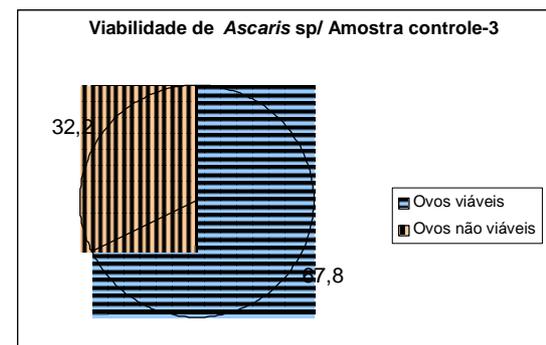


Figura 5 6– Ensaio 3- Viabilidade de ovos de Ascaris sp no lodo *in natura* (%).

Tabela 5.2 - Experimento de Caleação - Estatística descritiva da análise da viabilidade de ovos de *Ascaris* sp no lodo *in natura*

Parâmetros	Lodo <i>in natura</i> (dia 0)		
	N ^o total de ovos (ovos/gMS)	N ^o de ovos viáveis (ovos/gMS)	N ^o de ovos não viáveis (ovos/gMS)
N ^o de Amostras	3	3	3
Média	45,3	31,8	13,5
Máximo	55,8	37,8	17,9
Mínimo	33,67	25,5	8,2
Desvio Padrão	11,1	6,2	4,9

Os resultados apresentados mostram que, realmente, no lodo concentram-se ovos de helmintos em quantidades relevantes (Tabela 5.1) fato que está de acordo com o que foi visto na revisão da literatura, sendo que no presente estudo mais da metade dos ovos de *Ascaris* sp estavam viáveis (Tabela 5.2).

5.1.2 Higienização por caleação

5.1.2.1 pH

Os resultados obtidos após a etapa de caleação são apresentados a seguir. Um dos principais fatores a serem observados nesse experimento é a elevação do pH. Já foi mencionado que neste trabalho a temperatura não foi um fator interveniente no processo de higienização, porém foi um componente extra, uma vez que, ao se medir o pH a temperatura era obtida simultaneamente. As Figuras 5.7 a 5.15 mostram a variação do pH e da temperatura nos três ensaios realizados, para os três percentuais de cal estudados.

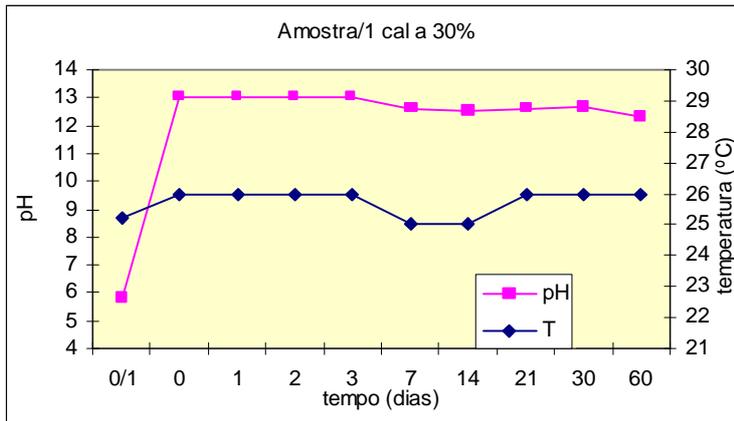


Figura 5.7 – Ensaio 1 – Variação do pH e da temperatura na caleação a 30%

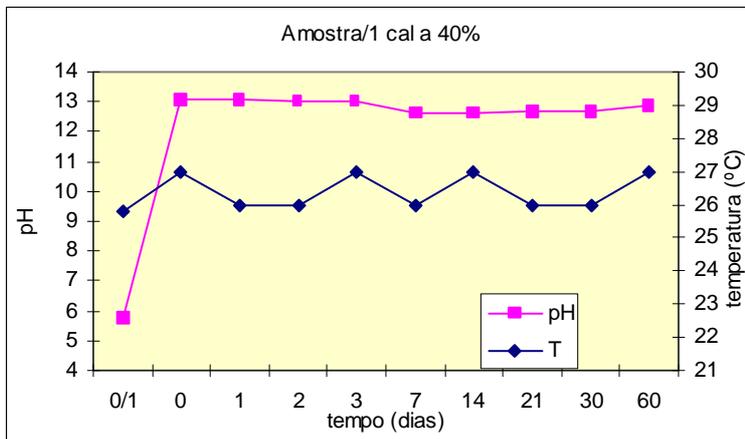


Figura 5.8 – Ensaio 1 – Variação do pH e da temperatura na caleação a 40%

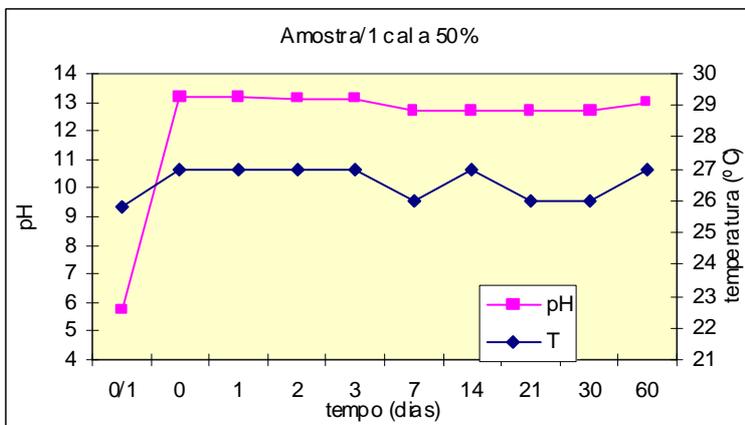


Figura 5.9 – Ensaio 1 – Variação do pH e da temperatura na caleação a 50%

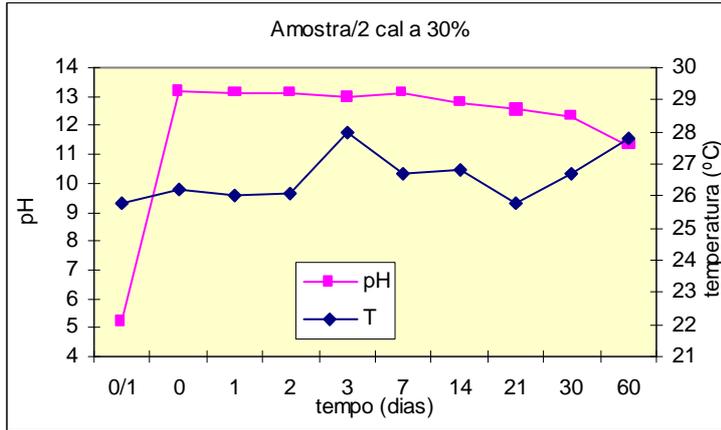


Figura 5.10 – Ensaio 2 – Variação do pH e da temperatura na caleação a 30%

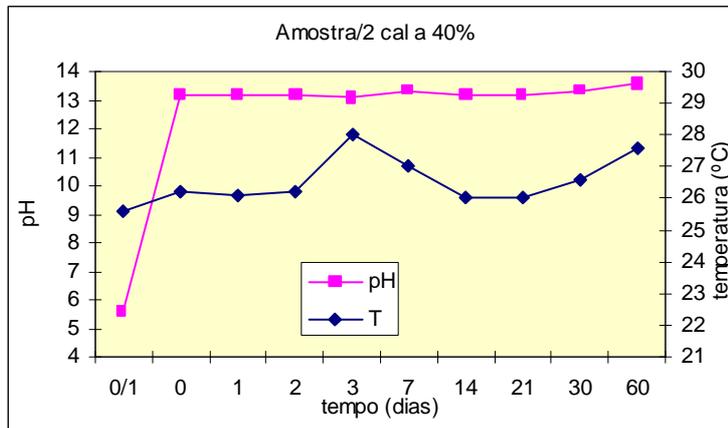


Figura 5.11 – Ensaio 2 – Variação do pH e da temperatura na caleação a 40%

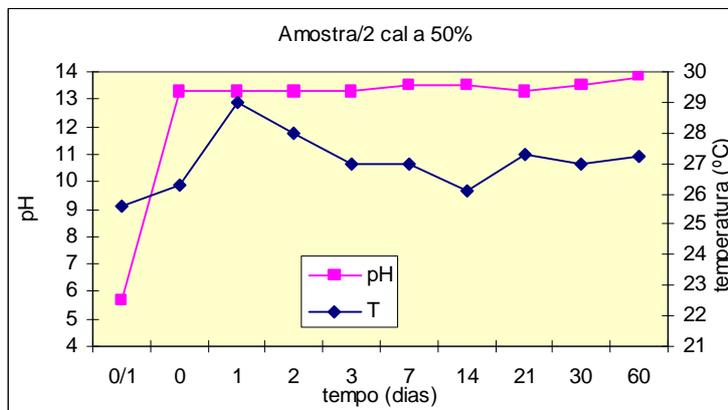


Figura 5.12 – Ensaio 2 – Variação do pH e da temperatura na caleação a 50%

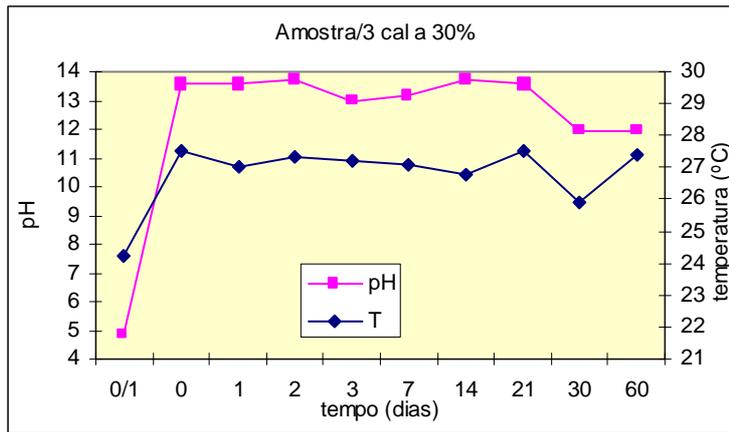


Figura 5.13 – Ensaio 3 – Variação do pH e da temperatura na caleação a 30%

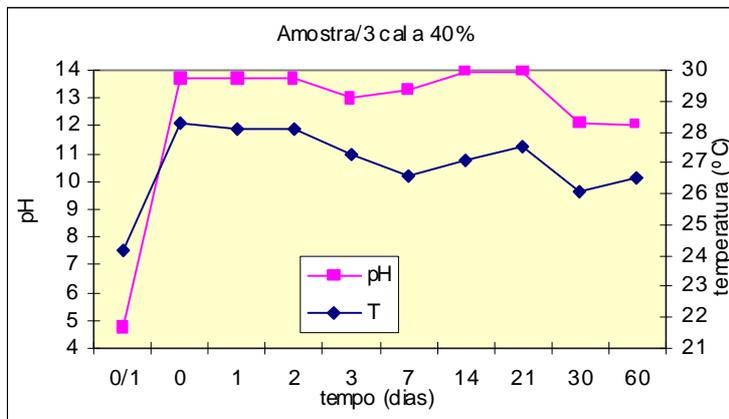


Figura 5.14 – Ensaio 3 – Variação do pH e da temperatura na caleação a 40%

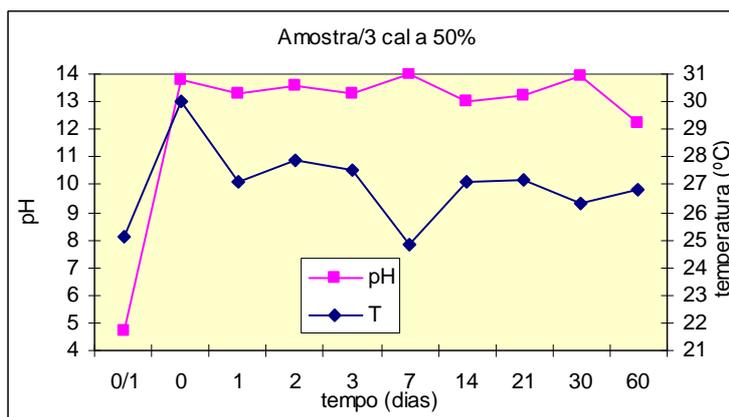


Figura 5.15 – Ensaio 3 – Variação do pH e da temperatura na caleação a 50%

As Figuras 5.7 a 5.9 mostram que, no ensaio 1, o pH do lodo *in natura* ($t= 0/1$), encontrava-se próximo a 6. Já imediatamente após a caleação ($t= 0$), o pH atingiu valor de 13, permanecendo neste nível por aproximadamente 7 dias. Após esse período inicial, observou-se uma ligeira queda do pH, para as três dosagens de cal.

Ocorreram algumas variações no pH, tais como observadas nas Figuras 5.8 e 5.9, em que, aos 60 dias de armazenamento, o valor do pH se alterou, apresentando uma ligeira elevação. Era esperado que os valores sempre diminuíssem com o passar do tempo de contato, o que nem sempre aconteceu. Este fato foi observado nos três ensaios do processo de caleação.

Essas variações, no entanto, podem ter sido ocasionadas devido aos seguintes fatores:

- a diferença do potenciômetro, uma vez que não foi usado sempre o mesmo aparelho até o final do experimento, ainda que a calibração fosse aferida a cada medição;
- a presença de pequenos grânulos de cal no lodo, mesmo tendo sido feita a melhor homogeneização possível e a coleta da amostra sempre feita de pontos diferentes da bandeja;
- a metodologia para determinação do pH, que recomenda que a leitura seja feita com a amostra sem agitação.

As considerações sobre os valores do pH, no ensaio 1, mantiveram semelhantes nos ensaios 2 e 3, tendo o pH sempre alcançado valores de 13, ou acima deste. Estes resultados são similares aos encontrados por Passamani (2000), que também detectou valores de pH acima de 12, no dia da caleação, para todas as dosagens estudadas (10 a 50%), sendo que a queda de pH começou a ser notada pela autora já no terceiro dia, e só foi detectada diminuição abaixo de 12 na menor dosagem utilizada (10% de cal).

Os níveis de pH encontrados por Mendonça (1999) também alcançaram valores entre 11,9 e 12,5, mas não atingiram o valor de 13 como no presente estudo. Pequenas variações do pH entre as amostras também foram observadas pela autora, que atribuiu o fato à questão da homogeneização.

Os resultados encontrados neste experimento estão de acordo com os mencionados por Ghiglietti et al. (1995), que estudaram os efeitos do tratamento alcalino, usando NH_4OH sobre

ovos de *Ascaris* sp e *Trichuris* sp e relataram que a elevação do pH foi devida principalmente ao radical OH, tendo o pH alcançado valores da ordem de 11,9. Estes autores confirmam que o pH é um dos parâmetros mais importantes quando se opta pela higienização do lodo pela elevação dos teores de alcalinidade, devendo o pH manter-se na faixa de 12 pelo menos por 14 dias.

O que pode ser constatado é que para que o lodo seja considerado higienizado pela caleação, é necessário associar a quantidade de cal adicionada, ao tempo de contato decorrido entre os dois produtos, sendo que o tempo considerado deve ser suficiente para reduzir o nível de patógenos, principalmente os mais resistentes, como é o caso dos ovos de helmintos. O teor de matéria seca também torna-se relevante para que a mistura seja adequada, diminuindo ao máximo “focos” de lodo sem contato com a cal.

Quanto à temperatura, pode-se notar que esta manteve-se sempre em um valor médio de 27 °C, valor este insuficiente para eliminar ovos de helmintos, uma vez que este valor é considerado dentro da faixa ótima para desenvolvimento do embrião no interior dos ovos, e não para sua eliminação. Como neste estudo a temperatura não foi um parâmetro determinante, não são feitas maiores considerações.

5.1.2.2 Análise da presença e viabilidade de ovos de *Ascaris* sp após a caleação

Os resultados referentes à presença e viabilidade de ovos de *Ascaris* sp, após o tratamento do lodo pela cal, são apresentados nas Figuras 5.16 a 5.21, enquanto a estatística descritiva é mostrada na Tabela 5.3. Os dados referentes ao lodo *in natura* são repetidos para efeito de comparação.

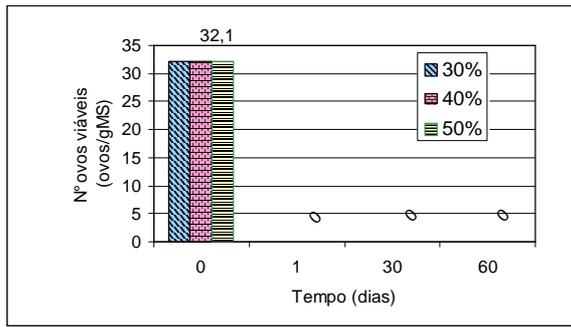


Figura 5.16 – Ensaio 1 – Variação do nº. de ovos viáveis de *Ascaris* sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e cal.

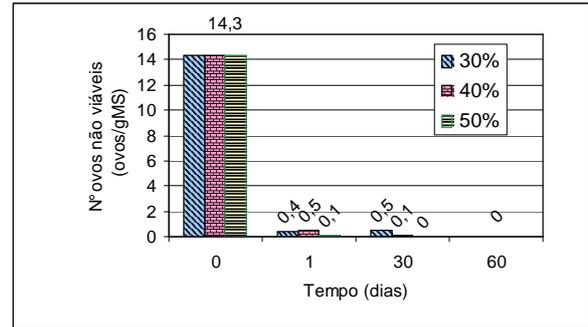


Figura 5.17 – Ensaio 1 – Variação do nº. de ovos não viáveis de *Ascaris* sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e cal.

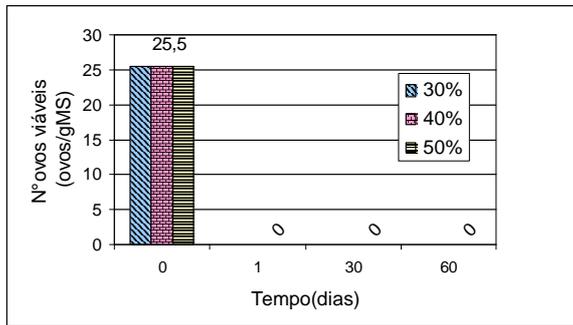


Figura 5.18 – Ensaio 2 – Variação do nº. de ovos viáveis de *Ascaris* sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e cal.

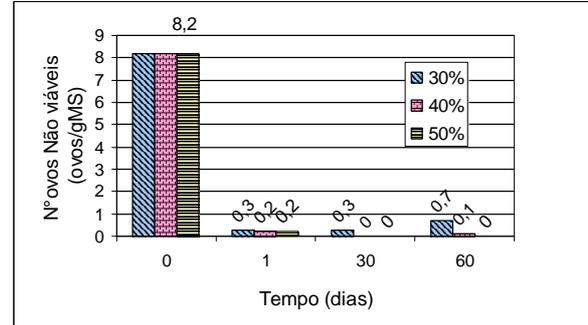


Figura 5.19 – Ensaio 2 – Variação do nº. de ovos não viáveis de *Ascaris* sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e cal.

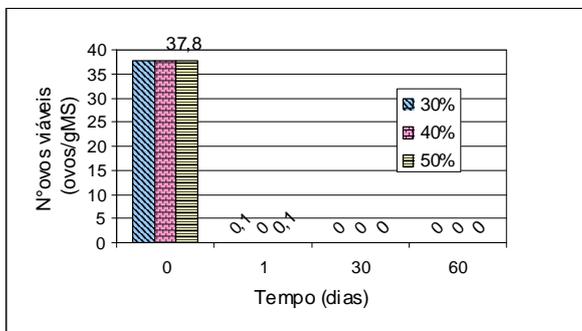


Figura 5.20 – Ensaio 3 – Variação do nº. de ovos viáveis de *Ascaris* sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e cal.

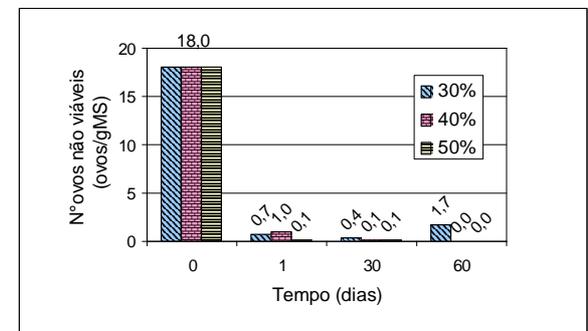


Figura 5.21 – Ensaio 3 – Variação do nº. de ovos não viáveis de *Ascaris* sp com o decorrer do tempo de contato do lodo e cal.

Lodo <i>in natura</i> (dia 0)			
Parâmetros	Nº total de ovos (ovos/gMS)	Nº de ovos viáveis (ovos/gMS)	Nº de ovos não viáveis (ovos/gMS)
Nº de Amostras	3	3	3
Média	45,3	31,8	13,5
Máximo	55,8	37,8	17,9
Mínimo	33,67	25,5	8,2
Desvio Padrão	11,1	6,2	4,9

Tabela 5.3 - Experimento de Caleação - Estatística descritiva da análise da viabilidade de ovos de *Ascaris* sp no lodo após tratamento pela cal

T.C (dias)		Dosagem de cal								
		30%			40%			50%		
		Nto	Nov	Nonv	Nto	Nov	Nonv	Nto	Nov	Nonv
1	Nº de amostras	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	média	0,51	0,04	0,48	0,44	0	0,44	0,16	0	0,12
	máximo	0,85	0,11	0,75	0,68	0	0,68	0,22	0,11	0,17
	mínimo	0,34	0	0,34	0,16	0	0,16	0,08	0	0,08
	desvio padrão	0,29	0,06	0,23	0,26	0	0,26	0,07	0	0,05
30	Nº de amostras	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	média	0,41	0	0,8	0,09	0	0,09	0,03	0	0,03
	máximo	0,51	0	1,7	0,14	0	0,14	0,1	0	0,1
	mínimo	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0
	desvio padrão	0,09	0	0,85	0,08	0	0,08	0,06	0	0,06
60	Nº de amostras	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	média	0,8	0	0,8	0,04	0	0,04	0	0	0
	máximo	1,7	0	1,7	0,13	0	0,13	0	0	0
	mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	desvio padrão	0,85	0	0,85	0,08	0	0,08	0	0	0

Nota.: TC=Tempo de contato entre o lodo e a cal

Nto= Número total de ovos (ovos/gMS)

Nov= Número de ovos viáveis (ovos/gMS)

Nonv= Número de ovos não viáveis (ovos/gMS)

Como pode ser observado a partir das Figuras 5.16 e 5.18 (ensaios 1 e 2), nenhum ovo viável de *Ascaris* sp foi recuperado após os tempos de contato de 1, 30 e 60 dias, para as três dosagens testadas. Porém, como mostrado na Figura 5.20 (ensaio 3), após um dia de contato entre o lodo e a cal foi recuperado ovo viável de *Ascaris* sp nas dosagens de 30 e 50% de cal, embora em um nível abaixo do padrão estabelecido pela EPA e pela legislação do estado do Paraná para utilização agrícola do lodo (0,25 ovo viável/gMS) (EPA, 1992; Fernandes, 2000).

Na presente pesquisa a total inviabilização dos ovos foi alcançada com 30 dias de armazenamento nas 3 dosagens, confirmando-se a completa inviabilização aos 60 dias.

Estes resultados são semelhantes aos verificados por Thomaz-Soccol et al. (1997), que testaram a caleação de lodo aeróbio caleado a 50%, e encontraram percentual de viabilidade dos ovos no dia 0 de 40% chegando a 0% já em 20 dias, confirmando-se este resultado de 100% de inviabilização aos 90 dias, isto mostra que a caleação é eficiente na higienização de lodo quando observados o percentual de cal utilizado e o tempo de armazenamento dos dois produtos.

Os resultados encontrados no presente estudo também estão de acordo com Reimers et al. (1998); Gaspard et al. (1997b) e Amer (1997), citados por Gantzer (2001), que demonstraram que o tratamento pela caleação requer pH entre 12 e 12,6 por períodos de 20 a 60 dias para a eliminação de ovos de helmintos e de *Salmonella*.

Schuh et al. (1985) também observaram a inativação de ovos de *A. suum* após períodos de armazenamento de 2 a 4 meses e pH igual a 12,5. Assim como 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.

Gantzer et al. (2001) utilizando cal virgem a 25%, cal hidratada a 26 e a 62% verificaram que a caleação por cal hidratada a 26% não proporcionou a higienização do lodo, já a caleação em concentrações de 62% só produziu lodo higienizado após 180 dias de armazenamento. Com a cal virgem a 25%, também não foram atingidos os valores exigidos pela legislação francesa para ovos de helmintos (<0,3 ovo viável/gMS) apesar do pH ter atingindo níveis de 12,4, resultados que divergem do presente trabalho. Os autores, no entanto, atribuem a baixa eficiência da caleação ao fato da contagem inicial de ovos de helmintos no lodo ter sido

elevada. Estas divergências, no entanto podem estar relacionadas, ainda, ao tipo de lodo que foi utilizado, a concentração de sólidos totais ou a homogeneização do lodo, fatores que também interferem na eficácia do processo.

Quanto aos ovos não viáveis, os resultados são apresentados nas Figuras 5.17, 5.19 e 5.21. O número de ovos não viáveis foi muito próximo de zero nos ensaios 1 e 2 (Figuras 5.17 e 5.19). No ensaio 3 (Figura 5.21), pode-se notar que após 60 dias de contato do lodo com a cal, na dosagem de 30%, foi recuperado um número ligeiramente maior de ovos não viáveis. Os ovos não viáveis podem ser referenciados, apenas, como ovos remanescentes, uma vez que estes perderam a capacidade de desenvolvimento a estágios evolutivos mais avançados devido a alterações provocadas pela elevação do pH do meio. Estes ovos, como pode ser verificado nas Figuras 5.22, 5.23 e 5.24, apresentam-se com “bolhas” em seu interior, aspecto vitrificado, formato alterado e em alguns casos não foi possível detectar uma distinção nítida das camadas da casca do ovo.

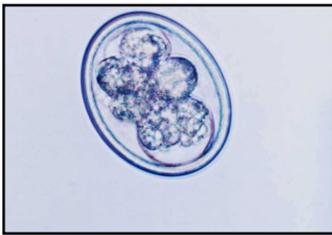


Figura 5.22 – Ovo de *Ascaris* sp alterado pela caleação

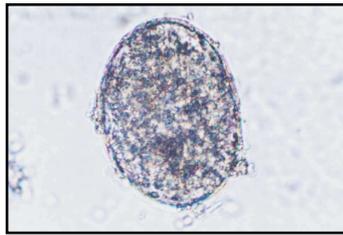


Figura 5.23 - Ovo de *Ascaris* sp alterado pela caleação

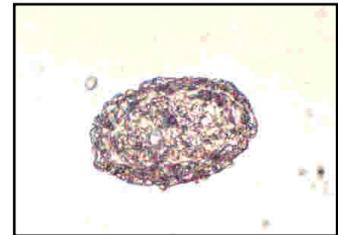


Figura 5.24 – Ovo de *Ascaris* sp alterado pela caleação

Estes ovos não apresentam perigo para a saúde do homem e/ou animais, uma vez que não mais recuperam seu potencial infectivo, mesmo se forem reintroduzidos em um pH ótimo, podendo, neste caso, ser considerados “ovos mortos”. Os resultados aqui apresentados também mostram que a maioria dos ovos parece ser destruída, pois o fato de não serem visualizados sob microscopia sugere que não são recuperados por terem sofrido desintegração.

5.2 Experimentos de tratamento térmico

Conforme mencionado, os experimentos de tratamento térmico foram realizados em 2 etapas, com a etapa 1 (escala piloto) dividida em 4 fases. São apresentados, a seguir, os resultados relativos ao total de ensaios efetuados em cada etapa/fase dos experimentos. Os resultados da etapa 1 correspondem à média de 5 ensaios da primeira fase, 2 ensaios da segunda fase, 5 ensaios da terceira fase e 4 ensaios da quarta fase. Para a segunda etapa (aparato escala de demonstração), são apresentados os resultados de cada ensaio separadamente e, em seguida, a média dos 3 ensaios.

5.2.1 Etapa 1 (experimentos em escala piloto)

Fase 1

Analisando-se os resultados referentes à fase 1 do tratamento térmico, apresentados na Figura 5.25 e na Tabela 5.4, verifica-se que no tempo zero, antes de iniciar-se o aquecimento, o lodo apresentou ovos viáveis de *A. lumbricoides*, embora em uma quantidade bem inferior ao número total de ovos.

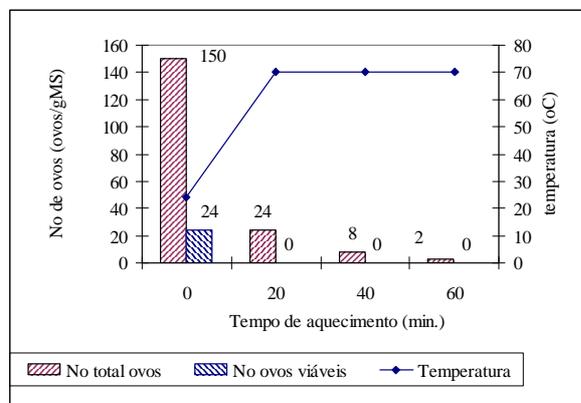


Figura 5.25 – Variação do n°. de ovos de *A. lumbricoides* no decorrer da fase 1

TABELA 5.4 - Estatística descritiva - tratamento térmico (Etapa 1 - Fase 1)

Tempo de exposição (min.)	Parâmetros	Temperatura (° C)	Nº total de ovos (ovos/gMS)	Nº de ovos viáveis (ovos/gMS)	Nº de ovos não viáveis (ovos/gMS)
0	Nº de amostras	5	5	5	5
	média	24	150	25	125
	máximo	26	303	56	248
	mínimo	23	50	5	39
	desvio padrão	1,3	104	20	85
20	Nº de amostras	5	5	5	5
	média	70	24	0	24
	máximo	70	105	0	105
	mínimo	70	0	0	0
	desvio padrão	0	45	0	45,3
40	Nº de amostras	5	5	5	5
	média	70	7,8	0	7,8
	máximo	70	7,6	0	22,9
	mínimo	70	0	0	0
	desvio padrão	0	16,3	0	9,1
60	Nº de amostras	5	5	5	5
	média	70	2,4	0	2,4
	máximo	70	6,5	0	6,5
	mínimo	70	0	0	0
	desvio padrão	70	2,7	0	2,7

Os resultados da fase 1 são relevantes, uma vez que mostram que, já na segunda amostra coletada, após a temperatura atingir o valor de 70 °C e ser mantida a esta temperatura por 20 minutos, não se recuperaram mais ovos viáveis, confirmando-se estes resultados após 40 e 60 minutos de aquecimento a 70 °C. Quanto ao nº. total de ovos, é possível perceber uma tendência de decréscimo, sendo esta notável após 40 e 60 minutos de exposição à temperatura de 70 °C.

Este resultado mostrou-se positivo uma vez que está de acordo com o que foi verificado na literatura (Tabela 3.10), onde temperaturas termofílicas, em associação com o tempo de exposição, são capazes de impedir o desenvolvimento dos ovos de *Ascaris* sp no lodo, tornando-os inativos.

Os resultados desta fase estão coerentes com os verificados por Hindiyeh (1995), que detectou a morte de ovos de *Ascaris suum* quando estes foram submetidos a 70 °C e 20 minutos de exposição.

Fase 2

A partir dos resultados verificados na fase 1, decidiu-se por avaliar na fase 2 o efeito da temperatura sobre os ovos já desde o início do aquecimento do lodo. A Figura 5.26 e a Tabela 5.5 mostram os resultados obtidos. É possível verificar que após 27 minutos de aquecimento, quando se atingiu a temperatura de 70 °C, já não se recuperaram mais ovos viáveis.

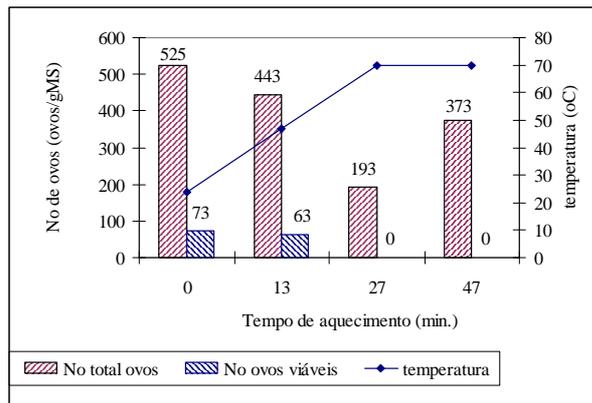


Figura 5.26 – Variação do n°. de ovos de *A. lumbricoides* no decorrer da fase 2

Tabela 5.5 - Estatística descritiva - tratamento térmico (Etapa 1 - Fase 2)

Tempo de exposição (min.)	Parâmetros	Temperatura (° C)	Nº total de ovos (ovos/gMS)	Nº de ovos viáveis (ovos/gMS)	Nº de ovos não viáveis (ovos/gMS)
0	Nº de amostras	2	2	2	2
	média	24	525	73	452
	máximo	24	902	128	774
	mínimo	24	149	18	131
13	Nº de amostras	2	2	2	2
	média	47	443	63	381
	máximo	47	700	99	600
	mínimo	47	187	26	161
27	Nº de amostras	2	2	2	2
	média	70	193	0	193
	máximo	70	364	0	364
	mínimo	70	22	0	22
47	Nº de amostras	2	2	2	2
	média	70	376	0	374
	máximo	70	740	0	740
	mínimo	70	7	0	7

Quanto ao número total de ovos, pode-se perceber que nesta fase observou-se um aumento destes com o passar do tempo de aquecimento, o que não era esperado. Este resultado, no entanto, não representa de modo algum um “ressurgimento” de ovos. Possíveis explicações que podem ter ocasionado esta variação são as seguintes:

- pode ter havido uma melhor eficiência no método de recuperação de ovos, à medida em que as amostras iam sendo coletadas com o decorrer do tempo de tratamento, devido à desintegração física de sólidos ou grânulos presentes no lodo;
- a variação dos teores de sólidos totais do lodo entre os ensaios (anexo 2), cujo valor reflete diretamente na contagem final dos ovos;
- pelo fato das amostras serem coletadas aleatoriamente. Ainda que tenha se procedido uma homogeneização considerada eficaz, não é possível certificar que a distribuição dos ovos em cada amostra coletada seja a mesma. Pode ser que alguma porção de ovos, mesmo que

pequena, sedimento quando se interrompe a homogeneização no momento de coletar a amostra no frasco.

Ainda com relação a esse fato, a retirada das alíquotas da placa de Petri, no momento da leitura, também é aleatória, e, ainda que, após a homogeneização, a coleta da alíquota seja extremamente rápida para impedir que os ovos concentrem-se em algum ponto da placa, uma segurança absoluta é difícil de ocorrer. A observação de tais tipos de fatores pode acarretar um aumento na quantidade total de ovos. Porém, em momento algum esse aumento foi observado no número de ovos viáveis, que são os mais importantes, pois são eles que são capazes de infectar novos pacientes.

Como mencionado no capítulo 4, na fase 3 decidiu-se por testar temperaturas mais baixas e conseqüentemente, menores tempos de aquecimento, assim como a necessidade de se preparar uma nova amostra de ovos de *A. lumbricoides* para ser utilizada como inóculo.

Fase 3

Os resultados da fase 3 são apresentados na Figura 5.27 e na Tabela 5.6 e confirmam os resultados da fase 2. Pode-se perceber que temperaturas próximas a 48° C e tempos de exposição de aproximadamente 15 minutos não foram suficientes para inviabilizar 100% dos ovos. Todavia, após aproximadamente 25 minutos de aquecimento, quando a temperatura atingiu o valor de 62,5 °C, não mais se recuperaram ovos viáveis. Este fato permite considerar que também no presente trabalho foi observada uma temperatura ótima, entre 50 °C e 63 °C, combinada a tempos de exposição de aproximadamente 30 minutos, que foram capazes de inviabilizar totalmente ovos de *A. lumbricoides*.

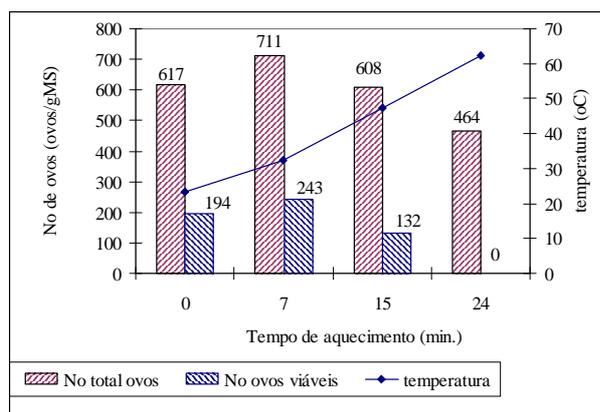


Figura 5.27 – Variação do n°. de ovos de *A. lumbricoides* no decorrer da fase 3

Tabela 5.6 - Estatística descritiva - tratamento térmico (Etapa 1 - Fase 3)

Tempo de exposição (min.)	Parâmetros	Temperatura (° C)	Nº total de ovos (ovos/gMS)	Nº de ovos viáveis (ovos/gMS)	Nº de ovos não viáveis (ovos/gMS)
0	Nº de amostras	5	5	5	5
	Média	23	617	194	423
	Máximo	24	702	265	504
	Mínimo	22,5	503	86	339
	desvio padrão	1	75	74	61
7	Nº de amostras	5	5	5	5
	Média	32,5	711	243	467
	Máximo	32,5	820	317	525
	Mínimo	32,5	536	98	340
	desvio padrão	1	137	94	73
15	Nº de amostras	5	5	5	5
	Média	47,5	608	132	476
	Máximo	47,5	691	200	594
	Mínimo	47,5	448	50	398
	desvio padrão	0	96	67	88
25	Nº de amostras	5	5	5	5
	Média	62,5	464	0	464
	Máximo	62,5	547	0	547
	Mínimo	62,5	397	0	397
	desvio padrão	0	61	0	61

Os resultados encontrados na presente pesquisa estão de acordo com os estudos desenvolvidos por Rudolfs et al. (1951), que verificaram que a temperatura de 45 °C e o tempo de exposição de 2 horas não foram suficientes para inativar os ovos de helmintos. A completa inativação dos ovos só foi conseguida a temperaturas de 55 e 60 °C e tempo de contato de 10 minutos.

Os resultados também são coerentes com os verificados por Burden e Ginnivan (1978) que encontraram resultados positivos em relação a destruição de ovos de helmintos quando estes são submetidos ao tratamento termofílico, concluindo que a maioria dos ovos de *A. suum* foram mortos após 30 minutos de exposição a 55 °C.

No entanto Jettmar & Exner (1951), citados por Plym-Forshell, afirmam que ovos de *Ascaris* foram mortos em 5 minutos quando expostos a temperatura de 55 °C, o que na presente pesquisa não pôde ser confirmado. Já Schaffer & Strauch (1976), citados pelo mesmo autor, estudando um sistema de tratamento de lodo associado a temperaturas termofílicas, encontrou que a 52,5 °C - 53 °C, mudanças letais e irreversíveis ocorriam nos ovos de *Ascaris suum*, concluindo que após alcançar 55 °C o lodo era aceitável do ponto de vista parasitológico, porém não deixam claro qual o tempo de contato necessário.

Fase 4

Na última fase dos ensaios desta etapa de trabalho, cujo objetivo era verificar a auto-suficiência do sistema, empregou-se como fonte de energia para o aquecimento do lodo somente o biogás produzido em 24 horas, para higienizar o lodo também produzido em 24 horas. Com base nas fases realizadas anteriormente, concluiu-se que não seria necessário aquecer o lodo por 7 horas, decidindo-se por coletar as amostras em um intervalo máximo de 4 horas. Assim, após 4 horas de aquecimento, quando foi coletada a última amostra, a temperatura média dos 4 ensaios foi de aproximadamente 69 °C. Os resultados estão representados na Figura 5.28 e na Tabela 5.7.

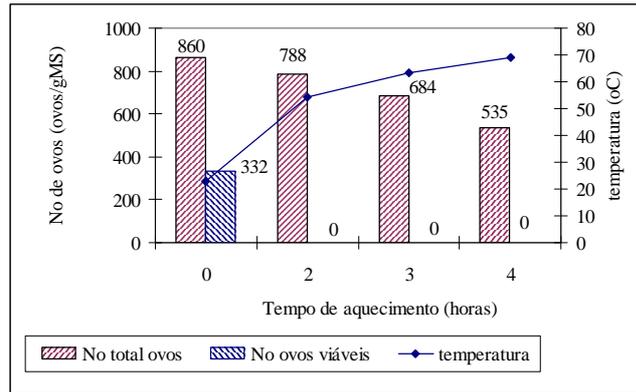


Figura 5.28 – Variação do n°. de ovos de *A. lumbricoides* no decorrer da fase 4

É possível observar que após 2 horas de aquecimento, quando a temperatura situava-se em torno de 53 °C, não foram recuperados ovos viáveis de *A. lumbricoides*. Comparando-se esses resultados aos encontrados na fase 3, é possível confirmar a hipótese de que uma temperatura ótima que acarretou a inviabilização de ovos de *Ascaris* situou-se entre 50 e 63 °C, para tempos de exposição variando entre 30 a 60 minutos. Nesta fase, foi conseguida a higienização do lodo em temperaturas inferiores às da fase 3, uma vez que o lodo permaneceu em aquecimento por um período mínimo de 2 horas.

Tabela 5.7 - Estatística descritiva - tratamento térmico (Etapa 1 - Fase 4)

Tempo de exposição (min.)	Parâmetros	Temperatura (° C)	Nº total de ovos (ovos/gMS)	Nº de ovos viáveis (ovos/gMS)	Nº de ovos não viáveis (ovos/gMS)
0	Nº de amostras	4	4	4	4
	máximo	24,5	1001	425	609
	mínimo	22	711	254	457
	média	23	860	332	529
	desvio padrão	1	127	90	67
120	Nº de amostras	4	4	4	4
	máximo	56,5	905	2	905
	mínimo	53	562	0	562
	média	54	788	0	787
	desvio padrão	2	155	1	155
180	Nº de amostras	4	4	4	4
	máximo	66,5	735	0	735
	mínimo	61	621	0	621
	média	63	684	0	684
	desvio padrão	2	47	0	47
240	Nº de amostras	4	4	4	4
	máximo	72,5	655	0	655
	mínimo	66	373	0	373
	média	69	535	0	535
	desvio padrão	3	118	0	118

Quanto ao número total de ovos, nota-se mais uma vez uma tendência ao decréscimo, sugerindo que o tratamento térmico não só é capaz de inviabilizar o desenvolvimento dos ovos para estágios evolutivos mais avançados, como também de destruí-los.

Os resultados verificados na presente pesquisa são compatíveis com os observados por Wharton (1979), que afirma que possivelmente a temperatura capaz de destruir a casca dos ovos seria entre 63 e 65 °C.

Esta fase do tratamento térmico teve como principal objetivo a verificação da sustentabilidade do sistema, certificando-se que o biogás produzido nas condições especificadas seria suficiente para higienizar o lodo. Este fato foi confirmado, sendo possível afirmar que neste trabalho o biogás foi até mais que suficiente para promover a higienização térmica do lodo,

uma vez que com 2 horas já se verificou a total inviabilização dos ovos, confirmando-se esse resultado de 100% de inviabilização após 4 horas de aquecimento.

5.2.2 Etapa 2 (aparato em escala de demonstração)

Objetivando-se confirmar os resultados encontrados na etapa 1, três ensaios foram realizados no aparato experimental em escala de demonstração. Nesta etapa, os ensaios apresentaram maiores dificuldades na execução devido ao aumento da escala, principalmente em relação ao armazenamento do biogás. Devido à diferença de escala, as condições de trabalho foram ligeiramente diferentes.

As condições dos 3 ensaios foram as mesmas, exceto no ensaio 1, onde foram coletadas amostras somente no tempo zero e após 5,5 horas de aquecimento. Os resultados são apresentados nas Figuras 5.29 a 5.32 e na Tabela 5.8.

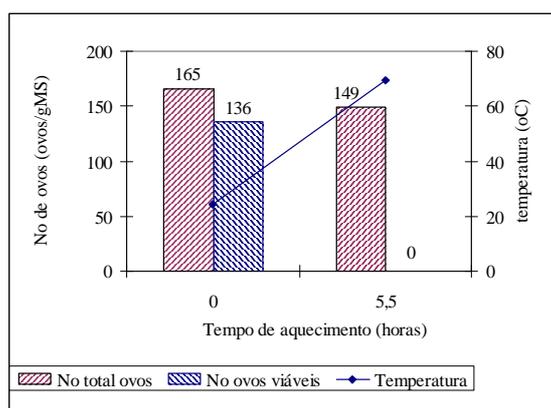


Figura 5.29 – Variação do n°. de ovos de *A. lumbricoides* no decorrer da etapa 2/ ensaio 1

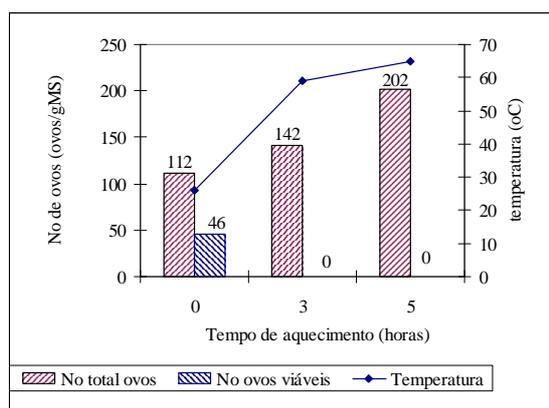


Figura 5.30 – Variação do n°. de ovos de *A. lumbricoides* no decorrer da etapa 2/ ensaio 2

Como pode ser observado na figura 5.29, uma vez que foi coletada somente uma amostra após 5,5 horas de aquecimento, o resultado obtido foi o esperado (com base nos resultados verificados na etapa 1, mesmo considerando as diferenças de escala), uma vez que a temperatura no instante da coleta foi de 70 °C. Assim, o lodo permaneceu sob diversas temperaturas inferiores (entre 26 °C e 69 °C), até o instante da coleta. Como pode ser visto, nenhum ovo viável foi recuperado. Quanto ao número total de ovos, manteve-se a tendência da diminuição com o passar do tempo de aquecimento.

No segundo ensaio (Figura 5.30), com 3 horas de aquecimento já não foi detectada a presença de ovos viáveis, confirmando-se esse resultado após 5 horas de aquecimento e temperatura de 65 °C. Nesta etapa de trabalho, novamente foi verificada a elevação no número total de ovos com o decorrer do tempo de aquecimento, ao invés de uma diminuição. Cabe aqui a mesma explicação da fase 2 da etapa 1.

Os resultados do terceiro ensaio, a média dos resultados dos três ensaios e os dados estatísticos da etapa 2 do tratamento térmico estão apresentados nas Figuras 5.31, 5.32 e na Tabela 5.8.

Para o terceiro ensaio, pode-se perceber que após 3 horas de aquecimento do lodo, quando a temperatura encontrava-se a 51,5 °C, ainda foram recuperados ovos viáveis de *A. lumbricoides*, mas após 5 horas de aquecimento à temperatura de 65,5 °C, não mais se verificou a presença de ovos viáveis, e novamente a tendência à diminuição do número total de ovos. A Figura 5.32 representa a média dos 3 ensaios, certificando-se que após 5 horas de aquecimento e temperatura média de 67 °C (conforme a Tabela 5.8) não se recuperou mais nenhum ovo de *A. lumbricoides* viável. Quanto ao número total de ovos, a média dos ensaios culminou com um aumento do número de ovos, que por sua vez já foi explicado os possíveis motivos que podem levar a essa diferenciação.

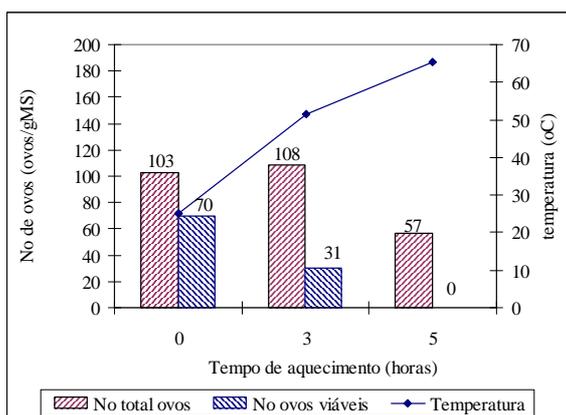


Figura 5.31 – Variação do n°. de ovos de *A. lumbricoides* no decorrer da etapa 2/ensaio 3.

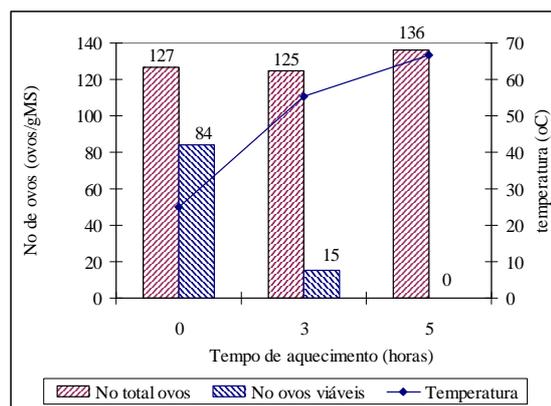


Figura 5.32 – Variação média do n°. de ovos de *A. lumbricoides* no decorrer da etapa 2.

Tabela 5.8 - Estatística descritiva - tratamento térmico (Etapa 2)

Tempo de exposição (h)	Parâmetros	Temperatura (° C)	Nº total de ovos (ovos/gMS)	Nº de ovos viáveis (ovos/gMS)	Nº de ovos não viáveis (ovos/gMS)
0	Nº de amostras	3	3	3	3
	Média	25	93	84	42
	Máximo	26	165	136	65
	Mínimo	24,5	12	46	29
	desvio padrão	1	77	47	20
3	Nº de amostras	2	2	2	2
	Média	55	125	16	110
	Máximo	59	142	31	142
	Mínimo	51,5	108	0	78
	desvio padrão	5	24	22	45
5	Nº de amostras	3	3	3	3
	Média	67	136	0	136
	Máximo	69,5	202	0	202
	Mínimo	65	56,5	0	56,5
	desvio padrão	2,5	74	0	74

5.3 Identificação de ovos de helmintos e análise da viabilidade de *Ascaris sp* em lodos in natura

Esta parte da pesquisa foi uma etapa complementar que teve por objetivo a identificação de ovos de helmintos predominantes em diferentes tipos de lodo, conforme especificado na Tabela 4.15. Os resultados tornaram possível o conhecimento de um pequeno perfil dos ovos de helmintos que podem estar presente no lodo, independente do processo e da escala adotada no tratamento do esgoto. Os resultados aqui obtidos podem ainda ser considerados como demonstrativos do parâmetro de saúde da população atendida pelos sistemas de tratamentos de esgotos, uma vez que os esgotos domésticos e o lodo contém excretas gerados por homens e/ou animais. Os resultados da análise da viabilidade de *Ascaris sp* são apresentados de forma comparativa entre os três lodos.

5.3.1 Lodo 1 (lodo de reator UASB escala real)

As Figuras 5.33 e 5.34 mostram os resultados encontrados na análise de três amostras do lodo 1. A descrição do lodo está representada na Tabela 4.15

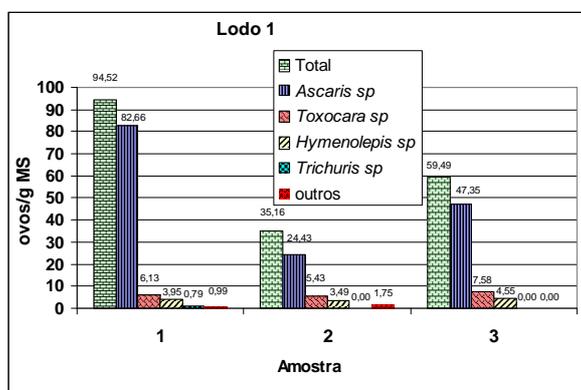


Figura 5.33 – Distribuição dos diferentes ovos de helmintos no lodo 1.

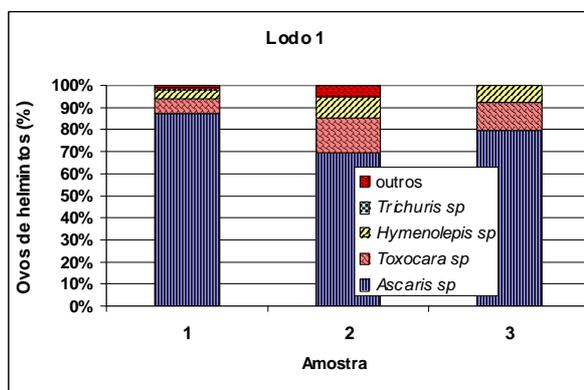


Figura 5.34 – Distribuição percentual dos diferentes ovos de helmintos no lodo 1.

As figuras indicam que dentre os ovos de helmintos detectados nas amostras do lodo 1, *Ascaris sp*, *Toxocara sp*, *Hymenolepis sp* e *Trichuris sp* foram os que ocorreram com maior frequência nas amostras analisadas. Como pode ser percebido, *Ascaris sp* foi o parasito mais frequente nas três amostras (87,4, 69,5 e 79,6%) e em quantidades consideradas elevadas (82,6, 24,4 e 47,3 ovos/gMS), seguido por *Toxocara sp* (6,5, 15,4 e 12,7% e 6,1, 5,4 e 7,6 ovos/gMS), *Hymenolepis sp* (4,2, 9,9 e 7,6 % e 3,9, 3,5 e 4,5 ovos/gMS) e *Trichuris sp* (0,8, 0 e 0% e 0,8, 0 e 0 ovos/gMS). Dentre outros helmintos, verificou-se ovos de ancilostomídeos

nas amostras 1 e 2 (1 e 5%, 1 e 1,7 ovos/gMS). Na amostra 2 não foi verificada a presença de ovos de *Trichuris* sp e na amostra 3 não foi detectado *Trichuris* sp nem outros (ancilostomídeos, por exemplo).

5.3.2 Lodo 2 (lodo de reator UASB escala de demonstração)

As Figuras 5.35 e 5.36 são referentes aos resultados das análises do lodo 2 e representam a média dos valores de três descartes e análise de nove amostras, conforme especificado no capítulo 4.

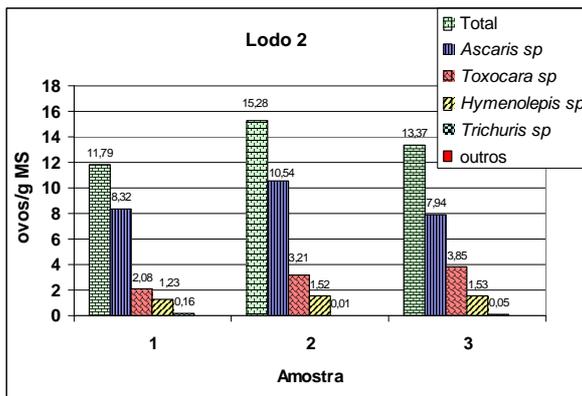


Figura 5.35 – Distribuição dos diferentes ovos de helmintos no lodo 2.

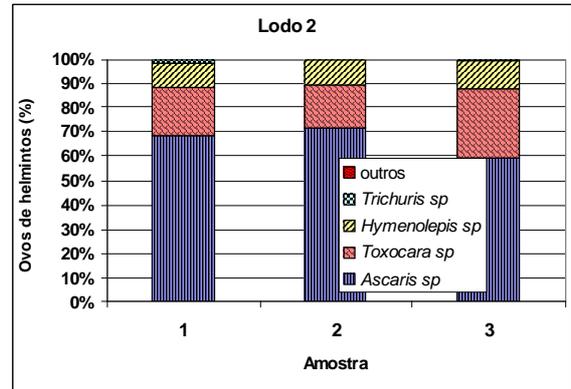


Figura 5.36 – Distribuição percentual dos diferentes ovos de helmintos no lodo 2.

Pode-se perceber que o lodo 2, apresentou basicamente os mesmos ovos de helmintos presentes no lodo 1, ou seja, *Ascaris* sp, *Toxocara* sp, *Hymenolepis* sp e *Trichuris* sp. Neste lodo, *Ascaris* sp também mostrou-se o parasito mais freqüente nas três amostras (69, 70,6 e 59,4%) e em maiores quantidades (8,3, 10,5 e 7,9 ovos/gMS), seguido por *Toxocara* sp (21,1, 17,6, e 28,8,% e 2,1 3,2 e 3,8 ovos/gMS), *Hymenolepis* sp (10,4, 9,9 e 11,4% e 1,2, 1,5 e, 1,5 ovos/gMS) e *Trichuris* sp (1,4, 0,9 e 0,4 % e 0,2, 0,01 e 0,05 ovos/gMS).

5.3.3 Lodo 3 (lodo de digestor anaeróbio de lodo primário)

As Figuras 5.37 e 5.38 apresentam os resultados encontrados após a análise do lodo 3.

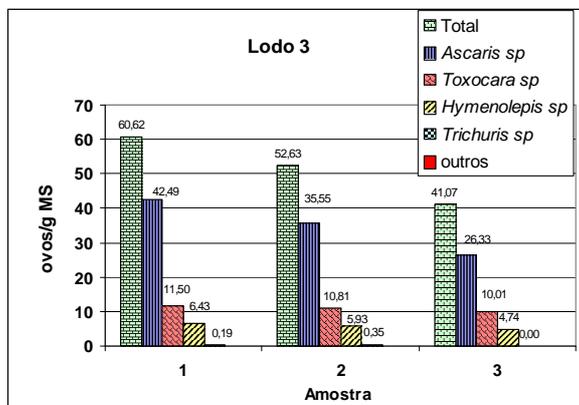


Figura 5.37 – Distribuição dos diferentes ovos de helmintos no lodo 3.

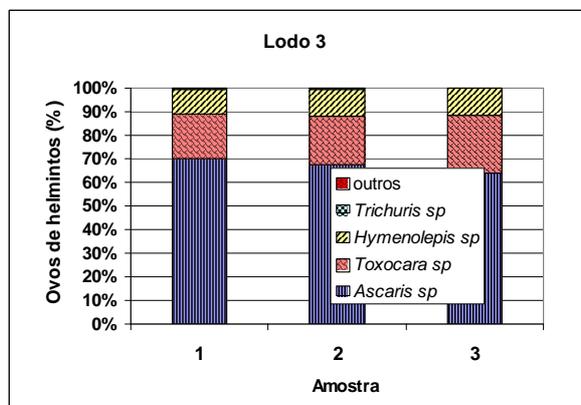


Figura 5.38 – Distribuição percentual dos diferentes ovos de helmintos no lodo 3.

No lodo 3 também repetiram-se os mesmos ovos de helmintos encontrados nos dois outros lodos estudados, *Ascaris sp*, *Toxocara sp*, *Hymenolepis sp* e *Trichuris sp*. Novamente *Ascaris sp* foi o parasito mais freqüente nas três amostras (70,1, 67,5 e 64,1%) e em maiores quantidades (42,5, 35,5 e 26,3 ovos/gMS), seguido por *Toxocara sp* (18,9, 20,5 e 24,3% e 11,5, 10,8 e 10,0 ovos/gMS), *Hymenolepis sp* (10,6, 11,3 e 11,5% e 6,4, 5,9 e 4,7 ovos/gMS) e *Trichuris sp* (0,3, 0,7 e 0% e 0,2, 0,3 e 0 ovos/gMS).

5.3.4 Discussão conjunta dos resultados

Em relação aos ovos de helmintos predominantemente encontrados, nos três tipos de lodos estudados, pode-se dizer que os resultados são coerentes, uma vez que esses helmintos são os parasitos intestinais mais encontrados nos hospedeiros humanos e animais. Dessa forma, sendo o esgoto (e conseqüentemente o lodo) de origem doméstica, estes são também os parasitos mais comumente encontrados nestes produtos. Hall & Holland (2000) relatam que nematóides intestinais são parasitos humanos muito comuns, sendo a espécie *A. lumbricoides* estimada como infectante de um quarto da população mundial.

A não detecção, nas amostras de lodo analisadas, de determinados tipos de ovos não significa que eles não estivessem presentes no lodo como um todo, mas que a tomada de alíquotas para análise não garantem a varredura de todo o espectro de ovos presentes no lodo, mesmo que a homogeneização seja perfeita. Isso é particularmente válido para helmintos presentes em

pequenas quantidades no lodo. Outro aspecto a ressaltar refere-se ao fato de que as larvas de determinados parasitos (ancilostomídeos e *Strongyloides* sp, por exemplo) eclodem de ovos fora do organismo do seu hospedeiro e, por isso, seus ovos não são detectados nas amostras em quantidades elevadas, pois grande parte já se encontra em estágio de larva.

Uma possível explicação para a não verificação de outros tipos de ovos no lodo seria que algumas doenças (teníase, por exemplo) não são endêmicas nas localidades onde o lodo foi coletado, assim seus ovos não aparecem nas fezes da população e em consequência no esgoto/lodo que é gerado pela população contribuinte .

Cabe ressaltar que especificamente no lodo 1 e em uma única amostra, foi detectado um ovo de *Schistosoma mansoni*, parasito do Filo *Platyhelminthes*, Classe Trematoda, causador da esquistossomose. Torna-se relevante o alerta de que os ovos deste parasito podem estar presentes em maiores quantidades, principalmente em áreas endêmicas da doença. Caso a região não seja endêmica, mas porventura haja um criadouro, o hospedeiro intermediário (caramujo) susceptível e condições que favoreçam a disseminação da doença, poderia ser iniciado o ciclo da doença em algum momento já que as cercárias, resultantes de apenas um ovo, são numerosas o que aumentaria a chance de infecção do hospedeiro definitivo e a formação de novos ovos.

Dentre os ovos encontrados no lodo, os de *Trichuris* sp foram sempre detectados em menores quantidades, embora a tricuriase também seja uma helmintose muito disseminada em nosso meio. Porém seus ovos são mais sensíveis à dessecação e não sobrevivem por tempo prolongado sob baixa umidade (por exemplo nos lodos desaguados em leitos de secagem e centrífugas).

Os valores dos ovos de helmintos encontrados nos lodos é discutido em seguida, a partir de uma comparação gráfica quantitativa e percentual entre os lodos 1, 2, e 3, assim como a análise da viabilidade dos *Ascaris* sp.

As Figuras 5.39 a 5.44 mostram os ovos dos principais helmintos detectados nos lodos estudados.



Figura 5.39 - Ovo de *Ascaris* sp

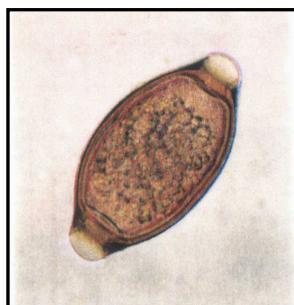


Figura 5.40 - Ovo de *Trichuris* sp



Figura 5.41 - Ovo de *Toxocara* sp



Figura 5.42 - Ovo de *Hymenolepis nana*



Figura 5.43 - Ovo de *Hymenolepis diminuta*



Figura 5.44 - Ovo de Ancilostomídeo

Fonte: Arquivo de fotos do Laboratório de Microbiologia do DESA/UFMG.

Comparação entre os três tipos de lodo

As Figuras 5.45 e 5.46 apresentam os resultados comparativos entre os três lodos analisados. Os resultados mostram que houve uma tendência na detecção dos mesmos ovos de helmintos nos três lodos estudados, embora em quantidades e percentuais diferentes.

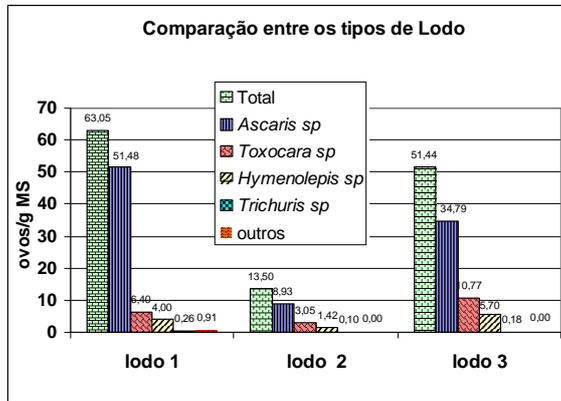


Figura 5.45 – Distribuição dos diferentes ovos de helmintos nos três tipos de lodo.

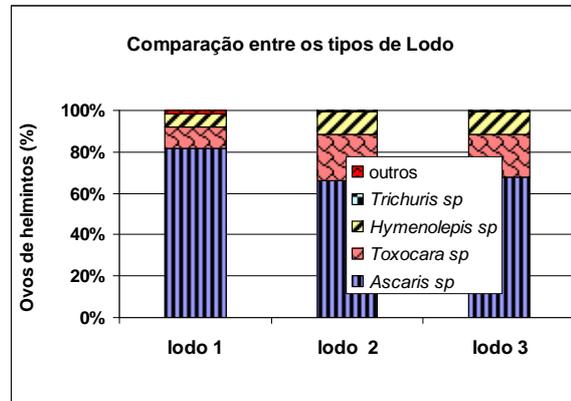


Figura 5.46 – Distribuição percentual dos diferentes ovos de helmintos nos três tipos de lodo.

Conforme pode ser visualizado na Figura 5.45, o lodo 1 foi o que apresentou a maior quantidade de ovos de helmintos e o lodo 2 os menores valores. Já o lodo 3 apresentou valores também elevados, próximos aos verificados no lodo 1.

Uma possível explicação para a menor concentração de ovos no lodo 2 seria o fato de que este lodo era proveniente de um sistema que trata esgotos de uma população com perfil social mais elevado (Belo Horizonte), enquanto o lodo 1 é proveniente do sistema de tratamento de esgoto de uma população mais carente (Bairro Nova Vista - Itabira). Por outro lado, esta hipótese não justificaria os elevados valores encontrados no lodo 3, cuja população contribuinte é a mesma do lodo 2.

Outra possível explicação para as diferentes concentrações de ovos encontradas nos lodos 1, 2 e 3 estaria relacionada ao teor de sólidos do lodo, conforme mostrado na Figura 5.47.

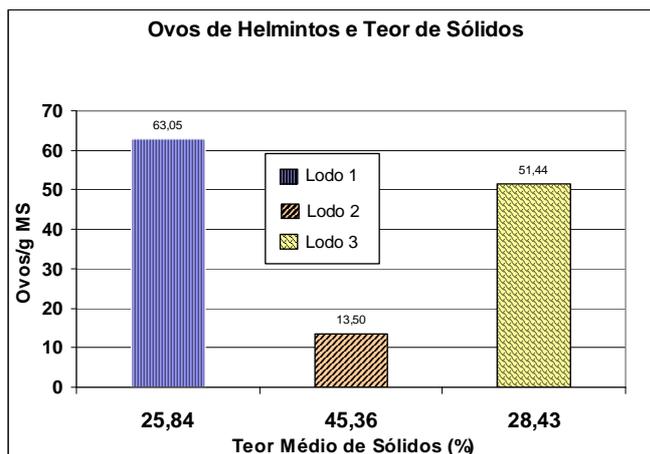


Figura 5.47 – Relação entre ovos de helmintos e teor de sólidos no lodo.

Comparando-se os lodos 1 e 3 (maior umidade) ao lodo 2 (mais seco), verifica-se que o lodo que apresenta maior percentual de sólidos apresenta também menor quantidade de ovos de helmintos. Isto porque condições ambientais adversas, tais como insolação e baixa umidade, diminuem a capacidade de sobrevivência dos ovos no lodo e, em consequência, sua concentração.

O lodo 3, embora proveniente da mesma população contribuinte que o lodo 2, apresentou valores mais elevados de ovos de helmintos, possivelmente pelo fato de que o lodo 3 não ficou exposto a condições naturais de secagem, fazendo com que os ovos fiquem menos expostos à dessecação, permanecendo íntegros.

Uma outra observação que pode ser feita é quanto ao maior percentual de ovos de *Toxocara* sp (parasito habitual de cães e gatos) nos lodos 2 e 3 (Figura 5.46) em relação ao lodo 1. Este fato pode ser devido, principalmente, à maior população desses animais nas residências da cidade de Belo Horizonte, onde é forte o hábito de se criar cães e gatos em apartamentos. Diferentemente, o lodo 1 é originário de esgoto produzido em um bairro de periferia da cidade de Itabira/MG, onde estes animais são criados soltos (fora das residências).

Neste trabalho a presença de ovos de *Toxocara* sp mostrou-se relevante, sendo coerente com os estudos conduzidos por Dubin et al. (1972) sobre o nível de contaminação do solo de dois parques por ovos de nematóides dentre eles o *Toxocara* sp. Verificando que no parque 1, mais de 40% das amostras do solo estavam positivas para ovos de *Toxocara* sp e no parque 2, onde a contaminação por fezes de animais é menos óbvia, 19% das amostras estavam contaminadas.

Como pode ser observado na Figura 5.45, houve uma concentração maior de ovos de *Hymenolepis* sp, no lodo 3 em relação aos lodos 1 e 2. Quanto ao lodo 2 essa constatação pode ser explicada também pelo teor de sólidos totais, já que, o lodo 2 sendo o mais seco dentre os 3, apresentou menores quantidades de todos os ovos que foram identificados. Já em relação ao lodo 1 duas observações se fazem importantes.

A primeira pode também ser relacionada ao hábito de se criar animais domésticos dentro das residências em cidades como Belo Horizonte. Uma vez que a espécie que atinge o homem (*H. nana*) pode utilizar pulgas como hospedeiro intermediário, onde há a presença de mais cães e gatos, as chances de ocorrerem tais insetos podem ser maiores, o que em parte justificaria também a maior presença de *Hymenolepis* no lodo 3 em relação ao lodo 1.

Uma outra hipótese, mais óbvia, mas que também pode ser destacada, seria a presença de grande população de ratos em cidades grandes, devido à disponibilidade de restos orgânicos, que são diariamente descartados pela população, além de relatos dos operadores da ETE de que não é raro a verificação da presença desses roedores mortos no esgoto bruto e nas áreas próximas da estação. A espécie *H. diminuta*, tem como parasita habitual os ratos e sempre tem insetos como as pulgas como hospedeiros intermediários. Em consequência, a maior população desses roedores, poderia ser uma fator que acarretaria maior quantidade de *Hymenolepis* no lodo 3.

Ainda quanto aos ovos de helmintos no lodo, Hórak (1992) analisando cinco tipos de lodos, provenientes de três estações de tratamento de esgoto na Tchecoslováquia, encontrou que após a avaliação dos helmintos neles presentes, os principais ovos compreendiam em *Ascaris* sp; *Toxocara* sp; *Toxascaris leonina*; *Parascaris equorum*, *Enterobius vermicularis*; *Trichuris* sp, *Capillaria* sp e *Hymenolepis* sp. Destacando que alguns ovos de *Hymenolepis* sp, e *E. vermicularis* estavam estruturalmente danificados, enquanto que ovos de *Ascaris* sp continham larvas desenvolvidas, confirmando-se o que também foi verificado no presente trabalho, levando-se em consideração as diferenciações geográficas e do tipo de lodo estudado.

Hindiyyeh (1995), estudando a ocorrência e densidade de ovos de parasitos intestinais recuperados de três tipos de lodo resultante do tratamento de esgotos na Jordânia, também relata que os ovos de helmintos mais encontrados incluíam: nematóides (*A. lumbricoides*, *T. trichiura* e *Enterobius* sp), dentre os cestóides foram detectados, *T. saginata*, e *H. nana*.

Sendo que ovos de *T. saginata* e *Enterobius* sp foram pouco encontrados, enquanto que ancilostomídeos não foram detectados em todo o trabalho.

Análise comparativa da viabilidade de ovos de *Ascaris* sp dos lodos estudados

As Figuras 5.48 a 5.51 mostram a análise da viabilidade dos ovos de *Ascaris* sp nos três lodos. Os valores estão expressos em ovos/gMS e valores percentuais respectivamente.

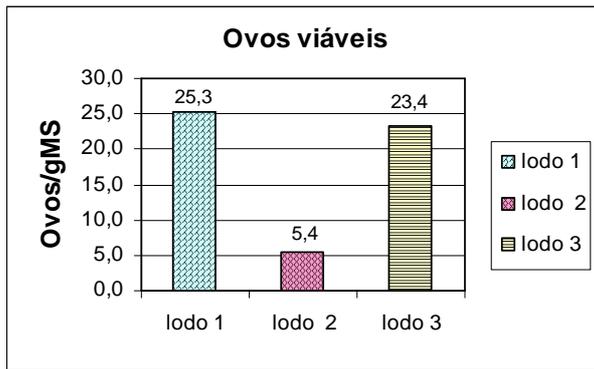


Figura 5.48 – Valores totais da viabilidade dos ovos de *Ascaris* sp .

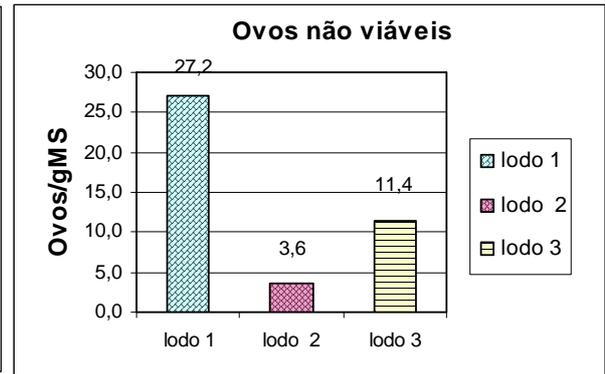


Figura 5.49 – Valores totais da não viabilidade dos ovos de *Ascaris* sp.

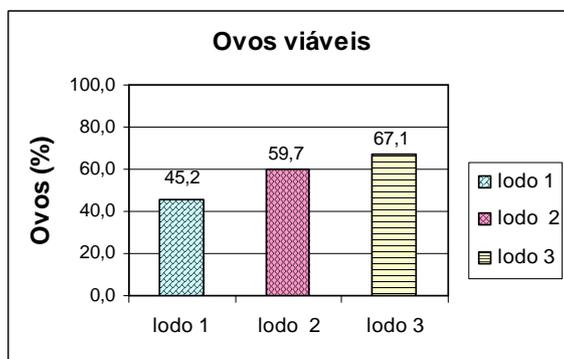


Figura 5.50 – Análise comparativa da viabilidade dos ovos de *Ascaris* sp nos três lodos.

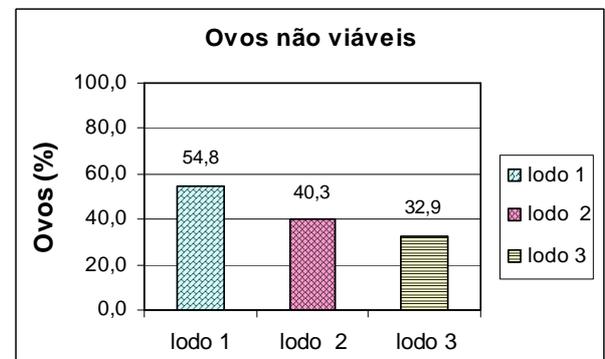


Figura 5.51 – Análise comparativa da não viabilidade dos ovos de *Ascaris* sp nos três lodos.

Pode-se perceber, que embora a quantidade total de ovos (ovos/gMS) observada na Figura 5.45 tenha sido elevada, o percentual de ovos viáveis de *Ascaris* sp no lodo 1 foi menor que ovos não viáveis. O lodo 2, ainda que nele, tenha sido verificado um número total de ovos de *Ascaris* sp inferior em relação aos lodos 1 e 3, mostrou que o percentual de ovos viáveis foi maior. Já o lodo 3 foi o que apresentou o maior percentual de ovos viáveis dentre os três lodos.

Quanto à verificação de ovos viáveis em menor percentual no lodo 1, não foi possível estabelecer se alguma característica geográfica, populacional, metodológica ou algum fator específico do lodo tenha ocasionado este resultado, uma vez que no lodo *in natura*, usualmente, verifica-se maior percentual de ovos viáveis.

Uma hipótese a ser considerada pode ser em relação ao crescimento de fungos nas placas, que poderiam “esconder” ovos que estivessem viáveis, com a ressalva de que as leituras eram sempre feitas de forma extremamente criteriosa e com a maior sensibilidade possível.

Quanto ao maior percentual de ovos viáveis nos lodos 2 e 3, não há que se fazer discussões aprofundadas, pois como já mencionado, este seria um resultado encontrado em condições habituais, certificando-se o que é verificado no ambiente em condições normais.

Os resultados mostram que ovos de helmintos estão sempre presentes em amostras de lodo, de diferentes sistemas de tratamento de esgotos de origem doméstica. Os ovos identificados em alguns dos trabalhos aqui especificados, assim como na presente pesquisa, são basicamente os mesmos, guardadas as devidas diferenças de cada localidade e fatores relacionados à endemicidade dos parasitas em determinadas regiões, associados aos hábitos de cada população e condições de saneamento dos locais de estudo.

Porém, não existem dúvidas quanto à predominância de *Ascaris* sp, devido à sua distribuição cosmopolita e peculiaridades inerentes a este helminto, tais como a grande quantidade de ovos colocados pela fêmea, sua resistência no ambiente e outros fatores já especificados no decorrer deste trabalho. Os demais ovos aqui detectados (*Toxocara* sp, *Hymenolepis* sp, *Trichuris* sp e ancilostomídeos) estão presentes em valores sempre menores em comparação ao *Ascaris* sp e variáveis entre si, porém são importantes do ponto de vista sanitário, ambiental e epidemiológico.

Esta etapa do trabalho teve um significado importante e serve para corroborar a necessidade de se higienizar o lodo quando se pretende reutilizá-lo para fins mais nobres do ponto de vista produtivo e econômico, como a agricultura, recuperação de áreas degradadas e outros, o que atualmente se caracteriza como tendência mundial.

6 CONCLUSÕES

As principais conclusões deste trabalho são apresentadas separadamente, para os experimentos de caleação, de tratamento térmico e, por último, para os estudos de identificação de ovos de helmintos e análise da viabilidade de *Ascaris* sp em lodos *in natura*.

Conforme apresentado nos itens seguintes, ambas as alternativas de higienização mostraram-se eficientes, sendo que a opção por uma determinada alternativa dependerá de uma série de fatores e especificidades locais, a exemplo de: quantidade de lodo gerada, clima, qualificação da mão de obra, área disponível, tipo de reúso agrícola etc., além do desenvolvimento de estudos técnico-econômicos que subsidiem a escolha.

De uma maneira geral, a higienização por caleação pressupõe a prévia desidratação do lodo, sendo que a principal dificuldade relaciona-se à garantia da completa homogeneização da massa lodo/cal. Todavia, constitui-se em uma alternativa muito simples e pouco dependente de mão de obra qualificada.

Quanto à alternativa de higienização por tratamento térmico, esta é geralmente aplicada ao lodo úmido (sem desidratação prévia), sendo que a principal dificuldade relaciona-se à necessidade de coleta, armazenamento e queima do biogás. Apesar de ser uma alternativa que requer mais equipamentos, apresenta a vantagem de dispensar a utilização de dispositivos de desidratação do lodo. Por outro lado, há a necessidade de veículos para transportar o lodo úmido, em maiores volumes que se o lodo fosse desidratado.

6.1 Experimentos de caleação

- A caleação mostrou-se uma alternativa bastante eficiente na inviabilização e na destruição de ovos de helmintos presentes em amostras de lodo de esgoto. O processo é relativamente simples e não requer nenhum equipamento específico para sua realização, sendo que os maiores custos recaem sobre a aquisição da cal. A homogeneização da mistura de lodo com a cal pode ser feita de maneira simplificada (manual ou com betoneira) nos casos de menor produção de lodo. Para sistemas que produzem mais lodo, podem ser utilizados equipamentos específicos, já produzidos por diversas empresas especializadas.
- Quando se opta pelo uso da cal hidratada, o monitoramento do pH constitui-se numa etapa de extrema importância, já que a elevação da alcalinidade é o principal parâmetro a

influenciar a inativação dos ovos de helmintos (nesses casos, a elevação da temperatura é insignificante).

- O tempo de contato entre o lodo e a cal é fator de extrema importância no processo de caleação, a fim de possibilitar a “maturação” dos dois produtos. Neste trabalho, a caleação mostrou-se 100% eficiente na inviabilização de ovos de helmintos após 30 dias de contato entre o lodo e a cal, nas três dosagens estudadas (30, 40 e 50% de cal) confirmando-se esse valor aos 60 dias, atendendo aos padrões da legislação da OMS e do estado do Paraná (0,25 ovo viável/gMS).
- Também a ocorrência de ovos não viáveis mostrou-se extremamente baixa nos experimentos de caleação, sendo que para a dosagem de 50% e após 60 dias de contato não mais se detectou a presença de nenhum ovo de helminto. Quando detectados, os ovos não viáveis mostraram-se deteriorados, não mais representando perigo para a saúde da população.

6.2 Experimentos de tratamento térmico

- O trabalho desenvolvido mostrou-se de extrema importância, uma vez que aponta para uma solução autossustentável em relação à higienização de lodos, a partir da queima do biogás gerado na própria estação de tratamento, com a possibilidade do seu reúso de forma benéfica. Os resultados aqui apresentados levam à conclusão pela eficiência e viabilidade da tecnologia avaliada.
- O fator mais importante nos experimentos foi a relação temperatura/tempo de exposição, que permite combinações variadas para a inativação/eliminação de microrganismos patogênicos, aqui em especial os ovos de *A. lumbricoides*.
- Os resultados referentes ao número total de ovos indicam não só a inativação dos ovos viáveis, mas também sua possível destruição, uma vez que a recuperação destes, na maioria dos ensaios, mostrou uma tendência ao decréscimo com o decorrer do tempo de aquecimento.
- Na etapa 1 deste experimento, desenvolvida com o aparato em escala piloto, a fase 3 (que foi a mais otimizada) mostrou que a temperatura em torno de 63 °C e tempo de exposição de aproximadamente 25 minutos foi suficiente para inviabilizar 100% dos ovos de *Ascaris*. Na fase 4, o biogás produzido no sistema foi mais que suficiente para a higienização térmica de todo o lodo produzido, tendo sido alcançada a completa

inviabilização dos ovos de *A. lumbricoides* com 2 horas de aquecimento do lodo, quando a temperatura atingiu valores em torno de 54 °C, confirmando-se esse resultado de 100% de inviabilização com 4 horas de aquecimento e temperatura em torno de 69 °C.

- Na etapa 2, desenvolvida em escala de demonstração, houve variações no tempo necessário para se elevar a temperatura até os valores que neste trabalho foram considerados ideais (100% de inativação). De um modo geral, a completa inviabilização dos ovos de *A. lumbricoides* foi alcançada com 5 horas de aquecimento do lodo, quando a temperatura atingiu valores em torno de 67 °C.

6.3 Identificação de ovos de helmintos e análise da viabilidade de *Ascaris sp* em lodos *in natura*

- Os estudos mostraram que ovos de helmintos estão sempre presentes no lodo de esgotos domésticos, notadamente em países onde ainda persistem precárias condições de saneamento/saúde. Para os três tipos de lodos estudados, foram obtidas concentrações médias de 63 ovos/gMS para o lodo 1, 13 ovo/gMS para o lodo 2 e 51 ovos/gMS para o lodo 3.
- *Ascaris sp* foi sempre o parasito predominante nas amostras de lodo (prevalência usualmente superior a 50%), tendo sido, ainda, detectados ovos de *Toxocara sp*, *Hymenolepis sp*, *Trichuris sp* e ancilostomídeos.
- As variações nas quantidades e nos percentuais de prevalência dos ovos dos parasitos identificados podem estar relacionados aos hábitos e peculiaridades da população de cada localidade, além das características intrínsecas aos sistemas de tratamento e de desaguamento do lodo.
- Os resultados demonstram que a análise das águas residuárias brutas e do lodo gerado nos processos de tratamento pode servir como um perfil sanitário das localidades e do nível de saúde da sua população.
- Os lodos estudados nesta etapa do trabalho, para serem reutilizados na agricultura ou outro fim que coloque humanos e/ou animais em exposição a estes parasitos, devem ser submetidos a algum tipo de higienização, a exemplo da caleação ou do tratamento térmico.

7 RECOMENDAÇÕES

- Continuidade dos testes de higienização térmica no aparato em escala de demonstração, de forma a possibilitar o monitoramento dos ovos em intervalos de tempo mais reduzidos, uma vez que a inviabilização total pode ocorrer em menos de 5 horas.
- Ainda em relação ao tratamento térmico, recomenda-se que estudos sejam realizados almejando a implementação do sistema em escalas maiores, principalmente no que se refere à reservação e a queima do biogás.
- Considerando que a prática de inocular ovos de *Ascaris lumbricoides*, a partir da obtenção de vermes adultos de pacientes humanos, mostrou-se muito trabalhosa, recomenda-se que sejam firmados convênios com órgãos de saúde, para que se tenha um fornecimento mais perene dos vermes. Outra alternativa seria o uso de *Ascaris suum* como organismo indicador, já que este se apresenta em todas as suas características muito semelhantes ao *A. lumbricoides*, sendo necessário um trabalho conjunto com cursos e hospitais veterinários ou instituições que viabilizem a criação de suínos.
- Uma verificação da literatura disponível indica que há uma necessidade de se universalizar a definição de termos em relação ao estudo da viabilidade dos ovos, padronizando termos como: “ovo viável, ovo não viável, destruição e/ou eliminação de ovos” para diminuir o risco de possíveis falhas na caracterização da viabilidade dos ovos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMER, A. A. Destruction of sludge pathogenic bacteria using quick lime and cement dust. *Egypt. Journal Soil Science*, v. 37, n. 3, p. 343-354 1997 *apud* GANTZER et al. Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. *Water Research*, London, v. 35, n. 16, p. 3763-3770, 2001.

AWWA/APHA/WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20^o ed. Washington, 1998.

ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P. (Ed.) *Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto*. SANEPAR/PROSAB, Curitiba, 2000. 86 p.

ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C.; CHERUBINI, C.; TELES, C. R.; CARNEIRO, C. e FERNANDES, F. Higienização do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.) *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. PROSAB, Rio de Janeiro: PROSAB, RIMA, ABES, 2001b. cap. 4, p. 87-117.

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. ILHENFELD, R.G. K.(Org.) *Lodo: Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. 97 p.

ARFAA, F. The effect of various chemicals and temperature in destruction of the eggs of *Ascaris lumbricoides*: A progress report. *Iranian J. Puplic Health*, v.4, p. 186-195 1978 *apud* HINDIEY M. Y. *Enumeration and survival studies on helminth eggs in relation to treatment of anaerobic and aerobic sludges in Jordan*.1991. p. 368. PhD Thesis en Environmental Engineering. New Castle Upon Tyne. England-UK.

ARTHUR, E. J.; SANBORN, R. L. Osmotic and ionic regulation in nematodes. In: *Chemical Zoology*, vol. 3 (ed. M. Florkin and B. T. Scheer). Academic Press: London & New York, 1969 *apud* WHARTON, D. A Nematode egg-shells. *Parasitology*, Cambridge University Press, n.81, p. 447-463, 1980.

AZEVEDO, E. A. de. *Exclusão sanitária em Belo Horizonte – MG: caracterização e associação com indicadores de saúde*. 2003. 175 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte.

BARNARD, R. J.; BIER, J. W.; JACKSON, G. J.; McCLURE, F. D. *Ascaris lumbricoides suum*: thermal death time of unembryonated eggs. *Experimental Parasitology*, Academic Press New York, v. 64, p. 120-122, 1987.

BIO – REVISTA BRASILEIRA DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE. Rio de Janeiro: ABES, Ano XI, n. 17, Jan/Mar 2001. p. 17-36. Caderno especial.

BURDEN, D. J.; GINNIVAN, M. J. The destruction of pig helminth ova and larvae in a slurry treatment process. *The Veterinary Record*, v.103, p.373-375 out. 1978.

CÁCERES, A.; XET, A. M.; FLORES, G. Simplified methodology for helminth egg counts and viability in organic fertilizer.Center for Mesoamerican studies on appropriate techonology. (CEMAT) Guatemala. 31 p. 1987.

CAPIZZI, S.; SCHWARTZBROD, J. Surface properties of *Ascaris suum* eggs: hydrophobic potential and Lewis acid-base interactions. *Elsevier Science B. V. Colloides And Surfaces B*, 22. p. 99-105. 2001.

CARDOSO, M. R. e CHERNICHARO, C. A. L.; Desenvolvimento de um reator UASB compartimentado, aplicado ao tratamento de esgotos tipicamente domésticos. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, Tema I-066, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 1999.

CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores Anaeróbios*. Belo Horizonte: DESA – UFMG, 1997. 245 p. (Princípio do tratamento biológico de águas residuárias, 5).

COSTA, M. C. E.; COSTA-MACEDO, L. M.; ALMEIDA, L. M.; COELI, C. M.; COLLETY, P. E.; TAVARES, D. A. Prevalência de enteroparasitoses em comunidade sob intervenção ambiental do programa de despoluição da Baía de Guanabara. *Cad. Saúde Coletiva*. v. 6. Supl. 1. 1998 p. 49-60 *apud* CAMPOS M. R.; VALENCIA, L. I. O.; FORTES, B. P. M. D.; BRAGA, R. C. C.; MEDRONHO, R. A. Distribuição espacial da infecção por *Ascaris lumbricoides*. *Rev. Saúde Pública*. São Paulo, v. 36 n. 1. p. 69-74, 2002.

CRAM, E. B. The effect of various treatment processes on the survival of helminth ova and protozoan cysts in sewage. *Sewage Works Journal*. ,v. 15, n. 6, p.1119-1138, nov. 1943.

DUBIN, S.; SEGALL, S.; MARTINDALE; J. Contamination of soil in two city parks with canine nematode ova including *Toxocara canis*: a preliminary study. *American Journal of Public Health* (Public Health Briefs), Washington, v. 65, n. 11 nov. 1975.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge (Including domestic septage) under 40 CFR part 503. Office of Science and Technology Sludge Risk Assessment Branch. Washington, DC 20460, 1992. 151 p.

ERIKSEN, L.; ANDREASEN, P.; ILSØE, B. Inactivation of *Ascaris suum* eggs during storage in lime treated sewage sludge. *Water Research*, London, v. 30, n. 4, p. 1026-1029, 1995.

FAIRBAIRN, D. The Biochemistry of *Ascaris*. *Experimental Parasitology*, Academic Press, New York, v.6, p. 491-554, 1957.

FARREL, J. B. Memo to Emery Lazar, “Documentation of Scientific Bases for Best Management Definitions”, USEPA, Cincinnati, Ohio, 1979 *apud* HAY, J. C. Pathogen destruction na biosolid composting. *BioCycle*, Emmaus, v. 37, n. 6, p.67-76, jun 1996.

FEACHEM R. G; BRADLEY, D. J.; GERELICK, H. and MARA, D. D. Sanitation and Disease – Health Aspects of Excreta and Waste Water Management. Chichester: John Wiley & Sons, 501p. 1983, *apud*, HINDIEY, M. Y. *Enumeration and survival studies on helminth eggs in relation to treatment of anaerobic and aerobic sludges in Jordan*.1991. f. 368. PhD Thesis en Environmental Engineering. New Castle Upon Tyne. England-UK.

FERNANDES, F. LOPES, D. D.; ANDREOLI, C. V.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*: (Princípio do tratamento

biológico de águas residuárias, 6). Belo Horizonte: DESA - UFMG/SANEPAR, 2001, v. 6, cap. 7, p.299-317.

FERNANDES, F. Desinfecção de esgotos e higienização do lodo. In: Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento, 1, 2000, Vitória/ES. p. 66-74.

FERNANDES, F.; LARA, A. I.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. In: ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F.; LARA, I. A. (Org.). *Reciclagem de Biossólidos: Transformando Problemas em Soluções*. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 1999, p. 288.

FERNANDES, F. Produção e processamento de biossólido: Estabilização e Higienização. In: Seminário sobre gerenciamento de Biossólidos do Mercosul, 1, 1998, Curitiba, PR. Anais... Curitiba/PR: SANEPAR/ABES, 1998, p. 47- 50.

FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. R. P.; BORGES, J. C. 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, jan./abr. 1996.

GALVÁN, M.; de VICTORICA, J. Implicaciones sanitarias de la presencia de huevos viables de nemátodos en el agua para riego y necesidad de su evaluación rápida. In: *Anais eletrônico XXVI Congresso Interamericano de ingenieria sanitaria y ambiental*. Lima, 9 p. 1998.

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

GASPARD, P.;WIART, J.; SCHWARTZBROD, J. Sludge hygienization: helminth eggs (ascaris ova) destruction by lime treatment. *Recent Res. Dev. Microbiol.* v. 1, p. 77-83 (1997 b) *apud* GANTZER et al. Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. *Water Research*, London, v. 35, n. 16, p. 3763-3770, 2001.

GANTZER, C.; GASPARD, P.; GALVEZ, L.; HUYARD, A.; DUMOUTHIER, N. and SCHWARTZBROD, J. Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. *Water Research*, London, v. 35, n. 16, p. 3763-3770, 2001.

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

HALL, A.; HOLLAND, C. Geographical variation in *Ascaris lumbricoides* fecundity and its implications for helminth control. *Parasitology Today*, Oxford, v. 16. n. 12, p. 540-544 2000.

HAY, J. C. Pathogen destruction na biosolid composting. *BioCycle*, Emmaus, v. 37, n. 6, p.67-76, jun 1996.

HAYS, B. D. Potential for parasitic disease transmission with land application of sewage plant effluents and sludge. *Water. Research.* London, n. 11. p. 583-595 1977 *apud* CABIROL, N., ROJAS OROPEZA, M., NOYOLA A. Removal of helminth eggs and fecal coliforms by anaerobic thermophilic sludge digestion. In: 9th WORLD CONGRESS ANAEROBIC DIGESTION 2001. Anaerobic Conversion for Sustainability. Proceedings - Part 1, Antwerpen. Belgium. September 2-6, 2001.

HINDIEY M. Y. *Enumeration and survival studies on helminth eggs in relation to treatment of anaerobic and aerobic sludges in Jordan*. 1991. f. 368. PhD Thesis en Environmental Engineering. New Castle Upon Tyne. England-UK.

HORÁK, P. Helminth eggs in the sludge from three sewage treatment plants in Czechoslovakia. *Folia Parasitologica*, Praga, v. 39, p. 153-157 1992

ILHENFELD, R.G. K.; ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. *Higienização do lodo de esgoto. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999, cap. IV, p.34-45.

JETTMAR, H. M.; EXNER, H. Thermoresistenzversuche na *Ascaris* und *Trichuris* Eiern. (Experiments on the thermoresistance of *Ascaris* and *Trichuris* eggs). *Archiv für Hyg. Bakt.* Sweden, v.134, p.173-186 *apud* PLYM-FORSHELL, L. Survival of *Salmonellas* and *Ascaris suum* eggs in a thermophilic biogas plant. *Acta Veterinaria Scandinavica*, v. 36, n. 1, p. 79-85, 1995.

KELLER, P. Sterilization of sewage sludge. II. The influence of heat treatment on the ova of *Ascaris lumbricoides* in sewage. *Journal of the Institute of Sewage Purification*, v.1 p. 100-109 1951 *apud* HINDIEY M. Y. *Enumeration and survival studies on helminth eggs in relation to treatment of anaerobic and aerobic sludges in Jordan*.1991. p. 368. PhD Thesis en Environmental Engineering. New Castle Upon Tyne. England-UK.

KIFF, R.; LEWIS-JONES, R. Factors that govern the survival of selected parasites in sewage sludges. Ch 25. In: *Sewage Sludge Stabilization and Disinfection*, ed. Bruce, A. M., Chilchester, Ellis Horwood, p. 453-461, 1984 *apud* HINDIEY M. Y. *Enumeration and survival studies on helminth eggs in relation to treatment of anaerobic and aerobic sludges in Jordan*.1991. p. 368. PhD Thesis en Environmental Engineering. New Castle Upon Tyne. England-UK.

KÖNIG A. Influência do tempo de decantação na concentração de ovos de helmintos em esgoto doméstico bruto. In: Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento,1, 2000, Vitória, ES. *Anais...* Vitória/ ES: UFES/FNS (Ministério da Saúde), 2000, p. 28 – 33.

LARA, A. I. de; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. *Avaliação dos impactos ambientais e monitoramento da disposição final do lodo*. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: DESA - UFMG/SANEPAR, 2001, v. 6, cap. 11, p.465-483.

LUDUVICE, M. Processos de estabilização do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: DESA - UFMG/SANEPAR, 2001, v. 6, cap. 4, p.123-157.

MARTINS, M. T.; SANCHES, P. S. Caracterização microbiológica e parasitológica de lodos de esgotos e fertilizantes organo-mineral. CETESB, 1985, p. 12.

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. 121 f. Dissertação (Mestrado

em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MASSARA, C. L. *Viabilidade de ovos de Ascaris lumbricoides eliminado após terapêutica anti-helmíntica*. 1988. Dissertação (Mestrado em Parasitologia). Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MENDONÇA, L. C. *Desidratação térmica e desinfecção química com cal de lodo de reator aneróbio de manta de lodo (UASB) tratando esgotos sanitários*. 1999.130 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MEYER, K. B.; MILLER, K. D.; KANESHIRO, E. S. Recovery of *Ascaris* eggs from sludge. *The Journal of Parasitology*, v. 64, n 2, p. 380-383. April, 1978.

MONTENEGRO, L.; SIQUEIRA, S. O esgoto que não entrou pelo cano. *Reportagem*, Belo Horizonte, ano III, n.32, p.13-14, mai. 2002.

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 de *Vibrio cholerae* em amostras de lodo. *Sanare*, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 59-62, Jan/Abr. 1996.

NEVES, D. P.; MELO, A. L.; GENARO O.; LINARDI, P. M. *Parasitologia Humana*. 10^o Ed. São Paulo. Atheneu, 2000. 428 p.

NOLF, L. O. Experimental studies on certain factors influencing the development and viability of the ova of the human *Trichuris* as compared with those of the human *Ascaris*. *American Journal of Hygiene*, n. 16, p. 288-322, 1932.

OGATA, S. The destruction of *Ascaris* eggs. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, n. 19, p. 301-304, 1925 *apud* HINDIEY M. Y. *Enumeration and survival studies on helminth eggs in relation to treatment of anaerobic and aerobic sludges in Jordan*. 1991. f. 368. PhD Thesis en Environmental Engineering. New Castle Upon Tyne. England-UK.

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 e por pasteurização*. 2001. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

PASSAMANI, F. R. F.; GONÇALVES, R. F. Higienização de lodos de esgotos. In: GONÇALVES, R. F. (coord.). *Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas*. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, 1999, cap. 7, p.63-67.

PASSEY, R. F; FAIRBAIRN, D. The respiration of *Ascaris Lumbricoides* eggs. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, v. 33, p. 1033-1046, 1955.

PINTO M. T. Higienização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: DESA - UFMG/SANEPAR, 2001, v. 6, cap. 6, p.261-297.

PLYM-FORSHELL, L. Survival of Salmonellas and Ascaris Suum eggs in a thermophilic biogas plant. *Acta Veterinaria Scandinavica*, v. 36, n. 1, p. 79-85, 1995.

POLPRASERT, C.; VALENCIA, L. G. The inactivation of faecal coliformis and *Ascaris ova* in faeces by lime. *Water Research, Great Britain*, v.15, p. 31-36, 1981.

REIMERS, R. S.; DESOCIO, E. R. Current/future advances in biosolids disinfection processing. *Proceedings Weftec'98*, Orlando, p. 445-459 1998 *apud* GANTZER, C.; GASPARD, P.; GALVEZ, L.; HUYARD, A.; DUMOUTHIER, N. and SCHWARTZBROD, J. Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. *Water Research*, London, v. 35, n. 16, p. 3763-3770, 2001.

REY, L. *Parasitologia. Parasitos e doenças parasitárias do homem nas Américas e na África*. 2ª edição. Guanabara Koogan S. A. Rio de Janeiro, 1991, 731 p.

REYES, W. L.; KRUSE, C. W.; BATSON, M. The effect of aerobic and anaerobic digestion on eggs of *Ascaris lumbricoides* var. *suum* in nightsoil. *American Journal Tropical Med.*, v. 12 p. 45-55 1963 *apud* HINDIEY M. Y. *Enumeration and survival studies on helminth eggs in relation to treatment of anaerobic and aerobic sludges in Jordan*.1991. p. 368. PhD Thesis en Environmental Engineering. New Castle Upon Tyne. England-UK.

RUDOLFS, W.; FALK, L. L.; RAGOTZKIE, R. A. Literature review on the occurrence and survival of enteric, pathogenic, and related organisms in soil, water, sewage, and sludges, and on vegetation. II. Animal Parasites. *Sewage and Industrial Wastes*, v.22, n. 11, p. 1417-1427, nov. 1950.

RUDOLFS, W.; FALK, L. L.; RAGOTZKIE, R. A. Contamination of vegetables-grown in polluted soil. V. Helminthic Decontamination. *Sewage and Industrial Wastes*, v.23, n. 7, p. 853-860, jul. 1951.

SCHAFFERT, R.; STRAUCH, D.; The rotating aeration (System FUCHS) for treatment of liquid animal and municipal wastes. 5. Report: Investigations on the disintegration of eggs from *Ascaris suum* in slurry from pigs and municipal sewage sludge. *Berl. Muench.Tierärztl. Wochenschr.*,v.89, p.399-402 1976 *apud* PLYM-FORSHELL, L. Survival of Salmonellas and Ascaris Suum eggs in a thermophilic biogas plant. *Acta Veterinaria Scandinavica*, v. 36, n. 1, 1995, p. 79-85, 1995.

SCHUH, R.; PHILIPP, W.; STRAUCH, D. Influence of sewage sludge with and without lime treatment on the development of *Ascaris suum* eggs. In *Inactivation of Microorganisms in Sewage by Stabilisation Processes*, (eds.) D. STRAUCH; A. H. Havelaar and P. L. L'Hermite, p. 100-113 *apud* GANTZER, C.; GASPARD, P.; GALVEZ, L.; HUYARD, A.; DUMOUTHIER, N. and SCHWARTZBROD, J. Monitoring of bacterial and parasitological contamination during various treatment of sludge. *Water Research*, London, v. 35, n. 16, p. 3763-3770, 2001.

SEAMSTER, A. P. Development studies concerning the eggs of *Ascaris lumbricoides* var. *suum*. *American Midland Naturalist*, v.43, p. 450-470, 1950 *apud* HINDIEY M. Y. *Enumeration and survival studies on helminth eggs in relation to treatment of anaerobic and aerobic sludges in Jordan*.1991. p. 368. PhD Thesis en Environmental Engineering. New Castle upon Tyne. England-UK.

SILVA, S. M. C. da. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: DESA - UFMG/SANEPAR, 2001, v. 6, cap. 3, p.69-121.

STEVENSON, P. The influence of environmental temperature on the rate of development of *Ascaris suum* eggs in Great Britain. *Research in Veterinary Science*, v. 27, p.193-196, 1979.

STOTT, R. Enumeration of intestinal helminth ova in raw and treated wastewaters. A training manual. *Wastewater Parasitology*. Department of Civil Engineering. University of Portsmouth.1998.

TEIXEIRA, J. C. Associação entre cenários de saneamento e diarreia, estado nutricional e parasitoses em crianças. Estudo em áreas de assentamento subnormal em Juiz de Fora – MG. 2003. 210 p. Projeto de Tese. (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Agentes patogênicos: helmintos e protozoários. In: ANDREOLI C. V.; FERNANDES F.; LARA I. A.(Org.). *Reciclagem de Biossólidos: Transformando Problemas em Soluções*. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 1999, cap. 3, p.156-174.

THOMAZ-SOCCOL, V. Aspectos Sanitários do Lodo de Esgoto. In: Seminário Sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul, 1, 1998, Curitiba. *Anais...* SANEPAR/ABES, 1998, p. 65-72.

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, 1997.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. de; MELFI, J. A.; MELO, W. J.de; MARQUES, M. O. (Ed.) *Biossólidos na Agricultura*. São Paulo: Ed. SABESP, USP, ESALQ, UNESP, 2001. cap.5, p.133-180.

VON SPERLING, M; ANDREOLI, C. V. *Introdução*. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: DESA - UFMG/SANEPAR, 2001, v. 6, cap. 1, p.13-16.

VON SPERLING, M; GONÇALVES, R. F. *Lodo de esgotos: características e produção*. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: DESA - UFMG/SANEPAR, 2001, v. 6, cap. 2, p.17-67.

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

WORLD HEALTH ORGANIZATION. World Health Statistics annual, WHO, Geneva, Switzerland. 1990 *apud* THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A. Agentes patogênicos: helmintos e protozoários. In: ANDREOLI C. V.; FERNANDES F.; LARA I. A.(Org.). *Reciclagem de Biossólidos: Transformando Problemas em Soluções*. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 1999, cap. 3, p.156-174.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. HealthGuidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Technical Report Series 778. Geneva: World Bank, (1989) *apud* SILVA, S. M. C. da. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: DESA - UFMG/SANEPAR, 2001, v. 6, cap. 3, p. 69-121.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. HealthGuidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Technical Report Series 778. Geneva: World Bank, (1989) *apud* KÖNIG, A. Influência do tempo de decantação na concentração de ovos de helmintos em esgoto doméstico bruto. In: Seminário Nacional de Microbiologia Aplicada ao Saneamento,1, 2000, Vitória, ES. *Anais...* Vitória/ ES: UFES/FNS (Ministério da Saúde), 2000, p. 28-33.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Intestinal parasitic infections an how best to prevent them. World Health 16-17, March,1984, *apud* NEVES, D. P.; MELO, A. L.; GENARO O.; LINARDI, P. M. *Parasitologia Humana*. 10° Ed. São Paulo. Atheneu, 2000. 428 p.

WHARTON, D. A *Ascaris* sp: Water loss during desiccation of embryonating eggs. *Experimental Parasitology*, Academic: Press: New York and London, 48, p. 398-406, dez.1979.

WHARTON, D. A Nematode egg-shells. *Parasitology*, Cambridge University Press, 81, p. 447-463, 1980.

YANKO, W. A. Occurrence of pathogen in distribution and marketing municipal sludges. County Sanitation Districts of Los Angeles County, Whittier, CA. In: EPA/625/R – 92/013. Environmental Regulations and Techonology. *Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge*. 1992. 152 p.