



II-225 – HIGIENIZAÇÃO DE LODO ANAERÓBIO DE ESGOTO SANITÁRIO POR MEIO ALCALINO

Ana Lúcia Colares Lopes Rocha ⁽¹⁾

Engenheira Civil, especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), mestranda em Engenharia do Meio Ambiente pela Universidade Federal de Goiás (UFG), Gerente de Tratamento de Esgotos da Superintendência de Serviços do Interior da Saneamento de Goiás S.A. (Saneago).

Rogério de Araújo Almeida

Engenheiro Agrônomo, especialista em Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos e Líquidos pela UFG, Mestre e Doutor em Agronomia pela UFG, Professor Adjunto da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Maura Francisca da Silva

Bióloga pela Universidade Católica de Goiás (UCG), Especialista em Saúde Pública pela Universidade de Ribeirão Preto (UNERP), Mestre em Engenharia do Meio Ambiente pela UFG, Supervisora do Laboratório Central de Esgoto da Saneago.

Denise Barini Botelho Novais

Bióloga pela Universidade Federal de Goiás (UFG), Técnica em Saneamento da Gerência de Suporte ao Tratamento de Esgotos da Superintendência de Serviços do Interior da Saneago.

Endereço⁽¹⁾: Rua 1027 Nº 204, apto 1502 – Setor Pedro Ludovico – Goiânia - Goiás – CEP 74823-120 – Brasil – Tel:+55 (62) 3243 3462 – Fax: +55 (62) 3243 2611 – e-mail:analucia@saneago.com.br

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência da higienização alcalina do lodo de esgoto sanitário, proveniente de um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), da Estação de Tratamento de Esgotos – ETE Lages, localizada em Aparecida de Goiânia-GO e operada pela Saneamento de Goiás S.A. – Saneago. Foram realizados dois experimentos, um com cal hidratada e outro com cal virgem. A cal foi misturada ao lodo de esgoto nas concentrações de 0%, 12,6%, 21% e 29,4%, para cada experimento, com três repetições. Foram coletadas amostras de cada tratamento a 0, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a mistura. Avaliaram-se os Coliformes termotolerantes, Ovos totais e Ovos viáveis de helmintos, Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV), SV/ST, pH e Umidade. Considerando o atendimento à resolução Conama nº 375 (CONAMA, 2006) para lodos tipo “A”, com relação aos parâmetros de coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos, ambas as cals, virgem e hidratada, foram eficientes. Em função das dosagens aplicadas e do tempo de estocagem, os tratamentos com a cal virgem se destacaram pelo maior potencial de elevação e manutenção do pH e pela maior eficiência na remoção de coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETE, Estabilização Química, Calagem, Biossólido, Tratamento Alcalino

INTRODUÇÃO

A higienização do lodo de esgoto é uma etapa a ser cumprida, quando se visa a reciclagem agrícola. Os critérios e procedimentos para o uso agrícola do lodo gerado em estações de tratamento de esgotos sanitários são estabelecidos pela resolução nº 375 (CONAMA, 2006).

Um gerenciamento de lodo de esgotos, quando mal executado, pode se tornar uma atividade de grande complexidade e de alto custo e risco, comprometendo o meio ambiente e os benefícios sanitários do tratamento de esgotos. Segundo Sperling; Andreoli (2001), o tema reconhecido pela Agenda 21 “Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas aos esgotos”, ressaltou a importância da prática do gerenciamento do lodo, definindo orientações para a sua gestão: a redução na produção, a reciclagem e a promoção de depósitos e tratamentos ambientalmente adequados.

A alternativa de disposição de lodo de esgoto mais utilizada tem sido o envio para os aterros sanitários para a co-disposição com os resíduos sólidos urbanos. A realidade da maioria dos pequenos municípios no Brasil de



não possuir disposição adequada de seus resíduos sólidos, inviabiliza essa alternativa para o setor de saneamento, como no caso do Estado de Goiás. A maioria dos sistemas de tratamento de esgotos existentes no Brasil, não contemplou o tratamento desse resíduo visando a reciclagem e esses resíduos tem sido dispostos em aterros ou tem se acumulado nas áreas das ETEs.

Dentre os processos de higienização existentes, destaca-se o tratamento alcalino com a utilização da cal, denominados também de calagem e estabilização química, pelo baixo custo e simplicidade operacional. Estudos realizados no Brasil têm demonstrado que essa técnica apresenta eficiência segura na eliminação de patógenos.

O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar, ao longo do tempo, lodos anaeróbios provenientes de reator do tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), submetidos ao tratamento alcalino por meio da cal virgem e da cal hidratada.

Com base nos resultados obtidos, avaliou-se a adequação dessa alternativa de tratamento ao atendimento da regulamentação para utilização do lodo em áreas agrícolas, conforme dispõe a resolução Conama nº 375.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Estação de Tratamento de Esgotos – ETE Lages, localizada em Aparecida de Goiânia–GO e operada pela Saneamento de Goiás S.A. – Saneago, com o lodo proveniente do reator anaeróbio do tipo UASB.

Caracterização da área de estudo

O município de Aparecida de Goiânia integra a microrregião de Goiânia, estando situado a 18 km do centro da capital do Estado pela rodovia BR 153. A população do município é de 494 919 habitantes (IBGE, 2008) e a cobertura dos serviços de esgotamento sanitário estimada é de 14% da população.

A ETE Lages possui reatores anaeróbios seguidos de lagoas de estabilização e trata atualmente 20 L/s, referentes a cerca de 30% de sua capacidade instalada. Os esgotos coletados são predominantemente domésticos, por não existirem atividades industriais na área da bacia contribuinte. Foram implantados dois módulos de reatores anaeróbios, sendo o descarte do lodo excedente alternado entre os dois módulos a cada mês. São descartados mensalmente 113m³ de lodo digerido com concentração de sólidos totais em torno de 6% a 8%, correspondendo a um tempo médio de residência do lodo no reator de aproximadamente 60 dias. O lodo é desaguado por meio de leitos de secagem e é removido do leito após 20 a 40 dias dependendo das condições ambientais. A produção mensal de lodo é estimada em 29m³, com teor de umidade médio de 50% (SANEAGO, 2007).

A pesquisa foi realizada de 19/06/08 a 23/10/08, compreendendo de um extenso período de estiagem na região centro-oeste. Segundo consulta aos dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009) da estação Goiânia, não houve registros de chuva de junho a agosto e nos meses de setembro e outubro os registros de chuva acumulada foi de 50mm e 110mm, respectivamente. As temperaturas médias registradas na área da ETE no período diurno variaram de 23°C a 28°C e foram registradas chuvas nos dias 20, 21 e 29/09 e 02, 03, 04, 05, 11, 19, e 21/10.

Descrição da Metodologia

Para o tratamento alcalino do lodo foram utilizadas a cal hidratada e a cal virgem em dois experimentos distintos, sendo cada um constituído de quatro tratamentos (uma testemunha, sem adição de cal, e os demais representando três dosagens de mistura de cal pré-definidas), com três repetições. O desenvolvimento da pesquisa caracterizou três fases distintas: a primeira para se definir as concentrações de cal a serem utilizadas, a segunda relacionada com a execução da calagem do lodo em campo e acondicionamento do material tratado, e a terceira relativa à programação e execução das coletas para análises laboratoriais, ao longo do tempo. A seguir estão descritas estas fases.



Definição das concentrações de cal a serem utilizadas

Para definirem-se as concentrações em peso seco de cal a serem utilizadas, foi realizado um teste preliminar em que se verificou o atendimento ao Anexo I da resolução Conama N° 375 (CONAMA, 2006), que trata da redução da atratividade de vetores. Avaliaram-se quais as concentrações de cal elevariam o pH até pelo menos 12, por um período mínimo de 2 horas, permanecendo acima de 11,5 por mais 22 horas. Foram testadas as concentrações de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, para a cal virgem e para a cal hidratada. Foi coletada uma amostra de aproximadamente 3 Kg de lodo de um dos leitos de secagem. Determinaram-se o pH e a umidade da amostra e calcularam-se as massas da cal para cada concentração. Efetuaram-se as misturas de alíquotas de 200g de lodo com a respectiva massa de cal, nos dez tratamentos propostos, manualmente, por um tempo de 1 minuto, suficiente para uma perfeita homogeneização da mistura. O pH foi determinado, imediatamente após cada mistura, após 2 horas e após 24 horas da mistura. O Quadro 1 apresenta os valores de pH determinados nas misturas.

Quadro 1: Valores de pH de amostras de lodo anaeróbio em três momentos, após serem misturadas em cinco concentrações de cal hidratada e de cal virgem

Concentração	pH instantâneo	Após 2 horas	Após 24 horas
Cal (%)		Cal hidratada	
10	11,99	11,45	10,95
20	12,41	12,38	12,27
30	12,45	12,30	12,48
40	12,34	12,43	12,40
50	12,43	12,39	12,46
Cal (%)		Cal virgem	
10	12,61	12,15	11,65
20	12,36	12,35	12,26
30	12,49	12,33	12,44
40	12,47	12,19	12,11
50	12,31	12,49	12,48

(O pH do lodo sem a mistura da cal foi de 5,2)

Observou-se que para a cal hidratada apenas a concentração de 10% não atendeu à condição de pH próximo de 12 nas primeiras duas horas após a mistura e acima de 11,5, após 24 horas, o que para a cal virgem foi atingido.

Buscando-se a redução de patógenos com a menor concentração de cal possível associada a um maior tempo de maturação, para a avaliação da pesquisa definiu-se pela escolha de uma concentração mínima, próxima de 15% e mais duas outras concentrações, de 25% e 35%.

Calagem do lodo e delineamento dos tratamentos

Em função da disponibilidade do laboratório em realizar as análises, foram realizados dois experimentos, um utilizando-se a cal hidratada e o outro com a cal virgem em datas diferentes.

O experimento com a cal hidratada iniciou-se no dia 19/06/08 quando foram realizadas as misturas e coletadas as amostras do lodo bruto e deste misturado à cal hidratada, nas concentrações previstas de 15%, 25% e 35% (com base em peso seco relativo ao teor de sólidos totais do lodo de 40%), em três repetições, totalizando doze tratamentos. Neste mesmo dia foram reservados e acondicionados em sacos plásticos os lodos para o segundo experimento, com o objetivo de preservar sua umidade.

O experimento com a cal virgem iniciou-se dia 23/06/08, quando foram efetuadas as misturas do lodo anteriormente reservado com a cal, nas mesmas concentrações segundo os mesmos procedimentos adotados no primeiro experimento.

O lodo utilizado foi descartado do reator no dia 03/06, e completava 16 dias no leito de secagem quando foi coletado para a pesquisa. Os volumes das amostras de lodo foram quarteadas no leito, seguindo-se as recomendações da NBR 10.007 (ABNT, 2004), homogeneizadas e após medidas e pesadas foram reservadas para mistura de cal. Em cada tratamento a mistura do lodo com a cal foi feita em betoneira por um tempo de 3 minutos, suficientes para completa homogeneização.

Todos os tratamentos, correspondentes aos 24 kg de lodo cada, foram acondicionados em sacos plásticos, identificados e dispostos ao tempo (Figura 1). Os teores de sólidos totais das amostras coletadas nos dias das misturas do lodo com cal diferiram daquele observado anteriormente aos tratamentos que foi de 40% (valor médio de três amostras medidas no dia 19/06 pelo analisador Sartoris), exigindo ajustes e correções das concentrações teóricas de cal inicialmente propostas. No dia 19/06, os resultados dos sólidos totais das testemunhas foram 50,4%, 46,1% e 47,9%, e no dia 23/06, 48,5%, 46,8% e 45,6%. Assim, as concentrações reais de cal dos tratamentos passaram a ser de 12,6%, 21% e 29,4% (Quadro 2).



Figura 1: Vista parcial dos tratamentos acondicionados em sacos plásticos e dispostos ao tempo

Quadro 2: Concentrações propostas e reais de cal utilizadas no processo de higienização de lodo anaeróbio de esgoto sanitário

Concentração de cal proposta (%)	Massa de lodo (Kg)	ST proposto (40% ST) (kg)	Cal empregada (kg)	ST real (47,55% ST) (kg)	Concentração de cal utilizada (%)
15	72	28,8	4,3	34,24	12,6
25	72	28,8	7,2	34,24	21,0
35	72	28,8	10,1	34,24	29,4

A pesquisa completa totalizou 120 amostragens, cujos delineamentos dos tratamentos estão apresentados no Quadro 3. Os parâmetros monitorados, no dia da mistura e aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a mistura foram: Coliformes termotolerantes e ovos totais e viáveis de helmintos com identificação das espécies, Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV), SV/ST, pH e umidade. Excepcionalmente para coliformes termotolerantes também foram realizadas coletas aos 45 dias, para todos os tratamentos, em função dos resultados encontrados nas amostras com 15 e 30 dias.

**Quadro 3: Delineamento dos experimentos realizados no estudo**

Experimento 1 CAL HIDRATADA	T0 – SEM CAL	Amostragens com três repetições “A”, “B” e “C”, em 19/06 e após 15, 30, 60, 90 e 120 dias;
	T1 – 12,6%	
	T2 – 21%	
	T3 – 29,4%	
Experimento 2 CAL VIRGEM	T4 – 12,6%	Amostragens com três repetições “A”, “B” e “C”, em 23/06 e após 15, 30, 60, 90 e 120 dias.
	T5 – 21%	
	T6 – 29,4%	
	T7 – SEM CAL	

Plano de coletas de amostras para análises laboratoriais

As amostras para as análises foram coletadas, no período da manhã, segundo o calendário pré-estabelecido iniciando-se em 19/06/08 e encerrando em 21/10/08. Foi utilizado o amostrador de montes e pilhas do tipo “Trier”, que também é utilizado para amostragem de solo de acordo com a NBR 10.007 (ABNT, 2004). Na coleta, o amostrador foi cravado no lodo dentro do saco, um pouco inclinado, até atingir o fundo (Figura 2). Fazia-se uma ligeira rotação para possibilitar a coleta do material em toda a profundidade do saco. Retirava-se então, várias alíquotas de lodo até se atingir o volume necessário, que era acondicionado em potes com tampa, em amostras aproximadas de 1 kg.

**Figura 2: Coleta de lodo com o amostrador “Trier”**

As amostras foram conservadas em gelo e encaminhadas para o laboratório central de esgotos da Saneago e, no mesmo dia, no período da tarde, iniciavam-se os procedimentos de análise. Durante a coleta foi registrada a temperatura do lodo e do ambiente.

Caracterização das cales utilizadas nos experimentos

Foram realizadas análises da composição da cal virgem e da cal hidratada, utilizadas nos experimentos. As amostras foram encaminhadas ao laboratório da Secretaria de Indústria e Comércio do Estado de Goiás e os resultados do percentual de CaO para a cal virgem foi de 91% e para a cal hidratada foi de 70,8%.



Análises Laboratoriais

As análises laboratoriais foram realizadas pelo Laboratório Central de Esgoto da Saneago, instalado na ETE Goiânia. Este laboratório é certificado pela NBR ISO 9001/2000 e faz parte da rede interlaboratorial da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES). Os procedimentos analíticos seguiram as recomendações do “Standard methods for examination of water and wastewater” da APHA/AWWA. Para as análises de coliformes termotolerantes foi utilizado o método dos tubos múltiplos e, para a análise dos ovos de helmintos, o método Yanko modificado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos parâmetros monitorados são apresentados a seguir, abordando-se primeiramente as alterações nas características físico-químicas do lodo relacionadas ao processo de higienização por meio alcalino. Posteriormente são discutidos os resultados das concentrações de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos. Foram feitas análises estatísticas para cada experimento isoladamente, com vistas a verificar o efeito das variáveis dose e tempo sobre os parâmetros. Posteriormente fez-se uma análise conjunta dos dados, para verificar o efeito do tipo de cal. As diferenças apresentadas referem-se ao teste F, a 5% de probabilidade.

• pH

Os valores de pH foram observados durante todo o período de estocagem dos experimentos, sendo os primeiros registros realizados no momento da mistura do lodo com a cal, 2 horas e 24 horas após, e os demais registros realizados durante as coletas das amostras, aos 15, 30, 60, 90 e 120 dias. Os resultados são apresentados nas Figuras 3 e 4.

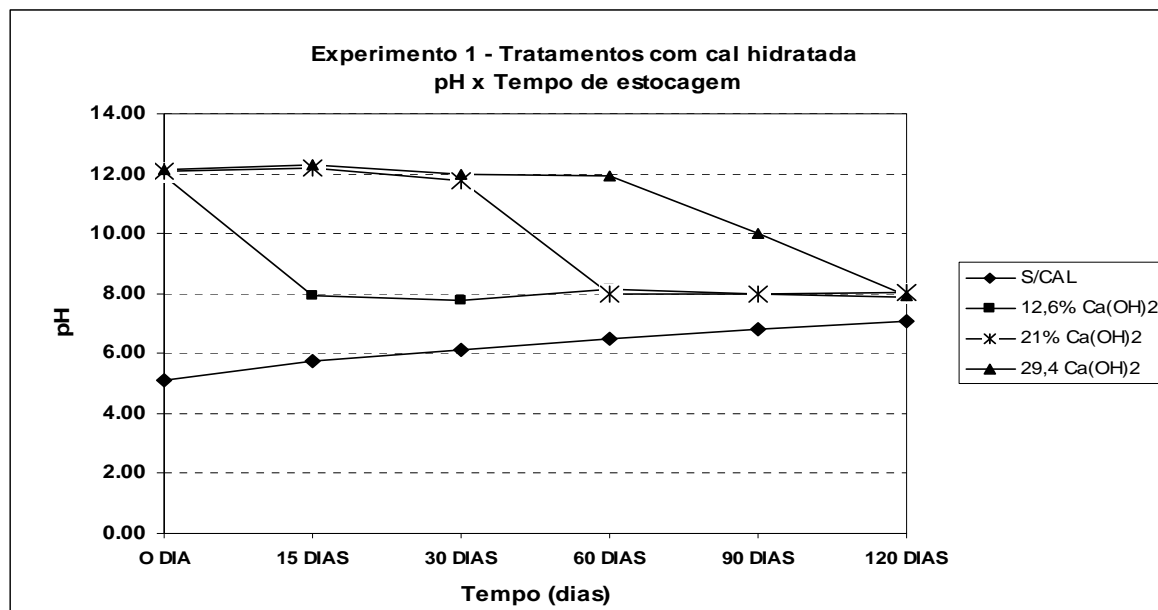


Figura 3: Comportamento do pH ao longo do tempo – experimento 1

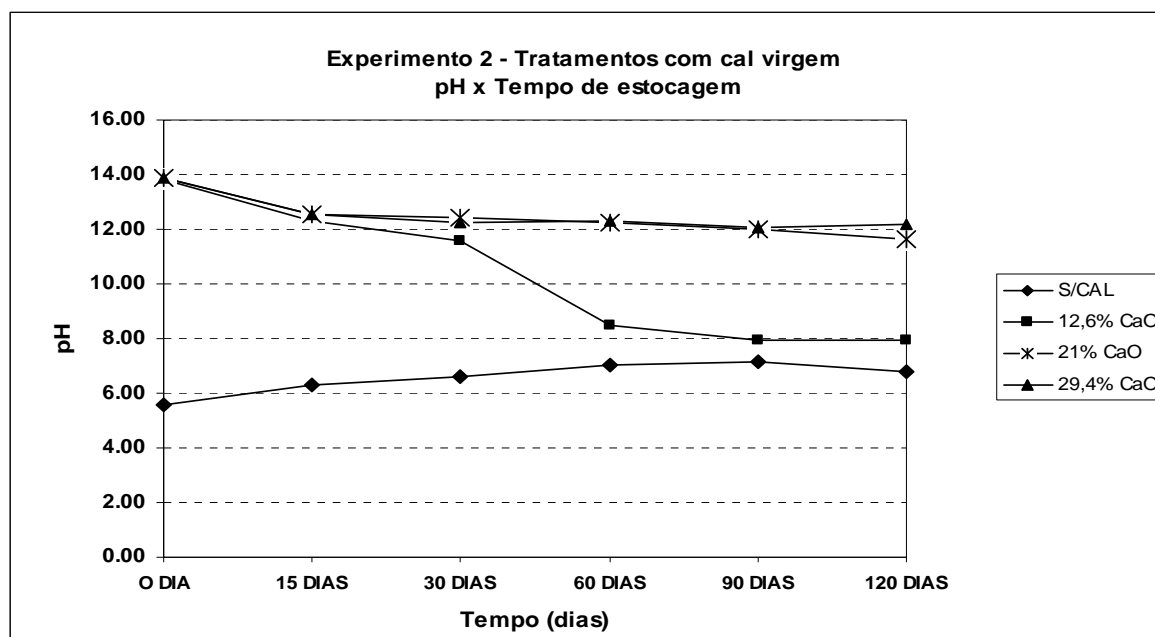


Figura 4: Comportamento do pH ao longo do tempo – experimento 2

Nos resultados obtidos, observa-se que:

- Em ambos os experimentos, tanto as dosagens como o tempo de estocagem tiveram efeito no comportamento do pH.
- No experimento 1, durante o período de estocagem de 60 dias, apenas o tratamento com maior dosagem de cal (29,4% Ca(OH)_2) manteve o pH igual ou superior a 12. A concentração de 21% Ca(OH)_2 manteve o pH nesses valores até aos 30 dias de estocagem, decaindo para o valor de 8 aos 60 dias de estocagem. O tratamento com menor dosagem, 12,6% Ca(OH)_2 , apresentou uma queda expressiva no valor do pH no tempo de 15 dias.
- No experimento 2, o pH se manteve pouco acima de 12 por todo o período de estocagem, até 120 dias para o tratamento com 29,4% CaO. Essa tendência foi acompanhada pelo tratamento com 21% CaO, com valores ligeiramente inferiores a 12 (11,9 e 11,6) nos períodos de estocagem de 90 e 120 dias, respectivamente. Para o tratamento com 12,6% CaO, houve uma expressiva queda do pH aos 30 dias.
- Comparando-se os dois experimentos, a cal virgem se destacou por manter o pH em valores mais altos, nas duas maiores dosagens, por um tempo maior (120 dias). No experimento com cal hidratada, isso foi possível por um período de até 60 dias para a dosagem de 29,4% Ca(OH)_2 e 30 dias para a de 21% Ca(OH)_2 . Conforme estudos realizados por Pegorini et al. (2006), o tipo da cal utilizada em função de seu teor de CaO tem influência direta no potencial de elevação e manutenção do pH do lodo. A cal virgem utilizada possui maior teor de CaO comparada à cal hidratada, constatando valores maiores de pH por maior tempo.
- Em ambos os experimentos, ocorreram uma pequena elevação do pH no tratamento do lodo sem cal, durante o período de observação de 120 dias.

As Figuras 5 e 6 apresentam os valores do pH no momento da mistura do lodo com a cal, 2 h e 24 h após a mistura. Esses resultados conferem ao processo da calagem as condições para reduzir a atratividade de vetores e odor em todos os tratamentos, exceto para o tratamento do experimento 1 com 12,6% Ca(OH)_2 , que não atendeu à essa condição, embora apresentasse valores de pH muito próximos de 12.

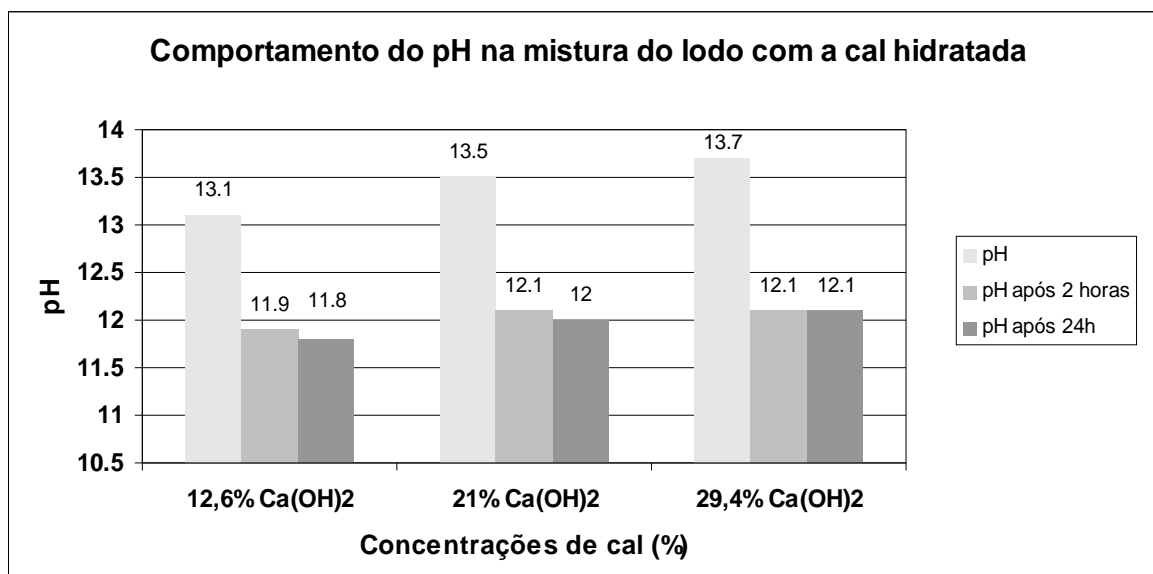


Figura 5: Comportamento do pH nas primeiras horas após a mistura – experimento 1

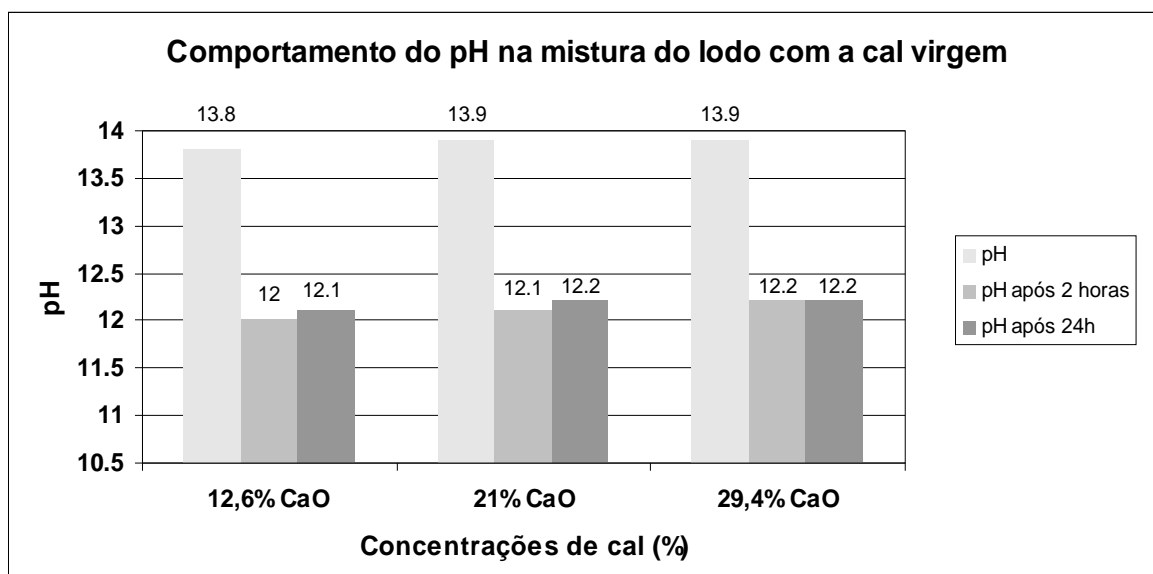


Figura 6: Comportamento do pH nas primeiras horas após a mistura – experimento 2

Teor de umidade

A umidade do lodo foi monitorada nas amostras extraídas para realização das análises microbiológicas. A representação gráfica dos teores de umidade apresentados na Figura 7 correspondem aos valores médios das três repetições de cada tratamento.

Logo após a mistura do lodo com as cales houve uma perda muito rápida de umidade, principalmente nos tratamentos com a cal virgem, com reduções dos teores de umidade de 7% a 16%, enquanto que, para os tratamentos com cal hidratada, perdeu-se de 3% a 7%.

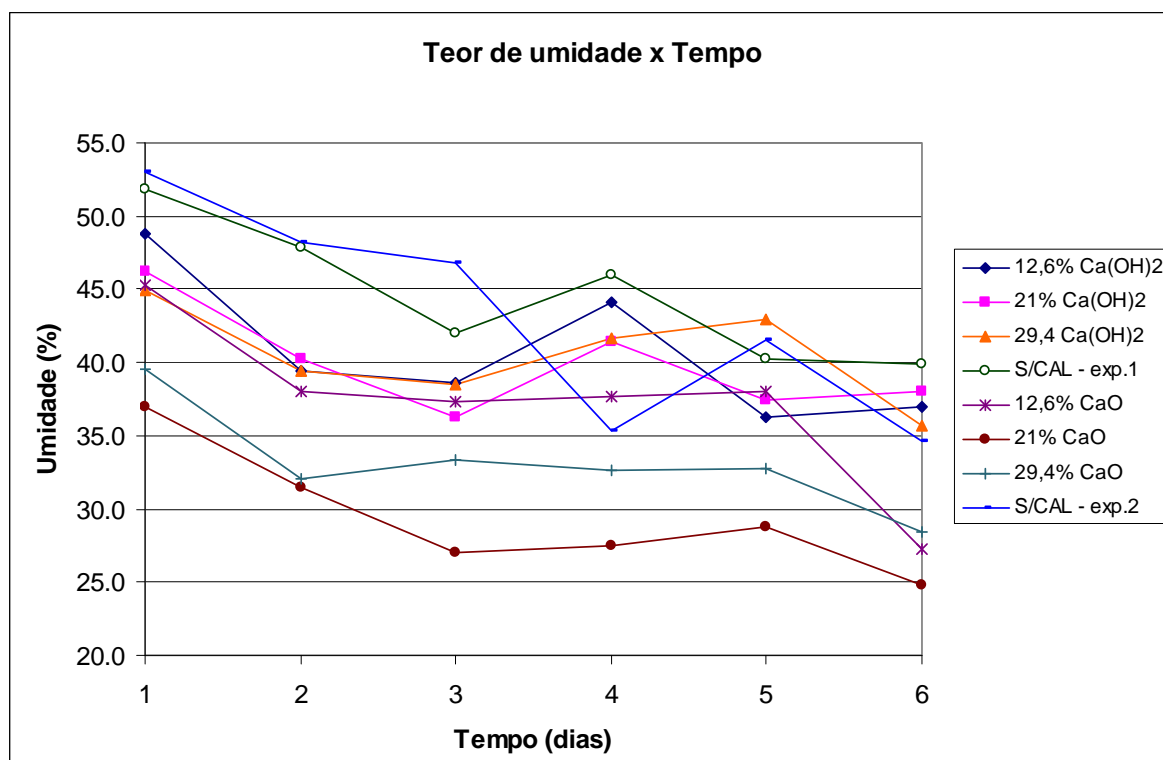


Figura 7: Teores de umidade dos tratamentos ao longo do tempo - experimentos 1e 2

Ao longo do tempo houve uma sensível perda de umidade em todos os tratamentos, com variações de 8% a 18%, sendo as maiores perdas observadas no tratamento com a cal virgem. As dosagens de cal utilizadas não interferiram significativamente para a perda de umidade, em ambos os experimentos. O acondicionamento do lodo em sacos plásticos contribuiu para atenuar a perda de umidade, fato desejável na pesquisa, pois as condições meteorológicas do período de estocagem somadas ao pequeno volume de lodo em cada tratamento (24kg) influenciariam excessivamente nos parâmetros microbiológicos avaliados.

A ocorrência de chuvas nos dias próximos aos da coleta, e mesmo nos dias da coleta (dias 21/09 e 21/10) não contribuíram para o aumento da umidade. Os lodos provenientes de leitos de secagem possuem teores de umidade na faixa de 60 até 20%. Nos dois experimentos realizados as umidades iniciais foram de 53% e 51,9% para os tratamentos com cal virgem e cal hidratada, respectivamente.

Sólidos Voláteis (SV) e Totais (ST)

As relações entre sólidos voláteis e totais (SV/ST) dos tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes, com valores decrescentes ao longo do tempo. No final da pesquisa os valores atingidos foram de 0,49 e 0,42 de SV/ST para os experimentos com cal hidratada e cal virgem, respectivamente. Os tratamentos com adição de cal apresentaram sempre valores menores da relação SV/ST proporcionalmente às dosagens de cal aplicadas, comparados aos tratamentos sem cal. Esse fato, também constatado por Lima et al. (2007) em sua pesquisa com lodos submetidos à secagem e higienização com cal em estufas agrícolas, pode ser atribuído a uma oxidação química da matéria orgânica presente no lodo pela elevação do pH, com a adição de cal e consequente diminuição dessa relação.

Os sólidos voláteis não foram influenciados pelo tipo de cal, já as dosagens influenciaram seus teores diretamente, sendo os valores de SV decrescentes na medida do aumento das dosagens de cal, pelas razões já mencionadas. Os valores SV/ST dos lodos sem cal foram maiores que 0,7, evidenciando que o lodo não estava bem estabilizado. Após o tempo de 30 a 60 dias o lodo atingiu a estabilidade, com valores de SV/ST menores que 0,7, conforme estabelece a resolução Conama nº 375 (CONAMA, 2006).

Como os valores de ST tiveram um comportamento diferenciado com relação ao tipo de cal, onde os tratamentos com cal virgem evidenciaram um maior aumento nos sólidos totais, a relação SV/ST também foi influenciada em função do tipo de cal, apresentando valores menores para os tratamentos com cal virgem. A Figura 8 apresenta o comportamento da relação SV/ST dos diversos tratamentos ao longo do tempo.

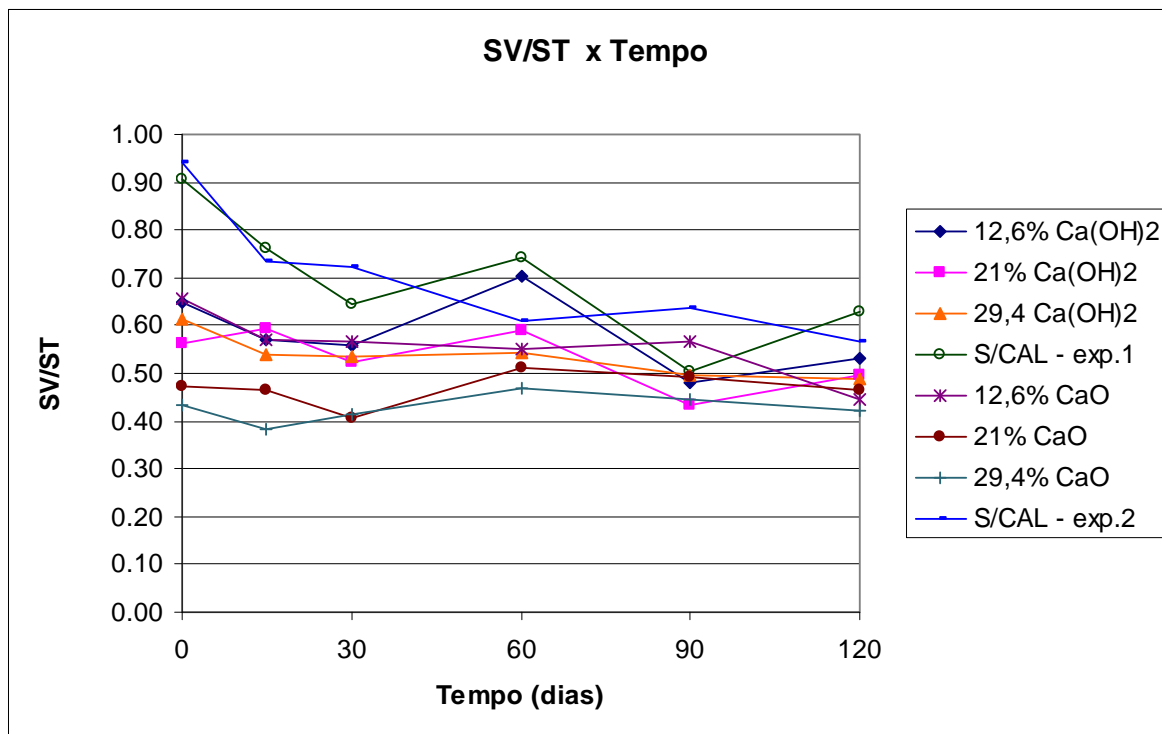


Figura 8: Relação SV/ST ao longo do tempo para todos os tratamentos - experimentos 1 e 2

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS

As concentrações de coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos foram monitoradas de acordo com a proposta do plano de amostragem. No entanto, observou-se um aumento de coliformes nas amostras tratadas com cal aos 15 e 30 dias após a mistura. Para acompanhar essa evolução, acrescentaram-se análises aos 45 dias, excepcionalmente para este parâmetro.

Coliformes Termotolerantes

As concentrações médias de coliformes nos lodos sem adição de cal foram de $2,85 \cdot 10^6$ e $2,80 \cdot 10^4$, respectivamente para os experimentos 1 e 2, próximos à faixa entre 10^6 e 10^5 , indicada por Feachem et al. (1983, apud COMPARINI, 2001), para os lodos digeridos. Os valores de coliformes variam em diversas ordens de magnitude, sendo assim os resultados apresentados nos Quadros 4 e 5 representam a média geométrica das três repetições, para os tratamentos com a cal hidratada e com cal virgem, respectivamente.

Quadro 4: Resultados das concentrações de coliformes termotolerantes – experimento 1

Data	Tempo (dias)	Coliformes Termotolerantes – NMP.g ⁻¹ MS			
		s/cal -2	12,6% Ca (OH) ₂	21,0% Ca(OH) ₂	29,6% Ca(OH) ₂
19/06	0	$2,80 \cdot 10^4$	$8,13 \cdot 10^{-1}$	$3,30 \cdot 10^{-1}$	$3,23 \cdot 10^{-1}$
04/07	15	$3,10 \cdot 10^6$	$9,52 \cdot 10^1$	$4,20 \cdot 10^{-1}$	$2,90 \cdot 10^{-1}$
19/07	30	$6,90 \cdot 10^5$	$1,63 \cdot 10^1$	1,71	$2,62 \cdot 10^{-1}$
04/08	45	$1,10 \cdot 10^5$	$1,38 \cdot 10^2$	$1,21 \cdot 10^1$	2,82
18/08	60	$1,10 \cdot 10^5$	3,98	$2,73 \cdot 10^2$	$3,03 \cdot 10^{-1}$
17/09	90	$9,60 \cdot 10^4$	$1,39 \cdot 10^1$	$5,99 \cdot 10^1$	$1,25 \cdot 10^1$
17/10	120	5,00	1,64	$6,32 \cdot 10^{-1}$	1,04

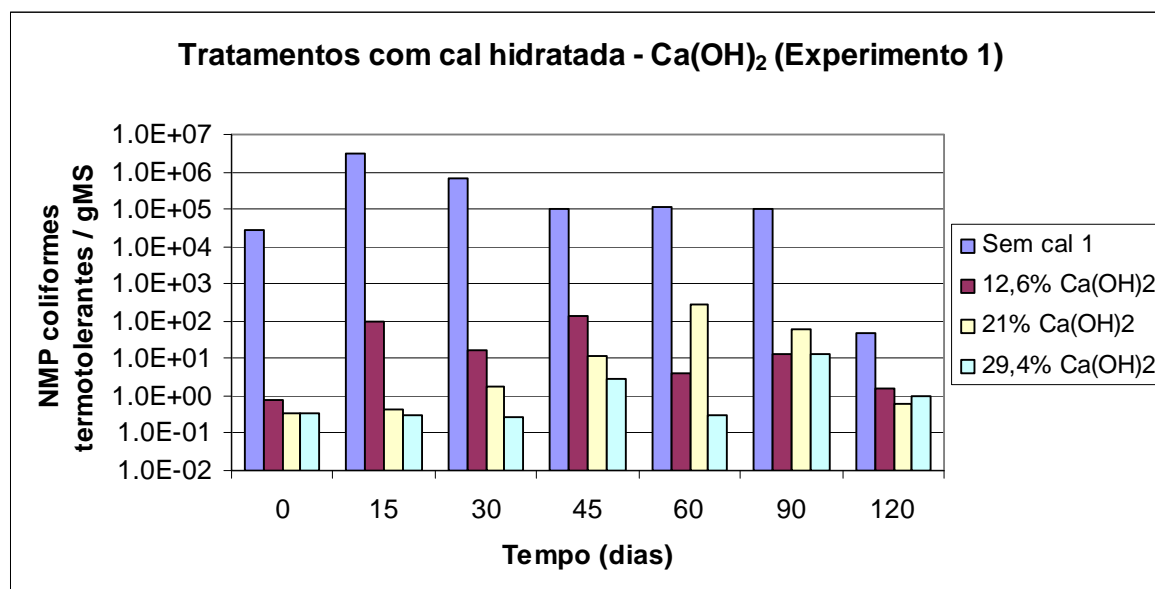
**Quadro 5: Resultados das concentrações de coliformes termotolerantes – experimento 2**

Data	Tempo (dias)	Coliformes Termotolerantes – NMP.g ⁻¹ MS			
		s/cal -1	12,6% CaO	21,0% CaO	29,6% CaO
23/06	0	2,85.10 ⁶	3,23.10 ⁻¹	2,83.10 ⁻¹	2,90.10 ⁻¹
08/07	15	3,03.10 ⁶	1,31	5,44	1,40
23/07	30	1,49.10 ⁵	1,26.10 ¹	2,10	1,80
08/08	45	1,23.10 ⁵	3,23	1,87	4,20
22/08	60	1,58.10 ⁴	3,14	2,47.10 ⁻¹	2,60.10 ⁻¹
20/09	90	5,49.10 ³	1,35	3,30.10 ⁻²	4,2.10 ⁻²
21/10	120	3,83	8,71.10 ⁻¹	2,42.10 ⁻¹	2,5.10 ⁻¹

As concentrações de coliformes termotolerantes constantes nos Quadros 4 e 5 também foram expressos nas Figuras 9 e 10, relativos aos experimentos 1 e 2, respectivamente. Observamos que em todos os tratamentos com cal se atingiu a concentração de 1000 NMP.g⁻¹.MS, recomendada pela resolução Conama nº 375 (CONAMA, 2006), para o lodo classe A.

Observa-se que para os lodos sem adição de cal, o decaimento da concentração de coliformes é lenta, atingindo valores para a classe A somente após 120 dias, para ambos os experimentos. No experimento 2 o crescimento das concentrações de coliformes aos 15 dias, para os tratamentos nas dosagens de 21% e 29,4%, e aos 30 dias, para o tratamento de 12,6% CaO, pode estar relacionado à queda brusca do pH nesses períodos de tempo. Para o experimento 1, o crescimento acentuado dos coliformes 90 dias, para o tratamento cuja dosagem foi de 29,4% % Ca(OH)₂ também pode estar associado à queda brusca do pH.

Outras pesquisas também já evidenciaram crescimento de coliformes após o tratamento com cal. No contexto geral, esses aumentos das concentrações dos coliformes termotolerantes não são tão expressivos, uma vez que todos os valores se mantiveram abaixo de 1000 NMP.g⁻¹MS..

**Figura 9: Concentrações de Coliformes Termotolerantes ao longo do tempo - experimento 1**

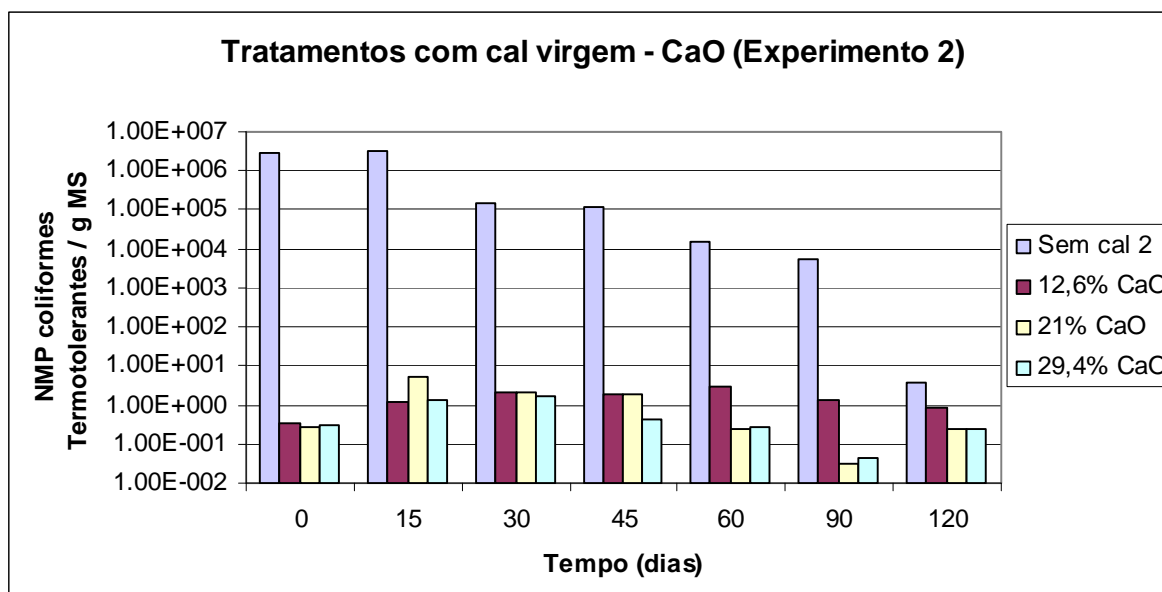


Figura 10: Concentrações de Coliformes Termotolerantes ao longo do tempo - experimento

Ovos viáveis de helmintos

Dos microorganismos presentes nas amostras do lodo higienizado, os mais frequentes foram os nematóides e cestóides: *Ascaris sp*, *Ancilostoma sp*, *Hymenolepis nana*, *Toxocara sp* e *Trichuris sp*. Os *Ascaris sp* foram as espécies predominantes em todas as amostras. Os Quadros 6 e 7 apresentam os valores dos ovos de helmintos totais e viáveis para os diversas dosagens de cal ao longo do tempo, para os experimentos 1 e 2, respectivamente.

Quadro 6: Resultados de ovos de helmintos para os tratamentos com hidratada – experimento 1

Data	Tempo (dias)	Ovos de Helmintos (nº ovos/g ⁻¹ .MS)							
		s/cal 1		12,6% Ca(OH) ₂		21,0% Ca(OH) ₂		29,4% Ca(OH) ₂	
		Viáveis	Inviáveis	Viáveis	Inviáveis	Viáveis	Inviáveis	Viáveis	Inviáveis
19/6	0	9,58	1,37	1,05	0,61	0,48	0,41	0,34	0,21
04/7	15	21,06	5,71	1,59	1,21	0	0,16	0,17	0,19
19/7	30	7,77	8,99	0,26	1,02	0	0,10	0,02	0,13
18/8	60	2,89	5,42	0,41	0,72	0	0,74	0	0,09
17/9	90	0,51	3,45	0	0,45	0	0,19	0	0,13
17/10	120	0,72	1,77	-	-	-	-	-	-

Quadro 7: Resultados de ovos de helmintos para os tratamentos com cal virgem – experimento 2

Data	Tempo (dias)	Ovos de Helmintos (nº ovos.g ⁻¹ .MS)							
		s/cal – exp. 2		12,6% CaO		21,0% CaO		29,4% CaO	
		Viáveis	Inviáveis	Viáveis	Inviáveis	Viáveis	Inviáveis	Viáveis	Inviáveis
23/6	0	10,6	1,7	0,31	0,07	0,04	0,06	0,06	0,4
08/7	15	8,1	8,9	0	0,15	0	0,04	0	0,07
23/7	30	4,2	10,4	0	0,12	0	0,02	0	0
22/8	60	0,6	2,9	0	0,52	0	0,1	0	0,02
20/9	90	0,3	2,4	0	0,08	0	0,07	0	0
21/10	120	0,32	1,0	-	-	-	-	-	-



Em ambos os experimentos houve o efeito da dose e do tempo de estocagem nos resultados dos ovos viáveis de helmintos. O efeito do tipo da cal também foi significativo, quando os resultados atingiram de imediato valores abaixo do limite recomendado pela resolução Conama nº 375 (CONAMA, 2006), de 0,25 ovos.g⁻¹MS, para o experimento 2, com a cal virgem. Isto se deve à ação da temperatura resultante da reação da cal virgem com o lodo, aumentando a eficiência da higienização. Para o experimento 1, com a cal hidratada, foi necessário um tempo de estocagem mínimo de 90 dias para a dosagem de 12,6% de Ca(OH)₂ e de 15 dias para as dosagens de 21% e 29,4% de Ca(OH)₂, para se atingir valores abaixo do limite recomendado.

As Figuras 11 e 12 apresentam as concentrações dos ovos viáveis de helmintos ao longo do tempo para os experimentos 1 e 2, respectivamente.

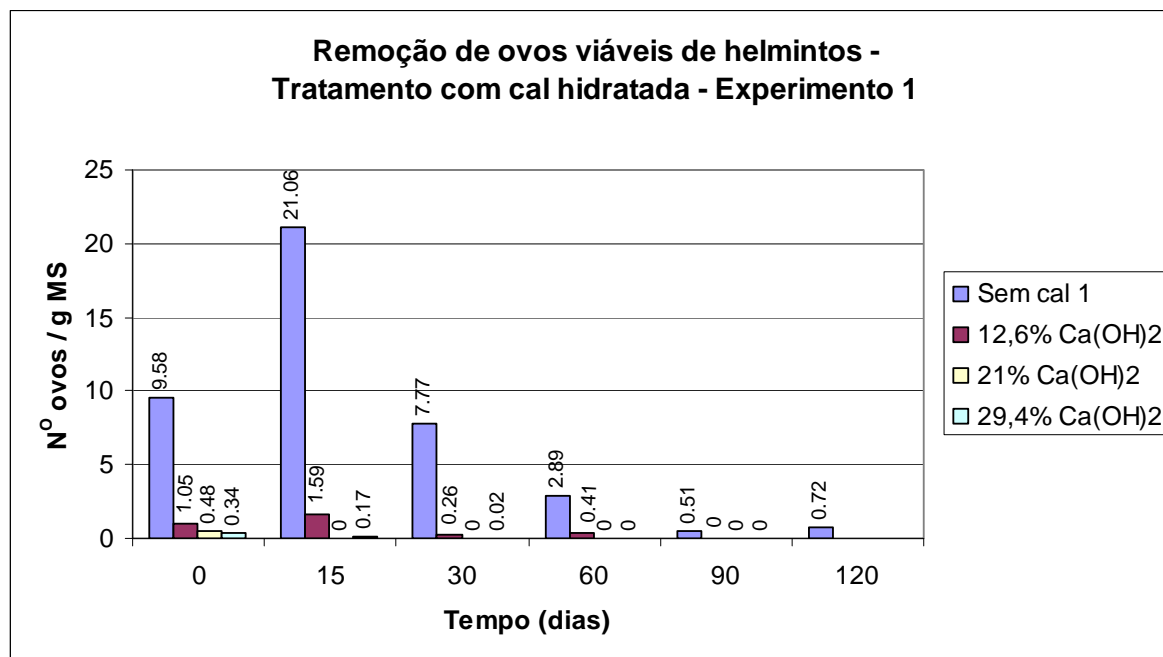


Figura 11: Concentrações de ovos viáveis de helmintos ao longo do tempo – experimento 1

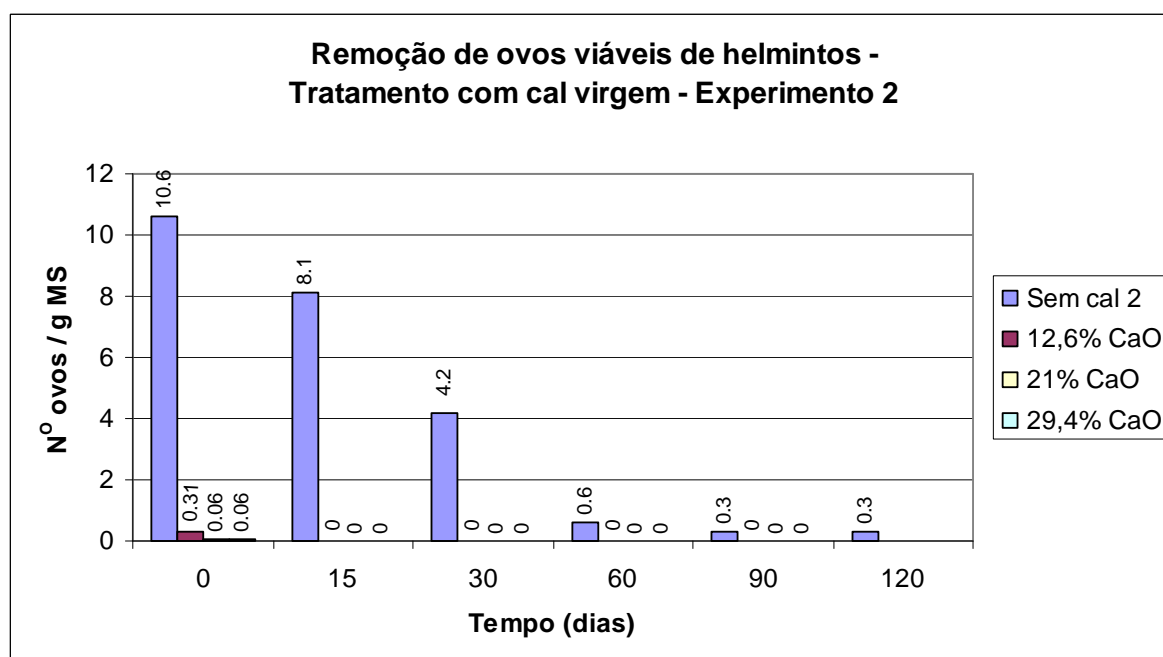


Figura 12: Concentrações de ovos viáveis de helmintos ao longo do tempo – experimento 2



Em todos os tratamentos do experimento 2, a partir do 15º dia de estocagem, a eficiência na remoção dos ovos viáveis foi de 100%, enquanto que, para o experimento 1, a mesma condição se deu aos 90 dias.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Os tratamentos com a cal virgem obtiveram maior eficiência na elevação e manutenção de valores mais altos de pH, comparados aos tratamentos com a cal hidratada, durante todo o período de estocagem. Este fato pode estar associado à maior concentração de CaO na cal virgem (91%), comparada à cal hidratada (70,8%).

Todas as concentrações de coliformes termotolerantes dos experimentos 1 e 2 ao longo do tempo mantiveram abaixo do limite de NMP 1000.g⁻¹MS, preconizado pela resolução Conama nº 375 para os lodos tipo “A”.

Considerando todas as dosagens de cal utilizadas, a remoção de ovos viáveis de helmintos foi mais eficiente para o experimento 2, com a cal virgem, onde se chegou a 100% de remoção aos 15 dias, enquanto que para o tratamento 1, com a cal hidratada, essa condição foi atendida aos 90 dias de estocagem.

Considerando a qualidade do Lodo tipo “A”, com relação aos parâmetros de coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos, o tratamento alcalino com a cal virgem e a cal hidratada foram eficientes. Considerando a menor dosagem de cal de 12,6%, seria necessário um tempo de estocagem mínimo do lodo higienizado de 15 dias para os tratamentos com cal virgem e 90 dias para os da cal hidratada. Com um incremento na dosagem de cal para 20,4% não seria necessário estocagem para os tratamentos com cal virgem e para os tratamentos com cal hidratada o tempo de estocagem cairia para 15 dias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, NBR 10007, 2004, 21 p.
2. COMPARINI, J. B. Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólidos submetidos à secagem em estufa agrícola. São Paulo: Tese (Doutorado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001, 278 p.
3. CONAMA. Conselho Nacional do meio Ambiente. Resolução n. 375: Ministério do Meio Ambiente, 2006, 32p.
4. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contagem da população 2006. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 mai. 2008.
5. INMET. Instituto Brasileiro de Meteorologia. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 24 abr. 2009.
6. LIMA, M.R.P. et al. Lodo de esgoto – Melhoria das suas características para disposição na agricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte. Anais Eletrônicos: ABES / MG, 2007, CD-ROM.
7. PEGORINI, E. S. et al. Aperfeiçoamento do processo de higienização através da caleação: I potencial de pausterização. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8, 2006, Fortaleza. Anais eletrônicos. Fortaleza: ABES, 2006. CD-ROM.
8. Relatório Operacional da ETE Lages, Goiânia: Saneago, 2007.
9. SPERLING, M. V.; ANDREOLI, C. V. Introdução. In: ANDREOLI et al. Lodos de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2001, cap. 1, p. 13-16.