

II-1383 – PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE HIGIENIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO COM VIÉS AGRONÔMICO NO BRASIL: UMA REVISÃO

Rafael Gonçalves Ferreira⁽¹⁾

Engenheiro Florestal pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental na Universidade Federal do ABC (UFABC).

Guilherme Santos Sousa⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do ABC (UFABC).

Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental na Universidade Federal do ABC (UFABC).

E-mail: guissouza.7@gmail.com

Milena Montier⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Urbana na Universidade Federal do ABC (UFABC).

Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental na Universidade Federal do ABC (UFABC).

E-mail: mimontier@gmail.com

Matheus Ribeiro Augusto⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG).

Mestrado em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Doutorado em Ciências, na área de Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).

Pesquisador colaborador na Universidade Federal do ABC (UFABC).

E-mail: matheus.augusto047@gmail.com

Rodrigo de Freitas Bueno⁽⁵⁾

Doutor em Engenharia Civil – Área – Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP).

Professor Adjunto ao Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas da Universidade Federal do ABC (UFABC).

E-mail: rodrigo.bueno@ufabc.edu.br

Endereço⁽¹⁾: Avenida dos Estados, nº 5.001. CEP – 09210-580, Santo André – SP, Brasil. Tel: (11) 94612-6666
- E-mail: goncalves.rafael@ufabc.edu.br

RESUMO

O lodo de esgoto consiste no principal subproduto do tratamento de esgoto, sendo que este resíduo se destaca pelo custo associado ao seu gerenciamento e a alta complexidade de destinação. Verificou-se que no Brasil, a região sul é a que mais obtêm êxito em uma destinação mais nobre e ambientalmente correta, que é a reciclagem agronômica deste material. Mas para que a destinação agronômica seja viável economicamente e possua segurança sanitária, há de se submeter o lodo de esgoto a um rigoroso processo de higienização, de modo que se atenda os critérios legais. Neste sentido, tem se verificado a utilização de tecnologias para o tratamento e higienização do lodo de esgoto para se obter o biossólido.

Logo, o presente trabalho tem por objetivo apresentar uma revisão das principais tecnologias de tratamento e higienização do lodo de esgoto objetivando a reciclagem em solos.

Realizou-se um levantamento bibliográfico utilizando-se de descritores combinados com as palavras: tratamento de lodo de esgoto, higienização de lodo de esgoto e produção de biossólido.

No Brasil, diversas pesquisas já atestam a eficiência na utilização da estabilização alcalina, a compostagem e o tratamento térmico como tecnologias para a higienização do lodo de esgoto, podendo-se obter um material seguro para ser destinado em diversas atividades agronômicas, soma-se ainda a contribuição na diminuição da sobrecarga dos aterros sanitários.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de Esgoto, Higienização, Compostagem, Estabilização Alcalina, Tratamento de Lodo.

INTRODUÇÃO

Dentre os resíduos gerados na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), o lodo de esgoto se destaca devido ao seu volume gerado, podendo representar de 1% a 2% em relação ao volume de esgoto tratado; e o custo associado ao seu gerenciamento pela companhia de saneamento, sendo capaz de chegar até 60% do total gasto para a operação do sistema de tratamento de esgoto (ANDREOLI *et al.*, 2001).

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico verificou-se tratamento de todo ou parte do lodo gerado no processo de tratamento de esgoto em 50,1% dos municípios com estações em operação. Na Região Sul, esse percentual era de 70,7%; nas Regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, o principal destino do lodo (tratado ou não) era os aterros sanitários dos municípios; e, apenas na Região Sul, seu principal destino era a agricultura (IBGE, 2017).

A estabilização alcalina, a compostagem e o tratamento térmico são processos comumente utilizados na higienização do lodo para obtenção do biossólido, sobretudo, devido ao baixo custo operacional (ANDREOLI; PEGORINI; FERNANDES, 2001).

OBJETIVO

O presente trabalho de revisão tem por objetivo levantar e identificar as principais tecnologias de higienização do lodo de esgoto visando a utilização em solos no Brasil.

METODOLOGIA UTILIZADA

O trabalho refere-se a uma revisão narrativa ou tradicional, haja vista que possui uma temática mais ampla. Realizou-se um levantamento bibliográfico a partir de consultas em revistas, teses e dissertações, sendo selecionados artigos escritos na língua inglesa e portuguesa.

Para a busca dos artigos, utilizou-se de descritores combinados: tratamento de lodo de esgoto, higienização de lodo de esgoto e produção de biossólido. O critério de inclusão para seleção dos artigos se deu mediante a combinação das palavras descritas acima.

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

ESTABILIZAÇÃO ALCALINA

A estabilização alcalina, também conhecida como caleação, se dá com a adição de um composto químico básico, cal virgem ou cal hidratada, que quando submetida ao contato com o lodo desaguado, propicia uma reação exotérmica, havendo a geração de calor e aumento do pH (ANDREOLI *et al.*, 2001).

O calor gerado alcança valores de temperatura acima de 50°C que mediante ao tempo de exposição de alguns microrganismos patogênicos, confere uma completa eliminação (ANDREOLI *et al.*, 1999).

A elevação do pH a valores acima de 12 devido a adição da cal, resulta em um ambiente desfavorável, acrescentando-se ao fato de alterar fatalmente o protoplasma celular dos microrganismos patogênicos. Soma-se a reação da mistura cal e lodo, a volatilização da amônia, sendo atribuída a este processo o de contribuir igualmente a higienização do lodo (FERNANDES, 1999).

Tem-se investigado neste processo de caleação ao longo dos anos de pesquisa no Brasil, a adição de diferentes proporções de cal em base seca objetivando a higienização do lodo de esgoto.

Sendo que a redução de microrganismos patogênicos para diferentes dosagens de cal foi verificada por Fernandes *et al.* (1996), na qual foi encontrado valores de redução próximos a 100% com dosagens de cal de 30%, 40% e 50% para quase todos os patógenos estudados, valendo ressaltar que para os ovos totais de helmintos, este índice de redução atingiu 80%.

Conduzido por Passamani (2001), estudo demonstrou que no processo de estabilização alcalina, 24 horas em relação ao tempo de contato entre o lodo de esgoto de UASB e cal hidratada foi suficiente para inviabilizar 100% de ovos de helmintos.

Malta (2002) utilizando-se de dosagens de cal de 3, 4, 5, 10, 20, 35, 50, 65 e 80% de cal em base seca, sendo que quantidades de até 50% não foram suficientes para promover a elevação da temperatura a 50°C. Somente as dosagens de 65% e 80% permitiram obter valores de temperaturas superiores a 50°C. Porém, a dosagem de 5% foi capaz de reduzir em 99,99% de coliformes fecais com pH de 12,4 até 2 horas após a mistura e de 11,89, 24 horas após.

Lima (2010) constatou que a quantidade encontrada para satisfazer as exigências legais, é bastante reduzida, com 15% de cal hidratada em massa seca de lodo ou 13,5% de Ca(OH)₂ tanto para lodo digerido quanto para o lodo não encaminhado ao digestor. Verificou também que a adição de cal ao lodo mostra-se eficiente, resultando na ausência de *Salmonella* sp. nas amostras coletadas logo após a mistura. Ressalta-se que os parâmetros de interesse agrônomico monitorados após a adição da cal, se mostraram atraentes considerando o uso agrícola do bio sólido.

COMPOSTAGEM

A compostagem consiste em um processo aeróbio, isto é, ocorre na presença de oxigênio, onde os microrganismos atuam na degradação da matéria orgânica, extraindo a energia requerida para os processos metabólicos e produzindo gás carbônico e água (ANDREOLI, 2001).

Para que a compostagem se desenvolva adequadamente, determinados parâmetros físico-químicos devem ser respeitados objetivando torna o meio favorável ao crescimento e atuação dos microrganismos. Dentre estes fatores, temos a aeração, temperatura, umidade, relação C/N, estrutura e pH (FERNANDES; SILVA, 1999).

Durante o processo, inicialmente na estabilização, os microrganismos mesófilos se instalam e provocam as primeiras modificações dos materiais induzindo a elevação da temperatura, sendo que quando esta atinge entre 40 e 45°C, implica em uma diminuição desta população e conseqüentemente o aumento dos microrganismos termófilos que elevam a temperatura até 70°C. A medida que a compostagem segue respeitando-se os parâmetros, principalmente o fornecimento de oxigênio, a temperatura abaixa e atinge um equilíbrio com a temperatura do ambiente, iniciando-se a fase de maturação, onde ocorre modificações bioquímicas de humificação do material (FERNANDES; SILVA, 1999).

A elevação da temperatura entre 50 e 70°C, em função da decomposição da matéria orgânica em condições ambientais favoráveis e do tempo de contato, implica na inativação dos microrganismos patogênicos. Para este processo, utiliza-se de materiais estruturantes, aqueles de maior granulometria, como resíduos de poda, restos culturais de safras como arroz e casca de eucalipto que possuem alto teor de carbono misturados em proporções adequadas com o lodo de esgoto que fornece o nitrogênio requerido para os microrganismos (FERNANDES; SILVA, 1999).

Segundo Fernandes & Silva (1999) a compostagem pode ser dividida em três grupos:

- Sistema de leiras revolvidas (*windrow*): os resíduos são dispostos em leiras com dimensões variadas, onde o revolvimento é feito de forma manual ou mecanizada para o fornecimento de oxigênio.
- Sistema de leiras estáticas (*static pile*): os resíduos são dispostos em cima de tubulações perfuradas que injeta ou aspira o ar na massa, sendo que neste caso não há o revolvimento do material.
- Sistema fechado ou reatores biológicos (*In-vessel*): os resíduos são dispostos em um sistema totalmente fechado, permitindo-se controlar todos os parâmetros do processo.

Tem sido objeto de investigação no Brasil a utilização de diferentes resíduos de outras atividades para serem misturados ao lodo de esgoto, tais como resíduos de poda, apara de grama, serragem, restos alimentares, dentre outros com potencial de agregar no processo de compostagem.

Estudando a compostagem do lodo obtido na ETE Belém no Paraná, após 30 dias de experimento, Fernandes (1999) verificou redução de 83, 72,3 e 99,8% de estreptococos, coliformes totais e coliformes termotolerantes, respectivamente, demonstrando a eficiência da técnica na higienização do lodo.

Andreoli (2001) realizando a compostagem com lodo de esgoto anaeróbio com resíduos de podas de árvores no sistema de leira revolvida em Londrina-PR, verificou que a inativação total dos ovos de helmintos se deu em cerca de 30 dias.

Côrrea et al. (2007) investigou a compostagem de lodo de esgoto obtido na ETE do Distrito Federal com podas de árvores, cavacos de madeira e aparas de grama. No experimento, 6 leiras de compostagem foram utilizadas com diferentes proporções de materiais estruturantes juntamente com o lodo de esgoto variando entre 3 e 4:1, onde a relação C/N se mantendo entre 21 e 36 entre todos os tratamentos. Obteve-se com a compostagem com aeração passiva, resultado satisfatório, onde todos os materiais bioestabilizaram em aproximadamente 2 meses, atingindo temperatura da leira em 55°C, sendo que a leira que tinha 50% a mais de serragem apresentou um tempo menor de processo, atingindo a bioestabilização em um mês.

Teixeira (2012) utilizou serragem, aparas de grama e restos alimentares como materiais estruturas na compostagem com o lodo de esgoto da ETE Insular, dispoendo os materiais em leiras, obtendo ao final do processo, biossólido classificado como B, haja vista que coliformes termotolerantes e *Salmonella* sp. se mantiveram presentes após o tratamento na maioria das amostras.

Leite (2015) empregando o sistema de compostagem termofílica como método de higienização do lodo de esgoto da ETE Jundiá, onde resíduos de bagaço de cana de açúcar, das podas de árvores e o resíduo de celulose foram misturados na proporção adequada com o lodo, obtendo-se composto orgânico com decréscimo do grau de contaminação microbiológica, especialmente por coliformes termotolerantes e ovos viáveis de helmintos com níveis aceitáveis após 82 dias (média) do início do tratamento.

Ainda neste estudo, Leite (2015) verificou que os teores de Ar, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Mo, Ni, Se e Zn se mantiveram dentro dos níveis permitidos em relação a legislação vigente, constatando reduções substanciais no final do tratamento.

Visentin (2019) avaliando economicamente a compostagem de lodo de esgoto, verificou que a alternativa mais viável, comparando-se todas as estudadas em seu trabalho, foi a de comercializar o composto orgânico, resultando em economia de custos com a disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário. Os resultados foram VPL (Valor Presente Líquido) de R\$ 3.669,997, TIR (Taxa Interna de Retorno) igual a 84%, PBD (*payback*) de 1,3 anos e B/C (Razão benefício custo) de 2,83, confirmando a viabilidade econômica do projeto.

TRATAMENTO TÉRMICO

Consiste na aplicação de calor ao lodo, induzindo a perda de umidade, e conseqüentemente, obtendo redução de volume e a inativação dos microrganismos patogênicos. É de fundamental importância que antes o lodo passe por processo de estabilização e desaguamento e atinja concentração de sólidos em torno de 20% a 35%, objetivando menor custo de produção (PINTO, 2001).

Esta técnica, apesar de eficiente na remoção de microrganismos patogênicos do lodo, apresenta um custo de produção considerável se comparado as outras alternativas de higienização, haja vista que a energia requerida é alta e os equipamentos utilizados possuem certa complexidade em termos da tecnologia empregada, tais como os secadores de contato direto, onde o ar aquecida é forçado sobre o lodo, removendo a umidade; secadores de contato indireto, onde se tem uma fonte externa de energia, como as placas de troca térmica (ANDREOLI, 2001).

No Brasil, tem se estudado em escala experimental, a secagem e higienização do lodo de esgoto através da utilização de estufas agrícolas, havendo a disposição do lodo desaguado com aproximadamente 20% de sólidos totais em camada ou leira, sendo revolvida manualmente com frequência de uma a três vezes na semana (COMPARINI, 2001; ANDREOLI *et al.*, 2003, LIMA, 2010; DIAS, 2012; OLIVEIRA, 2017).

Comparini (2001) utilizou uma estufa agrícola para secagem e higienização do lodo de esgoto objetivando reduzir a densidade de microrganismos patogênicos, comprovando que a técnica se mostra adequada a produção de biossólido, favorecendo a sua destinação na reciclagem agrícola sem maiores restrições sob o aspecto microbiológico.

Andreoli, Ferreira e Chernicharo (2003) introduziram uma estufa agrícola no processo natural de desaguamento do lodo por leito de secagem, com o intuito de evitar a entrada da água da chuva, desse modo, possibilitando

acelerar o processo de secagem do lodo de esgoto. Neste mesmo estudo, tubulações de cobre foram dispostas no fundo do leito visando obter um menor tempo de secagem, onde circulava óleo aquecido por biogás obtido de um reator anaeróbio utilizado no sistema de tratamento da fase líquida do esgoto.

Seguindo os padrões adotados por Comparini (2001) em relação a estrutura da estufa agrícola, Lima (2010) concluiu que a melhor configuração para o uso da estufa agrícola na secagem e higienização é a utilização de lodo digerido; tempo de secagem aproximado de 36 dias; forma de disposição do lodo com altura de 10 cm; período de revolvimento de três vezes na semana; sem adição de cal ao lodo. Obtendo-se ao final do processo uma redução do volume de material a ser destino de cerca de 76%.

Utilizando o tratamento por secagem em estufa agrícola, Dias (2012) obteve biossólido com umidade abaixo de 20 e 10% em cerca de 45 e 75 dias, respectivamente. Acrescenta-se a obtenção de material apto a ser utilizado em solos em aproximadamente 60-75 dias de acordo com as especificações da legislação vigente a época do estudo.

Oliveira (2017) objetivando estabelecer o perfil de decaimento e da relação das concentrações de vírus em lodo de esgoto submetido a secagem em estufa agrícola, bem como na caracterização do risco a exposição humana, concluiu ser eficiente a utilização desta técnica por proporcionar redução da concentração de bactérias indicadoras a níveis não significativos, expressiva redução do volume do material e obtenção de biossólido seco e granulado.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A estabilização alcalina consiste em um processo de higienização eficiente se atendido os critérios legais previstos, porém, com a adição da cal ao lodo, haverá um incremento no volume a ser gerenciado do material, acarretando em área para armazenagem e um custo maior com transporte e a sua disposição final.

Em relação a compostagem, a decisão a respeito de qual alternativa escolher se dá em função do ponto de vista técnico e econômico, porém, o fato é que tanto a tecnologia mais simples quanto a de mais complexidade tecnológica como os reatores biológicos, se respeitados os parâmetros, se permite obter um composto de excelente qualidade agrônômica, segurança sanitária e baixo custo.

Verifica-se que o tratamento térmico do lodo de esgoto objetivando a produção de biossólido permite além da redução do volume do material, a inativação de microrganismos patogênicos, pelo efeito térmico e pela baixa umidade.

CONCLUSÕES

O processo de higienização do lodo de esgoto é de fundamental importância quando se objetiva a destinação agrícola. As pesquisas desenvolvidas no Brasil já comprovam a eficiência dos processos, com destaque para a estabilização alcalina, a compostagem e o tratamento térmico, permitindo-se obter materiais com potencial de serem empregados nas atividades agrônômicas com segurança sanitária e viabilidade econômica, acrescentando-se a contribuição na diminuição da sobrecarga dos aterros sanitários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F.. (org.) Reciclagem de biossólido – Transformando problemas em solução. Curitiba: Sanepar/FINEP, 288 p. 1999.
2. ANDREOLI, C. V.; von SPERLING, M.; FERNANDES, F.. Lodos de esgoto: tratamento e disposição final. 1ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG); Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, vol. 6). 2001.
3. BRASIL. CONAMA. Resolução nº 498/20 de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&view=atonormativo&id=726> Acesso em 19 dez 2022.

4. CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: Critérios para Projeto e Operação. Manual Técnico. Norma P4230. São Paulo, ago.1999.
5. CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A.S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, v.11, n.4, p.420-426, 2007.
6. DAVID, A. C.. Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio. 2002.163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2002.
7. DIAS, E.H.O. Tratamento de lodo de esgoto por secagem em estufa: higienização e produção de biossólidos para uso agrícola. 2012. 160f. Dissertação (Mestrado em Saneamento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.
8. FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. J. C. CANTO, L. A.; MEDEIROS, M. L. B.. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE – Belém com vista a seu uso agrícola. Sanare, v.5, p. 46-58, 1996.
9. FERNANDES, F.; SILVA. S. C. P.. Manual Prático para compostagem de Biossólidos. 1. Ed. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999.
10. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.
11. LEITE, T. A. Compostagem termofílica de lodo de esgoto: higienização e produção de biossólido para uso agrícola. 2015. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
12. LIMA, M. R. P.. Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.
13. MALTA, L. R. S. Otimização da estabilização cálcica do biossólido para uso agrícola. Estudo de caso: ETE Lavapés / São José dos Campos. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
14. OLIVEIRA, Juliana Ferreira de. Higienização de lodo de esgoto por secagem em estufa e uso agrícola: caracterização da qualidade microbiológica e da exposição humana. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.
15. PASSAMINI, 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 calagem ou por pasteurização. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.
16. PINTO, M. T. Higienização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de esgoto: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. v.6, cap.6, p. 261-296.
17. VISENTIN, R. Viabilidade econômica da compostagem de lodo de esgoto para fins agrícolas. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, 2019.
18. TEIXEIRA, C. Higienização de lodo de estação de tratamento de esgoto por compostagem termofílica para uso agrícola. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2012.