

II-296 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE FILTROS PLANTADOS COM MACRÓFITAS PARA ESTABILIZAÇÃO E DESIDRATAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Larissa Miranda-Santos⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”(UNESP –Bauru/SP). Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP-Bauru/SP).

Eduardo Luiz de Oliveira⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Fundação Educacional de Bauru. Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pela Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (UNESP). Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pela UNESP. Livre Docente em Instalações Hidráulica e Sanitárias. Atualmente é professor adjunto da UNESP, campus Bauru.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Engenheiro Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 – Vargem Limpa – Bauru – SP –CEP: 17033-360 - Brasil - Tel: (14) 3103-6112 - e-mail: miranda_lari@yahoo.com.br

RESUMO

O descarte de efluentes é um fator impactante, com o intuito de preservar os recursos hídricos, tem se construído estações de tratamento de esgoto (ETE). O desenvolvimento científico permitiu a elaboração de vários sistemas para o tratamento de efluentes, cada um com uma característica diferente, mas todos com o mesmo objetivo: recuperar as características naturais da água já utilizada. Em geral, o esgoto é coletado e tratado, tendo como produtos resultantes o efluente e o sedimento denominado de lodo. O lodo de esgoto é um resíduo composto predominantemente por matéria orgânica e necessita ser depositado em local adequado, em virtude das dificuldades de disposição, tem se buscado um destino adequado para este. O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre as formas existentes de disposição do lodo, e também avaliar teoricamente se é viável a construção de um filtro de secagem com macrófitas para o desaguamento e estabilização do lodo proveniente da Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) de Tibiriça, distrito de Bauru-SP. A revisão bibliográfica foi feita a partir de trabalhos publicados em eventos e em revistas da área. A partir dos dados analisados é possível inferir que: (i) é crescente o número de trabalhos publicados que apresentam os problemas correlacionados com o lodo residual proveniente de ETE's e também com as possíveis soluções para o destino adequado do lodo de esgoto; (ii) um sistema de gerenciamento do lodo consiste em 4 etapas: caracterização, desaguamento, estabilização e higienização; (iii) Uma das alternativas mais utilizadas é o uso do lodo tratado (biossólido) como fertilizante agrícola. Em todos os testes os resultados foram positivos com relação ao aumento da biomassa da cultura, entretanto há uma grande preocupação com os organismos patogênicos e os metais pesados presentes no lodo; (iv) há o risco inerente de acúmulo de metais pesados na cadeia trófica, até agora nos testes realizados notou-se o acúmulo principalmente nas folhas dos vegetais, entretanto as concentrações estavam abaixo do limite permitido. (v) os filtros plantados com macrófitas são uma alternativa viável para o “tratamento” do lodo proveniente da ETE Tibiriça, localizada em Bauru-SP; (vi) a espécie vegetal *Eichhornia crassipes* é adequada para o emprego no filtro, entretanto há que se considerar que esta é uma espécie invasora e cuidados com sua rápida dispersão deverão ser tomados.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo residual, filtro plantado, disposição final.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial e agrário além de essencial permite a melhoria da qualidade de vida, porém se não realizados conscientemente podem causar grandes impactos aos recursos naturais. O uso indiscriminado dos recursos hídricos tem gerado problemas ecológicos, de saúde pública, de ordem social e econômica. Diante da atual situação fica evidente a necessidade da implantação de alternativas que não afetem o desenvolvimento econômico nem o ecossistema em questão.

O descarte de efluentes é um fator impactante, com o intuito de preservar os recursos hídricos, tem se construído estações de tratamento de esgoto (ETE). O desenvolvimento científico permitiu a elaboração de vários sistemas para o tratamento de efluentes, cada um com uma característica diferente, mas todos com o mesmo objetivo: recuperar as características naturais da água já utilizada. Em geral, o esgoto é coletado e tratado, tendo como produtos resultantes o efluente e o sedimento denominado de lodo.

O lodo de esgoto é um resíduo composto predominantemente por matéria orgânica e necessita ser depositado em local adequado, em virtude das dificuldades de disposição, tem se buscado um destino adequado para este. Algumas alternativas pesquisadas são: incineração, deposição em aterros sanitários, disposição oceânica, produção de tijolos, recuperação de solos e uso em reciclagem agrícola. Cada alternativa apresenta vantagens e desvantagens, e esses aspectos devem ser considerados no momento do dimensionamento da ETE.

Um exemplo é a disposição do lodo em solos com objetivo de melhorar a qualidade deste. Segundo Nascimento *et al.* (2004) a presença de metais pesados constitui uma das principais limitações ao uso do lodo na agricultura. De modo geral, as concentrações de metais encontradas no lodo são muito maiores que as naturalmente encontradas em solos, então há necessidade de avaliação dos riscos associados ao aumento desses elementos no ambiente em decorrência da aplicação desse resíduo. A longo prazo, entretanto, o aumento da concentração de metais no solo resultante da aplicação do lodo torna-se uma preocupação justificada, pois, se não adequadamente controlado, pode ameaçar a cadeia trófica (HUE, 1995).

Diante deste, e de outros questionamentos, fica evidente a necessidade de se desenvolver formas alternativas, viáveis e econômicas para a disposição do lodo residual. O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre as formas existentes de disposição do lodo, e também avaliar teoricamente se é viável a construção de um filtro de secagem com macrófitas para o desaguamento e estabilização do lodo proveniente da Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) de Tibiriça, distrito de Bauru-SP. O filtro utilizado é semelhante ao demonstrado no trabalho de Suntti, *et al* (2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão bibliográfica foi feita a partir de trabalhos publicados em eventos como o Congresso de Engenharia Brasileiro de Engenharia Hidráulica e Saneamento, e em revistas da área., por exemplo: *Revista Ambiente e Água*, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *Revista Científica Agrícola*, *Revista de Engenharia Sanitária Ambiental*, *Revista Brasileira de Ciências do Solo* e *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Todas disponíveis online

As buscas foram realizadas pelo mesmo assunto em todos os periódicos. Os termos utilizados foram lodo, lodo residual, biossólido e disposição final do lodo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a revisão da literatura disponível, alguns trabalhos foram selecionados para compor esta revisão. A tabela 1 indica o número de artigos publicados em cada revista que trata de assuntos relacionados ao lodo residual e sua disposição final.

Tabela 1: Revistas disponíveis online e o número de trabalhos publicados correlacionado ao tema lodo residual e disposição final do lodo residual.

Revista	Número de artigos encontrados com tema correlacionado
Revista Ambiente & Água	6
Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	7
Revista Científica Agrícola	9
Revista de Engenharia Sanitária Ambiental	15
Revista Brasileira de Ciências do Solo	9
Revista Agropecuária Brasileira	5

A maioria dos trabalhos lidos trazem resultados sobre pesquisas realizadas sobre a utilização do lodo proveniente de ETE como insumo agrícola. Além das alternativas, estes também trazem os benefícios e os possíveis malefícios dessa ação.

O lodo de esgoto é a denominação genérica para o resíduo sólido gerado pelos sistemas de tratamento de águas residuárias. Trata-se de um material heterogêneo, cuja composição depende do tipo de tratamento empregado para purificar o esgoto e das características das fontes geradoras. Para estimar sua produção e composição em sistemas de tratamento de águas residuárias é necessário avaliar a interação que se estabelece, no sistema, entre a massa bacteriana e o material orgânico afluente.

Na maioria das águas residuárias, o material orgânico presente no afluente é uma mistura de muitos compostos que podem ser classificados em duas categorias principais: material biodegradável, que engloba os compostos que podem ser utilizados pela massa bacteriana, e material não biodegradável, que são os compostos não afetados pela ação bioquímica das bactérias. Cada uma dessas frações pode ser subdividida em uma fração solúvel, de fácil acesso para o metabolismo bacteriano, e uma fração particulada, composta de material coloidal e macroscópico que precisa ser hidrolisado antes de ser utilizado. Deste modo, distinguem-se as seguintes quatro frações:

- fração solúvel e não biodegradável.
- fração particulada e não biodegradável.
- fração solúvel e biodegradável.
- fração particulada e biodegradável. (ANDREOLI *et al.*, 2002)

Independente da atividade biológica do lodo há uma importante ação físico-química do meio sobre o lodo: na maioria dos sistemas de tratamento, o intenso contato entre os flocos de lodo e as partículas de material orgânico do afluente faz com que essas partículas sejam floculadas e passem a fazer parte da fase sólida (o lodo), sendo posteriormente utilizadas pelas bactérias se forem biodegradáveis. As partículas não biodegradáveis irão se acumular no reator, formando a fração inerte do lodo, até que sejam descartadas como lodo de excesso.

As considerações sobre produção e composição de lodo são bem mais complicadas em sistemas de tratamento aeróbio devido a três fatores:

1. O decaimento de lodo é expressivo, de maneira que têm de ser levadas em consideração a demanda de oxigênio para respiração endógena e a geração de resíduo endógeno no sistema de tratamento.
2. O lodo ativo é instável, morrendo pouco tempo depois de se interromper a aeração. Na prática, o lodo produzido em um sistema aeróbio é introduzido em um digestor (geralmente anaeróbio) para redução da massa bacteriana aeróbia.
3. São produzidos lodos de naturezas diferentes. Para diminuir a carga orgânica devido ao material particulado no reator aerado, muitas vezes se aplica sedimentação primária, obtendo-se lodo que recebe a denominação de lodo fresco ou primário, que será posteriormente levado para a unidade de estabilização (digestor de lodo). O lodo produzido no reator biológico é denominado lodo secundário ou biológico. (ANDREOLI *et al.*, 2002)

De maneira geral, o lodo pode ser caracterizado como um composto rico em matéria orgânica, com alto teor de umidade e com concentração relativamente elevada de nitrogênio e outros minerais. Em seu trabalho Rocha & Shirota (1999) obtiveram as seguintes concentrações para os parâmetros avaliados de lodo proveniente de ETE: matéria seca entre 2 e 8%; nitrogênio entre 1,5 e 4%; fósforo entre 0,8 e 2,8% e pH entre 5 e 8.

A necessidade de estabilização do lodo está ligada principalmente a duas características negativas: seu potencial de produzir odores e os microrganismos patogênicos presentes. Os processos de estabilização têm por objetivo atenuar essas duas características, e têm importância variável, de acordo com o destino final previsto.

No esgoto são encontrados vírus, fungos, bactérias e parasitas (protozoários e helmintos), e, embora a grande maioria desses organismos seja inofensiva, alguns grupos são considerados patogênicos. A origem da contaminação microbiológica do lodo é o material fecal contido no esgoto.

Vários indicadores podem ser utilizados para avaliar o grau de estabilização do lodo: odor; nível de redução de patógenos; nível de redução de sólidos voláteis; toxicidade; taxa de absorção de oxigênio; DBO; DQO; teor de nitrogênio (amoniaco e nítrico); teor de carboidratos, proteínas, lipídios e cinzas e presença de protozoários e rotíferos (ANDREOLI *et al.*, 2001)

Em seu trabalho Rangel *et al.* (2006) relata que após três aplicações sucessivas dos lodos de esgoto em cultura de milho, os teores de Mn, Ni, Pb e Zn permaneceram abaixo dos limites considerados tóxicos para as folhas de milho. Entretanto as folhas apresentaram maiores teores de metais pesados do que os grãos, o que implica maior possibilidade de transferência de metais para a cadeia alimentar, caso essa parte da planta seja consumida. Os teores de metais pesados nos grãos, até à terceira aplicação sucessiva dos lodos de esgoto, permaneceram dentro da faixa considerada aceitável para o consumo humano.

Um dos riscos inerentes ao uso inadequado do lodo de esgoto é a possibilidade de contaminação, com nitrato, de lençóis freáticos e cursos de água. Quando presente em excesso, na água destinada ao uso doméstico, esse ânion pode causar problemas de saúde no homem e nos animais domésticos.

Em seu trabalho Dynia *et al.* (2006) observou que a aplicação de lodo, em doses correspondentes ao fornecimento de quatro e oito vezes o N disponível aplicado na forma de adubo mineral recomendado para a cultura, resulta em intensa lixiviação do ânion a partir dos primeiros cultivos; após cinco aplicações dessas doses, grande parte do nitrato lixiviado alcança a profundidade de 3 metros.

A desidratação de lodo é uma operação unitária que reduz o volume do lodo em excesso por meio da redução de seu teor de umidade. As principais razões para realizar a desidratação são:

- Redução do custo de transporte para o local de disposição final.
- Melhoria nas condições de manejo do lodo.
- Aumento do poder calorífico.
- Redução do volume para disposição em aterro sanitário ou reuso na agricultura.

A seleção de processo de desidratação depende do tipo de lodo e da área disponível. Para ETEs de pequeno porte localizadas em regiões com disponibilidade de área, leitos de secagem natural são considerados a melhor alternativa. Da mesma forma, ETEs de médio e grande porte utilizam a desidratação mecânica. Os principais processos utilizados para a desidratação natural ou mecânica em nosso país são: leitos de secagem, lagoas de lodos, centrífugas, prensas desaguadoras, filtros-prensa (ANDREOLI *et al.* 2001)

Os tratamentos com aquecimento para higienização do lodo proposto por Ferreira *et al.* (2002) alcançaram redução de 100% dos ovos de helmintos viáveis, comprovando a eficiência da tecnologia adotada, garantindo a segurança sanitária para o processo de reciclagem agrícola do lodo, quando esse for o destino final do resíduo. A tecnologia adotada pode ser utilizada com sucesso em qualquer região brasileira, apresentando resultados bastante positivos, inclusive para regiões de clima frio, como o sul do Brasil, possibilitando a aceleração da secagem/desaguamento (otimização de espaço físico) e higienização do lodo, com custos relativamente baixos devido à utilização do biogás gerado na própria ETE.

Outro processo utilizado para a higienização do lodo é a alcalinização, que consiste na adição de cal virgem (CaO) ao lodo em proporções que variam de 30 a 50 %, dependendo do peso do lodo seco. O contato da cal com a água do lodo resulta em uma reação exotérmica, que promove a elevação da temperatura e pH e aumento da concentração de NH₃ na mistura.(ILHENFELD *et al.*, 1999)

Os filtros plantados para a secagem e estabilização do lodo residual de ETE's seguem os princípios básicos dos tanques de alagados construídos. Os vegetais plantados na parte superior, por suas necessidades fisiológicas colaboram com a melhoria da qualidade do sedimento ao absorver os nutrientes disponíveis na matéria orgânica.

Segundo Suntti *et al.*(2011), os filtros plantados com macrófitas constituem uma alternativa tecnológica para tratamento do lodo de tanque séptico, pois os filtros proporcionam a redução do volume de água presente no lodo, permitem a sua mineralização e não requerem a remoção periódica do lodo acumulado. Com esses sistemas, é possível ainda diminuir os riscos associados ao manuseio do lodo. O produto final – lodo acumulado – poderá ser retirado após longos períodos de operação dos filtros, período que pode ser de 5 a 30 anos, de acordo com o dimensionamento dos mesmos e ser utilizado como fertilizante na agricultura ou condicionador do solo.

A escolha da espécie vegetal é importante para o sucesso do sistema. As macrófitas atuam na remoção de nutrientes, na transferência de oxigênio para o substrato e servem de suporte para o crescimento de bactérias, e colonizam diferentes habitats, desde ambientes encharcados á ambientes verdadeiramente aquáticos.

As macrófitas, devido as suas necessidades fisiológicas e suas características morfológicas removem nutrientes de águas residuárias; transferem oxigênio para o substrato e seus rizomas e raízes servem de suporte para o crescimento de bactérias, além da melhoria na permeabilidade do substrato. A estimativa anual de absorção de nitrogênio e fósforo por macrófitas emergentes varia de 12 a 120 mg/ano e 1,8 a 18mg/ano respectivamente.(MATOS, *et al.*, 2009)

Macrófitas aquáticas são espécies vegetais importantes para os ecossistemas naturais, mas também tem se tornado um problema para os usos múltiplos dos recursos hídricos, já que possui grande capacidade de colonização, principalmente em ambientes que recebem matéria orgânica, portanto, observa-se que esse grupo de vegetais apresenta bom desenvolvimento em ambientes ricos em matéria orgânica.

No período de crescimento, as plantas podem absorver macro e micro nutrientes (incluindo metais pesados). A extração de metais pesados tem pouca relevância, uma vez que pequenas quantidades de metal podem ser removidas por esse mecanismo. No entanto as plantas criam ambiente na zona radicular que pode proporcionar a imobilização de metais por processos oxidativos e redutivos. (MATOS, *et al.*, 2009)

Todas as plantas aquáticas realizam filtração, degradação e assimilação de poluentes e de matéria orgânica, entretanto o Aguapé (*Eichhornia crassipes*) se sobressai por possuir a capacidade de fixar, nos seus tecidos, nutrientes em quantidades superiores às necessidades de seu metabolismo, além de elementos químicos estranhos a sua nutrição. (REIDEL, *et al.*, 2005)



Figura 1: ilustração de Aguapé (*Eichhornia crassipes*). Fonte: The Forest herbarium, Bangkok, Thailandia, disponível em: www.web3.dnp.go.th

Segundo Thomaz & Bini (1998), a introdução do aguapé é um exemplo clássico de introdução de espécies exóticas, e esta é classificada como uma das principais espécies invasoras em ecossistemas aquáticos.

Em seu trabalho, Abreu *et al.* (2005) utilizou a espécie aguapé seca e triturada para o tratamento de soluções aquosas contaminadas com Cianeto, e obteve resultados satisfatórios. E ainda infere que a macrófita, *Eichhornia crassipes*, tem um grande potencial na remoção do íon cianeto no tratamento de efluentes. E que a cinética de remoção do íon cianeto pela macrófita *Eichhornia crassipes* é relativamente rápida com cerca de 82% da capacidade de remoção sendo alcançada em 30 minutos de contato, quando comparado com o processo de degradação natural.

CONCLUSÕES

A partir dos dados apresentados é possível inferir que:

- É crescente o número de trabalhos publicados que apresentam os problemas correlacionados com o lodo residual proveniente de ETE's e também com as possíveis soluções para o destino adequado do lodo de esgoto.
- Um sistema de gerenciamento do lodo consiste em 4 etapas: caracterização, desaguamento, estabilização e higienização. Obviamente estas etapas e os processos empregados variam de acordo com as características de cada sistema.
- Uma das alternativas mais utilizadas é o uso do lodo tratado (biossólido) como fertilizante agrícola. Em todos os testes os resultados foram positivos com relação ao aumento da biomassa da cultura, entretanto há uma grande preocupação com os organismos patogênicos e os metais pesados presentes no lodo.
- Há o risco inerente de acúmulo de metais pesados na cadeia trófica, até agora nos testes realizados notou-se o acúmulo principalmente nas folhas dos vegetais, entretanto as concentrações estavam abaixo do limite permitido.
- Os filtros plantados com macrófitas são uma alternativa viável para o "tratamento" do lodo proveniente da ETE Tibirica, localizada em Bauru-SP
- A espécie vegetal *Eichhornia crassipes* é adequada para o emprego no filtro, entretanto há que se considerar que esta é uma espécie invasora e cuidados com sua rápida dispersão deverão ser tomados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, J. M. T. de; SILVIA, E. A.; FERRI, F.; VAZ, L.G. de L.; KLEN, M.R.F. Estudo da Biorremediação do íon cianeto pela macrófita *Eichhornia crassipes*. In 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais...**Campo Grande-MS, 2005
2. ANDREOLI, C.V. *et al.* **Resíduos Sólidos de Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição final**. 1ª Ed. São Paulo: Editora Rima Artes e Textos, 2001
3. ANDREOLI, C. V.; FERREIRA, A. C.; CHERUBINI, C.; FRANÇA, M. Desinfecção e Secagem Térmica de Lodo de Esgoto Anaeróbio pelo uso de Biogás. XXVIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL. **Anais...** Cancun / México, 2002
4. HUE, N.V. Sewage sludge. In: RECHCIGL, J.E., ed. Soil amendments and environmental quality. Boca Raton, CRC Press, p. 199-168., 1995
5. ILHENFELD, R.G.K.; ANDREOLI, C.V. & LARA, A.I. Higienização do lodo de esgoto. In: PROSAB – Programa de Pesquisa em saneamento Básico. Rio de Janeiro, 97p., 1999
6. MATOS, A. T.; FREITAS, W. da S.; LO MONACO, P. A. V. Capacidade Extratora de diferentes espécies vegetais cultivadas em sistemas de alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 4, n. 2, p.31 -45. 2009.
7. NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D.A.S.; MELO, E.E.C. & OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. n. 28, p. 385-392, 2004
8. REIDEL, A.; DAMASCENO, S.; ZENATTI, D. C.; SAMPAIO, S. C.; FEIDEN, A.; QUEIROZ, M. F. de. Utilização de efluente de frigorífico, tratado com macrófita aquática, no cultivo de tilápia do Nilo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.181-185, 2005.
9. ROCHA, M. T.; SHIROTA, R. Disposição final de lodo de esgoto. **Revista de estudos ambientais**, v.1, n.3, set/dez, 1999.
10. THOMAZ, S.M. & BINI, L.M. Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios. **Acta Limnológica Brasiliensia**. v. 10, n. 1, p. 103-106, 1998
11. SUNTTI, C.; MAGRI, M. E. & PHILIPPI, L. S. Filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical aplicados na mineralização e desaguamento do lodo de tanque séptico. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 16, n. 1, p. 63-72, 2011