

## II-118 – SECAGEM DE LODO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS UTILIZANDO COLETORES SOLARES E TROCADORES DE CALOR

**Eloísa Stéphanie da Silva<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

**Nayara Vilela Avelar**

Engenheira Ambiental pela UFV. Mestre em Engenharia Civil (Sanitária e Ambiental) pela UFV. Doutoranda em Engenharia Civil (Sanitária e Ambiental) pela UFV.

**Ana Augusta Passos Rezende**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Mestre em Engenharia pela Universidade de Toronto, Canadá. Doutora em Engenharia Agrícola pela UFV. Professora adjunta do Departamento de Engenharia Civil da UFV.

**Michael Ribeiro Feltrin**

Graduando em Engenharia Florestal pela UFV.

**Gabriela Benevenuto Graciolli**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela UFV.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida P.H. Rolfs s/n – Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas/Departamento de Engenharia Civil – Centro - Viçosa - MG - CEP: 36571-000 - Brasil - Tel: +55 (31) 9615-4643 - e-mail: [eloisa.silva@ufv.br](mailto:eloisa.silva@ufv.br)

### RESUMO

Uma das grandes limitações apresentadas no setor de Saneamento se refere à disposição adequada dos resíduos provenientes de estações de tratamento de efluentes. Um dos principais subprodutos finais desse processo, o lodo, apresenta elevada umidade, o que demanda a aplicação eficiente de processos de desaguamento e secagem do mesmo. Sabe-se que o transporte do lodo para sua disposição em aterros é muito oneroso devido à sua elevada umidade. Sendo assim, a secagem desse material deve ser feita de forma adequada a fim de se obter um material com volume reduzido, facilitando seu manuseio e transporte. No entanto, alguns dos processos de secagem empregados atualmente pelas indústrias, como os leitos de secagem, lagoas de lodo e desaguamento mecânico por centrifugas, prensas desaguadoras, entre outros, não conseguem atingir níveis satisfatórios de umidade, ou são de custo elevado ou demandam uma área extensa. Nesse contexto, o presente projeto visou otimizar o processo de secagem de lodo biológico industrial, utilizando como fonte de energia, a energia solar. A partir dos estudos e pesquisas realizadas constatou-se que o sistema de secagem empregando coletores solares e trocadores de calor foi, de maneira geral, eficiente, pois a secagem foi viabilizada utilizando-se fonte renovável de energia e materiais reciclados, o que representa uma grande economia em termos de custo com energia e aquisição de equipamentos, além da redução de gastos com transporte do material e disposição em aterros sanitários.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia solar, Aproveitamento de resíduos, Lodo biológico, Secagem térmica.

### INTRODUÇÃO

A destinação e reutilização de resíduos provenientes de tratamento de efluentes industriais se apresentam como questões bastante pertinentes e relevantes tanto para a comunidade científica do campo da Engenharia Sanitária e Ambiental quanto para o setor econômico e empresarial. O aprimoramento das técnicas e métodos possibilita ganho ambiental e financeiro desde que conciliem emprego de recursos energéticos viáveis a baixo custo com eficiência de sua finalidade. Nesse sentido, torna-se necessário a pesquisa teórica e laboratorial a fim de que se desenvolvam sistemas capazes de auxiliar a destinação e reutilização destes resíduos.

O presente trabalho teve como objetivo principal o estudo preliminar e desenvolvimento de um dispositivo que permita a secagem de lodo proveniente de estação de tratamento de efluentes industriais a custos baixos, utilizando sistema de coletores solares e trocador de calor.

Justifica-se a escolha deste objeto para uma pesquisa científica tendo em vista a necessidade de melhor aproveitamento dos resíduos sólidos biológicos, resultado do tratamento de efluentes industriais. Em geral, esses resíduos trazem risco de contaminação ambiental quando descartados ou alocados de maneira incorreta. Nesse sentido, pesquisas que busquem dar melhor destinação a esses resíduos se tornam importantes uma vez que permitem a redução de danos sanitários e a possibilidade de geração de lucros com sua reutilização.

Além do objetivo principal exposto acima, esta pesquisa também objetiva avaliar a eficiência do sistema energético na remoção da umidade.

## METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (LESA/UFV). O lodo em estudo foi proveniente da estação de tratamento biológico de efluentes de uma indústria têxtil, coletado após a etapa de centrifugação do mesmo.

O lodo biológico foi classificado quanto à periculosidade de acordo com as normas NBR 10.004 (ABNT, 2004a), NBR 10.005 (ABNT, 2004b) e NBR 10.006 (ABNT, 2004c), e caracterizado quanto aos parâmetros pH, umidade, sólidos totais, fixos e voláteis, segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 2012), e densidade a granel, de acordo com a NBR 6922 (ABNT, 1981).

O sistema de secagem foi montado contemplando o uso de coletores solares de material reciclado e um trocador de calor a fim de se obter uma perda de umidade mais significativa. Para a fabricação da placa coletora de energia solar foram utilizadas latas de metal lixadas e revestidas com tinta preta esmaltada, garrafas PET (politereftalato de etileno) e tubulação de PVC, também revestida com tinta preta, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1 – Aquecedor solar usado na montagem do sistema definitivo: (a) Serpentina de cobre. (b) Placa coletora de energia solar. (c) Pequeno reservatório.



O aquecedor solar operou em circuito fechado, o fluido (água) recebeu energia solar na placa coletora, aquecendo-se e escoando para a serpentina por diferença de densidade. Ao passar pela serpentina de cobre (material de alta condutividade térmica) a água quente entrou em contato indireto com o interior da pilha. Então, o calor da água foi absorvido pela pilha e a água, que sai com temperatura mais baixa no final da serpentina, retornou a um pequeno reservatório, de onde ocupou o volume na placa coletora novamente, finalizando o ciclo.

Para a montagem da pilha, foi utilizado lodo biológico, e dois tipos de materiais estruturantes diferentes, casca de eucalipto e mistura seca de lodo e casca de eucalipto, a fim de conferir estrutura e porosidade ao lodo, sendo a proporção de lodo e material estruturante de 5:1.

A pilha foi dividida em quatro quadrantes com camadas inferior e superior, variando-se o tipo de material utilizado em baixo e acima da serpentina. A Figura 2 apresenta os detalhes da montagem do experimento.



Figura 2 – Sistema de secagem com coletor solar e trocador de calor: (a) camada inferior dos quadrantes; (b) camada superior dos quadrantes; (c) camadas inferior e superior dos quadrantes; (d) pilha final.

Foram monitoradas, diariamente, as temperaturas dos quadrantes, a temperatura ambiente e a temperatura da água utilizada como fluido de trabalho do aquecedor. A umidade foi extraída semanalmente, sendo as amostragens realizadas em triplicata para cada quadrante individualizado. O período de monitoramento do sistema foi de 80 dias, de maio a julho de 2014.

## RESULTADOS

### ETAPA 1 – CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO LODO BIOLÓGICO

O lodo biológico foi classificado como resíduo não perigoso e não inerte (Classe II A), segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização física e química do lodo biológico.

**Tabela 1 – Caracterização física e química do lodo biológico.**

Parâmetro	Média*
Sólidos totais (%)	12±0,58
Sólidos fixos (%)	24±0,20
Sólidos voláteis (%)	76±0,20
Umidade (%)	87±0,58
pH a 25°C	7,2
Densidade a granel (kg.m <sup>-3</sup> )	800

\* média de 3 repetições.

A fim de se verificar a eficiência do processo de secagem do lodo, foram determinados inicialmente a umidade e os sólidos totais do mesmo, bem como dos materiais estruturantes, conforme apresentado na Tabela 2. Verifica-se que antes de se iniciar o processo de secagem o lodo apresentava umidade elevada.

**Tabela 2 – Caracterização inicial do lodo biológico e dos materiais estruturantes.**

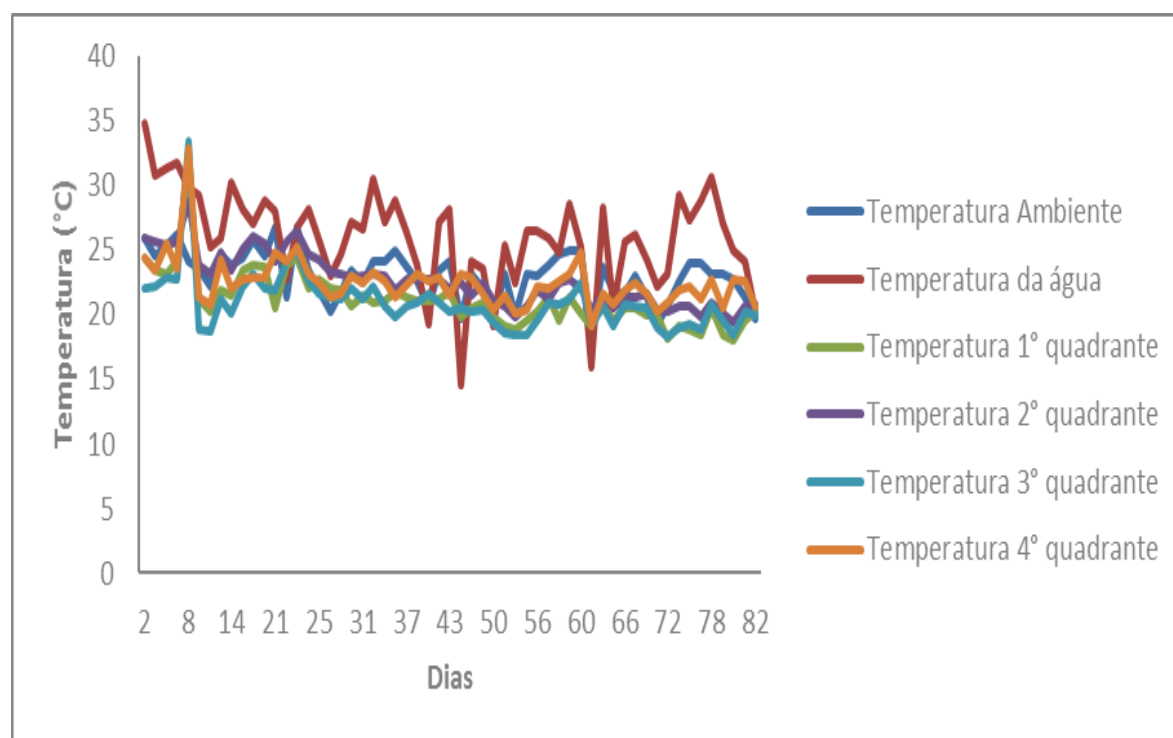
	Lodo	Casca de Eucalipto	Mistura seca casca/lodo
Sólidos totais (%)	18±0,58	89±0,04	80±0,04
Umidade (%)	82±0,58	11±0,04	20±0,04

\* média de 3 repetições.

## ETAPA 2 – SISTEMA DE SECAGEM DE LODO

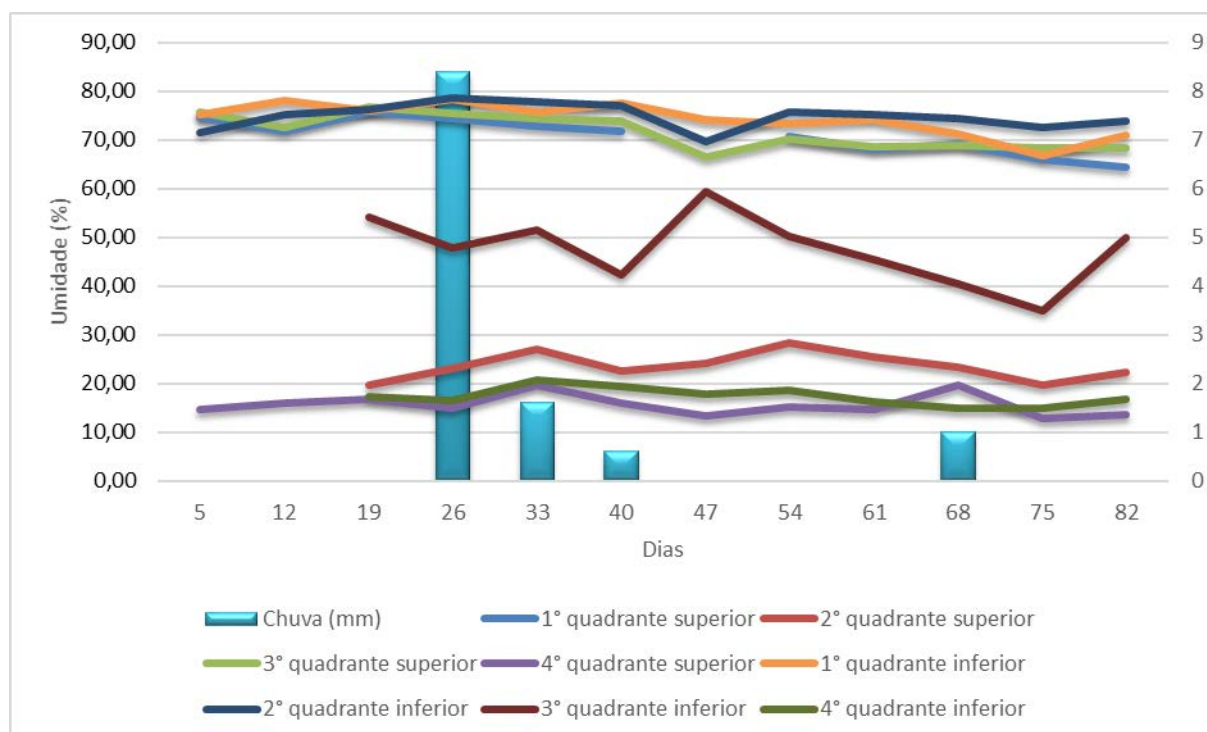
O monitoramento contínuo da temperatura possibilitou o estabelecimento de relações entre as oscilações de temperatura ambiente e sua interferência na temperatura da água, utilizada como fluido de trabalho do aquecedor, e consequentemente no aquecimento da pilha.

A Figura 3 apresenta o perfil de temperatura ambiente, da água e dos quadrantes ao longo do período experimental, que decorreu na transição Outono-Inverno. Conforme mostrado, a temperatura ambiente oscilou em torno de 18 a 27°C, a temperatura da água em torno de 15 a 35°C, e a temperatura da leira em torno de 18 a 33°C.



**Figura 3 – Perfil de temperatura ambiente, da água e dos quadrantes ao longo do tempo.**

A Figura 4 apresenta o perfil de umidade das camadas inferior e superior de cada quadrante ao longo do tempo. Os quadrantes compostos de mistura de lodo biológico e casca de eucalipto (1º quadrante inferior, 1º quadrante superior, 2º quadrante inferior e 3º quadrante superior) apresentaram os maiores valores de umidade, devido ao alto teor de água presente no lodo. Entre estes quadrantes, o 1º apresentou uma menor redução de umidade, atingindo valores finais de 64% para a camada superior e 71% para a camada inferior, pois é nesse quadrante em que a água do trocador de calor entra com uma maior temperatura. No entanto, apesar do 1º quadrante ser composto pelo mesmo tipo de material, a umidade final da parte inferior foi maior, pois além de não receber radiação solar direta, a água proveniente da camada superior percolou para a camada inferior, fazendo com que haja esse aumento de umidade.



**Figura 4 - Umidade das camadas superiores e inferiores dos quadrantes em relação à precipitação pluviométrica acumulada**

Os quadrantes compostos de casca de eucalipto (2º quadrante superior, 3º quadrante inferior, 4º quadrante inferior e 4º quadrante superior) apresentaram os menores valores de umidade, devida ao baixo teor de água presente na casca de eucalipto e na mistura seca de lodo e casca. Verifica-se, pela Figura 2b, que entre esses quadrantes, o 3º quadrante inferior apresentou a maior umidade, atingindo um valor final de 50%, pois a camada superior do mesmo é composta de lodo, sendo assim, possivelmente a água presente no lodo percolou através da camada inferior, aumentando sua umidade.

A intensidade de precipitação durante o período experimental não apresentou grandes volumes de forma geral, conforme apresentado na Figura 4. Houve um pico de precipitação na semana entre o 19º e 26º dia, sendo o total acumulado na semana de 8,4. Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos na Estação meteorológica da Universidade Federal de Viçosa. Na Figura 4 observa-se também que houve pouca interferência do pico de precipitação na elevação da umidade da pilha, uma vez que, a mesma estava coberta por uma lona plástica.

## CONCLUSÕES

Com base nos estudos realizados e no monitoramento da pilha demonstrou-se que o sistema de secagem desenvolvido foi eficiente tendo em vista o objetivo principal do trabalho. Porém essa eficiência não foi maior uma vez que o aquecedor utilizado, de material reciclado, não permitiu alcançar temperaturas elevadas. Observou-se que, a despeito dessa limitação, o emprego de energia solar no processo de secagem foi

satisfatório, além de econômico, pois quando a água aquecida nos coletores solares passa pela serpentina, ela perde calor para o lodo e acelera o processo de secagem. Sendo assim, há a necessidade de novos estudos para aperfeiçoamento do processo bem como uma potencial utilização de outros tipos de materiais.

A secagem do lodo é de grande interesse ambiental bem como de interesse econômico uma vez que uma melhor eficiência reflete em lucros seja para disposição final ou para o reaproveitamento do lodo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Baltimore: APHA, 2012.
2. ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 6922**: Carvão vegetal – Ensaio físico determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro, 1981.
3. ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.
4. ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.
5. ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 10006**: Procedimento para obtenção e extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.
6. AVELAR, N. V. **Potencial dos resíduos sólidos da indústria têxtil para fins energéticos**. 2012. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2012.
7. DAVID, A. C. **Secagem térmica de lodo de esgoto**. Determinação da umidade de equilíbrio. 2002. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
8. GONÇALVES, R. F.; LUDUVIC M.; VON SPERLING, M. Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (eds.) **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. V.6. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Companhia de Saneamento do Paraná, 2001b. 484p.
9. MIKI, M. K.; ALÉM SOBRINHO, P.; VAN HAANDEL, A. C. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos – condicionamento, desaguamento mecanizado e secagem térmica do lodo. In: ANDREOLI, C. V. (coord). **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES - PROSAB, 2006. 417p.
10. PEREIRA NETO, J. T. Manual de compostagem: processo de baixo custo. Viçosa – MG: UFV, 2007.