



## II-090 - ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE BIOFERTILIZANTE (LODO DE ESGOTO) SUBMETIDO A PROCESSO DE BENEFICIAMENTO

### **Márcia Regina Pereira Lima<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professora do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Programa de Mestrado em Tecnologias Sustentáveis do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes-campus Vitória).

### **Tamara Barbosa Passos<sup>(2)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes - campus Vitória). Engenheira Civil pelo Centro Universitário Faesa. Mestranda em Tecnologias Sustentáveis pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes - campus Vitória).

### **Aurélio Azevedo Barreto Neto<sup>(3)</sup>**

Engenheiro de Minas pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Mestrado em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas. Doutorado em Ciências pela Universidade Estadual de Campinas. Professor do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Programa de Mestrado em Tecnologias Sustentáveis do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes-campus Vitória).

### **Amanda da Silva Fraga<sup>(4)</sup>**

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes – campus Vitória).

### **Lorena Bertrande Costa<sup>(5)</sup>**

Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes – campus Vitória).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Vitória, 1729 - Jucutuquara - Vitória - ES - CEP: 29.010-490 - Brasil - Tel: (27) 3331-2188 - e-mail: [marcialima@ifes.edu.br](mailto:marcialima@ifes.edu.br).

### **RESUMO**

Esta pesquisa buscou avaliar o comportamento das características físicas de lodo gerado em estações de tratamento de esgotos domésticos, quando submetido à moagem, visando conferir ao material características comerciais para os seus usos benéficos. O estudo foi dividido nas seguintes etapas: caracterização microbiológica do biofertilizante bruto (lodo de esgoto bruto) de acordo com a Resolução 375/2006; determinação de características físicas do biofertilizante bruto; beneficiamento do biofertilizante bruto obtendo duas faixas granulométricas (pó e farelado grosso) de acordo com a Instrução Normativa 25/2009 (biofertilizante beneficiado); determinação das características físicas dos biofertilizantes beneficiados; tratamento estatístico dos dados obtidos para avaliação das alterações sofridas pelo biofertilizante bruto após o seu beneficiamento. A densidade de coliforme termotolerante encontrada no biofertilizante bruto é inferior à definida para classe A, segundo a Resolução 375/2006. O biofertilizante bruto obteve menor umidade que as determinadas para os biofertilizantes beneficiados. Com relação à umidade foi possível observar que a faixa granulométrica do biofertilizante interfere nesse parâmetro. Já com relação à densidade, não houve variância significativa entre os resultados encontrados para o biofertilizante bruto e para o biofertilizante beneficiado - pó. Comparando os resultados de porosidade entre os biofertilizantes beneficiados, os resultados indicaram que quanto maior a faixa granulométrica, maior será sua porosidade. Devido a sua pulverulência para a utilização na agricultura do biofertilizante beneficiado - pó é necessária a adoção de cuidados especiais para evitar inalação do material pelo operador.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de esgoto, biofertilizante, beneficiamento, comercialização.



## INTRODUÇÃO

A destinação final ambientalmente adequada dos resíduos provenientes das estações de tratamento de esgotos consiste em um dos maiores desafios no que diz respeito ao gerenciamento dos sistemas (REAMI; BERTONCINI, 2017). Isso se deve principalmente no número esperado de novas estações de tratamento de esgotos, acarretando no aumento da geração desses resíduos (SILVA et al., 2017). Entre estes resíduos, o lodo de esgoto apresenta-se com maior volume e massa em relação aos outros subprodutos. Sendo obtido na maioria das vezes nos tratamentos primários e secundários dos sistemas, o lodo necessita de tratamento e disposição final adequados que representam custos adicionais ao sistema.

No Brasil, a maior parte do lodo de esgoto doméstico gerado em ETE é destinado aos aterros sanitários. Porém, segundo Reami e Bertoncini (2017), esse tipo de disposição reduz o tempo de vida dos aterros com um produto orgânico que possui valor econômico significativo. O valor econômico atribuído ao lodo de esgoto doméstico deve-se às suas características benéficas. Segundo Bittencourt et al. (2016), esse lodo é fonte de matéria orgânica para o solo e de nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Além disso, suas propriedades o tornam especialmente interessante a solos agrícolas desgastados por manejo inadequado, bem como para recuperação de áreas em processo de degradação (ANDREOLI; PEROGINI, 1998).

Apesar dos seus benefícios é necessário a adoção de critérios de monitoramento e de aplicação do lodo no solo pois, em sua composição, estão presentes alguns contaminantes como metais pesados e organismos patogênicos (BITTENCOURT et al., 2016). Esses critérios estão presentes na Resolução CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006) e nas instruções normativas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) que visam oferecer alternativas técnicas e legais para o tratamento e disposição controlada deste tipo de material (SILVA et al., 2017).

De modo particular, a instrução normativa nº 25 do MAPA (BRASIL, 2009) sugere a definição de faixas granulométricas como forma de beneficiamento de biofertilizante e, devido às suas características, o lodo de esgoto pode ser enquadrado como tal. O processo de beneficiamento para a obtenção de um material utilizável no solo permite o atendimento a todas as exigências provenientes das legislações pertinentes (SILVA et al., 2017). Assim, o beneficiamento do lodo de esgoto pode viabilizar sua comercialização.

Em países como os Estados Unidos a comercialização do lodo de esgoto doméstico não é novidade. A possibilidade de empresas de saneamento obterem retorno com a venda desse material, poderá contribuir no financiamento de melhores tecnologias de processamento, produção, monitoramento e controle do material (SILVA et al., 2017).

O objetivo do presente trabalho é analisar e comparar as características físicas (densidade, porosidade e umidade) do biofertilizante (lodo de esgoto doméstico bruto) submetido a processo de beneficiamento, caracterizado pela classificação do material em faixas granulométricas (pó e farelado grosso).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo utilizado nos experimentos é proveniente da ETE Ulisses Guimarães, localizada no município de Vila Velha – ES que trata os efluentes de cerca de 19 mil habitantes. A vazão média de esgotos a ser tratada nessa unidade é de 30 L/s e ela opera com as seguintes unidades: tratamento preliminar, reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), filtro biológico aerado submerso (FBAS), decantador secundário (DS) e sistema de desinfecção por ultravioleta (UV) sendo dois conjuntos dotados de UASB+FBAS+DS que tratam uma vazão média de 15 L/s totalizando os 30 L/s (CESAN, 2011).

Os lodos gerados na lavagem dos FBAS+DS são recirculados para o UASB com a finalidade de promover a estabilização e adensamento. Os lodos gerados no UASB são drenados, por descarga hidráulica, para as células do leito de secagem e posteriormente o lodo seco é disposto em aterro sanitário (CESAN, 2011).

Para o desenvolvimento da pesquisa, o lodo foi coletado do leito de secagem na última semana de outubro de 2016 e encaminhado ao Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes), campus Vitória para os procedimentos metodológicos.

Para o desenvolvimento experimental o lodo de esgoto (biofertilizante bruto) foi quarteado para a obtenção de amostra representativa. Após o quarteamento, parte da amostra foi encaminhada a laboratórios para a caracterização inicial do material e outra para os testes experimentais definidos como processos de beneficiamento do material.

A caracterização inicial do biofertilizante bruto (lodo de esgoto bruto) contou com a realização de ensaios para determinação de coliformes termotolerantes, densidade e umidade. A densidade de coliformes termotolerantes foi determinada pela técnica do número mais provável (NMP), mais conhecida como método de tubos múltiplos. Já para a determinação da densidade e da umidade foi utilizado o método empírico descrito em APHA (2005).

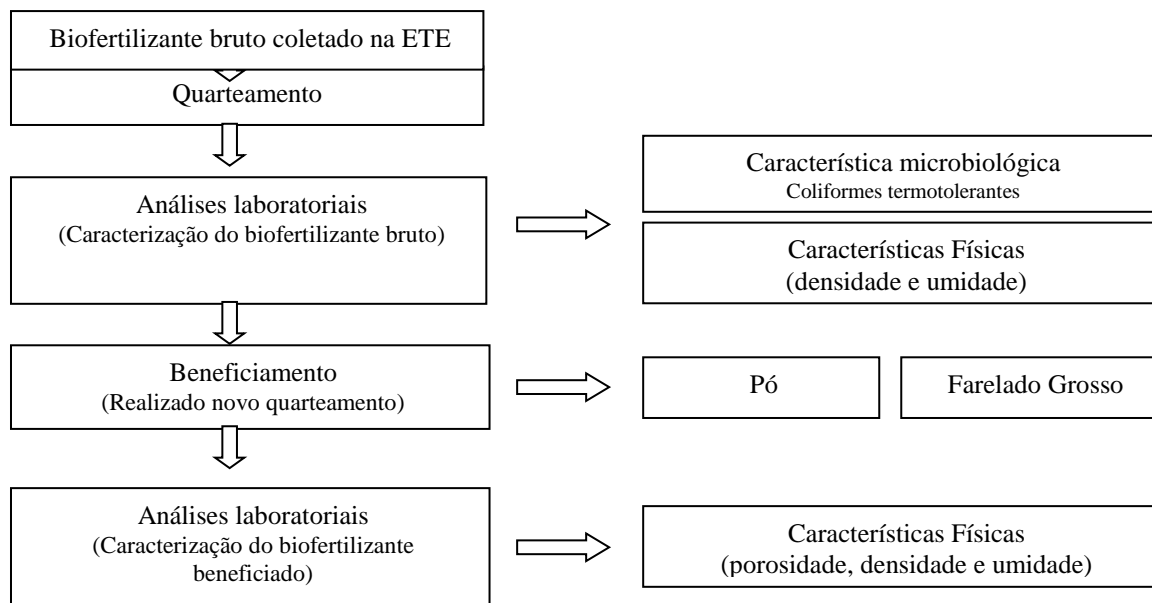
O processo de beneficiamento do biofertilizante bruto consistiu na sua divisão em faixas granulométricas conforme sugerido pela IN 25/2009 do MAPA (BRASIL, 2009). Para essa divisão foram realizados os ensaios de peneiras conforme a metodologia apresentada pela NBR 7181/1984 (ABNT, 1984). As malhas das peneiras para obter as granulometrias pó e farelado grosso estão apresentadas na tabela 1.

**Tabela 1 – Conjuntos de peneiras utilizados para obtenção de cada faixa granulométrica**

Faixas granulométricas	Conjunto de peneiras (mm)
Pó	2.0; 0.84 e 0.3
Farelado grosso	4.75 e 1.0

A parte da amostra encaminhada para realização dos testes experimentais foi novamente quarteada para garantir uma boa representatividade do material e as parcelas do quarteamento foram destorroada, utilizando um soquete. Com o conjunto de peneiras para cada faixa granulométrica foram realizados os ensaios de granulometria até obter aproximadamente 3 kg de amostra para cada faixa (pó e farelado grosso). O peneiramento foi realizado com o auxílio de um agitador mecânico de peneiras durante dois minutos. Em seguida as amostras foram encaminhadas para a determinação da porosidade, densidade e umidade. Para a porosidade foi utilizada a metodologia definida por Bhattarai et al. (2011) e Embrapa (1997), e para determinar a densidade e a umidade foram utilizadas as mesmas metodologias aplicadas para o biofertilizante bruto.

Na figura 1 é possível identificar as etapas do desenvolvimento experimental da pesquisa. Cabe ressaltar, que como apresentado, o lodo de esgoto ainda bruto foi denominado biofertilizante bruto e o lodo de esgoto após ser submetido ao ensaio de peneiramento, biofertilizante beneficiado.



Fonte: as próprias autoras (2018)

**Figura 1 - Fluxograma do desenvolvimento experimental**

Para o tratamento estatístico utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos utilizados foram: biofertilizante bruto, biofertilizante beneficiado pó e biofertilizante beneficiado farelado grosso. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias do tratamento do biofertilizante bruto foram comparadas com a média do biofertilizante beneficiado pó e farelado grosso pelo teste de Dunnett, a 5%, e os tratamentos do biofertilizante beneficiado pelo teste de Tukey, a 5%. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SPSS versão 21 (BITTENCOURT et al., 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na caracterização microbiológica do biofertilizante bruto foi comprovada a negatividade para coliformes termotolerantes, considerando que não foi observado nas alíquotas transferidas em 24 horas e 48 horas para os tubos contendo meio EC, produção de gás no interior dos tubos de Durham, Sendo assim, o biofertilizante bruto atende a Resolução 375/2006 do Conama (BRASIL, 2006) no que diz respeito a esse parâmetro para lodo classe A, sendo que a densidade de coliformes termotolerantes deve ser menor que  $10^3$  NMP/g de ST.

O biofertilizante bruto obteve  $1,27\text{g/cm}^3$  de densidade e os valores obtidos para o biofertilizante beneficiado pó foi  $1,26\text{ g/cm}^3$  e para farelado grosso  $1,27\text{ g/cm}^3$ , conforme tabela 2. Não houve variância significativa entre os resultados do biofertilizante bruto e do biofertilizante beneficiado – farelado grosso, sugerindo que o mesmo volume foi ocupado pela mesma massa de material. Para o biofertilizante beneficiado - pó, apesar do valor encontrado ser próximo ao do biofertilizante bruto, houve variância significativa entre os resultados quando utilizado o teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

**Tabela 2 – Comparação entre as médias de densidade entre o biofertilizante bruto e as faixas granulométricas do biofertilizante beneficiado**

Material	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão (g/cm <sup>3</sup> )
Biofertilizante bruto	1,27	0,005
Biofertilizante beneficiado - Farelado grosso	1,27	0,002
Biofertilizante beneficiado – Pó	1,26*	0,003

Nota: Médias seguidas \* diferem do tratamento testemunha (biofertilizante bruto) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Com relação à umidade, o biofertilizante bruto obteve 10% enquanto o biofertilizante beneficiado na granulometria pó obteve 13,34% e o biofertilizante beneficiado na granulometria farelado grosso obteve 12,96%, esses valores podem ser observados na tabela 3.

**Tabela 3 – Comparação entre as médias de umidade entre o biofertilizante bruto e as faixas granulométricas do biofertilizante beneficiado**

Material	Umidade (%)	Desvio Padrão (%)
Biofertilizante bruto	10,00	0,10
Biofertilizante beneficiado - Farelado grosso	12,96*	0,08
Biofertilizante beneficiado – Pó	13,34*	0,12

Nota: Médias seguidas \* diferem do tratamento testemunha (biofertilizante bruto) pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Esse resultado demonstra que a faixa granulométrica do biofertilizante interfere na umidade do material. Neste caso, sabe-se que a capacidade de desaguamento varia de acordo com a forma que a água está ligada às partículas do lodo, sendo que diferentes tipos de forças intermoleculares são responsáveis pela ligação da água aos sólidos do material. Segundo Ludovice (2001) essas ligações podem ser distribuídas em quatro classes, sendo elas, água livre, água adsorvida, água capilar e água celular.

A remoção de cada tipo de água é realizada de maneira específica. A água livre é removida por simples ação gravitacional ou por flotação. A água adsorvida e a capilar exigem forças maiores como adição de produtos químicos (floculantes) ou força mecânica (filtros prensas e centrifugas). Já a água celular só é removida por força térmica (JORDÃO E PESSÔA, 2009).

Assim, em razão do biofertilizante bruto apresentar grãos maiores com granulometria irregular e também de não ter sido submetido a processo que possibilitasse atingir as diferentes condições em que a água se encontra no material, o resultado sugere que ao se proceder o destorroamento e a uniformização dos grãos com o peneiramento, parcelas de água contidas no material foram expostas, fazendo com que a umidade do biofertilizante beneficiado fosse maior que a do biofertilizante bruto. Observa-se que houve uma pequena diferença entre os biofertilizantes beneficiados que pode confirmar a influência da granulometria na umidade do material.

Comparando as porosidades do biofertilizante beneficiado foi possível detectar que a faixa granulométrica pó possui menor porosidade que o farelado grosso (Tabela 4). Este resultado era esperado, considerando que na acomodação dos grãos maiores é possível a permanência de vazios que não foram ocupados pelos grãos em razão da sua granulometria, fazendo com que a porosidade seja maior.

**Tabela 4 – Comparação entre as médias de porosidade entre as faixas granulométricas do biofertilizante beneficiado**

Faixas Granulométricas	Porosidade (%)	Desvio Padrão (%)
Biofertilizante beneficiado - Farelado grosso	46,41a	0,85
Biofertilizante beneficiado – Pó	26,61b	0,41

Nota: Em cada linha, médias seguidas de letras distintas diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Foi possível observar, durante o manuseio do material para o desenvolvimento da pesquisa, que o biofertilizante beneficiado - pó apresenta-se muito pulverulento. Isso dificultou seu manejo e, inclusive, foi necessária a utilização de máscara para evitar que o material fosse inalado. Dessa forma, para o seu uso na agricultura tornam-se necessários cuidados especiais para uma manipulação adequada do material pelo operador.

## CONCLUSÕES

O biofertilizante bruto (lodo de esgoto) utilizado na pesquisa apresentou densidade de coliforme termotolerante inferior ao limite máximo exigido para lodo classe A, segundo a Resolução 375/2006. O biofertilizante bruto obteve 1,26g/cm<sup>3</sup> de densidade que é igual ao obtido para o biofertilizante beneficiado – pó, não havendo variancia significativa entre estes resultados. Já, para o biofertilizante beneficiado - farelado grosso foi encontrado 1,27 g/cm<sup>3</sup> que apesar da pequena diferença quando comparado ao biofertilizante bruto, houve variância significativa entre os resultados quando utilizado o teste de Dunnett a 5% de probabilidade. Com relação à umidade, o biofertilizante bruto obteve 10% enquanto o biofertilizante beneficiado - farelado grosso obteve 12,956% e o biofertilizante beneficiado - pó obteve 13,34%, sugerindo que quanto menor a faixa granulométrica deste biofertilizante maior será a umidade. Com relação à porosidade, o biofertilizante beneficiado – pó possui menor porosidade (26,61%) que o biofertilizante beneficiado - farelado grosso (46,41) em razão da acomodação dos grãos maiores que possibilita a permanência de vazios devido a sua granulometria. Porém, devido à pulverulência do biofertilizante beneficiado - pó, destaca-se necessidade de se adotar cuidados especiais para que ocorra uma manipulação adequada do material pelo operador.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION - APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005.
2. ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E.S. Gestão de Biossólidos: Situação e perspectivas. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1.; 1998, Curitiba. Anais eletrônicos... Curitiba: SANEPAR, p. 1-7, 1998.
3. ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final. Belo Horizonte: UFMG, p. 465-482, 2001.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Análise granulométrica do solo. Rio de Janeiro: 1984. 13p.
5. BHATTARAI, R; KALITA, P. K; YATSU, S; HOWARD, H. R; SVENDSEN, N. G. Evaluation of compost blankets for erosion control from disturbed lands. Journal of Environmental Management, p. 803-812, 2011.
6. BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M.; AZEVEDO, J. C. R. Sorção de poluentes orgânicos emergentes em lodo de esgoto. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 1, p. 43-53, jan/mar. 2016.
7. BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; ANDREOLI, C. V; MOURA, E. N; TOGNY, F. L; SILVA, L. A. T. P. Lodo de esgoto submetido ao revolvimento: efeito sobre sólidos totais, pH e ovos viáveis de helmintos. Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambiental, v. 11, p. 191-200, 2013.
8. BRASIL. Resolução n.º 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente, Poder Executivo, Brasília, DF, 2006.



9. BRASIL. Instrução Normativa n.º 25, de 23 de julho de 2009. Estabelece normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Poder Executivo, Brasília, DF, 2009.
10. COMPANHIA ESPIRITO SANTENSE DE SANEAMENTO (CESAN). Plano Operacional de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, Sistema de Esgotamento Sanitário Ulisses Guimarães. Espírito Santo: CESAN, 2011.
11. EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2 ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.
12. LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2001. cap. 4, p. 123-157.
13. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 5 ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2009.
14. REAMI, L.; BERTONCINI, E. I. O valor do lodo de esgoto. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES), FENASAN; 2017, São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: ABES, 2017.
15. SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. Uso e manejo de lodo de esgoto na agricultura. SANEPAR: PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 1999. 98 p.
16. SILVA, A. L.; MONÇÃO, S. H.; VIANNA, R.; NERY, I. M. Análise de alternativas de processo e disposição de lodo de esgoto na agricultura: quando a atratividade econômica e a preservação ambiental caminham juntas. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES), FENASAN; 2017, São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: ABES, 2017.