

## II-138 - CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIZAÇÃO ALCALINA DE LODO SANITÁRIO E DETERMINAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO PH PARA USO NO SOLO

**Vivian Silveira dos Santos Bardini<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC - USP). Doutora e mestra pelo Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC). Professora Doutora do Departamento de Engenharia Ambiental no Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (ICT – Unesp)

**Talita Caetano de Souza Guerra<sup>(2)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (ICT – Unesp).

**Adriano Gonçalves dos Reis<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Químico pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena (EEL – USP). Mestre e Doutor em Ciências na Área de Materiais e Processos de Fabricação pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Professor Doutor do Departamento de Engenharia Ambiental no Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (ICT – Unesp).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Estrada Dr. Altino Bondesan, 500 – ICT/Unesp - Eugênio de Melo - São José dos Campos – São Paulo - CEP: 12247-016 – Brasil - Tel.: (12) 3947-9700 - e-mail: [talitacsguerra@gmail.com](mailto:talitacsguerra@gmail.com)

### RESUMO

Lodos de esgoto são subprodutos do tratamento de efluentes líquidos e os custos com seu manejo podem chegar a 60% do total dos custos operacionais de uma ETE. Todo lodo de ETE deve ser devidamente tratado e corretamente disposto pois pode gerar impactos adversos ao ambiente e a saúde pública. Uma maneira de diminuir os custos com o tratamento e disposição de lodos é aproveitar o potencial benéfico do material como biossólido, que pode ser aplicado no solo, pois o lodo é constituído de nutrientes essenciais às plantas. Desta forma, objetivou-se estudar a viabilidade da disposição de biossólido caleado proveniente da ETE do Parque Tecnológico de São José dos Campos no solo do próprio complexo empresarial. O lodo bruto foi caracterizado quanto ao pH, gravidade específica, acidez, alcalinidade e sólidos totais, fixos e voláteis. A estabilização foi feita em triplicata para cada amostragem de lodo e cada réplica conteve uma quantidade diferente de cal virgem para determinar a menor dosagem de cal viável para estabilizar o lodo. A curva de elevação do pH do solo devido ao biossólido foi construída estudando a mistura de biossólido com solo, em triplicata, nas dosagens equivalentes a 10, 20, 40, e 80 ton/ha. A análise dos metais pesados foi feita por espectrofotometria atômica. Os resultados mostraram que o lodo tem características sépticas (lodo digerido) e já tem um teor de sólidos (5,4%) compatível com lodos adensados por gravidade além do teor de SVT/ST próximo de 70%, critério essencial a ser atingido de acordo com a Resolução Conama 375 que considera lodos estabilizados aqueles cuja essa relação seja inferior a 70%. A faixa de dosagem mínima viável de cal foi de 12%-18% de massa de cal por massa de sólidos secos e a dosagem máxima de aplicação de biossólido no solo foi de 10 ton/ha. As quantidades de metais analisados no lodo estão dentro dos limites estabelecidos. O teste em escala piloto de aplicação do biossólido na dosagem de 10 ton/ha no solo do Parque Tecnológico apresentou resultados satisfatórios, em que o crescimento da vegetação não foi alterado. Sendo assim, o lodo resultante do tratamento de efluentes do Parque Tecnológico de São José dos Campos mostrou ter um potencial para reuso agrícola dentro dos limites do próprio complexo empresarial, considerando os parâmetros analisados, tendo assim uma destinação ambientalmente correta por atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de esgoto, Estabilização Alcalina, Biossólido.

### INTRODUÇÃO

Todo tratamento de águas residuárias gera, em princípio, um resíduo denominado por lodo cujas características dependem do efluente do qual se origina e dos processos utilizados no seu tratamento. O lodo deve ser devidamente tratado antes de ser finalmente disposto por ser potencialmente prejudicial ao ambiente e à saúde humana (VON SPERLING, 2014).

Com a expectativa do aumento do tratamento de águas residuárias no Brasil também se espera uma maior geração de lodo a ser tratado implicando em maiores custos de operação e disposição, que podem chegar a 60% do custo total de uma estação de tratamento de esgotos (ETE). Uma das maneiras de se diminuir os custos do esgotamento sanitário relacionados com o manejo do lodo é desviar a rota de disposição final do aterramento, que é caro e representa a perda do potencial benéfico desse material, uma vez que o lodo, após beneficiamento (neste caso recebe a denominação biossólido), pode passar por reciclagem agrícola, servir de material condicionador de solo para recuperação de áreas degradadas ou na fabricação de tijolos, dentre outros possíveis usos (ANDREOLI ET. AL., 2014).

A reciclagem agrícola do biossólido é uma forma interessante de aproveitamento desse material pois ele geralmente é rico em nutrientes essenciais ao desenvolvimento de plantas além de possuir potencial de agregador do solo (BARBOSA E FILHO, 2006; ANDREOLI ET. AL., 2014), melhorando suas características. A etapa de higienização do biossólido o torna bastante alcalino e sua aplicação controlada pode funcionar como corretivo do solo aumentando seu pH, contribuindo para a absorção de nutrientes e favorecendo a atividade microbiana (ANDREOLI ET. AL., 2014).

No Brasil, a utilização de lodo no solo para fins agrícolas deve atender aos critérios dispostos pela resolução nº 375 de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2006), que exige que uma série de parâmetros sejam observados antes da aplicação do material ao solo bem como os procedimentos a serem seguidos e em quais tipos de cultura seu uso é permitido. Dentre os aspectos que devem ser observados segundo a resolução estão a caracterização do potencial de uso agrícola do material; as substâncias orgânicas e inorgânicas potencialmente tóxicas presentes; os indicadores bacteriológicos e patogênicos e a estabilidade do material e a elevação de pH no solo.

## OBJETIVO

O objetivo deste estudo é a caracterização e a estabilização alcalina de lodo sanitário por adição de cal virgem, a determinação da elevação do pH para uso do biossólido no solo, análise dos metais presentes e teste de aplicação em escala piloto.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em cinco etapas: caracterização do lodo bruto, testes de estabilização química, construção da curva de elevação do pH do solo devido ao biossólido, análise dos metais presentes e teste de aplicação em escala piloto. As etapas estão descritas a seguir.

## CARACTERIZAÇÃO DO LODO BRUTO

As amostras de lodo da ETE do Parque Tecnológico de São José dos Campos foram retiradas com o auxílio de uma bomba posicionada no fundo do decantador secundário, após tratamento via lodos ativados do efluente sanitário. Os parâmetros verificados para a caracterização foram: temperatura, pH, gravidade específica, alcalinidade, acidez, sólidos totais (ST), sólidos fixos totais (SFT) e sólidos voláteis totais (SVT) (ABNT, 1989; ABNT, 1996).

## ESTABILIZAÇÃO ALCALINA

Para testes de determinação de quantidade de cal mínima necessária para manter o lodo dentro do pH exigido pela Resolução Conama 375/2006, a cada retirada de lodo do decantador foram preparadas 3 amostras de 100 g de lodo, em bêquer de vidro, e foram utilizadas quantidades diferentes de cal virgem para cada amostra. A melhor dosagem de cal é a menor quantidade que garanta que o pH ficará acima de 12 por um mínimo de 2 horas e acima de 11,5 por um mínimo de 22 horas, sem que haja aplicação adicional de cal (CONAMA, 2006).

Pelo estudo de caracterização do lodo bruto foi possível saber que o lodo possui características sépticas e um percentual de ST médio de 5,4%. Assim foram determinadas as doses equivalentes de gramas de cal por

quilograma de sólido seco, explicitadas na Tabela 1. E1, E2 e E3 referem-se aos testes de estabilização 1, 2 e 3, respectivamente.

O pH das amostras foi medido imediatamente após aplicação de cal e homogeneização via agitação magnética, após 2 horas e após 22 horas para verificação da alcalinidade residual que deve permanecer a fim de assegurar a estabilização do biossólido (METCALF & EDDY, 2016). Também foi medido ST, SVT e SFT do lodo estabilizado.

**Tabela 1: Percentual de cal virgem em massa de lodo seco do trabalho**

	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>
<b>Dose de cal (g)</b>	0,5	0,75	1
<b>Massa de lodo bruto (g)</b>	100	100	100
<b>Massa de lodo seco médio g)</b>	5,4	5,4	5,4
<b>Dose equivalente (g cal/kg sólido seco)</b>	92,6	138,9	185,2
<b>massa de cal/massa de sólido seco (%)</b>	9,3	13,9	18,5

### **CURVA DE ELEVAÇÃO DO PH DO SOLO DEVIDO AO BIOSSÓLIDO**

Para a determinação do pH do solo e das misturas de solo com lodo, agitou-se uma porção de 10g de solo ou solo com lodo com 25 ml de solução de CaCl<sub>2</sub>, e fez-se a leitura potenciométrica (EMBRAPA, 2017).

Foram preparadas 20 amostras de 200g de solo, amostrado nas dependências do Parque Tecnológico de São José dos Campos, que receberam dosagens de biossólido equivalentes a 0 ton/ha, 10 ton/ha, 20 ton/ha, 40 ton/ha e 80 ton/ha em esquema de triplicata. O biossólido utilizado neste ensaio foi estabilizado com a menor dosagem percentual de cal viável encontrada durante os testes de estabilização. Após misturadas com as devidas dosagens de lodo as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos que foram fechados e armazenados em local seco e temperatura ambiente, no laboratório. A verificação do pH das amostras de solo com lodo ocorreu nos tempos após 7, 14, 30, 45 e 60 dias de aplicação para determinação da elevação do pH no solo.

### **ANÁLISE DOS METAIS NO BIOSSÓLIDO**

A análise dos metais foi feita em duplicata por espectrofotometria de absorção atômica e seguindo os métodos 3050 e 3051 estabelecidos no USEPA (U.S.EPA., 2007; U.S.EPA., 1996) e apontados pela Resolução Conama nº 375 (CONAMA, 2006) como adequados para análise de lodos.

### **TESTE PILOTO DE APLICAÇÃO NO SOLO**

Foram utilizados cerca de 50 kg de biossólido que foram aplicados em uma porção de área dentro do complexo do Parque Tecnológico, que foi previamente roçada e delimitada para evitar acesso de pessoas. O crescimento da vegetação foi acompanhado visualmente por dois meses. A área delimitada foi preenchida de maneira uniforme.

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

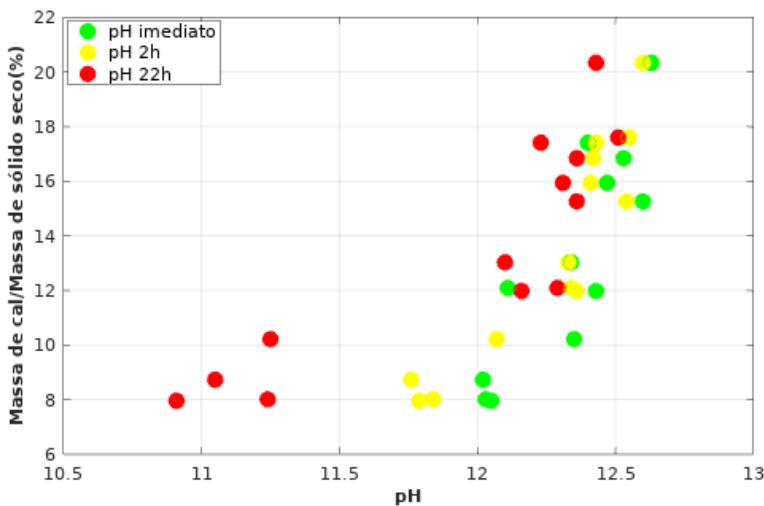
Na Tabela 2 estão os dados de caracterização do lodo bruto da ETE.

**Tabela 2: Caracterização do lodo bruto da ETE do Parque Tecnológico**

Análise	$\bar{x}$	$\sigma$
Gravidade específica	<b>1,019</b>	0,005
pH	<b>6,97</b>	0,16
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	<b>1263</b>	287
Acidez (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	<b>436</b>	128
ST(%)	<b>5,4</b>	0,7
SFT(%)	<b>1,6</b>	0,2
SVT(%)	<b>3,8</b>	0,5
SVT/ST (%)	<b>70,2</b>	2,2

De acordo com a Tabela 2, a gravidade específica média do lodo foi de 1,019 e o ST foi de 5,4%, valores condizentes para lodos tipicamente adensados por gravidade (ANDREOLI ET. AL., 2014), assim como o valor de pH ao redor de 7,0 (METCALF & EDDY, 2016). Essa característica do lodo se deve ao fato que o mesmo não é removido com frequência, e vem se acumulando ao longo do tempo no decantador. A relação SVT/ST próximo de 70% sugere um lodo digerido anaerobicamente, ou seja, não é considerado um lodo fresco.

Na Figura 1 são apresentadas as dosagens utilizadas de cal no lodo e os pHs encontrados em cada tempo.



**Figura 1: Percentual de cal no lodo e pHs após adição de cal**

A resolução nº 375 do CONAMA (CONAMA, 2006) estabelece que o pH da amostra não deve baixar de 12 após 2 horas de aplicação e de 11,5 após 22 horas da aplicação.

Nas amostras E1, o pH inicial médio de 12,04 caiu para 11,81 após 2 h e para 11,14 após 22 h. As amostras E1, portanto, não atenderam ao requisito de pHs mínimos. Esta queda de pH decorre, provavelmente, das reações químicas do próprio processo de estabilização/higienização; a matéria orgânica degradada pela atividade biológica é transformada em compostos de dióxido de carbono e ácidos orgânicos que reagem com a cal. Se a quantidade de cal adicionada ao lodo não for suficiente para inibir essa atividade biológica, a geração dos compostos orgânicos continua e o pH é reduzido, o biossólido resultante não ficará adequadamente estabilizado e pode ocorrer geração de odor desagradável. Outro motivo provável para a queda de pH é devido a absorção do CO<sub>2</sub> atmosférico (METCALF & EDDY, 2016). A literatura também reporta que dosagens inferiores a 10% e cal não suportam um pH mínimo de 12 após 2 horas (ROCHA, 2009). Com relação às dosagens E2 e E3 os pHs atenderam o mínimo requerido após 2 e 22 horas. Portanto, para a etapa de estudo do comportamento do lodo estabilizado no solo, foi utilizada a menor dosagem viável, que corresponde à utilizada nas amostras E2, logo, dosagens entre 12% a 18% de massa de cal por massa de lodo seco.

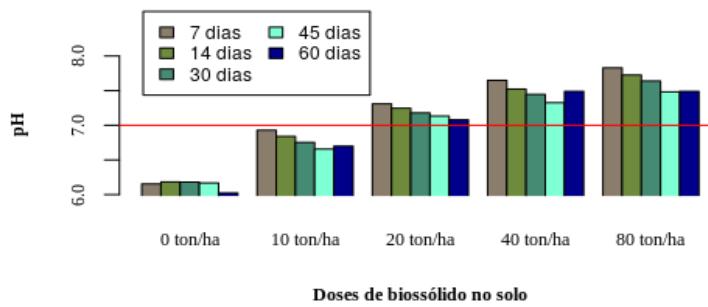
Os resultados de ST, SFT e SVT para as amostras E2 do biossólido são apresentados na Tabela 3

**Tabela 3: Amostra estabilizada (E2)**

Análise	1	2	3
ST(%)	6,57	5,74	5,20
SFT(%)	2,64	2,24	2,25
SVT(%)	3,93	3,50	2,95
SVT/ST (%)	59,81	60,94	56,75

De acordo com a Tabela 3, houve um aumento dos ST e SFT em relação ao lodo bruto, após aplicação da cal. Este resultado é esperado para o método de estabilização escolhido por adicionar mais massa sólida ao lodo. No entanto, observa-se uma leve redução nos SVT, levando a uma diminuição na relação SVT/ST para a amostra E2 em relação ao lodo bruto. Esse resultado, provavelmente se deve às reações de oxidação da fração orgânica do lodo devido a elevação do pH (LIMA ET. AL., 2007 APUD ROCHA, 2009) A relação SVT/ST para E2 atende ao limite exigido pela resolução de referência (CONAMA, 2006), que considera estável o lodo que tiver essa razão inferior a 70%.

Na Figura 2 é apresentada a elevação de pH provocada pelo biossólido no solo.



**Figura 2: Curva de elevação do pH do solo devido ao biossólido**

De acordo com a Figura 2, apenas a concentração de 10 ton/ha de lodo no solo atende ao limite estabelecido pela resolução CONAMA nº 375 para aplicação de lodo no solo, cujo pH não deve ultrapassar o valor de 7. Isso provavelmente se deve ao fato do solo utilizado para os testes apresentar valor de pH próximo ao neutro, como é verificado pelo grupo controle que não recebeu apporte de biossólido, logo uma pequena dosagem de biossólido caleado mostra-se suficiente para provocar a elevação de pH atingindo o limite.

Em relação aos metais presentes no lodo, a Resolução Conama nº 375 estabelece limites para a concentração de metais para que o lodo possa ser utilizado no solo. A Tabela 4 mostra os metais analisados, a concentração encontrada nas amostras de biossólido e os limites estabelecidos.

**Tabela 4 – Metais no biossólido**

Metal	Concentração ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )		Limites CONAMA 375 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
	$\bar{x}$	$\sigma$	
As	<b>0,00</b>	0,00	41
Ba	<b>121,23</b>	20,54	1300
Cd	<b>0,00</b>	0,00	39
Pb	<b>18,19</b>	0,42	300
Cu	<b>322,36</b>	17,01	1500
Cr	<b>46,93</b>	3,61	1000
Ni	<b>16,84</b>	0,65	420
Se	<b>4,75</b>	0,75	100
Zn	<b>1131,71</b>	60,26	2800

Os metais encontrados estão todos dentro dos limites especificados e, considerando esses metais, o biossólido mostra-se seguro para utilização no solo, desde que respeitados os limites para cargas acumuladas permitidas pela Resolução Conama n º 375 (CONAMA, 2006).

Para o teste piloto de aplicação do biossólido no solo, foi delimitada uma área de 2,6m<sup>2</sup> dentro das dependências do Parque Tecnológico de São José dos Campos, que recebeu, homogeneamente, uma quantidade de biossólido equivalente a 10 ton/ha. Terminada a aplicação, havia uma nítida camada de biossólido (Figura 3-a) sobre o solo que infiltrou no mesmo dia, apenas algumas horas após a aplicação (Figura 3-b). Foram feitas inspeções visuais aos seis dias de aplicação, ao completar um mês e aos dois meses de aplicação, mostrado nas Figuras 4-a, 4-b e 4-c, respectivamente. O crescimento da quantidade aparente de vegetação não foi comprometido, entretanto, não foi possível verificar se de fato houve diferenciação no crescimento da gramínea da área que recebeu aporte de biossólido. Para verificar se houve melhoria das condições do solo e/ou do gramado seriam necessários testes laboratoriais voltados a essas características.



**Figura 3: Camada de biossólido imediatamente após aplicação (a); infiltração do biossólido no mesmo dia após algumas horas (b).**

Não foi percebido odor desagradável bem como atração de vetores durante a aplicação do biossólido nem nos dias posteriores a aplicação, o que pode ser considerado mais um indicativo da eficiência da estabilização alcalina por adição de cal virgem.



**Figura 4:** inspeção visual após 6 dias (a); inspeção visual após 1 mês (b); inspeção visual após 2 meses, com a grama novamente aparada (c).

## CONCLUSÕES

Uma vez que a geração de lodo tende a aumentar com a universalização do saneamento básico, o reuso agrícola do lodo é uma forma de destinação ambientalmente correta e condizente com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que determina que apenas sejam aterrados os rejeitos – material que não é possível ou viável ser aproveitado. Neste sentido, o lodo proveniente do tratamento de efluentes da ETE do Parque Tecnológico de São José dos Campos mostrou ter potencial para reuso agrícola dentro dos limites do próprio complexo empresarial, considerando os parâmetros analisados (temperatura, pH, gravidade específica, alcalinidade, acidez, teor de sólidos - ST, SFT e SVT, dosagem de cal e metais), a faixa de dose de cal mínima viável para ocorrer a estabilização (entre 12% e 18% de massa de cal por massa de bioassólido seco) e respeitando o limite de aplicação no solo em relação ao pH deste (10 ton/ha em base seca). Estudos adicionais para determinação de materiais orgânicos, inorgânicos, redução de patógenos, bem como a pesquisa detalhada de locais passíveis de aplicação em escala real e licenciamento ambiental ainda se fazem necessários, uma vez que são importantes para garantir a integridade ambiental e minimizar os riscos de contaminação de pessoas e animais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI C. V., SPERLING M. E FERNANDES F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte, 2014. UFMG (ed.), 2nd edn.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1989). NBR 10.664 Águas - Determinação de resíduos (sólidos) - Método gravimétrico. Rio de Janeiro, Brasil, 7p
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT (1996). NBR 13.736 - Água - Determinação de alcalinidade - Métodos potenciométrico e titulométrico. Rio de Janeiro, Brasil, 4p
4. BARBOSA G.M., FILHO J. T., (2006). Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas.
5. SEMINA: Ciências Agrárias, Londrina, v. 27, n. 4, 565-580, out./dez. 2006
6. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução Nº 375, de 29 de agosto de 2006. <http://www.mma.gov.br/conama/> (acessado 13 April 2018)
7. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA (2017). Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3rd edn. Brasília, DF, Brasil
8. METCALF, L., & EDDY, H. P. (2016). Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. McGraw Hill (ed.), 5 edn, Porto Alegre Brasil.
9. ROCHA, A.L.C.L., Higienização de lodo anaeróbico de esgoto por meio alcalino. Estudo de caso da ETE Lages – Aparecida de Goiânia – GO (2009). Tese de Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiás, Brasil.
10. VON SPERLING M. (2014) Introdução à qualidade de água e ao tratamento de esgotos. UFMG (ed.), 4th edn, Belo Horizonte, MG- Brasil.