

## II-098 – ESTIMATIVA DE CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE ESGOTAMENTOS SANITÁRIOS: CONDICIONAMENTO E TRATAMENTO DO LODO

**Rodrigo Pinheiro Pacheco<sup>(1)</sup>**

Engenheiro de Produção Civil pela Universidade Federal Tecnológica do Paraná (UFTPR). Mestrando em Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Engenheiro da Cobrape – Cia Brasileira de Projetos e Empreendimentos.

**Miguel Mansur Aisse<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela UFPR. Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Professor Associado do Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS) e do PPGERHA da UFPR.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Hidráulica e Saneamento - DHS da Universidade Federal do Paraná; Bloco V - Centro Politécnico - Jardim das Américas; CEP 81.531 - 990, Curitiba - PR; Tel: (41)3361-3144; e-mail: [rodrigopacheco@cobrape.com.br](mailto:rodrigopacheco@cobrape.com.br)

### RESUMO

O tratamento e destinação correta do lodo é um assunto recente no saneamento básico e ainda não se encontram, na literatura, os seus custos de implantação e operação. O objetivo deste trabalho foi elaborar funções custos para o condicionamento e tratamento de lodo de esgoto. Neste estudo desenvolveu pré-dimensionamentos e seus respectivos orçamentos, para diferentes vazões, considerando dois tipos de ETEs (UASB e UASB + Lodo Ativado). Os pré-dimensionamentos atenderam as seguintes etapas do tratamento do lodo já estabilizado: (i) adensamento, (ii) condicionamento, (iii) desaguamento e (iv) higienização para a disposição final. Desta forma, foram desenvolvidos gráficos do custo *versus* vazão nominal afluyente a ETE, resultando o custo em reais. Considerando os custos de implantação, foram fornecidas equações para os dois tipos de ETEs, com vazões de 10 L/s, 50 L/s, 100 L/s e 500 L/s.

**PALAVRAS-CHAVE:** Condicionamento e tratamento de lodo de esgotos, Custos de implantação de sistemas de esgotamento sanitário, Lodo de esgotos.

### INTRODUÇÃO

#### Situação do Saneamento no Brasil

Segundo os dados oficiais do Governo Federal, divulgados do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto (SNIS, 2010), a cobertura de esgotamento sanitário no Brasil é da ordem de 43,2% da população total<sup>1</sup> para os esgotos coletados e apenas 33,4% da população total para os esgotos tratados.

Em relação aos esgotos tratados, considerando toda a geração de esgotos no Brasil, dois terços da população não possuem nenhum tipo de tratamento, ou seja, os seus esgotos são lançados diretamente nos corpos d'água.

Isto acontece porque na prática, a rede coletora acaba sendo a solicitação mais freqüente da comunidade, por tirar o esgoto das portas das casas. O tratamento é sempre deixado para depois, não sendo considerado prioritário pelos municípios, que acabam destinando as outras obras os seus poucos recursos (AISSE, 2000).

Entretanto, o lançamento indiscriminado dos esgotos nos corpos d'água, sem tratamento, pode causar vários inconvenientes, de maior ou menor importância, de acordo com os efeitos adversos que podem causar aos usos benéficos das águas (JORDÃO & PESSOA, 1995).

No que se diz respeito ao gerenciamento de lodo do esgoto, a situação é ainda mais grave, pois, estamos apenas engatinhando neste assunto. A correta destinação do lodo proveniente de estações de tratamento é uma

<sup>1</sup> Considera-se população total a soma da população urbana e rural.

atividade de grande complexidade e alto custo, pondera Andreoli *et al.* (2001), que se for mal executada, pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados destes sistemas.

O lodo é um assunto importante e o seu gerenciamento foi discutido na Agenda 21 sob o tema: “Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com esgotos”, que sugere alguns pontos para a sua gestão para redução da produção, tratamento, disposição e reutilização.

### Descrição e Definições do Lodo e Tratamento

O termo lodo tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgoto. Nos processos biológicos de tratamento, parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, fazendo parte da biomassa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou secundário, composto principalmente de sólidos biológicos, e por esta razão também denominado de biossólido (ANDREOLI *et al.*, 2001).

Atualmente, as políticas ambientais vêm num viés crescente no Brasil, a tal ponto que as discussões de saneamento incluem obrigatoriamente o tratamento do lodo de esgoto. Algum tempo atrás, embora o lodo ainda fosse citado, dificilmente se encontrava num projeto detalhado de ETE a solução completa para este resíduo.

O volume de lodo tratado numa ETE representa cerca de 1 a 2% do volume de esgoto tratado, entretanto o tratamento e disposição final do lodo chegam a atingir entre 30 e 60% do custo operacional da ETE (ANDREOLI *et al.*, 1999).

A estimativa da produção de lodo do sistema de tratamento de esgoto pode ser calculada através das suas características, conforme apresentado na tabela 1, por sistema de tratamento.

**Tabela 1: Características e Quantidade do Lodo Produzido pelos Principais Sistemas**

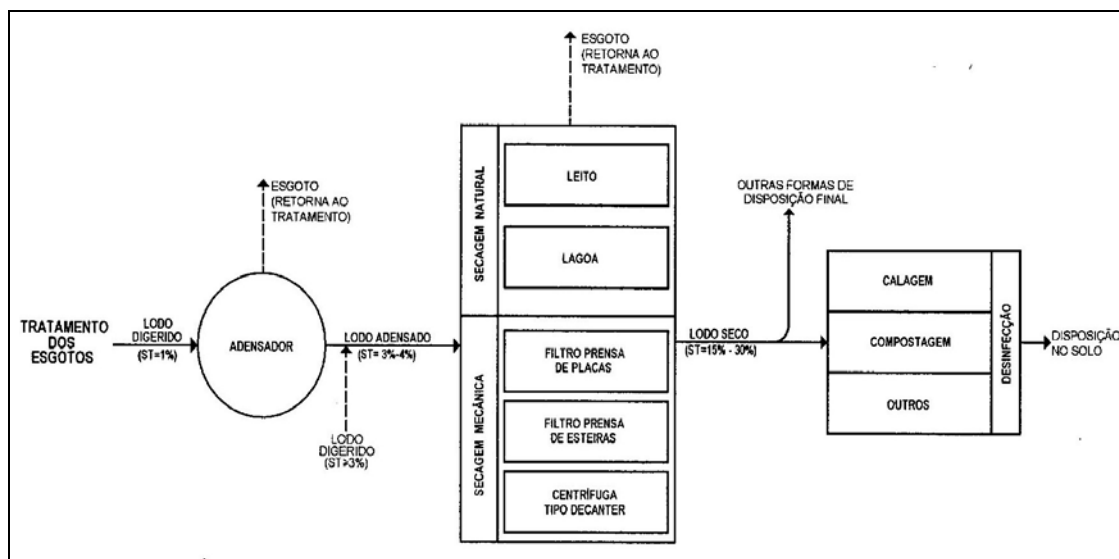
SISTEMAS	kg SS/kg DQO APLICADA	TEOR DE SÓLIDOS SECOS (%)
Lagoa facultativa	0,12 – 0,32	5 – 15
Lagoa anaeróbia - facultativa	0,26 – 0,55	11 – 16
Lagoa aerada – facultativa	0,08 – 0,13	6 – 10
Lagoa aerada mistura completa	0,11 – 0,13	5 – 8
Tanque séptico + filtro anaeróbio	0,27 – 0,39	1,4 – 5,4
Lodos ativados convencional	0,60 – 0,80	1 – 2
Lodos ativados – aeração prolongada	0,50 – 0,55	0,8 – 1,2
Filtro biológico de alta carga	0,55 – 0,75	1,5 – 4,0
Biofiltro aerado submerso	0,60 – 0,80	1 – 2
Reator UASB	0,12 – 0,18	3 – 6
UASB + pós tratamento aeróbio	0,20 – 0,32	3 – 4

Os principais processos utilizados do tratamento do lodo, por etapa, segundo Andreoli *et al.* (2001), descritas na ordem em que ocorrem são:

- Adensamento: remoção de umidade (redução do volume), através de adensamento por gravidade, flotação, centrífuga e filtro prensa;
- Estabilização: remoção da matéria orgânica (redução dos sólidos voláteis), através de digestão anaeróbia, digestão aeróbia, tratamento térmico e estabilização química;
- Condicionamento: preparação para a desidratação (principalmente mecânica), através de condicionamento químico e condicionamento térmico;
- Desaguamento: remoção de umidade (redução de volume), através de leitos de secagem, lagoas de lodo, filtro prensa, centrífuga, filtro prensa de esteiras, filtro a vácuo e secagem térmica;
- Higienização: remoção de organismos patogênicos, através de adição de cal, tratamento térmico, compostagem, oxidação úmida e outros (radiação gama e solarização); e,

- Disposição final, destinação final dos subprodutos, através de reciclagem agrícola, recuperação de áreas degradadas, landfarming (disposição no solo), uso não agrícola (fabricação de lajotas, combustível, etc), incineração, oxidação úmida e aterro sanitário.

A seguir na figura 1 é apresentado um modelo de tratamento de lodo esquemático que os pré-projetos serão desenvolvidos.



**Figura 1: Modelo de Tratamento de Lodo Esquemático**

A estabilização de lodos de esgoto envolve processos físicos, químicos e biológicos. O lodo bruto proveniente do processo de tratamento primário da ETE é obtido por sedimentação ou flotação. Possui coloração acinzentada, é pegajoso, de odor ofensivo e facilmente fermentável. O lodo digerido é aquele que sofreu processo de estabilização biológica obtida por biodigestores anaeróbios ou aeróbios, com redução de SSV superior a 40%, de cor marrom escura, não possui odor ofensivo (ANDREOLI *et al.*, 1999).

O adensamento do lodo produzido pelos sistemas de tratamento, conforme citado no quadro 1, consiste no aumento da concentração de sólidos, através da remoção parcial da água, visando principalmente a redução do volume do lodo. As alternativas mais usuais para o adensamento são por gravidade e flotação.

O adensamento por gravidade é constituído de tanque em estrutura de concreto armado ou metálica. O lodo sedimentado e adensado é removido através de raspadores, sendo que o líquido sobrenadante retorna ao tratamento primário da ETE (JORDÃO & PESSOA, 1995). Para o dimensionamento desta estrutura utiliza-se de taxas de aplicação, conforme tabela 2.

**Tabela 2: Taxa de Aplicação de Sólidos para Dimensionamento de Adensadores por Gravidade**

ORIGEM E TIPO DO LODO		FAIXAS DE VALORES (kg ST/m <sup>2</sup> .dia) (1) (2) (3)	VALORES MÁXIMOS (kg ST/m <sup>2</sup> .dia) (4)
Primário		90 – 150	150
Lodo Ativado	Convencional	20 – 30	30
	Aeração Prolongada	25 – 40	-
Filtro Biológico		35 – 50	50
Lodo Misto	Primário + lodo ativado	25 – 80	50
	Primário + lodo biológico	-	60

O sistema de secagem do lodo está condicionado em função à disposição final. O objetivo principal deste processo é a retirada de água para diminuir os custos de transporte, ou seja, quanto maior teor de água presente no lodo maior será o custo de transporte (ANDREOLI *et al.*, 1999).

Os processos de secagem podem ser naturais ou mecânicos. No sistema natural, os mais comuns são os leitos de secagem, resultando um teor de sólidos de 40 a 75%, através de caixas com um sistema de drenagem, sobre camadas de britas areia, onde o lodo combinado com a ação de percolação e evaporação natural (ANDREOLI *et al.*, 1999).

No sistema mecânico pode citar a centrifuga, resultando um teor de sólidos de 20 a 30%, através da sedimentação dos sólidos, incrementada pelo aumento da força centrípeta, provocada pelo alto movimento de rotação. E também, o filtro prensa resultando um teor de sólidos de 35 a 50%, através de placas filtrantes que são comprimidas hidraulicamente, forçando a saída da água (ANDREOLI *et al.*, 1999).

A higienização do lodo pode ser feita através da calagem. O objetivo principal da calagem é a desinfecção e consiste na mistura da cal virgem (de construção) ao lodo em proporções que variam de 30 a 50% do peso seco do lodo, desencadeando três fatores que agem no processo de desinfecção, segundo Andreoli *et al.*, (1999):

- Alteração da temperatura (cal em contato com a água contida do lodo resulta numa reação exotérmica, ou seja, gera calor);
- Mudança de pH (lodo tem pH 7,3 que passa a pH 12,5 quando calado chegando até pH 16,25 no dia 90. Neste período com o nível de pH elevado os patogênicos são totalmente eliminados); e
- Ação da amônia formada a partir do nitrogênio do lodo em condições de temperaturas e pH elevados (a amônia também é um fator de desinfecção quando em contato com os patogênicos).

### Definições de custo

Brudeki & Aisse (2007) conceituam que o termo custo significa gasto com um determinado bem ou serviço na produção de outros bens. Martins (2001) define que o mesmo está estritamente ligado ao conceito de preço original de aquisição de bem ou serviço, como por exemplo, o custo de uma obra, de um automóvel, etc.

Buarque (1984) observa, de uma maneira global, o processo de uma unidade de produção – neste caso, atribui-se as unidades do Sistema de Esgotamento Sanitário, como uma unidade de produção, que coleta, transporta e tratamento de esgoto e lodo – pode-se constatar que há dois tipos básicos de custo:

- Os custos que correspondem à instalação da unidade de produção; e,
- Os custos que correspondem ao processo de produção.

A diferença entre estes dois tipos de custos manifesta-se inicialmente da origem dos recursos para financiá-los, uma vez que os gastos iniciais de instalação originaram-se basicamente de recursos disponíveis antes da existência do sistema. Os custos que correspondem ao processo de produção normal (coleta, transporte e tratamento) podem ser financiados pelo próprio sistema, através da cobrança das tarifas.

Os custos que formam o banco de dados podem ser encontrados basicamente em duas fases: (i) custo de projetos e o (ii) custo de obras. Estes custos podem se aproximar ou não dependendo da precisão e calibração dos orçamentos com os custos regionalizados, bem como da ausência ou não de imprevistos na fase de execução, no caso de custo de obras.

Segundo a Agência Nacional das Águas (2008) a utilização das curvas de custos, habitualmente empregada, é capaz de fornecer informações parametrizadas de custos de construção de infra-estruturas para diferentes tipologias de intervenções, também pode ser considerada de duas formas diferentes: (i) construção de curvas a partir dos custos de infra-estruturas já instaladas e (ii) construção de curvas de custo baseado em uma obra padrão.

No primeiro caso, o gráfico de distribuição de custos de cada tipo de intervenção possibilita extrair uma função matemática que estabelece uma correspondência entre o porte e os custos finais das obras.

No segundo caso, a vantagem da abordagem é eliminar a utilização de uma amostra para a qual não se conhece adequadamente as condicionantes da sua estrutura de preços. A desvantagem desta abordagem é a necessidade de um esforço relativamente grande para o estabelecimento de composições orçamentárias para todos os tipos e dimensões de obras.

## OBJETIVO

No Brasil não é comum a divulgação das informações de custos finais de obras de saneamento, e menos ainda, informações sobre o custo do tratamento de lodo. Pois atualmente, o que se percebe na área do esgotamento sanitário é uma falta de informações, associada aos poucos estudos disponíveis e dispersos ao longo do tempo e espaço, sem uma sistematização dos métodos e resultados. Entretanto, é necessário reunir uma base de dados sólida e suficiente para elaborar estimativas de custo para implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES).

O objetivo deste trabalho foi elaborar funções custos para o condicionamento e tratamento de lodo de esgoto. Desta forma, a relevância deste estudo além de dar subsídios às tomadas de decisões no setor de saneamento, também auxiliará a avaliação da melhor alternativa econômica do tratamento de lodo de esgotos.

## METODOLOGIA PARA OS CUSTOS TRATAMENTO DO LODO DE ESGOTOS

Foram desenvolvidos pré-dimensionamentos para o tratamento do lodo, de forma a se obter subsídios suficientes para compor orçamentos, considerando as produções de ETE do tipo UASB e UASB + LA (lodos ativados com aeração prolongada), com vazões de 10 L/s, 50 L/s, 100 L/s e 500 L/s.

Para produção de lodo do UASB foram adotados 0,15 kg SST/kg DBO<sub>a</sub>, 4,5% de concentração de sólidos, que corresponde a média dos valores apresentados no quadro 1, e concentração de 300 mg/L de DBO para o esgoto da entrada da ETE. Para produção de lodo do UASB + Lodos ativados (com aeração prolongada) foram adotados 0,525 kg SST/kg DBO<sub>a</sub>, 1,0% de concentração de sólidos, que corresponde a média dos valores apresentados no quadro 1, concentração de 300 mg/L de DBO para o esgoto da entrada da ETE e eficiência de 70% de remoção de DBO da saída do UASB.

A efeito de comparação foram pré-dimensionados dois processos de tratamentos de lodo, a saber: (a) leitos secagem e (b) secagem mecanizada por centrífugas. Então, foram obtidos diferentes custos para as faixas de vazões propostas e processos, em condições suficientes para definir curvas de custo para o tratamento do lodo.

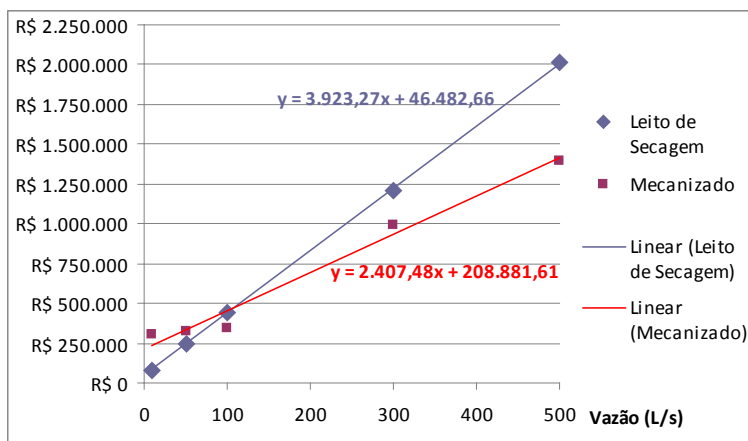
No pré-dimensionamento dos leitos de secagem foram adotados valores usuais de projeto, tais como, carga de sólidos de 15 kg/m<sup>2</sup> por ciclo de lodo, sendo o tempo de ciclo 25 dias e a área de cada leito de secagem igual a 50 m<sup>2</sup> (5 x 10 m). Para o pré-dimensionamento dos adensadores (secagem mecanizada) foram utilizados a taxa de aplicação dos sólidos (G) 120 kg/m<sup>2</sup>.dia e profundidade média de 5,00 metros, pois, Jordão & Pessoa (1995) recomendam profundidade entre 4 a 6 metros para adensadores por gravidade. E por fim, para o pré-dimensionamento das centrífugas (tipo *decanter*) para secagem mecanizada do lodo, inclui-se uma unidade reserva, condicionamento do lodo e obra civil.

Os custos do sistema de inertização do lodo para os leitos de secagem contêm os seguintes componentes: depósito para armazenagem da cal, betoneira para a mistura, carrinho de mão para transporte e estrutura para o armazenamento do lodo inertizado. Os custos do sistema de inertização do lodo para os sistemas mecanizados contêm os seguintes componentes: esteira transportadora de lodo, silo de recebimento e armazenamento de cal, dosador volumétrico de cal com moega de recebimento, sistema misturador de lodo e cal (inertização alcalina), transportador de rosca sem fim para cal entre o silo, dosador de cal, transportador de rosca sem fim para cal entre o dosador de cal e o misturador lodo/cal.

Os pré-dimensionamentos atenderam as seguintes etapas do tratamento do lodo já estabilizado: (i) adensamento, (ii) condicionamento, (iii) desaguamento e (iv) higienização para a disposição final. Desta forma, foram desenvolvidos gráficos dos custos *versus* vazão nominal afluyente a ETE, resultando o custo em reais.

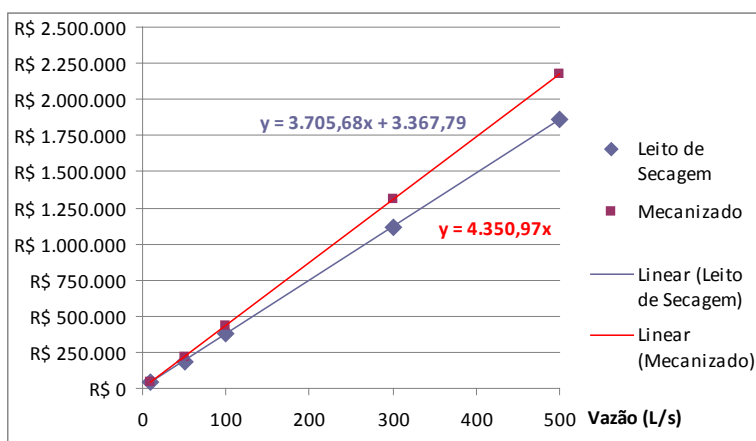
## RESULTADOS DAS ESTIMATIVAS DE CUSTO DE DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO

A seguir estão apresentados os resultados para o tratamento de lodo produzido pela ETE do tipo UASB, considerando uma comparação entre dois processos de secagem (leitos de secagem e secagem mecanizada), conforme segue na figura 2, sendo o eixo das ordenadas (y) os valores para a implantação dos sistemas, de acordo com vazão nominal de entrada da ETE, representada no eixo das abscissas (x).



**Figura 2: Custos de secagem do lodo por leito de secagem e sistema mecanizado para ETE tipo UASB**

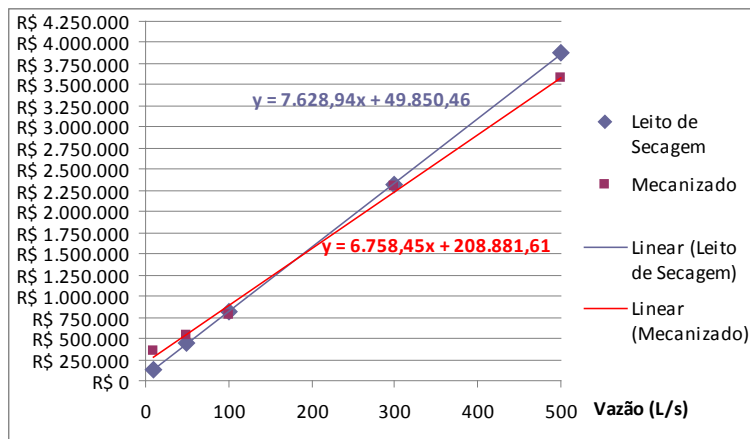
Na figura 2 é possível observar que para vazões de inferiores à 100 L/s para secagem de lodo, considerando a produção do lodo de ETE do tipo UASB, é mais viável a implantação de leito convencionais para a secagem do lodo. A partir desta vazão, torna-se mais viável financeiramente o uso de sistema mecanizado, no caso foi pré-dimensionando e orçado centrífugas, em comparação aos leitos de secagem.



**Figura 3: Custos da calagem do lodo para leito de secagem e sistema mecanizado para ETE tipo UASB**

Na figura 3 é possível observar que há uma pequena variação crescente para os custos de implantação de sistema de calagem ou inertização do lodo, para os leitos de secagem e sistema mecanizado, de acordo com o acréscimo das vazões, representada pelo eixo das abscissas.

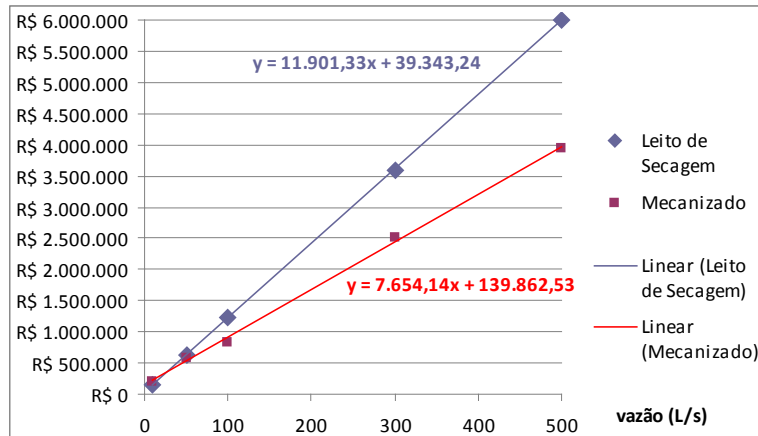




**Figura 4: Custos totais do tratamento do lodo para leito de secagem e sistema mecanizado para ETE tipo UASB**

A figura 4 apresenta o resumo da comparação para o tratamento do lodo para ETE do tipo UASB, para os leitos de secagem e sistema mecanizado, somando-se os custos de implantação da secagem e calagem. Observa-se que mesmo com o fato da análise abstrair os custos do terreno e custo de operação, principalmente mão-de-obra, o sistema mecanizado ainda mostra-se bastante atrativo para vazões superiores a 150 L/s, o que corresponde a uma população de aproximadamente 85 mil habitantes para uma per capita de 150 L/dia de esgoto.

E finalmente, estão apresentados os resultados para o tratamento de lodo produzido pela ETE do tipo UASB + LA, também considerando a comparação entre dois processos de secagem (leitos de secagem e secagem mecanizada), conforme segue na figura 5.



**Figura 5: Custos totais do tratamento do lodo para leito de secagem e sistema mecanizado para ETE tipo UASB + LA**

A figura 5 apresenta o resumo dos custos da comparação para o tratamento do lodo proveniente do UASB + LA, para os leitos de secagem e sistema mecanizado, somando-se os custos de implantação da secagem e calagem. As equações, neste caso, se interceptam aproximadamente aos 24 L/s de esgoto (da entrada da estação). Desta forma, observa-se que para ETEs com processo de UASB + LA, é mais vantajoso financeiramente para a implantação o uso de sistemas mecanizados.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Notou-se que, considerando apenas dos custos de implantação, para as ETEs do tipo UASB até 150 L/s pode-se optar pelo uso de leitos de secagem com calagem. Enquanto para as ETEs do tipo UASB + LA, que a

produção de lodo dos esgotos é superior ao UASB, fica recomendado o uso de sistemas mecanizados, exceto para ETE deste tipo abaixo de 24 L/s.

Entretanto, vale destacar que para grandes vazões e consequentemente grandes volumes de lodo, para o uso dos leitos de secagem será necessário muito mais funcionários para trabalhar com a mesma quantidade de lodo produzida da ETE, o que aumentará o custo de operação, não descartando o fato que para o sistema mecanizado haverá um custo de energia maior.

Desta forma, recomenda-se que para os próximos estudos se faça uma análise mais completa, utilizando-se além dos custos de implantação os custos de operação, tais como os insumos, mão-de-obra e energia elétrica. Também se ressalta que no estudo em questão não foi considerada o custo da área de implantação, pois, normalmente os terrenos não podem ser financiados pelos agentes externos, sendo adquiridos com recursos próprios da companhia, fato que poderá ser preponderante na escolha do sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AISSE, M. M.; **Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2000.
2. ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, **Termos de Referência para Elaboração dos Serviços de Estimativas Orçamentárias para as Intervenções em Captação, Adução e Tratamento de Água e Tratamento de Esgotos para os Atlas de Abastecimento de Água do Nordeste, Regiões Metropolitanas e Sul**. Brasil, 2008.
3. ANDEOLI, A.; LARA, A.; ILHENFELD, R.; **Uso e Manejo do Lodo de Esgotos na Agricultura**. PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 1999.
4. ANDEOLI, A.; SPERLING, M.; FERNANDES, F.; **Lodos de esgotos: tratamento e disposição final**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA UFMG, 2001.
5. BRUDEKI, N.; AISSE, M.; **Custos Estruturais por Habitante em Saneamento Básico no Estado do Paraná**. 24.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Setembro de 2007;
6. BUARQUE, C.; **Avaliação Econômica de Projetos**. Editora Campos, 12ª Ed. 1984.
7. JORDÃO, E.; PESSÔA, C.; **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 3ª Ed. 1995.
8. MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 2001.
9. MINISTÉRIO DAS CIDADES, **Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto – SNIS 2008**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, PMSS 2010;