

# Remoção de Lodo de Lagoas de Estabilização e seu Acondicionamento em bag

## *sludge removal from stabilization ponds and his placing in bag*

Josué Tadeu Leite França (1) Engenheiro Químico pela Escola de Engenharia da FAAP. Mestre em Saneamento e Ambiente pela Escola de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas ( UNICAMP ). Trabalha na Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, SABESP como Gerente da Divisão de Controle Sanitário desde 1993. Doutorando em Saneamento e Ambiente na FEC/UNICAMP.

Ronaldo Stefanutti (2) Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. Campus do PICI, Bloco 713. Fortaleza, CE. Brasil. CEP: 60455-900. (e-mail: ronaldostefanutti@ufc.br).

Bruno Coraucci Filho (3) Departamento de Saneamento e Ambiente, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Avenida Albert Einstein, 951, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Caixa Postal 6021, CEP 13083-852, Campinas, São Paulo, Brasil (e-mail: bruno@fec.unicamp.br).

Francisco Anaruma Filho (4) Departamento de Saneamento e Ambiente, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Avenida Albert Einstein, 951, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Caixa Postal 6021, CEP 13083-852, Campinas, São Paulo, Brasil (e-mail: fanaruma@fec.unicamp.br)

Lizzi Lobo Leite França (5) PUC-PR – Especialização em Microbiologia, Rua Imaculada Conceição, 1155 Bº Prado Velho CEP 80215-901 Curitiba-PR (e-mail: lizzi\_franca@hotmail.com)

Endereço (1): Rua Marino Alves Palomo, 65 – Jardim Dayse - Itapetininga - SP - CEP: 18210 - 290 - Brasil - Tel: (15) 3272.6792 - e-mail: jleitefr@sabesp.com.br

**Data de Entrada:**  
12-08-2010

**Data de Aprovação:**  
15-10-2010

### RESUMO

Este trabalho propõe estudar a remoção de lodo de lagoas de estabilização, avaliar a redução da carga patogênica, custos de transporte para disposição e checar a viabilidade de disposição final agrícola, promovendo assim a reciclagem dos nutrientes aos ciclos biogeoquímicos. Entre as opções para a remoção, optou-se pelo sistema combinado de dragagem com aplicação de polímero, seguido de acondicionamento e desaguamento do lodo em “BAG” de polipropileno de alta resistência. Definiu-se por esta combinação para o estudo da remoção do lodo na Unidade de Negócio do Alto Paranapanema – Sabesp, devido as dificuldades operacionais e em virtude de longas distâncias para disposição do resíduo em aterros licenciados, o que representa elevados custos, uma vez que os aterros da região não são autorizados para receberem este tipo de resíduo. Outra via de disposição, o co-processamento em indústria cimenteira foi analisada como economicamente inviável, principalmente devido a elevada quantidade de água do resíduo. Na impossibilidade da reutilização na agricultura, o lodo deverá sofrer uma redução na quantidade de água, viabilizando assim o transporte a longas distâncias e outros usos. A avaliação desta metodologia (remoção de lodo), foi feita com análises semanais do lodo acondicionado nos BAGs.

Seis meses após a operação de desaguamento do lodo acondicionado em BAG, constatou-se ausência de ovos de helmintos viáveis, *salmonellas*, protozoários e coliformes *termotolerantes*  $< 10^3$  NMP.  $g^{-1}$ .MS. Estes resultados indicaram que o processo removeu a patogênicidade do lodo adequando-o para disposição no solo, quanto aos parâmetros avaliados. O lodo no BAG atingiu teor de sólidos totais de 34,10% após 374 dias e foi classificado como Classe IIA - Não perigoso e não inerte. O custo de remoção de 2000  $m^3$  de lodo com teor médio de sólidos totais de 12%, por meio do sistema dragagem e acondicionamento em BAG foi de USD 4,67  $hab^{-1}$ .ano $^{-1}$ .

### ABSTRACT

This work aimed to study the sludge removal from stabilization ponds, to evaluate the reduction of pathogen load, transport costs for disposal and trying to achieve the required quality for sludge application on agriculture, thereby promoting the nutrients recycling to the biogeochemical cycles. Amongst the options for removal that were studied, the combined system of dredging and polymer application, followed by conditioning and sludge dewatering in high-strength polypropylene “BAG”, was selected. The experiment was conducted at the Business Unit of High Paranapanema - Sabesp, because this treatment plant faced with operational difficulties and the distance to transport the wastes to licensed landfills was very long. Thus, the waste transport was costly, since landfills in the region were not authorized to receive the sludge. Another disposal option, co-processing cement industry, was not feasible economically, mainly due to the high amount of water contained in the waste. If the sludge could not be used directly on agriculture, the amount of water must be reduced before transporting or other uses. The proposed methodology (sludge removal), was made be evaluated by analyzing weekly the sludge quality from the BAGs.

Six months after the operation of sludge dewatering packed in bag, it was detected an absence of viable helminth eggs, salmonella, protozoa and coliforms. These results indicated that the process removed the pathogenicity of the sludge tailoring it to the wastewater disposal, as to the parameters evaluated. The sludge in the bag reached total solids of 34.10% after 374 days and was classified as Class II A - Not dangerous, not inert. The cost of the removal of 2000  $m^3$  sludge with an average of 12% solids, by means of the dredging and placing in bag was US\$ 4.67  $inha^{-1}$  year $^{-1}$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** disposição no solo, desaguamento, lodo de lagoas, patogenicidade

**KEYWORDS:** soil disposal, dewatering, pond's sludge, pathogenicity

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE (2007), 66,8% dos domicílios brasileiros possuem rede coletora de esgoto sanitário e apenas 12% é tratado. Portanto, o esgoto é lançado diretamente “in natura” nos mananciais

## artigos técnicos

na maioria dos municípios brasileiros. Na tentativa de reverter o crescente comprometimento de importantes mananciais e de amenizar o impacto ambiental e de saúde pública, foram criadas nos últimos anos políticas de incentivo ao saneamento básico, com a implantação de redes coletoras de esgotos e a instalação de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).

O crescimento populacional nos grandes centros urbanos e a busca por ambientes saudáveis acarreta um aumento, geração e coleta de esgoto, e conseqüentemente na produção de resíduos, quando estes são tratados – lodo de esgoto. Este material, rico em matéria orgânica e nutrientes, necessita de uma adequada disposição final. Entretanto, a maioria dos projetos de tratamento, não contempla o destino final do lodo produzido, podendo com isso anular parcialmente os benefícios da coleta e do tratamento dos efluentes.

Alternativas que atendessem a legislação e resultassem em baixo custo final passaram a ser analisadas. A disposição do lodo no solo para uso agrícola passou a ser uma opção interessante, entretanto, o material necessitaria de um pós-tratamento para remoção de patógenos. Sugeriu-se então testar o sistema de acondicionamento e deságüe complementar em BAG, com a finalidade de reduzir a quantidade de água da massa e verificar o decaimento de patógenos do lodo dentro do BAG ao longo do tempo e checar com a CONAMA 375 de 2006, para o caso da disposição na agricultura. Esta é uma forma de reciclar os nutrientes e a matéria orgânica, retornando os elementos aos ciclos biogeoquímicos. Além da citada CONAMA, o lodo a ser destinado ao uso agrícola, como condicionador de solo, deve atender as regras definidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Neste sentido foi dada ênfase ao estudo, avaliando-se a técnica de remoção, deságüe e acondicionamento em BAG, com a finalidade de dispor o produto na agricultura.

## 2.REVISÃO BIBLIGRÁFICA

### 2.1 Lagoas facultativas

As lagoas facultativas são dispositivos de tratamento para os quais são encaminhados esgotos brutos ou pré-tratados, visando estabilização bioquímica da matéria orgânica afluyente principalmente por meio do metabolismo de microrganismos aeróbios e facultativos. Estes microrganismos utilizam de oxigênio produzido pelas algas que aí proliferam devido a manutenção de condições ambientais favoráveis, tais como elevados tempo de detenção hidráulico, luz, etc. Os microrganismos anaeróbios se encontram na camada de lodo que se forma no fundo da lagoa. Também podem ser definidas como um corpo de água lântico, construído pelo homem, e destinados a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica, esgoto sanitário bruto e sedimentado, despejos industriais orgânicos e oxidáveis ou águas residuárias oxidadas. Seu tratamento é feito por processos naturais: físicos, biológicos e bioquímicos, denominados autodepuração ou estabilização (UEHARA,1989).

Segundo ARAÚJO (2000), o processo de tratamento de esgoto nas lagoas facultativas ocorre com taxas mais lentas, sendo necessário tempo de detenção entre 15 e 45 dias em função da cinética de remoção de DBO e do regime hidráulico da lagoa. Menores tempos de detenção podem ser adotados em regiões de clima mais quente. Para locais com esgotos concentrados (baixa vazão per capita e alta DBO), o tempo de detenção tende a ser elevado.

JORDÃO & ARAÚJO (2005), considera que o uso de lagoa facultativa é uma solução simples de baixo custo quando se dispõe de área com topografia adequada, solo com características impermeáveis e de custo de aquisição de terreno acessível. Sendo que elas podem operar sozinhas ou a jusante de uma lagoa aerada ou anaeróbia. Quando bem dimensionadas e não estão sobrecarregadas organicamente raramente uma lagoa facultativa produz odores. Entretanto, recomenda-se que não sejam construídas, junto a áreas residenciais e que deve-se levar em consideração o sentido predominante dos ventos e localizá-las a pelo menos 500 metros das áreas residenciais ou outro tipo de ocupação urbana.

### 2.1.1 Princípio de Funcionamento

Ao longo do percurso do esgoto entre a entrada e saída da lagoa, que demora vários dias, uma série de mecanismos contribuem para o tratamento dos esgotos. Estes mecanismos ocorrem nas três zonas das lagoas denominadas: zona anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa (VON SPERLING, 1996).

A zona anaeróbia é constituída pela matéria orgânica sedimentada, dando origem ao lodo presente no fundo da lagoa. Esse lodo é decomposto anaerobiamente e convertido principalmente a  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , restando após um longo período, somente o material inerte ali sedimentado (KELLNER & PIRES, 1998).

A Figura 1 mostra os princípios de funcionamento de uma lagoa facultativa.

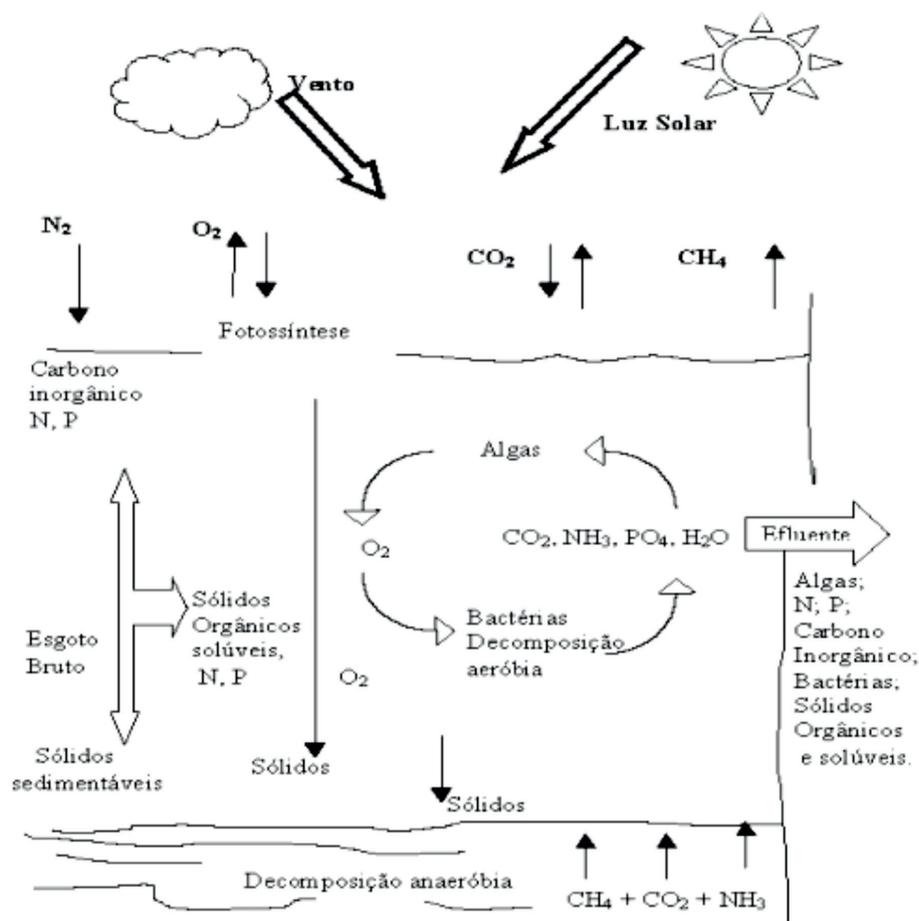


Figura 01 - Princípios de funcionamento de uma lagoa facultativa.  
Fonte: JORDÃO & PESSOA, 2005

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Após avaliação da quantidade de lodo armazenada nas lagoas da Unidade de Negócio do Alto Paranapanema - SABESP, foi definido um cronograma para remoção do lodo das mesmas onde a priorização teve como base os seguintes critérios:

- Sistemas com tempo de operação elevado (> 16 anos de funcionamento);
- Que apresentavam comprometimento com relação à eficiência;
- Sistemas com emissão de maus odores (incômodos para vizinhança);

O procedimento para remoção de lodo e avaliações do objetivo do trabalho compreendeu as seguintes etapas:

- Batimetria para quantificação e visualização do perfil do lodo na lagoa;
- Avaliação do teor de sólidos do lodo na Lagoa em várias profun-

didades;

- Preparação do terreno,
- Assentamento dos BAGs e construção do sistema de drenagem;
- Instalação dos mangotes para alimentação de lodo nos BAGs;
- Instalação do sistema de dosagem de polímero;
- Bombeamento do lodo através de sistema de dragagem;
- Adição de polímero para condicionamento;
- Quantificação do lodo no BAGs e quantidade contratada para remoção;
- Monitoramento semanal do lodo acondicionado no BAG

A lagoa escolhida para o estudo foi a lagoa facultativa primária de Coronel Macedo. A remoção do lodo ocorreu no período de 01.10.08 a 22.12.08, a quantidade de lodo avaliada foi de aproximadamente 3000 m<sup>3</sup> e o volume contratado para remoção foi de 2000 m<sup>3</sup>. A Figura 2 mostra o fluxograma do processo adotado para remoção, deságue e acondicionamento do lodo no BAG.

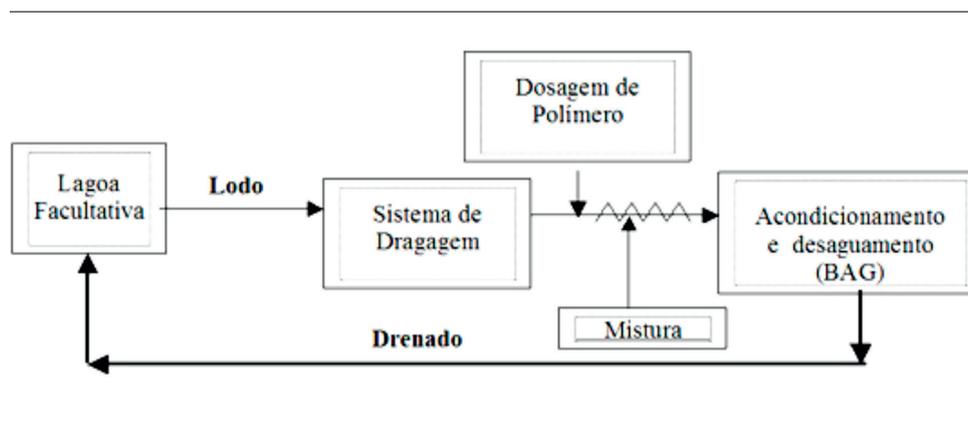


Figura 02 - Fluxograma do processo de remoção de interesse para este trabalho.

#### 3.1 Caracterização do experimento

Na Unidade de Negócio do Alto Paranapanema da SABESP, localizada na região sudoeste do Estado de São Paulo, os sistemas de tratamento de esgotos são constituídos em sua maioria por lagoas de estabilização, as quais foram em sua grande maioria instaladas nas décadas de 80 e 90. Estas ETEs vêm sendo operadas por muitos anos sem a remoção de lodo e areia, com comprometimento natural da sua eficiência. Algumas medidas operacionais foram sugeridas e avaliadas e foi definido pela empresa em recuperar o sistema e remover o lodo das lagoas. Entre as várias opções analisadas optou-se por realizar a dragagem, seguida da aplicação de polímero e centrifugação, utilizando um equipamento móvel. Após esta fase, o lodo ainda deveria estar com uma relação de sólidos em torno de 25%.

À partir de então, deveria ser dada uma destinação para o lodo que resultasse em menor custo para a empresa e atendesse a legislação. Entre as destinações analisadas pela empresa, a mais interessante seria enviar a um aterro sanitário licenciado, nas proximidades da fonte geradora. Entretanto, a falta de aterros sanitários licenciados na região para disposição deste produto e a necessidade de pré-condicionamento do lodo da lagoa para remoção de materiais estranhos como pedaços de pau, de metais, plásticos, pedras etc. antes de encaminhamento

para centrifuga, inviabilizaram esta proposta.

A Estação de Tratamento de Esgoto escolhida para condução dos experimentos localiza-se no município de Coronel Macedo, o qual abrange uma extensão territorial de 304 Km<sup>2</sup> e altitude média de 624 m, possui cerca de 5580 habitantes, dos quais 4006 habitantes residem na área urbana, conforme dados do último Censo Demográfico realizados pela Fundação IBGE (2000). O município de Coronel Macedo ( Figura 3 ) dista da capital do Estado de São Paulo em 345 Km.

#### LOCAL DO EXPERIMENTO

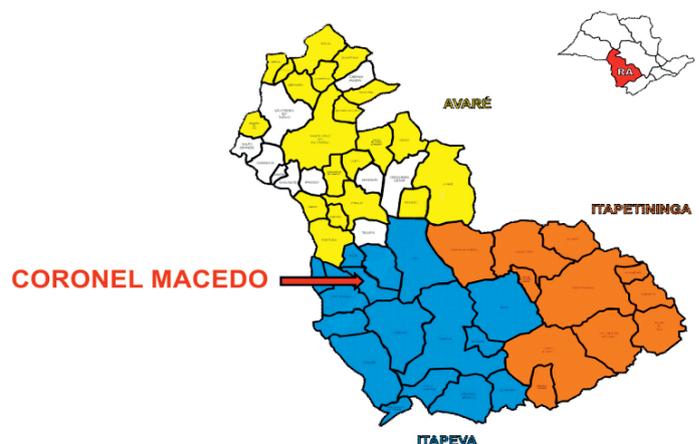


Figura 03 – Mapa de localização do município de Coronel Macedo.

A ETE foi projetada para vazão média de 8 L.s-1 e é operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), desde 1990, quando iniciou suas atividades. É um sistema composto por uma única lagoa facultativa. Opera atualmente com vazão média de 8,10 L.s-1 e desde o início de sua operação, o sistema nunca teve o lodo removido. O sistema de gradeamento é operado manualmente. A localização da ETE fica no acesso para rodovia SP-255, Rua presidente Castelo Branco s/n. O corpo receptor é classificado como Classe 2, área da bacia no local de lançamento de 30,5 Km<sup>2</sup> e possui vazão mínima Q710 = 119 L.s-1. A Tabela 1 apresenta as dimensões básicas da Lagoa Facultativa Primária do município de Coronel Macedo e a Figura 4 mostra uma vista aérea do local do experimento.



Figura 04 - Vista aérea da Lagoa local do experimento.

Tabela 1 - Dimensões básicas da Lagoa Facultativa de Coronel Macedo, SABESP.

	Unidade	
Área média	ha	0,6642
Profundidade	m	1,5
Volume	m <sup>3</sup>	9599

Fonte: Unidade de Negócio do Alto Paranapanema –SABESP (2008).

### 3.2 Preparação do local dos bags.

A preparação do terreno para instalação dos BAGs é muito importante para que não seja comprometida a drenagem do lodo quando acondicionado no mesmo. A terraplenagem foi feita mantendo inclinação do terreno de 1%. Após acerto, o terreno foi impermeabilizado com lona plástica de polietileno de 300 µm. Em cima da lona plástica foi colocado 0,15 m de brita 2, mantendo a brita em nível (Figura 5). Colocaram-se dois BAGs em cima da brita (Figura 6) e iniciou-se o bombeamento de lodo.



Figura 05 - Preparação do leito para instalação dos BAGs. ETE Coronel Macedo, SABESP.



Figura 06 - Assentamento dos BAGs para remoção de lodo da ETE Coronel Macedo, SABESP.

### 3.3 Condicionamento do lodo

Para melhoria do desaguamento o lodo, antes de ir para o BAG foi aplicado polímero orgânico sintético catiônico, em emulsão, a base de poliacrilamida, branco viscoso e isento de substâncias que possam produzir efeitos tóxicos ao consumo. O polímero foi diluído na concentração de 0,25% em tanques e aplicado na linha de recalque do lodo dragado. O tipo de polímero e as dosagens adequadas foram determinados em ensaios laboratoriais, onde se avaliou menor dosagem, melhor floculação e melhor sedimentação do lodo, utilizando para isso, o lodo da própria lagoa. A quantidade de polímero utilizada variou entre 2 a 6 Kg.t<sup>-1</sup> de MS.

O lodo dragado foi condicionado com polímero e en-caminhado para os BAG's, para desaguamento, conforme Figuras 7 a 8.



Figura 07 – Vista lateral do BAG em enchimento e desaguamento na ETE Coronel Macedo

Figura 08 - Drenagem dos BAGs e retorno para ETE Coronel Macedo



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Quantificação do lodo

A batimetria realizada permitiu identificar a existência de um curto circuito bastante expressivo, quando se observa o perfil de lodo acumulado, devido a obstrução parcial ou total em uma das duas entradas de afluente, causando acúmulo de lodo em apenas uma parte da lagoa. Observa-se claramente a formação de uma parede de lodo frontal, em toda a extensão da região de entrada do afluente, seguindo por uma coluna em toda região próximo a margem direita da lagoa, indicando a direção do fluxo preferencial. Por outro lado a parte central e a região esquerda da lagoa, ocorreu pequena deposição de lodo ao longo do tempo. A distribuição irregular do lodo na lagoa provavelmente contribuiu para redução do período de limpeza da lagoa. No caso, pode-se chamar a atenção para futuros projetos, da necessidade de se

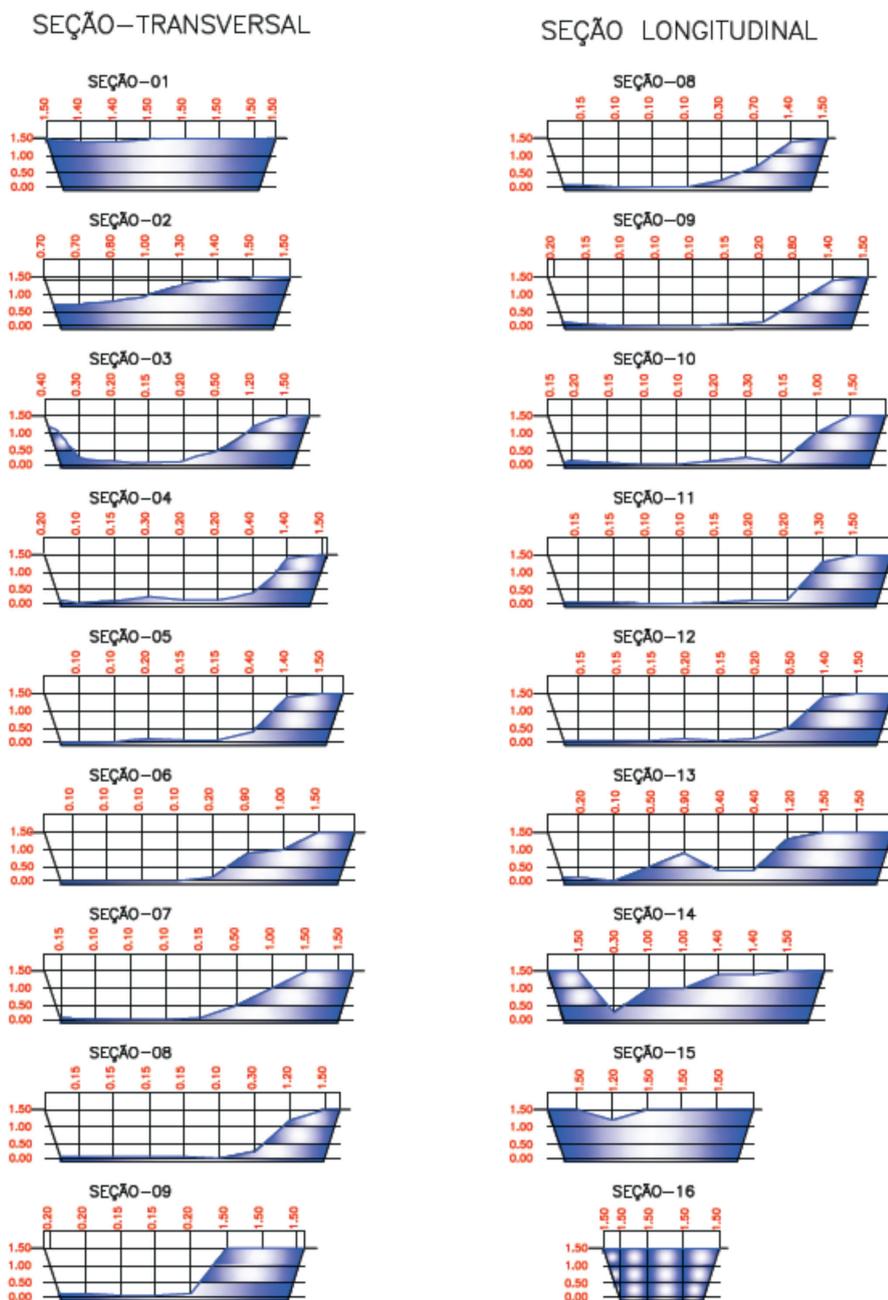
prever um melhor sistema de distribuição do afluente.

O nível de lodo acumulado na lagoa variou de 0,10 m a 1,50 m. A taxa de acumulação de lodo foi de aproximadamente  $0,042 \text{ m}^3 \cdot \text{hab} \cdot \text{ano}^{-1}$ , em conformidade com o acúmulo de lodo mencionado na literatura por Arceivala (1981) na faixa de  $0,03$  a  $0,08 \text{ m}^3 \cdot \text{hab} \cdot \text{ano}^{-1}$ ,

O acúmulo médio de lodo  $2,2 \text{ cm} \cdot \text{ano}^{-1}$ , compatível com a literatura para lagoas facultativas. Segundo Silva (1993) e Gonçalves (1999) a elevação média da camada de lodo em lagoas facultativas varia de  $1$  a  $3 \text{ cm} \cdot \text{ano}^{-1}$ . A Figura 9 mostra o perfil do lodo em cada seção da lagoa. A limitação de recebimento não é legal, e sim operacional por parte do Aterro que solicita um teor de sólidos alto devido às condições geotécnicas.

### 4.2 Caracterização do lodo

Conforme metodologia da ABNT NBR 10004:2004 – a qual classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente, para tomadas de decisões futura com relação a disposição. O lodo da ETE Coronel Macedo-Sabesp foi classificado como lodo Classe II A – Não perigoso, Não inerte, ou seja, passível de ser depositado em aterro sanitário. Para isso, foram realizados ensaios para classificação na massa bruta do lodo, no lixiviado do lodo e no solubilizado do lodo. A partir destes resultados pode-se prosseguir com as análises visando disposição em solo agrícola. Os resultados demonstraram que o lodo, atende às legislações específicas, concernente ao aproveitamento na agricultura, o que já era esperado, em virtude de se tratar de esgoto predominante doméstico e



devido a localização fazer parte de uma bacia de conservação.

Na tabela 2 laudo e análise do lodo acondicionado no BAG, para uma avaliação com relação as características agrônômicas.

#### 4.2.1 Métodos de ensaio

Para metais: US-EPA, SW-846, método 3051, com determinação por fotômetro de chama para Na e K, para os demais metais determinações por ICP-AES.

Para Nitrogênio Total: método Kjeldahl; para Nitrogênio Amoniacal, nitrato e nitrito: destilação por arraste de vapor, para carbono orgânico: digestão com dicromato e determinação volumétrica, para Umidade e Sólidos voláteis: perda de massa a 60 e 500 C°, respectivamente.

Para pH, determinação em extrato aquoso na proporção 1:10 (resíduo:água).

Segundo métodos descritos em “Andrade, J.C.; de Abreu, M.F (editores), Análise Química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais, Editora IAC, Campinas, 2006, 178 p.”

#### 4.2.2 Resultados das determinações dos compostos orgânicos segundo resolução Conama 375/2006

Foram realizados ensaios para determinação da concentração de compostos orgânicos no lodo da lagoa facultativa da ETE Coronel Macedo, após acondicionamento em BAG.

Os resultados indicaram concentrações em amostra coletada após 12 meses de acondicionamento (data da coleta 28.12.2009), dentro dos limites para a disposição no solo, sem que implique em riscos de contaminação do sistema solo – água – planta, uma vez que todos os parâmetros analisados estão em conformidade com os valores máximos permitidos, segundo a Resolução Conama 375/2006.

#### 4.2.3 Coliformes Termotolerantes e Salmonella no lodo acondicionado no Bag

Neste item foi avaliado o decaimento na concentração de coliformes termotolerantes no lodo acondicionado no BAG em função do tempo de desaguamento e a presença ou ausência de salmonella sp.

Os valores encontrados estão nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 2 - Caracterização do lodo da lagoa facultativa da ETE Coronel Macedo, SABESP, após acondicionado em BAG, conforme análise agrônômica.

Parâmetros	Resultado (base seca)	Unidade
Umidade	70,9	% m/m
pH	8,1	-
Sólidos Voláteis	5,9	% m/m
Sólidos Totais	29,1	% m/m
Carbono Orgânico	131	g/Kg
Nitrogênio amoniacal	955	mg/kg
Nitrogênio nitrato-nitrito	39,5	mg/kg
Nitrogênio total	14,2	g/Kg
Alumínio*	12175	mg/kg
Arsênio*	3,3	mg/kg
Bário*	260	mg/kg
Boro*	<1,0	mg/kg
Cádmio*	0,60	mg/kg
Cálcio*	6,1	g/kg
Chumbo*	37,5	mg/kg
Cobre*	84,4	mg/kg
Cromo*	26,4	mg/kg
Enxofre*	10,3	g/kg
Ferro*	19407	mg/kg
Fósforo*	3,7	g/kg
Magnésio*	0,86	g/kg
Manganês*	180	mg/kg
Mercúrio*	<1,0	mg/kg
Molibdênio*	0,80	mg/kg
Níquel*	6,1	mg/kg
Selênio*	<1,0	mg/kg
Zinco*	316	mg/kg
Potássio*	216	mg/kg
Sódio*	585	mg/kg

\*Teores totais

Laboratório: Instituto Agrônomo de Campinas - IAC - Microbiologia e Qualidade do Solo.

Tabela 3 – Evolução dos resultados de Coliformes Termotolerantes no lodo de Coronel Macedo, SABESP acondicionado no BAG ao longo do tempo

Coleta/data	Resultados (NMP/ g ST)	Classificação do Lodo* Tipo A < 10 <sup>3</sup> NMP.g <sup>-1</sup> de ST Tipo B < 10 <sup>6</sup> NMP.g <sup>-1</sup> de ST	Laboratório
29.01.2009	<10 <sup>6</sup>	Classe B	RAOC
16.02.2009	<10 <sup>6</sup>	Classe B	RAOC
23.03.2009	<10 <sup>6</sup>	Classe B	RAOC
04.05.2009	980	Classe A	RAOC
18.05.2009	1503	Classe B	BIOAGRI
30.06.2009	93	Classe A	UFPR
10.08.2009	50	Classe A	RAOC
30.09.2009	99	Classe A	UFPR
30.09.2009	<100	Classe A	RAOC
20.10.2009	<100	Classe A	RAOC
9.11.2009	72	Classe A	RAOC
17.11.2009	32	Classe A	RAOC

\*=CONAMA 375/06

Tabela 4 - Salmonella no lodo acondicionado no BAG da ETE Coronel Macedo, SABESP

Data da coleta	<i>Salmonella</i> sp/10 g ST	Classificação do Lodo* <b>Tipo A:</b> ausência em 10 g de ST <b>Tipo B:</b> presença em 10 g de ST	Laboratório
08.05.2009	Ausência	Classe A	BIOAGRI
30.06.2009	Ausência	Classe A	CEPPA - FPR
30.09.2009	Ausência	Classe A	CEPPA - FPR

\* = CONAMA 375/06

#### 4.2.4 Variação do teor de sólidos totais após acondicionamento do lodo no Bag em função do tempo.

Após conclusão da remoção, iniciou-se o desaguamento do lodo em 22.12.2008, com monitoramento do teor de sólidos totais semanalmente em dois pontos de coleta no BAG, conforme procedimento de coleta adotado. Na Tabela 5 estão descritos as médias mensais do teor de sólidos totais encontrados. A concentração média de sólidos totais no interior da lagoa foi de 12%, em conformidade com valores encontrados na literatura para lagoas facultativas, onde o teor médio de sólidos totais varia de 5 a 15% (VON SPERLING, 2005).

Tabela 5 - Valores médios do Teor de Sólidos Totais do lodo acondicionado no BAG

Mês 2009	Teor de ST- Média mensal de mostras semanais	Acondicionamento (dias)
Janeiro	15,44	40
Fevereiro	17,23	68
Março	19,04	99
Abril	20,31	129
Maio	21,34	160
Junho	23,14	190
Julho	23,69	221
Agosto	27,02	252
Setembro	29,86	282
Outubro	31,93	313
Novembro	33,93	343
Dezembro	34,10	374

Laboratório: Divisão de Controle Sanitário da Unidade de Negócio do Alto Paranapanema, SABESP

#### 4.2.5 Ovos de Helminthos encontrados no lodo acondicionado no Bag

Na Tabela 6 estão os valores encontrados com relação aos ovos de helmintos no lodo acondicionado no BAG A em desaguamento. Os resultados com relação a cistos de protozoários foram negativos para : *Giardia* – *Giardia lamblia* (*G. intestinalis* e *G. duodenalis*); *E. nana* – *Endolimax nana*; *E. coli* - *Entamoeba coli*.

Tabela 6- Ovos de helmintos no BAG A em 50 gramas de lodo. Método utilizado Yanko.

Data coleta	Al	All	Toxocara	Tt	Tt - larvado	Hd	Hn
22.01.09	61	0	4	20	1	0	2
29.01.09	2	1	0	4	0	0	0
05.02.09	15	0	0	4	0	0	1
12.02.09	8	0	0	4	0	0	2
16.02.09	5	0	0	2	0	0	0
26.02.09	26	0	4	2	0	0	0
03.03.09	9	0	0	4	0	0	2
13.03.09	0	0	0	0	0	0	0
23.03.09	1	0	0	4	0	0	0
01.04.09	11	0	1	3	0	0	0
16.04.09	5	0	2	5	0	0	0
23.04.09	9	0	2	2	0	0	0
04.05.09	16	0	2	3	0	0	3
14.05.09	82	0	0	10	0	0	3
21.05.09	6	0	0	0	0	0	0
25.05.09	38	0	3	8	0	0	0
05.06.09	60	0	4	8	0	0	0
17.05.09	33	0	0	2	0	0	0
06.07.09	65	0	4	6	0	0	0
22.07.09	2	0	0	0	0	0	0
29.07.09	25	0	2	6	0	0	3

Laboratório: Labreuso/Unicamp Legenda: Al – *Ascaris lumbricoides* (*Ascaris sui*), All – *A. lumbricoides* larvado; Toxo. – *Toxocara canis* (*T. cati*, *T. leoni*); Tt – *Trichuris trichiura* (*T. muris*, *T. vulpis*); HD – *Hymenolepis diminuta*; Hn – *Hymenolepis nana*.

Na Tabela 6, constatou-se viabilidade de helmintos em concentrações muito baixa, bem inferior ao valor de 0,25 g de ovos.g-1 de ST estabelecido pela Resolução CONAMA 375/2006 para classificação do lodo de esgoto como classe A. Em coletas de amostras do BAG A determinou-se a viabilidade de ovos de helmintos apenas em Janeiro/2009 que foi de 0,0062g de ovos.g-1 de ST e em coletas de amostras do BAG B foi verificada viabilidade em Janeiro, Fevereiro e Março de 2009, sendo de 0,003g de ovos.g-1 de ST, 0,008g de ovos.g-1 de ST e 0,007g de ovos.g-1 de ST, respectivamente. Após março de 2009 não foi confirmada a viabilidade de ovos de helmintos pelo LABREUSO - Laboratório de Saneamento Ambiental da Unicamp, no entanto, com intuito de validação desses experimentos foram enviadas amostras em Junho e Setembro de 2009 para o Laboratório UFPR/CEPPA, e os resultados estão na Tabela 7. Da mesma maneira foi confirmada na mesma amostra do lodo por meio do Laboratório UFPR/CEPPA a ausência de cistos de protozoários, conforme Tabela 8.

**Tabela 7 - Análises de ovos de helmintos no lodo acondicionado em BAG da ETE Coronel Macedo, Sabesp.(Ovos.g-1 de lodo MS)**

Laboratório	Data da coleta	Viáveis	Não Viáveis	Total
CEPPA – UFPR	30.06.2009	0	36,13	36,13
CEPPA – UFPR	30.09.2009	0	37,36	37,36

**Tabela 8 - Análises de cistos de protozoários no lodo acondicionado em BAG da ETE Coronel Macedo, Sabesp .(Ovos.g-1 de lodo MS)**

Laboratório	Data da coleta	Cistos de protozoários
CEPPA – UFPR	30.06.2009	0
CEPPA – UFPR	30.09.2009	0

UFPR - Universidade Federal do Paraná / CEPPA – Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos.

#### 4.2.6 Parâmetros microbiológicos no lodo

A Tabela 9 indica os métodos utilizados para as determinações microbiológicas.

**Tabela 9 – Métodos utilizados para as determinações microbiológicas nas amostras de lodo da lagoa Facultativa da ETE Coronel Macedo – SABESP**

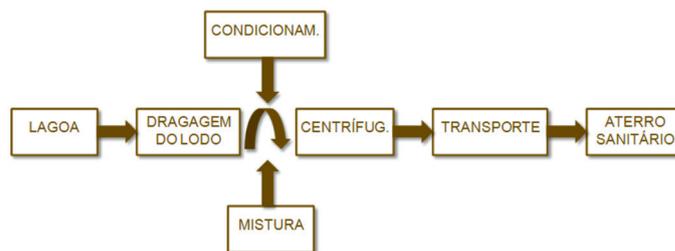
Coliformes termotolerantes	EPA/625/R-92/013, 2003
Salmonella sp	ANDRAUS, <i>et al.</i> (1998)
Ovos de helmintos	Soccol <i>et al.</i> (2000) e Yanko (1987)

### 4.3 Disposição do lodo

#### 4.3.1 Alternativa 1

Realizar a dragagem, seguida da aplicação de polímero e centrifugação, utilizando um equipamento móvel. Após esta fase, o lodo ainda deveria estar com uma relação de sólidos em torno de 25% e seria encaminhado para o aterro sanitário (Figura 10).

**Figura 10 – Estudo de Alternativas técnicas e ambientais para remoção e disposição de lodo de esgoto da ETE Coronel Macedo, SABESP – Alternativa 1**



#### 4.3.1.1 Custos

Segundo levantamento realizado pelo Sistema de Informações de Frete para Cargas agrícolas – SIFRECA – Dez/2009), o preço de transporte em R\$ t-1.km-1 para diversos tipos de cargas varia entre R\$ 0,04 e R\$ 0,27, para distâncias de 3500 Km e 150 Km, respectivamente. Dados estes que devem ser analisados com devido cuidado, uma vez que diz respeito a um número de informações e faixas de distância que variam de acordo com o produto transportado. Para efeito comparativo, adotou-se distância para destinação no aterro sanitário habilitado mais próximo de 400 km e os itens relevantes:

Custo médio de transporte estimado = R\$ 0,10.t<sup>-1</sup>.km<sup>-1</sup> (SANEPAR<sup>1</sup> e SIFRECA - 2009)

Custo total de remoção do lodo por meio de dragagem e centrífuga = R\$ 120,19 m<sup>-3</sup> ( orçamentos efetuados entre fornecedores de serviços credenciados na SABESP, em 2008 – preço pregão eletrônico );

Custo de disposição em aterro sanitário = R\$ 54,00.t<sup>-1</sup> (FUNDAG, 2007).

Volume de lodo após centrifugação = 960 m<sup>3</sup> a 25% Considerando densidade = 1,05 ( VON SPERLING; GONÇALVES, 2001) Custo para disposição no aterro sanitário = 1008 t X R\$ 54,00.t<sup>-1</sup>= R\$ 54.432,00

Custo total da remoção de 2000 m<sup>3</sup> de lodo com teor médio de sólidos totais de 12% no interior da lagoa e disposição em aterro sanitário com teor de sólidos totais de 25%, a uma distância de 400 Km = R\$ 335.132,00 ou seja R\$ 167,56 t-1 para o caso do lodo da ETE Coronel Macedo.

#### 4.3.1.2. Comentários sobre a alternativa 1 (descartada)

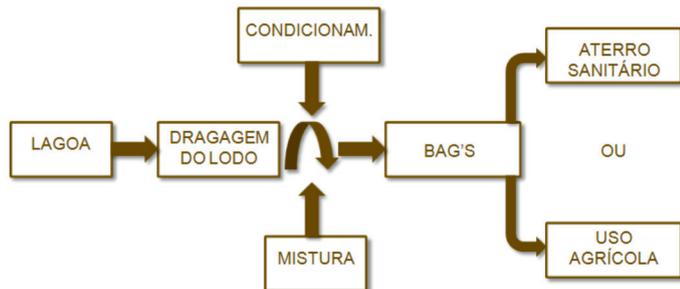
Necessidade de pré – condicionamento do lodo da lagoa para remoção de materiais estranhos como pedaços de pau, metais, plásticos, pedras etc. antes de encaminhamento para centrifuga. A operação de ETEs afastadas, são vulneráveis a entrada de pessoas alheias ao sistema, e que entre os atos de vandalismo observados nas ETEs da regional, têm se lançamento de objetos estranhos dentro da lagoa, como já citado. Estes por sua vez por si só acabam impedindo o uso da centrífuga devido a fragilidade que as mesmas apresentam diante de tais materiais e que inviabilizam o seu uso. Entretanto, para ETE que operam em sistemas fechados, sistemas contínuos e assistidos, as centrifugas no sistema SABESP funcionam muito bem;

Teor elevado de umidade com geração de chorume no aterro sanitário (restrição dos aterros para umidade > 70%). A maioria dos aterros sanitários não recebe lodos de ETE com teor de umidade maior que 70%, o que é uma grande dificuldade para se atingir este nível de desidratação nas ETEs convencionais;

#### 4.3.2 Alternativa 2

Sistema combinado de dragagem com aplicação de polímero, seguido de acondicionamento em “BAG” de polipropileno de alta resistência (Figura 11). Definiu-se testar esta combinação, devido às dificuldades operacionais e em virtude de longas distâncias para disposição do resíduo em aterros licenciados, o que representa elevados custos, uma vez que os aterros da região não são autorizados para este tipo de resíduo.

*Figura 11 – Estudo de Alternativas técnicas e ambientais para remoção e disposição de lodo de esgoto da ETE Coronel Macedo, SABESP – Alternativa 2*



##### 4.3.2.1 Custos para disposição em Aterro Sanitário

Para efeito comparativo, adotou-se a distância para destinação no aterro sanitário habilitado mais próximo de 400 km e os itens relevantes:

Custo total de remoção do lodo por meio de dragagem e BAG = R\$ 124,75 /m<sup>3</sup> (Referência Sabesp – contrato de prestação de serviço em 2008);

Custo total da remoção de 2000 m<sup>3</sup> de lodo com teor médio de sólidos totais de 12% no interior da lagoa, após acondicionamento e desaguamento em BAG por 12 meses e disposição em aterro sanitário do lodo com teor de sólidos totais de 34%, a uma distância de 400Km = R\$ 319.154,00 ou seja R\$

159,57 t<sup>-1</sup>, para o caso do lodo da ETE Coronel Macedo.

##### 4.3.2.2 Estimativa de custos para disposição agrícola

Considerando custo com pá carregadeira e entrega do lodo após um ano de desaguamento no BAG, até 50 Km em área agrícola, por conta da SABESP, de R\$ 0,51.t<sup>-1</sup>km<sup>-1</sup> (Referência Sabesp – ETE Franca, contrato de prestação de serviço - 2009);

Volume de lodo V<sub>2</sub> = 706 m<sup>3</sup> Considerando densidade = 1,05 (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001). Massa de lodo a ser transportado 741 t;

Custo total = R\$ 268.395,00 para remoção de 2000m<sup>3</sup> de lodo com teor médio de sólidos totais no interior da lagoa de 12% e disposição agrícola até 50 km da ETE = R\$ 268.395,50 ou seja R\$ 134,20 t<sup>-1</sup> para o caso do lodo da ETE Coronel Macedo.

##### 4.3.2.3 Comentários sobre a alternativa 2

A partir da análise de custo, a alternativa 2 despertou a atenção da equipe de projetos da Unidade de Negócio do Alto Paranapanema, principalmente devido a possibilidade de disposição em solo agrícola, opção esta que elimina o desembolso para a disposição no aterro. Na impossibilidade da reutilização na agricultura, o lodo deverá sofrer uma redução na quantidade de água, viabilizando assim o transporte a longas distâncias e outros usos.

##### 4.3.3 Co-Processamento

O co-processamento do lodo de ETE pela indústria cimenteira é outra opção que foi analisada para destinação do resíduo. Esta solução de destinação final ainda distante da realidade das Estações de Tratamento de Esgoto brasileiras, ganha corpo na Europa. Diferentemente do que ocorre nos aterros onde ocorre a co-responsabilidade pela destinação, não existe a possibilidade do resíduo se tornar um passivo ambiental quando adotada esta alternativa. (LEME, 2007).

O custo apresentado para SABESP (MONITORE e ANDRADE PAULISTA), sem considerar o transporte, foi de R\$ 280,00.t<sup>-1</sup> de lodo com teor de sólido superior a 20%, até 1000 toneladas/mês. Frente á essas informações foi simulado o cenário de destinação adotando-se o mesmo procedimento de remoção de lodo da alternativa 2 e o custo de transporte para 300 Km de distância da ETE até fabrica de cimento, o custo total seria de:

Custo total para remoção de 2000 m<sup>3</sup> de lodo com teor médio de sólidos totais de 12% no interior da lagoa, após acondicionamento e desaguamento em BAG por 12 meses e disposição em co-processamento em indústria cimenteira do lodo com teor de sólidos totais de 34%, a uma distância de 300 Km = R\$ 479.210,00 ou seja R\$ 239,60 t<sup>-1</sup>.

No Quadro 1 estão contemplados alguns processos de remoção e algumas alternativas para disposição e os custos relativos para as diversas opções analisadas.

**Quadro 1 – Estimativa de custos de remoção de lodo de lagoa facultativa - ETE Coronel Macedo, para diferentes processos e algumas alternativas de disposição.**

ALTERNATIVAS	CUSTO COM TRANSPORTE (R\$)	CUSTO COM DISPOSIÇÃO (R\$)	CUSTO TOTAL (R\$)	R\$ t <sup>-1</sup>
DRAGAGEM E CENTRIFUGAÇÃO R\$ 240.380,00	ATERRO SANITÁRIO 400 KM 40.320,00	DISPOSIÇÃO EM ATERRO SANITÁRIO 54.432,00	335.132,00	<b>167,56</b>
	ATERRO SANITÁRIO 50 KM 25.704,00	54.432,00	320.516,00	<b>160,26</b>
DRAGAGEM E BAG R\$ 249.500,00	ATERRO SANITÁRIO 400 KM 29.640,00	DISPOSIÇÃO NO ATERRO R\$ 40.014,00	319.154,00	<b>159,58</b>
	ATERRO SANITÁRIO 50 KM 18.895,50	DISPOSIÇÃO NO ATERRO 40.014,00	308.409,50	<b>154,20</b>
	SOLO AGRÍCOLA 400 KM 29.640,00	0,00	279.140,00	<b>139,57</b>
	SOLO AGRÍCOLA 50 KM R\$18.895,50	0,00	268.395,50	<b>134,20</b>
	INDÚSTRIA CIMENTEIRA 300 KM 22.230,00	CO-PROCESSAMENTO 207.480,00	479.210,00	<b>239,60</b>

Fonte: Sistemas de informações para frete de cargas agrícolas ( SIFRECA \_ 2009 ).

#### 4.3.3.1. Comentários:

Apesar da operação de remoção de lodo do presente trabalho ter sido realizado por meio de dragagem, condicionamento, acondicionamento em BAGs de polipropileno para desaguamento e posterior disposição final, a alternativa de remoção por meio de dragagem, condicionamento, cen-trifugação e transporte para aterro sanitário foi orçada apenas para comparação de custos, uma vez que a mesma foi descartada em virtude da necessidade de instalação de um sistema de pré condicionamento do lodo para evitar danos na centrífuga.

Os custos de transportes para ambos os processos de remoção do lodo, foram obtidos no sistema de informações para fretes de cargas agrícolas ( SIFRECA -2009 ) e contratos existentes na Sabesp, com relação a transporte de lodo, portanto, não foram determinantes na escolha do processo de remoção e disposição do lodo.

Observou-se que o custo sempre será menor para a remoção de lodo e acondicionamento em BAG, tanto para disposição agrícola quanto para disposição em aterro sanitário, uma vez que pode-se aguardar de maneira correta ambientalmente o desaguamento do lodo até atingir o nível desajado, ideal para transporte ou para uso agrícola. Diferentemente do processo de remoção por meio de dragagem e centrifugação, que na melhor das hipóteses produz

um lodo com alto teor de umidade ou seja com teor de sólidos totais em torno de 25%, com características tipo pastoso dificultando o uso agrícola, exigindo maiores cuidados com transporte e com restrições de recebimento na maioria dos aterros habilitados. Além deste aspecto este tipo de processamento requer imediata destinação para o lodo.

## 5. CONCLUSÕES

A técnica testada para remoção, acondicionamento e desaguamento de lodo de lagoa de estabilização em BAGs , mostrou-se como opção viável tecnicamente e ambientalmente correta. É também economicamente mais viável, mesmo para disposição futura em aterro sanitário, quando comparado ao processo de desaguamento através de centrífuga;

O lodo removido e desaguado em BAGs apresentou características químicas, físicas e parasitológicas em conformidades com as legislações ambientais e específicas para o aproveitamento na agricultura, após um

tempo mínimo de acondicionamento de 03 meses. A técnica mostrou ser viável para remoção da umidade do lodo, conferindo uma remoção gradativa ao longo de 12 meses testados atingindo 35% de sólidos totais.

O lodo da lagoa de Coronel Macedo, SABESP, foi caracterizado segundo ABNTNBR 10004, como Classe II A – lodo não perigoso e não inerte. Com relação a Resolução Conama 375/2006 e a legislação complementar do Ministério da Agricultura e Pecuária ( MAPA ), os resultados apresentados estão em conformidade com a exigência para lodo Classe A.

Os resultados das estimativas de custo para remoção de lodo de lagoa facultativa e disposição indicam grande vantagem para a remoção por processo de dragagem seguido de desague em BAG e posterior disposição em solo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. Reciclagem de bio-sólidos: transformando problemas em soluções. Curitiba: Sanepar, Finep, 1999.
- BETTIOL, W. CAMARGO, O.A. Lodo de Esgoto: Impacto Ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto, SP, Embrapa, 2000. 312p.

3. BRASIL. CONAMA Resolução nº375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União, DF, 29 de ago. 2006.
4. BERTONCINI, E. I.; SALOME, J. R.; FILHO, A. A. V. Opções de pós tratamento e destinação do lodo da ETE – Franca. FUNDAG, Franca, Agosto de 2007.
5. CANZIANI, J. R. F.; OSAKI, M.; MASSARDO, M.; PEGORINI, E. S. Análise Econômica para reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE – Belém. SANARE, Curitiba, Janeiro a Junho de 1999, v. 11, p.51-58.
6. CETESB. – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas. Critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. (Norma, P.4230 )
7. FRANÇA, J.T.L., CORAUCCI, B., STEFANUTTI, R., MAKYAMA, C.K.V., FIGUEIREDO, R.F.: Remoção de lodo de lagoa Facultativa – Estudo de caso ETE Gália. IWA PONDS 2009, Belo Horizonte. Abril de 2009.
8. MIKI, M.K. Utilização de polímeros para condicionamento de lodo de ETE para desidratação em filtro prensa de placas. USP, Mestrado, São Paulo, 1998.
9. THOMAZ-SOCCOL. V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A.: Agentes patogênicos: helmintos e protozoários. In; ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. [S.I.; s.n.], 1999. P.156-179.
10. YANKO W. A., 1987. Occurrence of pathogens in distribution and marketing municipal sludges. In: Environmental regulation and technology: control of pathogens and vector ttraction in sewage sludge. Rapport U.S. EPA 625/r-92/013, 149. Washington: EPA, 1992.

## REVISTA DAE ONLINE

### O PERIÓDICO PODE SER BAIXADO NA INTERNET

A *Revista DAE*, uma publicação científica da Sabesp voltada para a área de saneamento e meio ambiente, voltou a circular no mês de agosto de 2007 através de distribuição gratuita encaminhada exclusivamente para pessoas jurídicas, ONG's, universidades, institutos de pesquisas, enfim, para toda entidade e grupo representativo da área de saneamento e meio ambiente.

Temos uma tiragem limitada e, portanto, não podemos encaminhá-las para pessoas físicas. Mas todo o conteúdo da revista está disponível no nosso site [www.revistadae.com.br](http://www.revistadae.com.br). Há, inclusive, a possibilidade de impressão. O site da DAE foi remodelado para se tornar uma central de informações voltada para a área de saneamento e meio ambiente. Além das revistas, também disponibilizamos a leitura de todos os resumos dos artigos técnicos publicados desde a primeira edição da DAE, em 1936. Para ter acesso ao artigo completo basta fazer uma solicitação no próprio site que o texto completo é encaminhado. Temos muitas novidades para você. Faça-nos uma visita. Será um prazer recebê-lo (a).

**Assine gratuitamente  
o boletim eletrônico.  
É só se cadastrar.**



[www.revistadae.com.br](http://www.revistadae.com.br)