

**FELIPE GOMES SOUZA DE ABREU**

**Utilização do lodo Estação de Tratamento de Esgoto bairro do Araretama em  
Pindamonhangaba na geração de energia**

Guaratinguetá - SP

2016

FELIPE GOMES SOUZA DE ABREU

**Utilização do lodo Estação de Tratamento de Esgoto bairro do Araretama em  
Pindamonhangaba na geração de energia**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

**Orientador: Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins**

**Coorientador: Prof. Me. Fabricio Vieira Silva**

Guaratinguetá - SP  
2016

A162u Abreu, Felipe Gomes Souza de  
Utilização do lodo estação de tratamento de esgoto bairro do Araretama em Pindamonhangaba na geração de energia / Felipe Gomes Souza de Abreu – Guaratinguetá, 2016.  
47 f : il.  
Bibliografia: f. 41-42

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016.  
Orientador: Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins  
Coorientador: Prof. Me. Fabricio Vieira Silva

1. Energia - Fontes alternativas 2. Lodo de esgoto 3. Incineradores

I. Título

CDU 620.91

**unesp**  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**Felipe Gomes Souza de Abreu**

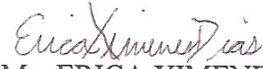
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

  
Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS  
Orientador/UNESP-FEG

  
Profa. Me. ERICA XIMENES DIAS  
UNESP-FEG

  
Profa. Dra. ELIANA VIEIRA CANETTIERI  
UNESP-FEG

**Dezembro de 2016**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais *Harold* e *Cleusa* pelo apoio, assistência, confiança e incentivo que depositaram em mim. Sem eles eu não teria dado continuação ao curso.

Ao meu orientador *Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins* e co-orientador *Prof. Me. Fabricio Vieira Silva* por terem aceitado o meu projeto e desde então me acompanharam durante toda a realização do trabalho.

Aos amigos que fiz durante a de graduação. Estudo, noites acordadas, amizades e companheirismo na república *Copo & Cia* e *Nós S/A*.

Por fim, em especial, agradeço a *Micaelle*, que tem sido uma pessoa muito importante e que me motiva a ser melhor todos os dias.

“O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos.”

Eleanor Roosevelt

**ABREU, F. G. S. Utilização do lodo Estação de Tratamento de Esgoto bairro do Araretama em Pindamonhangaba na geração de energia.** 2016. 47 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

## **RESUMO**

Neste trabalho aborda-se a utilização do lodo de esgoto na geração de energia, desde a sua origem no tratamento do esgoto, a sua composição e possíveis impactos ambientais que sua disposição podem causar. A incineração é um dos métodos mais caros de disposição, porém feita de forma correta podem causar baixo impacto ambiental e gerar energia devido ao grande teor de material orgânico. este comportamento foi comprovado com o teste de poder calorífico realizado na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (UNESP), no entanto para ser viável a sua incineração, é necessário gerar maior quantidade de lodo.

**PALAVRAS-CHAVES:** Lodo de esgoto, Geração de energia, Incineração, Impacto ambiental.

**ABREU, F. G. S. Utilization of sludge Treatment Station Sewage district of Araretama in Pindamonhangaba in power generation.** 2016. 47 f. Graduate Worl (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

### **ABSTRACT**

In this study discusses the use of sewage sludge in power generation, from its origin in the treatment of sewage, composition and possible environmental impacts that their disposal can cause. Incineration is one of the most expensive methods of disposal, but done correctly can cause low environmental impact and generate energy thanks to large amount of organic material. This has been proven with the calorific value test performed at the Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (UNESP) but to be viable the incineration, a greater amount of sludge to be generated.

**KEYWORDS:** Sewage sludge, power generation, incineration, environmental impact.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Visão aérea ETE do bairro do Araretama, Pindamonhangaba/SP..... | 11 |
| Figura 2 - Reator biológico em funcionamento.....                          | 11 |
| Figura 3 - Esquematização de um Biodigestor RAFA.....                      | 13 |
| Figura 4 - a) Grade para separação primária e b) Separador de areia.....   | 16 |
| Figura 5 - Ilustração de uma bomba calorimétrica comercial.....            | 17 |
| Figura 6 - Incinerador de múltiplas câmaras.....                           | 21 |
| Figura 7 - Incinerador de leito fluidizado.....                            | 22 |
| Figura 8 - Composição do esgoto doméstico.....                             | 24 |
| Figura 9 - Tanque de lodo adensado por gravidade.....                      | 27 |
| Figura 10 - Dosadora de polímero.....                                      | 28 |
| Figura 11 - Centrífuga de eixo horizontal GEA Westfalia.....               | 29 |
| Figura 12 - Equipamento autoclave.....                                     | 30 |
| Figura 13 - Controlador da autoclave.....                                  | 30 |
| Figura 14 - Termômetro.....                                                | 31 |
| Figura 15 - Fita e sua mudança de cor.....                                 | 32 |
| Figura 16 - Bomba calorimétrica IKA C2000 e reservatório IKA KV 600.....   | 32 |
| Figura 17 - Fio de algodão amarrado no eletrodo.....                       | 33 |
| Figura 18 - Frasco de decomposição.....                                    | 34 |
| Figura 19 - Cinzas após a combustão do lodo.....                           | 35 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Quantidade de biossólidos e número de viagens para transporte<br>de 6 toneladas (material seco).....                              | 18 |
| Tabela 2 - Comparação dos custos da disposição final do lodo de esgoto.....                                                                  | 20 |
| Tabela 3 - Poder calorífico de diferentes tipos de lodo de esgoto.....                                                                       | 21 |
| Tabela 4 - Exemplo de influência da concentração de sólidos em incineradores<br>com leito fluidizado.....                                    | 23 |
| Tabela 5 - Composição de lodo em algumas estações de tratamento (% de matéria seca).....                                                     | 24 |
| Tabela 6 - Característica dos principais materiais para compostagem.....                                                                     | 25 |
| Tabela 7 - Concentrações máximas permissíveis de metais no biossólido para uso agrícola.....                                                 | 26 |
| Tabela 8 - Resultados da análise química da composição total da amostra seca na<br>ETE de Barueri.....                                       | 36 |
| Tabela 9 - Análise química da composição nos meses de Fevereiro e Maio na<br>ETE Jardim das Flores de Rio Claro e B.Geraldo de Campinas..... | 36 |
| Tabela 10 - Dados obtidos na primeira análise de poder calorífico do lodo.....                                                               | 37 |
| Tabela 11 - Dados obtidos na segunda análise de poder calorífico do lodo<br>com granulação 60 mesh.....                                      | 37 |
| Tabela 12 - Diversos combustíveis e seus poderes caloríficos.....                                                                            | 38 |
| Tabela 13 - Valores calculados dos poder calorífico do lodo nas<br>ETE Jardim do Barão de Rio Claro e ETE Barão Geraldo de Campinas.....     | 38 |

## SUMÁRIO

|          |                                                     |           |
|----------|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                              | <b>11</b> |
| 1.1      | OBJETIVO.....                                       | 12        |
| 1.2      | JUSTIFICATIVA.....                                  | 12        |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                   | <b>13</b> |
| 2.1      | MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....                | 13        |
| 2.1.1    | Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA).....    | 13        |
| 2.1.2    | Lagoa Facultativa.....                              | 14        |
| 2.1.3    | Lagoa anaeróbia.....                                | 14        |
| 2.1.4    | Lagoa aerada.....                                   | 14        |
| 2.1.5    | Baias e valas de infiltração.....                   | 15        |
| 2.1.6    | Lagoa de maturação.....                             | 15        |
| 2.1.7    | Lodo ativado.....                                   | 15        |
| 2.2      | OBTENÇÃO DO PODER CALORÍFICO.....                   | 16        |
| 2.3      | VIABILIDADE ECONÔMICA.....                          | 17        |
| 2.4      | INCINERADORES.....                                  | 20        |
| 2.5      | COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO.....                     | 23        |
| 2.6      | IMPACTOS AMBIENTAIS.....                            | 25        |
| 2.6.1    | Disposição Oceânica.....                            | 25        |
| 2.6.2    | Incineração.....                                    | 25        |
| 2.6.3    | Aterro Sanitário.....                               | 26        |
| 2.6.4    | Agricultura.....                                    | 26        |
| <b>3</b> | <b>PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL / METODOLOGIA.....</b> | <b>27</b> |
| 3.1      | DESAGUAMENTO DO LODO.....                           | 27        |
| 3.2      | ESTERILIZAÇÃO DO LODO.....                          | 29        |
| 3.3      | PODER CALORÍFICO DO LODO.....                       | 32        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>                 | <b>36</b> |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>                               | <b>40</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                             | <b>41</b> |
|          | ANEXO 1.....                                        | 43        |
|          | ANEXO 2.....                                        | 44        |
|          | ANEXO 3.....                                        | 46        |

## 1 INTRODUÇÃO

É de obrigatoriedade a destinação e o tratamento dos resíduos sanitários provenientes de residências, comércios e indústrias. Para esta finalidade, existem as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) que são responsáveis pelo tratamento destes resíduos. Como exemplo, a Figura 1 mostra a visão aérea de uma ETE, localizado no bairro do Araretama na cidade de Pindamonhangaba.

Figura 1 - Visão aérea ETE do bairro do Araretama, Pindamonhangaba/SP



Fonte: (SABESP, 2011)

Os resíduos sanitários contêm em sua composição sólidos (suspensão e sedimentáveis), compostos orgânicos além de microrganismos patogênicos. O objetivo da ETE é tratar o esgoto, retirar os sólidos de forma mecânica e os compostos orgânicos de forma biológica gerando o lodo. Na figura 2 mostra a remoção de compostos orgânicos através de um reator biológico. Após este processo, é obtido o efluente final que retorna ao meio ambiente de acordo as legislações legais.

Figura 2 - Reator biológico em funcionamento



Fonte: Autoria própria

Com a obtenção do lodo, existe a necessidade da disposição correta deste produto. As alternativas de disposição são os aterros sanitários, na utilização da agricultura como adubo e corretor de solo ou como combustível alternativo na geração de energia, foco deste trabalho.

## 1.1 OBJETIVO

Analisar o lodo gerado pela ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) Araretama-SP, para utilização como combustível alternativo para geração de energia. O presente trabalho propõe avaliar a composição e o poder calorífico da amostra e comparar com outros lodos da literatura.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O lodo gerado da ETE Araretama-SP é totalmente destinado ao aterro sanitário, gerando custos de transporte, locação de caçambas para armazenamento e disposição. Na região do Vale do Paraíba, apenas dois aterros sanitários recebem o lodo biológico. A queima do lodo é uma solução para redução dos custos e a recuperação de energia a longo prazo.

A incineração do lodo é uma alternativa para diminuição dos impactos ambientais. O lodo das ETEs contém porcentagens de bário, chumbo, cobre e outros elementos que quando dispostos de maneira inadequada, podem gerar impactos ambientais como a contaminação do lençol freático afetando a saúde da população.

As cinzas resultantes da incineração do lodo podem ser utilizadas no ramo da construção civil, como, por exemplo, na fabricação de telhas, tijolos e cimentos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

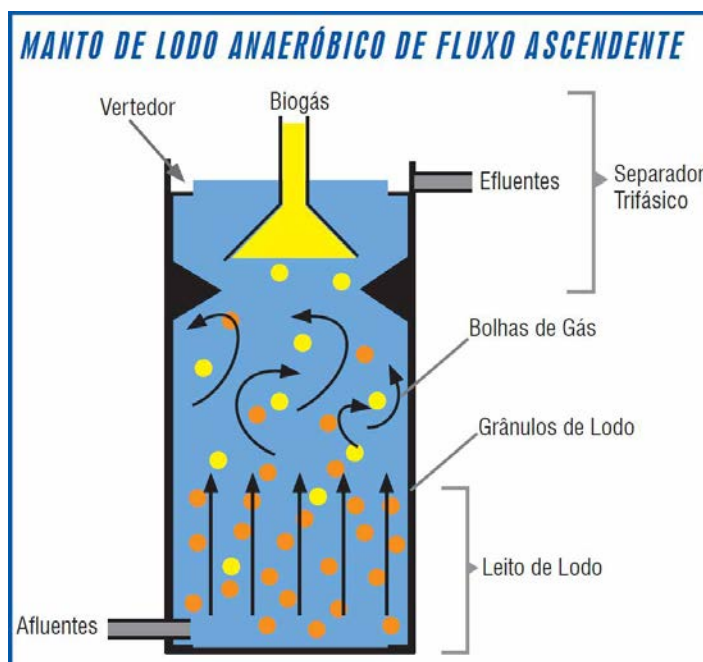
### 2.1 MÉTODOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Neste subcapítulo serão apresentados os diversos métodos de tratamento de esgoto existentes na atualidade, desde o mais simples ao mais automatizado. Em todos eles, as bactérias são fundamentais na realização do tratamento do esgoto.

#### 2.1.1 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA)

É um reator fechado com tratamento biológico realizado por bactérias anaeróbicas presentes em um manto de lodo. Na Figura 3 apresenta a esquematização de um biodigestor RAFA. O efluente entra na parte inferior do reator, possuindo um fluxo ascendente. No manto de lodo, os microrganismos presentes fazem a decomposição da matéria orgânica, liberando gases. Na parte superior retira-se o efluente tratado e o biogás. A eficiência alcança entre 65% a 75%, sendo assim necessário um tratamento complementar (SABESP, 2010).

Figura 3 - Esquematização de um Biodigestor RAFA



Fonte: (QUIMICA.COM.BR, 2012)

### **2.1.2 Lagoa Facultativa**

É um processo de tratamento realizado em grandes lagoas, com profundidade entre 1,5 e 2,0 m. O termo “facultativo” refere-se à mistura de condições aeróbias e anaeróbias. Nas lagoas facultativas, as condições aeróbias são mantidas na superfície das lagoas enquanto as condições anaeróbias no fundo (SABESP, 2010).

Segundo Von Sperling (1996), este mecanismo de purificação do lodo ocorrem em três zonas denominadas: zona anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa. Na zona anaeróbia ocorre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios. Após um período de tempo, apenas a fração não-biodegradável permanece na camada de fundo. Na zona aeróbia a matéria orgânica é oxidada pela presença de oxigênio através das trocas gasosas da superfície da lagoa com a atmosfera e principalmente pela fotossíntese realizada pelas algas presentes. A zona que pode ocorrer presença ou a ausência de oxigênio é denominada zona facultativa.

As vantagens das lagoas facultativas são seus custos operacionais baixos e eficiência do sistema ser satisfatória. Como desvantagens, por se tratar de um processo essencialmente natural, a estabilização da matéria orgânica se processa em taxas mais lentas sendo necessário um tempo de elevado de detenção na lagoa (superior a 20 dias), e para que as algas realizem fotossíntese é preciso uma elevada área de exposição para melhor aproveitamento da energia solar pelas plantas (VON SPERLING, 1996).

### **2.1.3 Lagoa anaeróbia**

São lagoas profundas entre 3,0 e 5,0 m, que devido a grande profundidade, o oxigênio produzido pelas algas e as trocas gasosas entre a superfície do lago e atmosfera é considerado desprezível. Sem oxigênio, o processo anaeróbio será predominante e a decomposição da matéria orgânica gera biogás (SPERLING, 1996).

A NTS 027:2014 explica que a associação de lagoas anaeróbias em série com lagoas facultativas, constitui o sistema denominado “australiano”. Esse processo produz odor ofensivo e deve ser implantado distante da zona urbana.

### **2.1.4 Lagoa aerada**

Segundo a NTS 027:2014, nas lagoas aeradas facultativas, devido a baixa potência introduzida pelos aeradores, a parte sólida do esgoto se deposita no próprio tanque. Este método é utilizado quando se deseja um sistema predominantemente aeróbio, e de dimensões

reduzidas comparadas ao de lagoas facultativas ou sistema lagoas anaeróbicas seguidas por lagoas facultativas. Caso as lagoas facultativas convencionais estiverem sobrecarregadas e não tenha área para expansão é possível ser convertidas para lagoas aeradas facultativas na inclusão de aeradores (VON SPERLING, 1996).

A qualidade do esgoto proveniente das lagoas aeradas não são adequadas para retornar ao ambiente devido a grande quantidade de sólidos. Assim, são feitas várias em conjuntos ou utiliza-se as lagoas de sedimentação para a decantação dos sólidos suspensos (VON SPERLING, 1996)

### **2.1.5 Baías e valas de infiltração**

É um tratamento complementar onde se passa o esgoto por filtros instalados no solo feitos por areia e pedregulho.

### **2.1.6 Lagoa de maturação**

Considerada um tratamento complementar, a lagoa de maturação possui profundidade de 0,5 a 2,5 m. Ela faz a remoção dos fatores patogênicos devido a exposição a radiação ultravioleta proveniente da luz solar, atuando como um desinfetante. Segundo Sperling (1996), um outro método barato e eficaz de desinfecção é a cloração.

### **2.1.7 Lodo ativado**

É o sistema de tratamento de esgoto utilizado na ETE Bairro Araretama. O processo primário é separação dos sólidos suspensos do esgoto pela passagem por uma grade. A Figura 4 a) mostra a grade utilizada na ETE Bairro Araretama, impedindo a passagem de sólidos suspensos como sacos plásticos, madeira, embalagens e etc. A segunda remoção será o da areia. Utiliza-se um raspador de areia representado na Figura 4 b) que empurra a areia para um parafuso de rosca sem fim até a caçamba.

Figura 4 - a) Grade para separação primária e b) Separador de areia



Fonte: Autoria própria

Livre dos sólidos suspensos, o esgoto é transportado para o reator aerado. Nesta etapa a matéria orgânica oxidará devido à injeção de oxigênio e o lodo se depositará no fundo do tanque. Neste tipo de tratamento costuma-se usar dois tanques. Enquanto um tanque enche de esgoto, o outro tanque esvazia. O lodo é retirado por uma válvula durante um dos processos de enchimento de esgoto.

## 2.2 OBTENÇÃO DO PODER CALORÍFICO

Vlassov (2008) explica que poder calorífico é a quantidade de calor liberada pela combustão completa do combustível. O poder calorífico é medido em Joule (J, kJ, MJ) por quilograma ou metro cúbico de combustível. Existem duas formas de quantificar o poder calorífico: Poder Calorífico Superior e Poder Calorífico Inferior.

O valor do poder calorífico superior (P.C.S.) inclui um calor de condensação do vapor da água formado pela combustão do hidrogênio e pela umidade contida no combustível. Em MCI (Motores de Combustão Interna) os gases de escape têm a temperatura maior de que a de condensação do vapor e por isso este calor de condensação não se aproveita. Em cálculos térmicos dos MCI é usado poder calorífico inferior que não inclui o calor de condensação de vapor da água (VLASSOV, 2008).

Na equação (1) demonstra a diferença entre o poder calorífico superior e inferior, ao qual corresponde ao calor latente de vaporização da água:

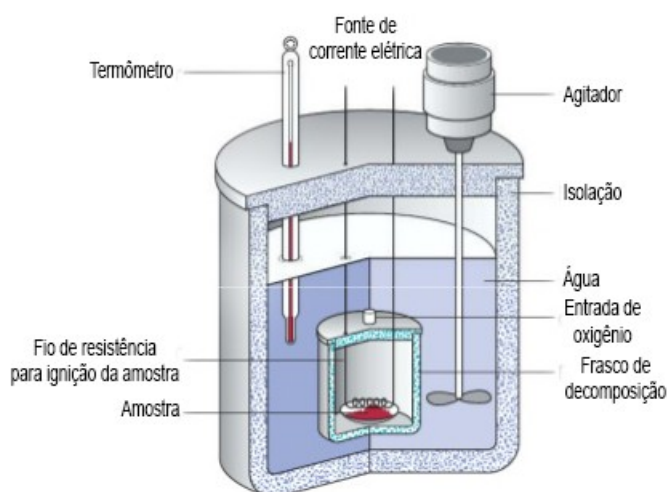
$$PCS = PCI + h_{lv} \quad (1)$$

Onde:

$h_{lv}$  = calor latente de vaporização da água (J/kg)

A Figura 5 mostra um modelo de bomba calorimétrica utilizada para a obtenção do poder calorífico. Segundo Melville (2014), este modelo consiste em um frasco metálico concebida para suportar calor e pressão, um reservatório para reter o frasco e um volume de água conhecido, um fio de resistência elétrica, injeção de oxigênio comprimido para assegurar a combustão completa e total da amostra e um meio de medir com precisão a temperatura da água.

Figura 5 - Ilustração de uma bomba calorimétrica comercial



Fonte: Adaptado da Universidade Federal do Ceará (2011)

## 2.3 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para o estudo da viabilidade econômica no tratamento e disposição do lodo são considerados diversos fatores. Um delas é o transporte do lodo que possui grande influência nos custos totais da operação. A Tabela 1 apresenta a influência do teor da umidade do lodo em relação a quantidade de biossólido e número de viagens para transporte. Segundo Spinosa

(1997), os altos custos em relação a grandes distâncias de transportes podem ser compensados realizando transporte de grandes volumes.

Tabela 1 - Quantidade de bio sólidos e número de viagens para transporte de 6 toneladas (material seco)

| Tipo Bio sólido    | Teor de umidade (médio) | Quantidade bio sólido úmido (toneladas) | Número de caminhões caçamba (12 ton.) |
|--------------------|-------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| Lodo Bruto         | 98,00%                  | 300                                     | 25                                    |
| Lodo Adensado      | 92,00%                  | 75                                      | 6,25                                  |
| Prensa Desaguadora | 85,00%                  | 40                                      | 3,3                                   |
| Centrífuga         | 70,00%                  | 20                                      | 1,67                                  |
| Filtro Prensa      | 60,00%                  | 15                                      | 1,25                                  |
| Secagem térmica    | 10,00%                  | 6,67                                    | 0,56                                  |

Fonte: (VON SPERLING, 2007)

Spinosa (1997) afirma que o transporte por caminhão é o método mais utilizado devido aos baixos custos de investimentos e uma maior flexibilidade. Segundo Fernandes (2007), além do volume do lodo, o tipo do veículo, capacidade, condição das estradas e de carregamento de caminhões influencia no custo de operação do transporte.

Outras alternativas de transportes apresentadas por Spinosa (1997) são por tubulação, barcas, via férreas. O transporte por tubulação é adequado para moverem grandes quantidades de lodo com concentração de sólidos abaixo de 10%, porém os custos e o tempo de instalações são altos. O transporte via férrea e por barca é mais conveniente para grandes quantias de lodo em longas distâncias. Neste caso, a disponibilidade de vias navegáveis adequadas e ligações ferroviárias são essenciais.

Além do transporte, o custo do processamento do lodo e a disposição final devem ser considerada. Eles podem ser divididos em capital e custo operacional (Fernandes et. al, 2007). Nos quadros 1 e 2 serão apresentados os principais itens para o capital e o custo de funcionamento.

Quadro 1 - Itens relevantes em termos de custo de capital

| Item                       | Comentários                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Área necessária            | Área necessária para edifícios, instalações de equipamentos, armazenamento e compostagem. Planilhas são úteis para a avaliação dos custos de terreno no site estação de tratamento ou outro local                                                                              |
| Equipamentos               | Todos os equipamentos devem ser incluídos, tais como misturadores de cal, produtos químicos, equipamentos de dosagem, equipamentos de compostagem, arejadores, misturadores, secadores térmicos e outros, pois eles variam de acordo com as exigências de cada caso particular |
| Manuseamento dos materiais | Bombas, correias transportadoras, tratores e caminhões necessários para transportar o lodo da estação de tratamento                                                                                                                                                            |
| Construções                | Bases para instalação de equipamentos, galpões, pavimentação de concreto ou asfaltados, laboratórios, checkroom e etc                                                                                                                                                          |
| Instalações Elétricas      | Alguns equipamentos de tratamento de lodo exigem instalações elétricas especiais                                                                                                                                                                                               |
| Diversos                   | A experiência tem mostrado que as estimativas devem considerar um item de “diversos”, cerca de 20% do valor total para equipamentos eletromecânicos e 10% para obras de construção civil                                                                                       |

Fonte: Adaptado (FERNANDES, LOPES, ANDREOLI, SILVA, 2007)

Quadro 2 - Itens relevantes em termos de amortização e custo operacional (continua)

| Item                         | Comentários                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Construções                  | Normalmente 5% ( $= 1/20$ ) como a taxa anual ao longo de 20 anos é considerado                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Equipamentos eletromecânicos | <p>Normalmente, os valores são definidos para casos específicos, com base em outros sistemas em operação.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 14,3% (<math>= 1/7</math>) taxa anual sobre os custos de capital para um período de amortização de 7 anos pode ser assumida em alguns casos</li> <li>• Uma vida útil de 20 anos tem sido sugerido por alguns fabricantes de equipamentos de desidratação de lodo</li> <li>• silos de armazenamento de calcário bem construídas também pode ter uma vida de 15 a 20 anos</li> <li>• Equipamento submetido a abrasão rápida e frequentemente utilizados, tais como transportadores de correia, recipientes ou bombas, pode ter uma vida útil de cerca de 5 anos, ou um custo anual de amortização de 20% sobre os custos de capital</li> </ul> |
| Manutenção                   | Amplamente, produto variável dependendo do equipamento em si e cuidados operacionais. 5% de um valor médio anual sobre o custo de aquisição pode ser assumida                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Quadro 2 - Itens relevantes em termos de amortização e custo operacional (conclusão)

| Item                      | Comentários                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Energia                   | Fonte de alimentação e quantidade a ser utilizada deve ser conhecido. Volumes e custos unitários deve ser dada para combustíveis líquidos ou gasosos. Consumo elétrico é normalmente expressa em kWh                            |
| Material                  | Deve incluir todos os produtos químicos para a remoção de água e tratamento do lodo, como coagulantes, cal e etc.                                                                                                               |
| Manuseamento e transporte | Este é um item de grande impacto no custo, variando com a concentração de sólidos e produtos químicos adicionados                                                                                                               |
| Custos de mão de obra     | Número de empregados, capacitação, salários e impostos devem ser especificado                                                                                                                                                   |
| Gestão e controle         | Deve incluir os custos de análises laboratoriais microbiológicas, custos administrativos físico-químicas e de escritórios. Um valor de 6-9% sobre os custos operacionais possam ser adotadas na ausência de valores específicos |

Fonte: Adaptado (FERNANDES, LOPES, ANDREOLI, SILVA, 2007)

Os custos relacionados a disposição final do lodo devem considerar além do preço da disposição como o impacto ambiental que podem ser causados (FERNANDES et. al, 2007). No caso da disposição oceânica, a EPA (US Environmental Protection Agency) em conjunto da MPRSA (Marine Protection, Research and Sanctuaries Act) implementaram o regulamento 40 CFR (40 Code of Federal Regulations) 220-229 para este tipo de disposição. A Tabela 2 apresenta dados comparativos de diferentes métodos de disposição final do lodo:

Tabela 2 - Comparação dos custos da disposição final do lodo de esgoto

| Alternativas de disposição final | Custo (US\$/t) |
|----------------------------------|----------------|
| Oceânica                         | 12 a 50        |
| Aterros Sanitários               | 20 a 60        |
| Incineração                      | 55 a 250       |
| Reciclagem Agrícola              | 20 a 125       |

Fonte: (ANDREOLI et al., 2006)

## 2.4 INCINERADORES

Fernandes e Luduvise (2007) afirmam que incineradores são instalados em regiões com população com mais de 500 mil habitantes e com capacidade de tratamento do lodo superior a 1 ton/h. Em um projeto do incinerador são requeridos balanço de massa e energia.

Apesar da concentração considerável de matéria orgânica presente no lodo desidratado, para a sua combustão é necessário a quantia de sólidos serem maiores que 35% do total. Considerando entre 20 a 30%, o lodo serve como combustível auxiliar. Na Tabela 3 apresenta valores caloríficos de diferentes tipos de lodos.

Tabela 3 - Poder calorífico de diferentes tipos de lodo de esgoto

| Tipo de lodo        | Poder calorífico (kJ/kg matéria seca) |
|---------------------|---------------------------------------|
| Lodo bruto primário | 23300-29000                           |
| Lodo anaeróbico     | 12793                                 |
| Lodo ativado        | 19770-23300                           |

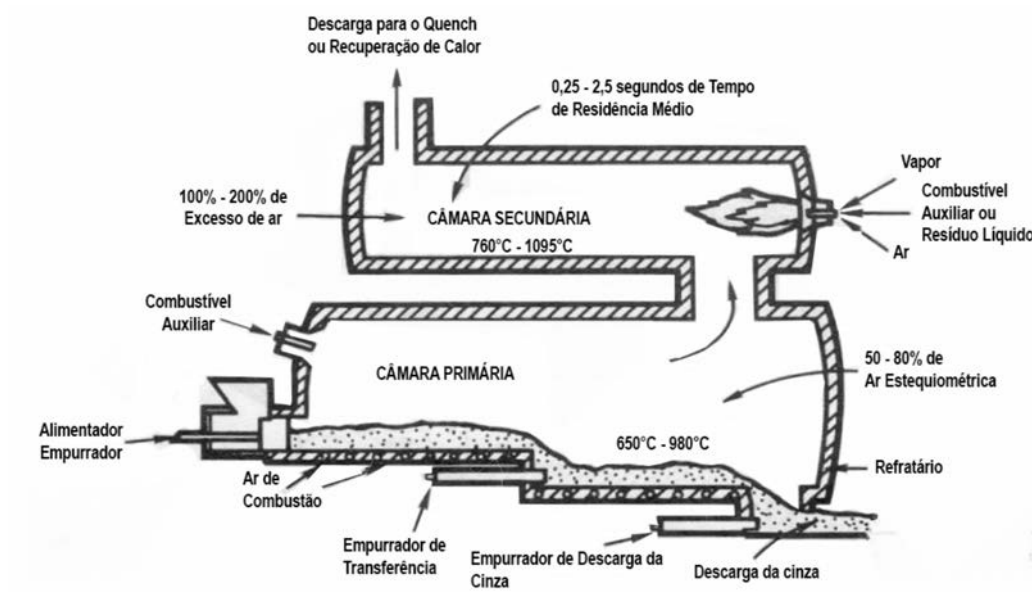
Fonte: (VON SPERLING, 2007)

Atualmente existem dois tipos de incineradores usados na queima do lodo de esgoto:

- Incinerador de múltiplas câmaras;
- Incinerador de leito fluidizado;

A Figura 6 é apresentada a esquematização de um incinerador de múltiplas câmaras. A câmara primária é onde ocorre a remoção da umidade e pirólise, a câmara secundária onde a combustão acontece e por fim a zona de resfriamento. Caso seja necessário combustível suplementar, queimadores de óleo ou gás estarão na câmara secundária (FERNANDES, LUDUVICE, 2007).

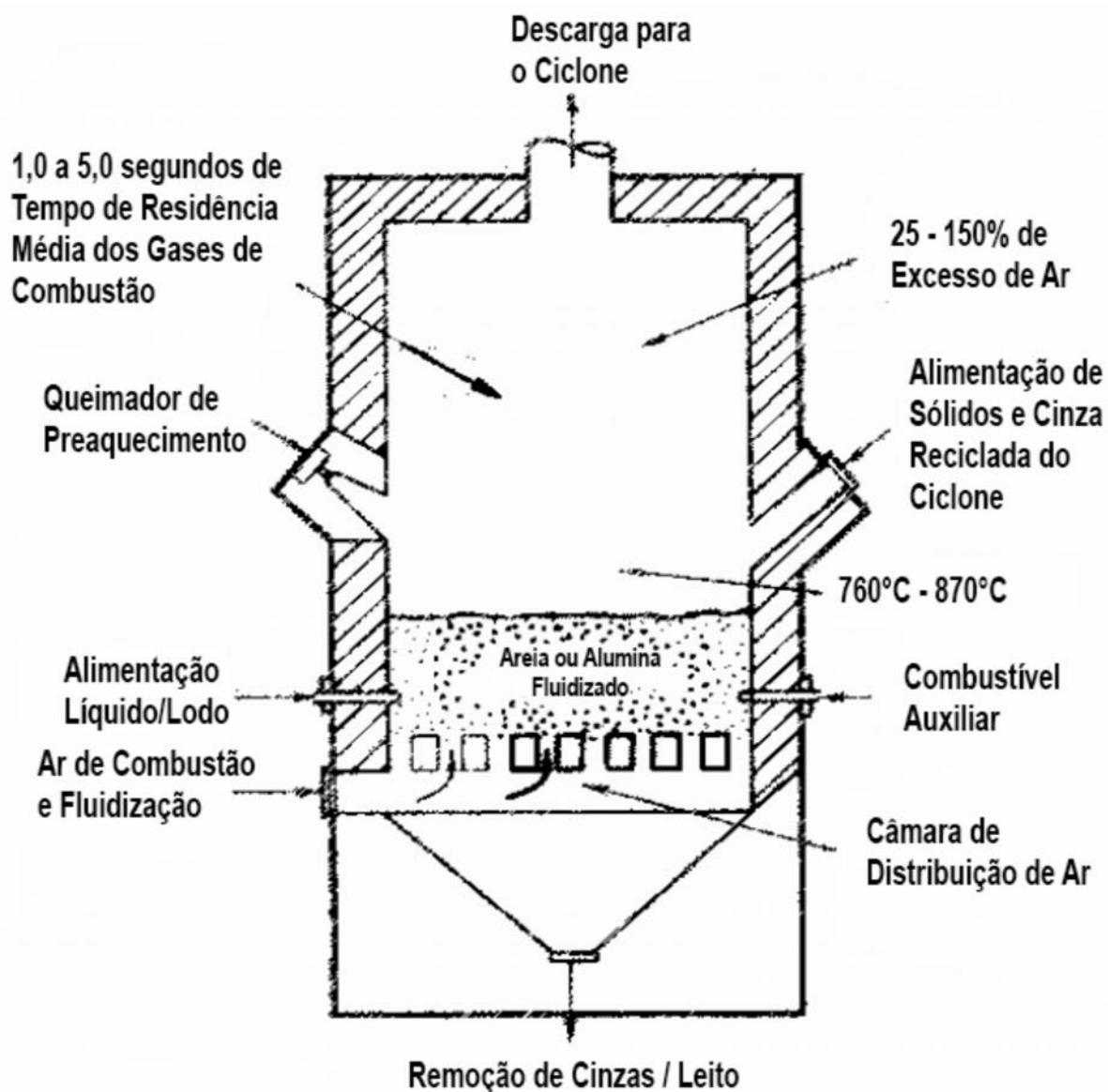
Figura 6 - Incinerador de múltiplas câmaras



Fonte: (DEMPSEY E OPPELT, 1999, apud USP)

Incineradores de leito fluidizado representado pela Figura 7 é constituído por uma câmara de combustão vertical revestida com um material refratário. As partículas orgânicas do lodo desidratado permanece em contato com um fluxo de ar quente injetado até a combustão completa (COULOMB,1997).

Figura 7 - Incinerador de leito fluidizado



Fonte: (DEMPSEY E OPPELT, 1999, apud USP)

A Tabela 4 é mostrado as vantagens de uma concentração de sólidos mais alta no lodo de alimentação.

Tabela 4 - Exemplo de influência da concentração de sólidos em incineradores com leito fluidizado

| Parâmetros                               | Lodo com 20% sólido | Lodo com 26% sólido |
|------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Orgânicos voláteis (%)                   | 75                  | 75                  |
| Energia disponível (MJ/tm SS)            | 3489                | 4536                |
| Temperatura de exaustão (°C)             | 815                 | 815                 |
| Excesso de ar necessário (%)             | 40                  | 40                  |
| Temperatura do ar (°C)                   | 537                 | 537                 |
| Consumo de combustível (L/tm SS)         | 184                 | 8                   |
| Capacidade de processamento (kg SS/hora) | 998                 | 1361                |
| Energia (kWh/tm SS)                      | 284                 | 207                 |
| Água de lavagem de gases (L/tm SS.s)     | 30                  | 26                  |
| Tempo de duração                         | 18,2                | 13,3                |

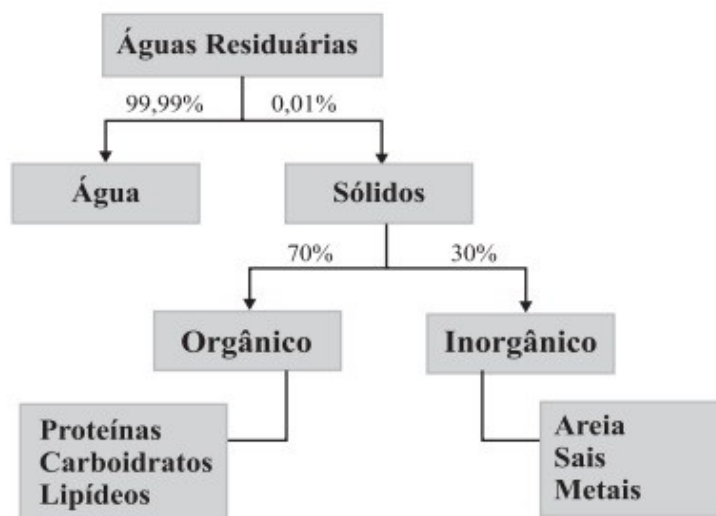
Fonte: Adaptado (WEF, 1992), SS = Sólido Seco; tm = tonelada métrica = 1000 kg

As cinzas geradas na combustão do lodo causam riscos caso seja feita a disposição de forma inadequada. A possibilidade de lixiviação de metais e sua absorção pelas plantas são um risco a saúde. Tecnologias recentes usam uma mistura de cimento e cinzas, reduzindo no custo de produção e assegurando a retenção do metal (FERNANDES E LUDUVICE, 2007).

## 2.5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO

O esgoto doméstico contém aproximadamente 99,9% de água. A parte restante são as partículas sólidas, fracionadas em 70% de material orgânico e os outros 30% com material inorgânico (VON SPERLING, FERNANDES, ANDREOLI, 2007). A Figura 8 é apresentada a composição do esgoto doméstico de forma geral recebido pelas estações de tratamento de esgoto.

Figura 8 - Composição do esgoto doméstico



Fonte: (MELO & MARQUES, 2000)

Na fração orgânica encontra-se os carboidratos, lipídios e proteínas, o que constituem a fonte de carbono, parte de maior interesse na utilização e na recuperação de solos ou na incineração para geração de energia. As tabelas 5 e 6 mostram as variações da composição do lodo por estações de tratamento de esgoto e uma comparativo das característica dos principais materiais para compostagem.

Tabela 5 - Composição de lodo em algumas estações de tratamento (% de matéria seca)

| Estação de tratamento | Tipo de lodo    | N    | P    | K    | C    | Ca   | Mg   | Fonte              |
|-----------------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|--------------------|
| Barueri-SP            | Lodo ativado    | 2,25 | 1,48 | 0,01 | 21   | 7,29 | -    | Tsutya (2000)      |
| Franca-SP             | Lodo ativado    | 9,15 | 1,81 | 0,35 | 34   | 2,13 | -    | Tsutya (2000)      |
| Belém-PR              | Lodo ativado    | 4,19 | 3,7  | 0,36 | 32,1 | 1,59 | 0,6  | Sanepar (1997)     |
| UASB-PR               | Lodo anaeróbico | 2,22 | 0,67 | 0,95 | 20,1 | 0,83 | 0,3  | Sanepar (1997)     |
| Sul-DF                | Lodo ativado    | 5,35 | 1,7  | 0,18 | 34,7 | 2,68 | 0,41 | Silva el al (2000) |

Fonte: (VON SPERLING, 2007)

Tabela 6 - Característica dos principais materiais para compostagem

| Material                      | % Sólido | % N     | % C   |
|-------------------------------|----------|---------|-------|
| Galho de árvore               | 65-75    | 0,8-1,2 | 45-55 |
| Palha de arroz                | 80-90    | 0,9-1,2 | 35-40 |
| Bagaço de cana de açúcar      | 60-80    | 0,1-0,2 | 40-50 |
| Palha de trigo                | 80-90    | 0,3-0,5 | 40-50 |
| Serragem                      | 65-80    | 0,1-0,2 | 48-55 |
| Lodo bruto                    | 1-4      | 1-5     | 30-35 |
| Lodo desidratado (centrifuga) | 17-28    | 1-4     | 22-30 |

Fonte: (VON SPERLING, 2007)

## 2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS

As principais preocupações para disposição do lodo são referentes a saúde e proteção ambiental. Para cada método utilizado na disposição requer uma avaliação dos impactos ambientais e os seus riscos, com objetivos de minimizar os impactos negativos e destacar os positivos.

### 2.6.1 Disposição Oceânica

É uma prática proibida em muitos países devido à possibilidade de produzir impactos negativos para o ambiente marinho (LARA, et al, 2007). Nos anexos 1, 2 e 3 mostram a existência de compostos orgânicos tóxicos, metais pesados e fatores patogênicos que podem depositar-se no fundo do leito oceânico, afetando a comunidade bentônica matando espécies sensíveis ou por meio de bioacumulação pela cadeia alimentar, quando seres humanos ingerem animais marinhos contaminados.

### 2.6.2 Incineração

A incineração não é considerado como uma prática de disposição final por vários autores, uma vez que este processo gera cinzas como resíduo, que devem ser adequadamente eliminados (LARA, ANDREOLI, PEGORINI, 2007).

Dependendo do lodo, a incineração o transforma em cinza de 10 a 30% do total do sólido seco. Estas cinzas são normalmente depositados em aterros, o que é um problema devido a alta concentração de compostos não eliminados pela decomposição térmica, como por exemplo os metais.

Os outros impactos estão relacionados a incineração do lodo são a poluição do ar por meio de emissão de fases, partículas e odores. Comunidades vizinhas que fiquem expostas a poluição poderão enfrentar problemas de saúde.

### 2.6.3 Aterro Sanitário

É a forma mais comum de fazer a disposição do lodo. Os impactos dos aterros são na superfície e subterrâneas devido à possibilidade de serem contaminados por líquidos de lixiviação que transportam nitratos, metais, compostos orgânicos e microrganismos patogênicos. Como resultado do processo de estabilização anaeróbica realizada em aterros, os gases são produzidos, o que precisa ser esgotado e controlado, caso contrário causará poluição do ar e o mal odor (LARA, ANDREOLI, PEGORINI, 2007).

### 2.6.4 Agricultura

Segundo Bettiol & Camargo (2006), entre as diversas alternativas de disposição do lodo existente, a aplicação na agricultura é a mais conveniente devido ao lodo ser rico em matéria orgânica e em macro e micronutrientes para as plantas. É recomendada a sua aplicação como condicionador de solo e ou fertilizante. No entanto, o lodo de esgoto contém diversos poluentes como metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos ao homem, necessitando de muito cuidado em sua aplicação. Na tabela 7 é apresentada as máximas concentrações permitidas de metais no solo na agricultura:

Tabela 7 - Concentrações máximas permissíveis de metais no biossólido para uso agrícola

| Concentração máxima de metais, mg/kg (base seca) |    |       |      |      |    |    |     |     |     |      |
|--------------------------------------------------|----|-------|------|------|----|----|-----|-----|-----|------|
| As                                               | Cd | Bário | Cr   | Cu   | Hg | Mo | Ni  | Pb  | Se  | Zn   |
| 41                                               | 39 | 1300  | 1000 | 1500 | 17 | 50 | 420 | 300 | 100 | 2800 |

Fonte: Resolução Conama 375 (2006)

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL / METODOLOGIA

Nesta seção serão apresentados todos os procedimentos realizados para se obter o poder calorífico do lodo de esgoto. O lodo antes de ser analisado passou por um processo de desaguamento, primeiro passando por uma centrifugação e então por uma secagem térmica. Por segurança foi realizado uma esterilização da amostra do lodo coletado para eliminar possíveis doenças e contaminações durante o manuseamento da análise do poder calorífico.

#### 3.1 DESAGUAMENTO DO LODO

O lodo proveniente dos reatores biológicos contém grande volume de água. Antes da centrifugação, o lodo será adensado. Conforme Ferreira Filho (1999), o adensamento é um dos mais importantes processos de tratamento da parte sólida do lodo devido a recomendação de equipamentos de desidratação mecânica necessitarem de uma concentração de sólidos totais no lodo de 2% para seu funcionamento adequado.

Na Figura 9 mostra o tanque de lodo adensado por gravidade presente na ETE Bairro Araretama. Segundo a ABNT NBR 12209:2011, os adensadores por gravidade é preferencialmente destinado ao lodo primário, ou seja, o lodo com baixa concentração de sólidos totais. Também especifica a detenção hídrica que deve ser de no máximo 24 horas. Após este tempo o equipamento deve ser ligado, rotacionando as pás que funcionam como um raspador, auxiliando o lodo a entrar na tubulação de remoção presente no fundo do tanque.

Figura 9 - Tanque de lodo adensado por gravidade



Fonte: Autoria própria

Durante a transição do lodo até a Centrífuga Horizontal é feito a introdução de um polímero floculante, ajudando a agregar partículas em suspensão do lodo. Com o equipamento da Figura 10, a dosadora de polímero foi ajustada, com auxílio de um funcionário da SABESP, na mistura na taxa de 1 litro de polímero para cada 1000 litros de lodos. O polímero utilizado é o RAPFLOC C4030, catiônico e em emulsão. "Polímero catiônico é aquele que quando dissolvido em água se ioniza, adquire carga positiva e atua como um autêntico cátion." (MERIGO, 2014). Na Norma Técnica SABESP NTS 233:2006 especifica que polímero em emulsão deve ser um líquido transparente, translúcido ou branco opaco, fluido, moderadamente viscoso com odor mineral.

Figura 10 - Dosadora de polímero



Fonte: Autoria própria

No último processo de desaguamento do lodo feito na ETE Bairro Araretama é realizado pelo equipamento da Figura 11, uma centrífuga de eixo horizontal. Reali, Patrizzi e Cordeiro (1999) dizem que o modelo de centrífuga de eixo horizontal, que também pode ser chamada de centrífuga decantadora, é a mais amplamente utilizada na desidratação do lodo. Também explicam que o seu funcionamento consiste em um tambor cilíndrico que rotaciona em uma frequência de giro de 3000 a 6000 rpm, causando a separação acelerada dos sólidos do lodo, acumulando-se na parede interna. Internamente, uma rosca transportadora helicoidal (rosca sem fim) leva o sólido para uma das extremidades até a sua descarga enquanto do lado

oposto sairá a água. Observando a Figura 11, no lado esquerdo existe uma canaleta onde a água escorre e o lodo desidratado será descartado na esteira. No fim desta esteira existe uma caçamba onde será depositado o lodo desidratado e então transportado até um aterro sanitário.

Figura 11 - Centrífuga de eixo horizontal GEA Westfalia



Fonte: Autoria própria

### 3.2 ESTERILIZAÇÃO DO LODO

Para eliminar possíveis contaminações e doenças durante o manuseio das amostras de lodo para realizações das análises foi necessário fazer uma esterilização, ou seja, a destruição da vida microbiana (vírus, bactérias, esporos e etc). Previamente a amostra, ainda com alto teor de umidade, foi exposta ao sol e então colocado em uma estufa à 100 °C por 8 horas para remoção de umidade. A esterilização foi realizada no equipamento da Figura 12, uma autoclave presente na Estação de Tratamento de Água da SABESP em São José dos Campos. Este modelo de autoclave é o de parede simples, cilíndrico, posição vertical.

O procedimento inicial foi a introdução da amostra do lodo em um saco plástico de polietileno resistente às temperaturas esterilizantes e lacrada por uma fita adesiva que muda de cor ao sofrer ações dos agentes esterilizantes. A autoclave foi aberta, adicionado ao seu interior água destilada, o saco plástico com a amostra e um termômetro e então fechado hermeticamente utilizando parafusos com orelhas. A água foi aquecida utilizando uma resistência elétrica na parte inferior do equipamento até a sua vaporização. Durante um

período de 30 minutos a região interna da autoclave esteve a uma temperatura entre 119 °C a 123 °C e uma pressão de 121 kgf/cm<sup>2</sup>, monitorado pelo equipamento da Figura 13, um controlador da autoclave. A pressão podia ser verificada através de um manômetro na parte superior e a temperatura pelo controlador.

Figura 12 - Equipamento autoclave



Fonte: Autoria própria

Figura 13 - Controlador da autoclave



Fonte: Autoria própria

A esterilização ocorre durante esse processo. Como explica Assumpção (1973), a temperatura de crescimento das bactérias varia entre  $-5^{\circ}\text{C}$  e  $80^{\circ}\text{C}$  e a temperatura de destruição (ou desnaturação) de cada bactéria depende da instabilidade térmica de suas proteínas e ácidos nucleicos, que gira em torno de  $50^{\circ}\text{C}$  a  $90^{\circ}\text{C}$ .

Após 30 min a válvula superior é aberta e descarta o vapor enquanto a válvula na parte inferior elimina a água que restou. É necessário cuidado na abertura da autoclave devido as diferenças de pressão da região interna e a do ambiente. Quando aberto e resfriado foi possível constatar a veracidade da esterilização como mostra a Figura 14 com a marcação da temperatura do termômetro que esteve junto a amostra e na Figura 15 com a mudança da cor da fita.

Figura 14 - Termômetro



Fonte: Autoria própria

Figura 15 - Fita e sua mudança de cor

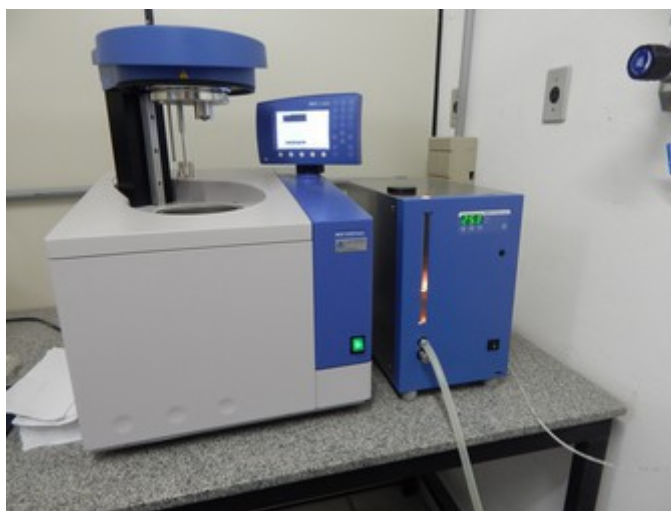


Fonte: Autoria própria

### 3.3 PODER CALORÍFICO DO LODO

A medição do poder calorífico do lodo foi realizado pelo equipamento da Figura 16, uma bomba calorimétrica IKA C2000 e reservatório IKA KV 600 presentes na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG-UNESP). No primeiro teste foram realizados três análises da amostra coletada. A amostra foi previamente seca e esterilizada, porém não passou por um processo de tritura e peneira. Quanto menores os grãos da amostra, mais homogênea e melhor a combustão do material ocorrerá na bomba calorimétrica.

Figura 16 - Bomba calorimétrica IKA C2000 e reservatório IKA KV 600



Fonte: Autoria própria

Foram usados três cadinhos aos quais foram colocados em uma balança analítica, zerados os seus pesos e então adicionados as amostras. Por exigência das normas padrões da bomba calorimétrica, o peso das amostras deve ficar entre 0,45 a 0,55 g.

Após medição, o cadinho foi colocado no suporte do frasco de decomposição. Um fio de algodão é amarrado ao eletrodo como mostrado na Figura 17 e a outra extremidade fica em contato com a amostra. Este processo é bem delicado devido à fragilidade do eletrodo sendo necessário uma pinça para realizar o nó. Na Figura 18 apresenta o kit completo do frasco de decomposição, dividido em 3 partes. Depois de montado, o frasco é encaixado na bomba calorimétrica e identificado por um sensor no IKA C2000. É necessário colocar o valor da massa da amostra para que o equipamento faça os cálculos e encontre o poder calorífico.

Figura 17 - Fio de algodão amarrado no eletrodo



Fonte: Autoria própria

A bomba calorimétrica é então fechada e o frasco de decomposição entra em uma câmara interna no qual é preenchida por água proveniente do reservatório IKA KV 600. Na região interna do frasco é adicionado oxigênio a uma pressão de 28 kgf/cm<sup>2</sup> e o eletrodo recebe uma corrente elétrica que deixará o metal incandescente, queimando o fio de algodão. Com a energia liberada da queima do algodão, inicia-se a combustão da amostra no cadinho. A energia da queima do algodão não é considerada no valor final.

Com a combustão da amostra, a energia liberada é unicamente transferida para a água, aumentando a sua temperatura. Assim, com a variação de temperatura da água e da massa da amostra, o equipamento avalia analiticamente o poder calorífico superior. No display do IKA C2000 gera um gráfico da variação de temperatura (em K) da água em função do tempo (em minutos). A duração do processo varia entre 7 à 8 minutos.

Figura 18 - Frasco de decomposição



Fonte: Autoria própria

Finalizado a análise, o display apresenta o total do poder calorífico superior e a bomba calorimétrica se abre. Retira-se o frasco de decomposição e antes de abri-lo é necessário retirar o gás interno, devido a injeção de oxigênio inicial. No cadinho foi possível notar a formação de cinzas devido a combustão do material. Para cada utilização do frasco é obrigatório fazer uma limpeza para eliminar qualquer substância que possa interferir nos próximos dados.

Uma segunda análise, a amostra passou por uma peneira de 60 mesh (abertura de 0,25 mm) respeitando a granulação exigida pela NBR 8112/1986. Nas duas primeiras análises a massa da amostra foram parecidas ao da primeira análise. Percebeu-se uma quantia considerável de cinzas no cadinho e como forma de experiência, diminui-se pela metade a massa da amostra na terceira análise e aumentou-se a pressão de oxigênio para 30 kgf/cm<sup>2</sup> para verificar se estava ocorrendo a combustão completa do material. Esse é um problema comum quando se faz esse tipo de análise em combustíveis sólidos, as vezes sendo necessário um combustível auxiliar para iniciar a queima do material.

Diferente da primeira análise, foi feita a pesagem do cadinho após a combustão para calcular a massa de cinza gerada. Saber a proporção da quantia de cinzas é importante para o seu gerenciamento, influenciando na análise de estudos econômicos. Na Figura 19 mostra a cinzas geradas após as duas primeiras análises de poder calorífico.

Figura 19 - Cinzas após a combustão do lodo



Fonte: Autoria própria

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dos materiais inorgânicos, vários deles são prejudiciais ao meio ambiente e a saúde humana como por exemplo os metais pesados. A SABESP realiza análises frequentes para respeitar os limites impostos pela norma NBR ISO/IEC 17025. Nos Anexos 1, 2 e 3 são os dados disponibilizados pela SABESP para realização dos estudos. Todas análises foram seguindo as normas brasileiras NBR 10.004:2004 (Classificação de Resíduos Sólidos), NBR 10.005:2004 (Ensaio de Lixiviação), NBR 10.006:2004 (Ensaio de Solubilização), NBR 10.007:2004 (Amostragem dos Resíduos Sólidos).

Para a obtenção dos dados, foi encontrado dificuldades devido a limitação do calorímetro utilizado. O IKA C2000 disponibiliza apenas em seu resultado o valor do poder calorífico superior, porém para motores de combustão interna se utiliza o PCI, já que a energia necessária para a vaporização da água não é vista como calor.

Outro problema encontrado foi a falta de possibilidade de realizar a análise elementar (CHONS) da amostra coletada. Para os cálculos foram feitos uma média dos dados encontrados na bibliografia. As variações da composição química do lodo é normal devido as diferenças geoeconômicas e fatores sazonais das regiões. Nas tabelas 8 e 9 mostram as diferenças de composição entre estações de tratamento de esgoto e período de meses.

Tabela 8 - Resultados da análise química da composição total da amostra seca na ETE de Barueri

| Elemento | Carbono | Hidrogênio | Nitrogênio | Enxofre |
|----------|---------|------------|------------|---------|
| %        | 31,20   | 3,71       | 4,57       | 0,04    |

Fonte: (VIANNA, OLIVEIRA, MORAIS, UNESP SOROCABA)

Tabela 9 - Análise química da composição nos meses de Fevereiro e Maio na ETE Jardim das Flores de Rio Claro e B.Geraldo de Campinas

|                 | Carbono (%)  | Hidrogênio (%) | Nitrogênio (%) | Enxofre (%) |
|-----------------|--------------|----------------|----------------|-------------|
| Lodo Fevereiro* | 27,31 ± 0,4  | 3,95 ± 0,04    | 4,26 ± 0,01    | 1,93 ± 0,03 |
| Lodo Maio*      | 32,43 ± 0,1  | 4,77 ± 0,03    | 5,75 ± 0,02    | 2,23 ± 0,05 |
| Lodo B.Geraldo  | 28,86 ± 0,05 | 4,45 ± 0,05    | 3,67 ± 0,02    | 2,21 ± 0,01 |

Fonte: (LEE,E. UNESP/IGCE, 2011)

Com as fórmulas de ROSE AND COOPER (1977) é possível descobrir os valores de poder calorífico inferior das amostras (apud LEE,E,2011, p. 3). As equações são:

$$\bullet \text{ PCS} = \%C \times \text{PCS}_{\text{carbono}} + \%H \times \text{PCS}_{\text{hidrogênio}} \quad (4)$$

$$\bullet \text{ PCI} = \%C \times \text{PCS}_{\text{carbono}} + \%H \times \text{PCI}_{\text{hidrogênio}} \quad (5)$$

Fazendo associações com as duas equações e isolando o PCI, teremos:

$$\bullet \text{ PCI} = \text{PCS} - \%H (\text{PCS}_{\text{hidrogênio}} - \text{PCI}_{\text{hidrogênio}}) \quad (6)$$

Utilizando os valores de PCS e PCI do hidrogênio com valores respectivos de 141859 kJ/kg e 119531 kJ/kg. A porcentagem de hidrogênio presente na amostra foi considerado o valor de 4%. Nas tabelas 10 e 11 estão representados os valores do PCS e massa obtidos nas análises e os PCI calculados:

Tabela 10 - Dados obtidos na primeira análise de poder calorífico do lodo

| Amostra | Massa (g) | PCS (MJ/kg) | PCI (kJ/kg) |
|---------|-----------|-------------|-------------|
| 1       | 0,501     | 9,084       | 8,190       |
| 2       | 0,501     | 9,892       | 8,999       |
| 3       | 0,51      | 10,439      | 9,546       |

Fonte: Autoria própria

Tabela 11 - Dados obtidos na segunda análise de poder calorífico do lodo com granulação 60 mesh

| Amostra | Massa (g) | Cinzas (g) | PCS (MJ/kg) | PCI (MJ/kg) |
|---------|-----------|------------|-------------|-------------|
| 1       | 0,502     | 0,223      | 9,525       | 8,632       |
| 2       | 0,501     | 0,132      | 9,790       | 8,899       |
| 3       | 0,251     | 0,078      | 9,724       | 8,831       |

Fonte: Autoria própria

Fazendo uma comparação entre as duas análises é perceptível a variação de energia entre as amostras da primeira análise enquanto na segunda análise se mantém mais estável. Possivelmente essa menor diferença de resultados se deve a melhor granulação obtida na segunda análise, realizando assim uma combustão completa. Explicado anterior, a massa da terceira amostra foi diminuída pela metade e a pressão de oxigênio aumentada para verificar se a amostra estava sendo consumida por completo. Percebe-se que os resultados da energia liberada das duas primeiras amostras com a terceira amostras ficaram com valores próximos então conclui-se que as amostras estavam sendo consumidas por completo.

Na primeira análise, o PCI médio é de 8,9 MJ/kg e na segunda análise é de 8,7 MJ/kg. Na tabela 12 mostra uma lista de diversos materiais com seus PCS e PCI. Fazendo uma comparação, o valor do PCI médio das duas análises obtidos do lodo de Araretama-SP ficou muito próximo ao do bagaço de cana. Em pesquisas bibliográficas, o poder calorífico do lodo variam com o período do ano e localização. Um exemplo é visto na Tabela 13 na ETE de Jardim das Flores na cidade de Rio Claro, a amostra de maio obteve poder calorífico inferior de 16,74 MJ/kg .

Tabela 12 - Diversos combustíveis e seus poderes caloríficos

| Combustível                | Massa Específica<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | PCS (MJ/kg)   | PCI (MJ/kg) |
|----------------------------|------------------------------------------|---------------|-------------|
| Hidrogênio                 | 0,09                                     | 141,8         | 119,5       |
| Metano                     | 0,72                                     | 55,6          | 50,0        |
| Etano                      | 1,35                                     | 51,9          | 47,5        |
| Gás natural de Campos      | 0,79                                     | 67,8          | 61,2        |
| Gás natural de Santos      | 0,83                                     | 66,8          | 60,4        |
| Gás natural da Bolívia     | 0,78                                     | 69,0          | 62,3        |
| GLP (médio)                | 2,35                                     | 49,9          | 46,0        |
| Querosene                  | 790-802                                  | 46,4          | 43,4        |
| Óleo diesel                | 831-852                                  | 45,0          | 42,9        |
| Óleo combustível médio     | 1013                                     | 42,2          | 40,1        |
| Carvão vegetal             | 250                                      | 28,5          | nd          |
| Carvão betuminoso nacional | nd                                       | 11,620-28,050 | nd          |
| Lenha                      | 300-390                                  | 13,8          | 10,2        |
| Bagaço de cana (50% úmido) | nd                                       | 9,4           | 8,9         |
| Lixívia                    | nd                                       | 12,7          | 11,9        |

Fonte: (CÖRNER, 2003, VLASSOV, 2001, MME, 2005)

Tabela 13 - Valores calculados dos poder calorífico do lodo nas ETE Jardim do Barão de Rio Claro e ETE Barão Geraldo de Campinas

| Lodo                        | Poder Calorífico Inferior<br>(MJ/kg) | Poder Calorífico Superior<br>(MJ/kg) |
|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| ETE J. das Flores Fevereiro | 14,02                                | 14,89                                |
| ETE J. das Flores Maio      | 16,74                                | 17,80                                |
| ETE Barão Geraldo           | 15,15                                | 16,13                                |

Fonte: (LEE,E. UNESP/IGCE, 2011)

Em dados obtidos pela SABESP, a estação da ETE Araretama-SP em conjunto com ETE Campos de Jordão produzem ao ano 1050 toneladas de lodo. Baseando-se pelos estudos de Fernandes e Ludovice (2007), seriam necessários quase nove vezes essa quantia para se obter a quantia de 1 ton/h de lodo no ano.

## 5 CONCLUSÃO

Como esperado, o lodo de esgoto é um bom material para queima e obtenção de energia. Com um valor aproximado de 8,7 MJ/kg, o poder calorífico inferior do lodo é similar ao do bagaço de cana (8,9 MJ/kg). Porém, os valores do poder calorífico do lodo variam dependendo da região e época que são coletados, devido a variação de material orgânico. Para um melhor estudo deve-se coletar maior número de amostras em diferentes períodos e estações de tratamento de esgoto para a realização das análises.

A implantação do lodo na agricultura é uma das formas conveniente de aplicação. Mas deve se tomar cuidado em sua utilização devido ao fato que o lodo possui diversos metais pesados e patogênicos podendo contaminar o solo, assim afetando a fauna e flora da região e por consequência a saúde da população. A incineração e em seguida o aterro sanitário sustentável, apesar da geração de poluentes no ar, é a forma mais segura de disposição do lodo. As cinzas geradas na queima do lodo podem ser utilizada na construção civil.

Porém o lodo proveniente da ETE-Araretama não é o suficiente para a instalação de um incinerador. Com pouco mais de 1000 ton/ano, não chega perto do que seria necessário, por volta dos 9000 ton/ano, considerando uma taxa de 1 ton/h ao ano. Uma sugestão para trabalhos futuros seria expandir o presente trabalho no sentido de fazer um levantamento da produção de lodo/ano em outras estações de tratamento de esgoto da região do Vale do Paraíba.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMA TÉCNICA. **ABNT NBR 8112**: Carvão vegetal - análise imediata - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMA TÉCNICA. **ABNT NBR 12209**: elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 2011.

ASSUMPÇÃO, Celina. Princípios básicos de esterilização a vapor. **Revista Brasileira de Enfermagem**, Brasília, 1973.

BRESTER, A.R.; COULOMB, I.; DEAK, B.; MATTER, B.; SAABYE, A.; SPINOSA, L.; UTVIK, Å.Ø.; UHRE, LISE.; MEOZZI, P. **Sludge treatment and disposal**: management approaches and experiences. ISWA's Working. Europe, 1997.

CANAAN, J.M.M.; PESTANA, K.C.; SILVA, M.I. **Avaliação do processo de esterilização por autoclavagem utilizando indicadores biológico e químico**. 2010. 32f. Trabalho de Conclusão de curso (Extensão em Higiene Ocupacional) - Programa geral de saúde e segurança do trabalhador, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2010.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tipos de tratamentos**. São Paulo, 2010. Disponível em <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=61> Acesso em: 09 ago. 2016.

FERREIRA FILHO, Sidney Seckler. **Pré-Condicionamento de lodo de estações de tratamento de água visando o seu adensamento por gravidade**. São Paulo: USP/ABES, 1999.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARA. **Bomba calorífica comercial**. Disponível em [http://pt.slideshare.net/nunes\\_ufc/termodinamica-8900520](http://pt.slideshare.net/nunes_ufc/termodinamica-8900520) .Acesso em: 09 ago. 2016.

US Environment Protection Agency. **Learn about ocean dumping**. Disponível em: <https://www.epa.gov/ocean-dumping/learn-about-ocean-dumping>. Acesso em: 01 dez. 2016.

LEE, Erich. **Caracterização do lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto (ETE) e estudo sobre seu potencial energético**. São Paulo: UNESP/IGCE, 2011

MERIGO, Luiz Carlos. **Tratamento físico-químico com polímeros jar-test**. 2014. Disponível em: [http://www.qgsquimica.com.br/det\\_comunicacao.php?id=57&det\\_comunic=3](http://www.qgsquimica.com.br/det_comunicacao.php?id=57&det_comunic=3). Acesso em: 23 nov. 2016.

NORMA TÉCNICA SABESP. **NTS 027: Estações de tratamento de esgotos: Elaboração de Projetos**. São Paulo, 2014.

SABESP. **NTS 233**: Polímeros orgânicos base poliacrilamida para tratamento em ETAs e ETEs: Método de ensaio. São Paulo, 2006.

REALI, M.A.P.; PATRIZZI, L.J.; CORDEIRO, J. S. Desidratação de Lodo por Centrifugação. In: \_\_. **PROSAB: Noções gerais de tratamento e disposição final de lodo de estações de tratamento de água.**

Tabela Conversão MESH. Rio de Janeiro, 1999. Disponível em:  
<[http://www.transportedegraneis.ufba.br/arquivos/Tabela\\_Mesh.PDF](http://www.transportedegraneis.ufba.br/arquivos/Tabela_Mesh.PDF)> Acesso em: 01 dez. 2016.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Apêndice D Tipos de Incineradores.** Disponível em:  
<[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde.../mestDipapendiceD\\_.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde.../mestDipapendiceD_.pdf)>. Acesso em: 09 ago. 2016

VIANNA, Rogério. OLIVEIRA, Fernanda. MORAIS, Leandro. **Recuperação de energia a partir da queima de lodo de esgoto.** Sorocaba: UNESP, 2012.

VLASOV, D. **Fundamentos de combustão.** Paraná: UTFPR, 2008. Disponível em:  
<<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/motores/downloads/FUNDAMENTOS%20DA%20COMBUST%C3%83O.pdf>> Acesso: 01 dez. 2016.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Minas Gerais: ABES, 1995. v.1.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização.** Minas Gerais: ABES, 1996. v.3.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: lodos ativados.** Minas Gerais: ABES, 1997. v.4.

VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F.; LARA, A.I.; PEGORINI, E.S.; LUDUVICE, M. **Sludge treatment and disposal.** Londres: IWA Publishing, 2007. v.6

## ANEXO 1- Amostra Bruta do lodo do esgoto ETE Araretama

| Parâmetro            | Unidade      | LQ    | LD    | LM(1) | Resultados |
|----------------------|--------------|-------|-------|-------|------------|
| Amostra Bruta        |              |       |       |       |            |
| Antimônio            | mg Sn/kg     | 2,2   | 0,7   | ---   | nd         |
| Arsênio              | mg As/kg     | 3,7   | 1,2   | ---   | nd         |
| Bário                | mg Ba/kg     | 2,1   | 0,7   | ---   | 235        |
| Berílio              | mg Be/kg     | 0,4   | 0,1   | ---   | 0,5        |
| Cádmio               | mg Cd/kg     | 0,4   | 0,1   | ---   | nd         |
| Chumbo               | mg Pb/kg     | 2,5   | 0,8   | ---   | 17         |
| Cianeto              | mg CN/kg     | 1,5   | 0,5   | 250   | 07         |
| Cobalto              | mg Co/kg     | 0,27  | 0,08  | ---   | 3,42       |
| Cobre                | mg Cu/kg     | 1,1   | 0,4   | ---   | 108        |
| Cromo                | mg Cr/kg     | 1,7   | 0,5   | ---   | 20         |
| Cromo VI             | mg Cr/kg     | 0,8   | 0,4   | ---   | nd         |
| Fenóis (baixa conc.) | mg C6H5OH/kg | 0,2   | 0,1   | ---   | 0,3        |
| Fluoretos            | mg F/kg      | 120   | 40    | ---   | 78         |
| Líquidos Livres      | P/A          | --    | ---   | ---   | ausente    |
| Mercúrio             | mg Hg/kg     | 0,038 | 0,012 | ---   | nd         |
| Molibdênio           | mg Mo/kg     | 0,5   | 0,2   | ---   | 1,5        |
| Níquel               | mg Ni/kg     | 1,0   | 0,3   | ---   | 19         |
| Óleos e Graxas       | %            | 0,5   | 0,2   | ---   | nd         |
| ph - resíduo         | --           | ---   | ---   | obs   | 7,17       |
| Prata                | mg Ag/kg     | 3,0   | 0,9   | ---   | nd         |
| Selênio              | mg Se/kg     | 0,23  | 0,07  | ---   | nd         |
| Tálio                | mg Tl/kg     | 12,8  | 4,0   | ---   | nd         |
| Umidade a 80 C       | %            | 0,5   | 0,2   | ---   | 80         |
| Vádio                | mg V/kg      | 0,5   | 0,1   | ---   | 17         |
| Zinco                | mg Zn/kg     | 1,0   | 0,3   | ---   | 508        |

Fonte: (SABESP, 2013)

## ANEXO 2 - Amostra Lixiviado do lodo do esgoto ETE Araretama (Continua)

| Parâmetro                                | Unidade | LQ       | LD       | LM(1) | Resultados |
|------------------------------------------|---------|----------|----------|-------|------------|
| Lixiviado                                |         |          |          |       |            |
| 1,1-Dicloroeteno-lixiv. Voláteis         | mg/L    | 0,0006   | 0,0002   | 3,0   | nd         |
| 1,2-Dicloroeteno-lixiv. Voláteis         | mg/L    | 0,003    | 0,001    | 1,0   | nd         |
| 1,4-Diclorobenzeno-Lixiv. Voláteis       | mg/L    | 0,006    | 0,002    | 7,5   | nd         |
| Benzeno-Lixiv. Voláteis                  | mg/L    | 0,0004   | 0,0001   | 0,5   | nd         |
| Cloreto de Vinila-Lixiv. Voláteis        | mg/L    | 0,002    | 0,001    | 0,5   | nd         |
| Clorobenzeno-Lixiv. Voláteis             | mg/L    | 0,0004   | 0,0001   | 100   | nd         |
| Clorofórmio-Lixiv. Voláteis              | mg/L    | 0,0013   | 0,0004   | 6,0   | nd         |
| Etilbenzeno-Lixiv. Voláteis              | mg/L    | 0,0014   | 0,0004   | ---   | nd         |
| Hexaclorobutadieno-Lixiv. Voláteis       | mg/L    | 0,0012   | 0,0004   | 0,5   | nd         |
| Hexacloroetano-Lixiv. Voláteis           | mg/L    | 0,007    | 0,002    | 3,0   | nd         |
| Metil Etil Cetona-Lixiv. Voláteis        | mg/L    | 0,012    | 0,004    | 200,0 | nd         |
| Tetracloroeto de Carbono-Lixiv. Voláteis | mg/L    | 0,0012   | 0,0004   | 0,2   | nd         |
| Tetracloroetileno-Lixiv. Voláteis        | mg/L    | 0,0007   | 0,0002   | 4,0   | nd         |
| Tolueno-Lixiv. Voláteis                  | mg/L    | 0,0013   | 0,0004   | ---   | nd         |
| Tricloroetileno-Lixiv. Voláteis          | mg/L    | 0,0008   | 0,0003   | 7,0   | nd         |
| Xilenos-Lixiv. Voláteis                  | mg/L    | 0,0008   | 0,0002   | ---   | nd         |
| Arsênio                                  | mg As/L | 0,005    | 0,002    | 1,0   | nd         |
| Bário                                    | mg Ba/L | 0,006    | 0,002    | 70    | 0,687      |
| Cádmio                                   | mg Cd/L | 0,0020   | 0,0006   | 0,5   | nd         |
| Chumbo                                   | mg Pb/L | 0,003    | 0,001    | 1,0   | nd         |
| Cromo                                    | mg Cr/L | 0,006    | 0,002    | 5,0   | 0,016      |
| Fluoretos                                | mg F/L  | 0,3      | 0,1      | 150   | 0,2        |
| Mercúrio                                 | mg Hg/L | 0,0008   | 0,0002   | 0,1   | nd         |
| pH do estrato lixiviado obtido           | ---     | ---      | ---      | ---   | 5,16       |
| Prata                                    | mg Ag/L | 0,004    | 0,001    | 5,0   | nd         |
| Selênio                                  | mg Se/L | 0,005    | 0,002    | 1,0   | nd         |
| Teor de Sólidos secos, %                 | %       | 0,3      | 0,1      | ---   | 84         |
| Tempo Total de Lixiviação                | h       | ---      | ---      | ---   | 18         |
| Volume dos Líquidos Obtidos              | mL      | ---      | ---      | ---   | 1000       |
| 2,4-D                                    | mg/L    | 0,000008 | 0,000002 | 3     | nd         |

## ANEXO 2 - Amostra Lixiviado do lodo do esgoto ETE Araretama (Conclusão)

| Parâmetro            | Unidade | LQ        | LD        | LM(1) | Resultados |
|----------------------|---------|-----------|-----------|-------|------------|
| 2,4,5-T              | mg/L    | 0,000014  | 0,000004  | 0,2   | nd         |
| 2,4,5-Triclorofenol  | mg/L    | 0,0005    | 0,0002    | 400,0 | nd         |
| +2,4,6-Triclorofenol | mg/L    | 0,0004    | 0,0001    | 20    | nd         |
| 2,4-Dinitrotolueno   | mg/L    | 0,0008    | 0,0003    | 0,13  | nd         |
| 4,4-DDE              | mg/L    | 0,000001  | 0,0000003 | 0,2   | nd         |
| 4,4-DDD              | mg/L    | 0,000001  | 0,0000003 | 0,2   | nd         |
| 4,4-DDT              | mg/L    | 0,000001  | 0,0000003 | 0,2   | nd         |
| Aldrin               | mg/L    | 0,000001  | 0,0000003 | 0,003 | nd         |
| alfa-Clordano        | mg/L    | 0,000006  | 0,000002  | 0,02  | nd         |
| Benzo (a) Pireno     | mg/L    | 0,0157    | 0,0049    | 0,07  | nd         |
| Cresóis              | mg/L    | 0,0018    | 0,0006    | 200,0 | nd         |
| Dieldrin             | mg/L    | 0,0000017 | 0,0000005 | 0,003 | nd         |
| Endrin               | mg/L    | 0,000004  | 0,000001  | 0,06  | nd         |
| gama - BHC (lindano) | mg/L    | 0,0000006 | 0,0000002 | 0,2   | nd         |
| Heptacloro           | mg/L    | 0,0000020 | 0,0000006 | 0,003 | nd         |
| Heptacloro epóxido   | mg/L    | 0,00013   | 0,00004   | 0,003 | nd         |
| Hexaclorobenzeno     | mg/L    | 0,0000030 | 0,0000009 | 0,1   | nd         |
| m-Cresol             | mg/L    | 0,0018    | 0,0006    | 200,0 | nd         |
| Metoxicloro          | mg/L    | 0,000007  | 0,000002  | 2,0   | nd         |
| o-Cresol             | mg/L    | 0,0018    | 0,0006    | 200,0 | nd         |
| p-Cresol             | mg/L    | 0,00013   | 0,0006    | 200,0 | nd         |
| Pentaclofenol        | mg/L    | 0,000008  | 0,00004   | 0,9   | nd         |
| Silvex (2,4,5-TP)    | mg/L    | 0,000008  | 0,000002  | 1,0   | nd         |
| Toxafeno             | mg/L    | 0,00020   | 0,00006   | 0,5   | nd         |

Fonte: (SABESP, 2013)

## ANEXO 3 - Amostra Solubilizado do lodo do esgoto ETE Araretama (Continua)

| Parâmetro                  | Unidade     | LQ        | LD        | LM(1)   | Resultado |
|----------------------------|-------------|-----------|-----------|---------|-----------|
| Solubilizado               |             |           |           |         |           |
| Alumínio                   | mg Al/L     | 0,059     | 0,019     | 0,2     | nd        |
| Arsênio                    | mg As/L     | 0,005     | 0,002     | 0,01    | nd        |
| Bário                      | mg Ba/L     | 0,006     | 0,002     | 0,7     | 0,372     |
| Cádmio                     | mg Cd/L     | 0,0020    | 0,0006    | 0,005   | nd        |
| Chumbo                     | mg Pb/L     | 0,003     | 0,00      | 0,01    | nd        |
| Cianeto                    | mg CN/L     | 0,015     | 0,005     | 0,07    | nd        |
| Cloretos                   | mg Cl/L     | 0,08      | 0,03      | 250     | 15        |
| Cobre                      | mg Cu/L     | 0,0029    | 0,0009    | 2,0     | 0,0031    |
| Cromo                      | mg Cr/L     | 0,006     | 0,002     | 0,05    | 0,008     |
| Fenóis (baixa conc.)       | mg C6H5OH/L | 0,005     | 0,002     | 0,01    | 0,016     |
| Ferro Total                | mg Fe/L     | 0,062     | 0,019     | 0,3     | 0,297     |
| Fluoretos                  | mg F/L      | 0,014     | 0,004     | 1,5     | 0,052     |
| Manganês                   | mg Mn/L     | 0,0021    | 0,0007    | 0,1     | 0,0902    |
| Mercúrio                   | mg Hg/L     | 0,0008    | 0,0002    | 0,001   | nd        |
| Nitratos                   | mg N/L      | 0,3       | 0,1       | 10      | 2,6       |
| pH do Extrato Solubilizado | ---         | ---       | ---       | ---     | 6,83      |
| Prata                      | mg Ag/L     | 0,004     | 0,001     | 0,05    | nd        |
| Selênio                    | mg Se/L     | 0,005     | 0,002     | 0,01    | nd        |
| Sódio                      | mg Na/L     | 0,15      | 0,05      | 200,0   | 9,85      |
| Sulfatos                   | mg SO4/L    | 3         | 1         | 250     | 29        |
| Surfactantes Aniônicos     | mg LAS/L    | 0,011     | 0,003     | 0,5     | 0,093     |
| Zinco                      | mg Zn/L     | 0,012     | 0,004     | 5,0     | 0,138     |
| 2,4-D                      | mg/L        | 0,000008  | 0,000002  | 0,03    | nd        |
| 2,4,5-T                    | mg/L        | 0,000014  | 0,000004  | 0,002   | nd        |
| 4,4-DDE                    | mg/L        | 0,0000010 | 0,0000003 | 0,002   | nd        |
| 4,4-DDD                    | mg/L        | 0,0000010 | 0,0000003 | 0,002   | nd        |
| 4,4-DDT                    | mg/L        | 0,0000010 | 0,0000003 | 0,002   | nd        |
| Aldrin                     | mg/L        | 0,0000010 | 0,0000003 | 0,00003 | nd        |
| alfa-Clordano              | mg/L        | 0,000006  | 0,000002  | 0,0002  | nd        |
| Dieldrin                   | mg/L        | 0,0000017 | 0,0000005 | 0,00003 | nd        |
| Endrin                     | mg/L        | 0,000004  | 0,000001  | 0,0006  | nd        |
| gama-BHC (lindano)         | mg/L        | 0,0000006 | 0,0000002 | 0,002   | nd        |

## ANEXO 3 - Amostra Solubilizado do lodo do esgoto ETE Araretama (Conclusão)

| Parâmetro          | Unidade | LQ        | LD        | LM(1)   | Resultado |
|--------------------|---------|-----------|-----------|---------|-----------|
| Heptacloro         | mg/L    | 0,0000020 | 0,0000006 | 0,00003 | nd        |
| Heptacloro epóxido | mg/L    | 0,00013   | 0,00004   | 0,00003 | nd        |
| Hexaclorobenzeno   | mg/L    | 0,0000030 | 0,0000009 | 0,001   | nd        |
| Metoxicloro        | mg/L    | 0,000007  | 0,000002  | 0,02    | nd        |
| Silvex (2,4,5-TP)  | mg/L    | 0,000008  | 0,000002  | 0,03    | nd        |
| Toxafeno           | mg/L    | 0,00020   | 0,00006   | 0,005   | nd        |

1 - LD: Limite de detecção do método

2 - LQ: Limite Quantificação do Método

3 - LM(1) - Amostra Bruta - Limites máximos da ABNT NBR 10004:2004

Lixiviado - Limites máximos segundo anexo F da ABNT NBR 10004:2004

Solubilizado - Limites máximos segundo anexo G da ABNT NBR 10004:2004