

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Curso de Especialização: Produção e Gestão do**  
**Ambiente Construído**

**Lídia de Assis Gomes**

**APROVEITAMENTO DO LODO GERADO EM**  
**ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO E A**  
**RELAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE**

**Belo Horizonte**  
**2019**

**LÍDIA DE ASSIS GOMES**

**APROVEITAMENTO DO LODO GERADO EM  
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO E A  
RELAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

**Orientador (a): Marys Lene Braga Almeida**

**Belo Horizonte  
2019**

G633a Gomes, Lídia de Assis.  
Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto e a relação com o meio ambiente [recurso eletrônico] / Lídia de Assis Gomes. – 2019.  
1 recurso online (37 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Marys Lene Braga Almeida.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”  
Bibliografia: f. 32-37.  
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Lodo de esgoto. 3. Sustentabilidade. 3. Impacto ambiental. 4. Desenvolvimento sustentável. I. Almeida, Marys Lene Braga. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69

**CEPGAC**Universidade Federal de Minas Gerais  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia de Materiais e Construção  
Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído**ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA**

ALUNO: LÍDIA DE ASSIS GOMES

MATRÍCULA: 2017757017

**RESULTADO**

Aos 14 dias do mês de agosto de 2019 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

"APROVEITAMENTO DO LODO GERADO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO E A RELAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

 APROVADO APROVADO COM CORRECÇÕES REPROVADO

NOTA: 7,5

CONCEITO: C

**BANCA EXAMINADORA:**

Nome

Prof. Dr. Marys Lene Braga Almeida

Assinatura

Nome

Prof. Dr. Sidnei Eliane Campos Ribeiro

Assinatura

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUIDO"

Belo Horizonte, 14 de agosto de 2019

Coordenador do Curso

Prof. Antonio Neves  
de Carvalho Júnior  
Coordenador do Curso

## **AGRADECIMENTOS**

Minha mais sincera gratidão primeiramente a Deus por me permitir mais uma vez concluir um projeto e pelo encontro de amigos que fizeram grande diferença na trajetória dessa jornada. E a todos os colegas que compartilharam experiências no período dessa especialização.

Ao Fábio, pelo incentivo, compreensão, parceria e apoio nos momentos de desânimo sempre com palavras de encorajamento.

À minha orientadora Marys Lene Braga Almeida, pela dedicação e seriedade no ensino da pesquisa.

Minha gratidão para o Sr. Alamar Kasan, diretor da Termax fertilizantes, pela disponibilidade.

## RESUMO

Pesquisadores investigam soluções de descarte para o lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto – ETE. A gestão mais adequada do lodo de esgoto gerado constitui-se em um desafio para os projetistas e operadores dos sistemas, pois a disposição final desse resíduo tornou-se um dos problemas ambientais mais relevantes dos tempos atuais, não apenas pelos grandes volumes gerados, mas também por ser um resíduo de composição muito variável. Nesse contexto, a presente pesquisa objetiva investigar destinação do lodo gerado em ETEs, assim como, verificar quais são as dificuldades encontradas para o aproveitamento e/ou descarte adequado. Para tanto recorreu-se às pesquisas bibliográficas baseadas em livros, dissertações, revistas, resoluções e artigos técnicos relacionadas ao tema proposto. Portanto, a pesquisa buscou, identificar as alternativas de disposição final que sejam técnica e ambientalmente viáveis. Uma possibilidade de utilização do lodo é como fertilizante na agricultura e em atividades florestais e também como condicionador para regeneração de solos degradados. Outras aplicabilidades do lodo são na indústria, na produção de agregado leve para construção civil, produção de cimento e fabricação de tijolos e cerâmicas. Além disso, vale ressaltar que é primordial o conhecimento técnico e logístico, pois o transporte do lodo representa uma grande demanda no processo de reaproveitamento.

**Palavras-chave:** Lodo de Esgoto, Sustentabilidade, Impacto ambiental, Desenvolvimento sustentável.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>07</b>
<b>2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>08</b>
2.1 Objetivos.....	08
2.2 Justificativa do tema.....	08
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>10</b>
<b>4. ESGOTO SANITÁRIO.....</b>	<b>11</b>
4.1 Características químicas e biológica do esgoto sanitário.....	11
4.2 Principais sistemas da rede de esgoto.....	12
4.2.1 Sistema Coletor.....	12
4.2.2 Emissários.....	13
4.2.3 Órgãos acessórios da rede.....	13
4.3 Situação Brasileira do esgotamento sanitário.....	13
4.4 Abastecimento de água e coleta de esgoto nas regiões Brasileiras	14
4.4.1 Coleta de esgoto sanitário.....	15
4.5 Definição do lodo de esgoto.....	16
<b>5. DESTINAÇÃO DO LODO.....</b>	<b>17</b>
5.1 Etapas do tratamento do lodo.....	18
5.2 Requisitos para o uso do lodo.....	20
5.2.1 Classificação dos resíduos sólidos.....	22
5.3 Caracterização do lodo.....	22
5.3.1 Agentes patógenos.....	23
5.3.2 Metais pesados.....	24
5.3.3 Nutrientes.....	24
5.3.4 Principais métodos de descarte.....	24
5.3.5 Reuso.....	25
5.4 Fabricação de tijolos cerâmicos.....	25
5.4.1 Produção de Agregado leve na construção civil.....	27

5.4.2 Produção cimento.....	27
5.5 Fertilizante orgânico e compostagem.....	28
5.5.1 Recuperação de solos degradados.....	28
<b>6. RELATO DA PESQUISA.....</b>	<b>30</b>
6.1 Visita técnica à Termax Fertilizantes.....	30
6.2 Visita técnica à empresa em estudo.....	30
6.2.1 Aproveitamento do efluente tratado.....	31
6.2.2 Aproveitamento do lodo.....	31
6.3 Resultados e discussão.....	31
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>33</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 80 esforços têm sido empenhados para que haja um desenvolvimento sustentável respeitando os limites da natureza, preservando os recursos naturais. Nos países desenvolvidos o tratamento de águas residuárias faz-se necessário, devido a preservação dos mananciais e da saúde pública, evitando assim descarte inadequado de resíduos.

Um desafio dos pesquisadores é conciliar as práticas do descarte do lodo de esgoto de forma eficiente e segura considerando os aspectos do Brasil, em termos naturais e limitações econômicas. Acredita-se que haja, por parte das Estações de Tratamento de Esgoto, uma grande dificuldade em aproveitar e/ou descartar de forma adequada o lodo produzido. Em geral, a disposição final do lodo é um grande problema, pois, após a incineração permanece ainda substâncias nocivas para o meio ambiente, devido ao acúmulo de compostos perigosos como os metais pesados.

A Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Esta última dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e atribui outras providências.

## **2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA**

O estudo em questão explanará o gerenciamento dos resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Esgoto, bem como alternativas de aproveitamento e/ou descarte adequado, conforme legislação e suas utilizações, a fim de minimizar seus impactos no meio ambiente.

### **2.1 Objetivos**

O trabalho objetiva verificar as dificuldades encontradas para o aproveitamento e/ou descarte do lodo de Estações de Tratamento de Esgoto. Para atingir o objetivo geral descrito, os objetivos específicos estabelecidos são:

- levantar os fatores que dificultam o aproveitamento e/ou descarte do lodo das Estações de Tratamento de Esgoto;
- verificar soluções tecnicamente e ambientalmente viáveis;
- propor alternativas de aplicações para o aproveitamento do lodo das estações de tratamento de esgoto.

### **2.2 Justificativa do tema**

Nas últimas décadas têm-se discutido muito sobre sustentabilidade, impactos ambientais e como a natureza sofre com nossas ações. O descarte do lodo doméstico não é indiferente a esse panorama.

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente–Conama, (Resolução Nº 375 de 29 de agosto de 2006), considera-se que os lodos de esgoto, correspondem a uma fonte em potencial de riscos à saúde pública e ao meio ambiente e potencializam a proliferação de vetores de moléstias e organismos nocivos. Além de que, podem conter, metais pesados, compostos orgânicos persistentes e patógenos em concentrações nocivas à saúde e ao meio ambiente.

O descarte em aterros sanitários e sua incineração não são os mais adequados, pois mesmo após a queima é gerado cinzas com metais pesados e compostos orgânicos. Contudo, tem sido uma prática realizada principalmente por países desenvolvidos e com extensão territorial baixa, devido essa queima reduzir em até 85% do volume de massa (FONTES, 2016).

Pesquisas desenvolvidas mostram-se otimistas em relação a viabilidade de utilizar o lodo gerado, que é crescente, devido a ampliação do sistema de coleta e conseqüentemente do volume de esgoto. Esses estudos buscam soluções viáveis, com a proposta de minimizar o impacto ambiental no descarte do lodo proveniente do esgoto doméstico.

Outras destinações para o lodo de esgoto têm sido praticadas, afim de minimizar os impactos ambientais com seu descarte inadequado. Dentre essas atividades pode-se citar: fabricação de tijolos e cerâmicas, produção de agregado leve para construção civil, produção de cimento, fertilizante orgânico e compostagem e recuperação de solos degradados. Contudo há muita dificuldade em difundir o lodo em produtos no mercado, pela falta de uma legislação específica para seu uso ou até mesmo por falta de políticas sociais que adotem medidas que conscientize a sociedade e a indústria.

### **3. METODOLOGIA**

Para obter os resultados e respostas acerca da problematização foi realizada uma pesquisa bibliográfica de caráter essencialmente qualitativo baseado em livros, dissertações, tese, revistas, resoluções e artigos técnicos.

Trata-se de um levantamento bibliográfico por meio de uma revisão de literatura especializada, com o propósito de melhor entendimento e compreensão do tema.

Para sua realização, buscaram-se dados no estado da arte, a fim de apresentar dados atuais da utilização e destinação do lodo de esgoto, assim como, o avanço das pesquisas em estudo e seus métodos de aplicabilidade.

As referências utilizadas, portanto, apresentam várias soluções de disposição final adequada, minimizando os riscos à saúde pública e ao meio ambiente. A sua aplicação deve ser analisada de forma criteriosa, levando em conta as peculiaridades do empreendimento.

No Capítulo 1 é introduzido o objeto de estudo. No Capítulo 2 apresenta-se os objetivos e justificativa do tema proposto. No Capítulo 3 é descrito a metodologia utilizada no estudo para obtenção dos dados.

No Capítulo 4 será abordado o que é esgoto sanitário, características químicas e biológicas, os principais sistemas da rede de esgoto, a situação brasileira, contextualização do saneamento básico e coletas de esgoto e fornecimento de água nas regiões do Brasil. No Capítulo 5 é apresentado a destinação do lodo de esgoto e seus atributos, requisitos para utilização, caracterização e suas utilizações e aplicabilidades. No Capítulo 6 é descrito o relato da pesquisa, a forma de obtenção de dados como (método de coleta, análise, visitas técnicas). No Capítulo 7 são apresentadas as considerações finais do trabalho.

## 4. ESGOTO SANITÁRIO

Segundo Nuvolari (2003), o esgoto pode ser definido como:

- Esgotos domésticos são os líquidos provenientes do consumo da água para o uso da higiene e necessidades fisiológicas.
- Esgotos Industriais são os líquidos provenientes da indústria nos seus processos diários, obedecendo as normas de lançamento nas redes coletoras.
- Águas de Infiltração são as águas que existem no subsolo e penetram.
- Contribuição Pluvial Parasitária é o escoamento superficial que é essencialmente absorvida pela rede de esgoto.

### 4.1 Características química e biológica do esgoto sanitário

A maior parte dos esgotos domésticos são constituídos por resíduos líquidos cerca de 99,9%, enquanto os resíduos sólidos correspondem a 0,1%, mas, contudo, ele ainda é constituído de matéria orgânica, patógenos e metais pesados que são nocivos à saúde humana. Essa presença de materiais poluentes pode ser evitada através do tratamento dos esgotos, evitando que seu lançamento in natura nos corpos d'água contamine o meio ambiente IBGE (2000).

Nesse contexto, conforme Nuvolari (2003) as características do esgoto doméstico são aquelas que têm em sua composição: sabões e detergentes biodegradáveis e não biodegradáveis (a maioria dos detergentes contém o nutriente fósforo); cloreto de sódio (7 a 15 g/hab/dia, eliminado através da urina); fosfatos (1,5 g/hab/dia, eliminado através da urina); sulfatos; carbonatos; ureia, amoníaco e ácido úrico (14 a 42 g/hab/dia); gorduras; ligamentos da carne e fibras vegetais não digeridas; porções de amido (glicogênio, glicose) e de protéicos (aminoácidos, proteínas, albumina); urobilina, pigmentos hepáticos, etc; mucos, células de descamação epitelial; vermes, bactérias, vírus, leveduras, entre outros e areia, plásticos, cabelos, sementes, entre outros. Na tabela 1 é apresentada a composição do esgoto líquido:

**Tabela 1:** Composição do esgoto líquido

<b>%</b>	<b>Componentes</b>
99,87	Água
0,04	Sólidos sedimentáveis
0,02	Sólidos não sedimentáveis
0,07	Substâncias dissolvidas

Fonte: Nuvolari, 2003.

## **4.2 Principais sistemas da rede de esgoto**

Dentre os principais componentes do sistema de esgoto por gravidade destaca-se:

### **4.2.1 Sistema coletor**

A coleta é realizada em área pública, constituída por coletor predial, coletor secundário, coletor tronco e interceptores. A seguir serão mencionados cada um deles.

- a) Coletor predial: Trecho de tubulação compreendido entre a última inserção da tubulação que recebe efluentes de aparelhos sanitários e o coletor de esgoto (NUVOLARI, 2003). Ou seja, é a tubulação que sai da residência e entra no sistema de coleta de esgoto.
- b) Coletor secundário: Tubulação que recebe a contribuição de esgotos sanitários dos coletores prediais (PEREIRA e SOARES, 2006).
- c) Coletor tronco: Tubulação da rede coletora que recebe a contribuição de coletores secundários. Pode ser chamado de principal quando for o coletor de maior extensão da bacia de esgotamento (PEREIRA e SOARES, 2006).
- d) Interceptor: Recebe e transporta o esgoto dos coletores tronco da bacia de esgotamento até a estação elevatória ou a estação de tratamento (PEREIRA e SOARES, 2006).

#### **4.2.2 Emissários**

Segundo Nuvolari (2003), emissário é simplesmente a tubulação que recebe as contribuições de esgoto, exclusivamente na extremidade montante. O emissário pode ser a tubulação de descarga de uma estação elevatória ou a tubulação de descarga de efluente de uma estação de tratamento de esgoto.

#### **4.2.3 Órgãos acessórios da rede**

Conforme Tsutya e Sobrinho (2000) os órgãos acessórios da rede são:

- a) Tubo de limpeza (TL): Tubo destinado à introdução de equipamentos de limpeza. Ele substitui os poços de visita no início dos coletores.
- b) Poço de visita (PV): Destinados à inspeção da rede. Ele possibilita o acesso de homens e equipamentos para uma necessária desobstrução e limpeza do coletor.
- c) Terminal de inspeção e limpeza: Este órgão não permite visitas, permite apenas a inspeção e introdução de equipamentos de limpeza.

#### **4.3 Situação Brasileira do esgotamento sanitário**

No Brasil, 33,5% dos domicílios são atendidos por rede geral de esgoto. O atendimento chega ao seu nível mais baixo na região Norte, onde apenas 2,4% dos domicílios são atendidos, seguidos da região nordeste (14,7%), Centro-Oeste (28,1%) e Sul (22,5%). A região sudeste apresenta o melhor atendimento: 53,0% dos domicílios têm rede geral de esgoto. Dos 5.507 municípios existentes em 2000, 2.630 não eram atendidos por rede coletora, utilizando soluções alternativas como fossas sépticas e sumidouros, fossas secas, valas abertas e lançamentos em cursos d'água (IBGE, 2000).

O esgoto doméstico é o efluente que provém principalmente de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõe de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas. Compõe-se

essencialmente da água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem (FUNASA, 2006).

A água é um recurso finito, que tem sua demanda aumentada devido ao crescimento populacional. Contudo os recursos hídricos estão a cada dia mais escassos, sendo a água um recurso indispensável a vida humana e ao meio ambiente.

Em contrapartida tem-se uma forma sustentável de preservar as águas, investindo em saneamento básico e no tratamento de esgoto sanitário. O segundo tem a capacidade de tratar o esgoto eliminando os metais pesados e matéria orgânica para lançar a água tratada no curso d'água (PROSAB, 2006).

#### **4.4 Abastecimento de água e coleta de esgotos nas regiões Brasileiras**

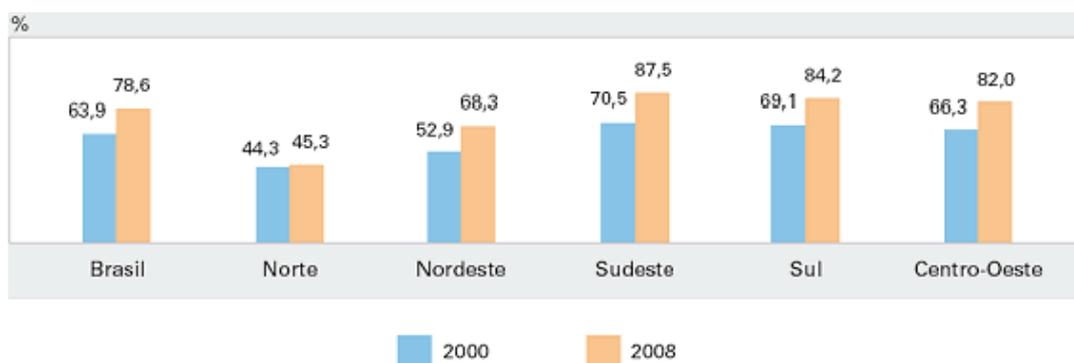
De acordo com a PNSB (2008), o abastecimento de água chega a 99,4% dos municípios. Entre os anos de 2000 e 2008 o único serviço onde não houve grandes mudanças, foi o de coleta de esgoto por rede geral, presente em 52,2% dos municípios em 2000 para 55,2% em 2008.

Nos municípios que havia o serviço, a melhoria do esgotamento passou de 58% para 79,9%, de domicílios atendidos de 35,3% para 44%.

O número de domicílios abastecidos por rede geral de água cresceu 30,8%, de 34,6 milhões, em 2000, para 45,3 milhões, em 2008, segundo a PNSB. O maior crescimento foi no Nordeste (39,2%) e no Centro-Oeste (39,1%), e o menor no Norte (23,1%).

No gráfico 1 mostra-se domicílios abastecidos de água por rede geral, segundo as grandes regiões de 2000/2008.

**Gráfico 1:** Domicílios abastecidos de água por rede geral



**Fonte:** IBGE (2010).

Desde o ano de 1989 a 2008 o sistema de abastecimento de água desenvolveu sua rede de atendimento em 3,5%. Na região Norte essa evolução foi mais considerável. Dentre as regiões, sudeste é a única que possui abastecimento em pelo menos um distrito.

A região Nordeste apresenta o pior panorama, com 30,1% os atendimentos de formas alternativas, por exemplo, caminhão-pipa ou poços particulares e 6,6% dos municípios fornecem água sem nenhum tratamento (IBGE, 2010).

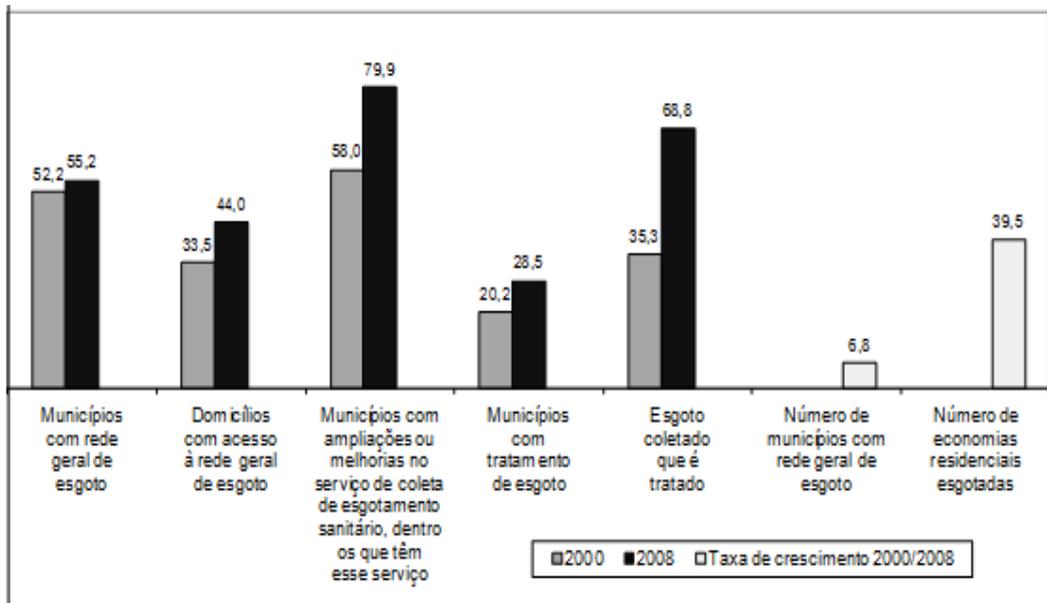
Uma triste realidade, é que menos de um terço dos municípios não possuem leis de proteção de mananciais e nem possuem legislação adequada para implantação de sistema de abastecimento em novos loteamentos.

#### **4.4.1 Coleta de Esgoto Sanitário**

Segundo o PNSB a coleta de esgoto sanitário se apresenta em 55,2% dos municípios por rede coletora. Mas locais que não disponibilizava desse recurso utilizou-se fossas sépticas como meio de coleta que corresponde um crescimento de 7,4% em relação ao ano de 2000 (IBGE, 2010).

No gráfico 2 representa-se as evoluções ocorridas entre os anos de 2000 a 2008 no sistema de esgotamento sanitário no Brasil.

**Gráfico 2:** Principais variáveis do esgotamento sanitário no Brasil 2000/2008



Fonte: IBGE (2010).

#### 4.5 Definição do lodo de esgoto

O lodo é considerado um subproduto no seu estado bruto, é a parcela sólida proveniente do tratamento do esgoto (CORREA, FONSECA e CORREA, 2007). É um resíduo rico em matéria orgânica, nutrientes e metais pesados e possui variadas aplicabilidades, evitando assim, o descarte inadequado (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

## 5. DESTINAÇÃO DO LODO

Conforme Sperling (2013), o lodo é gerado a partir de todos os processos de tratamento biológico. Podem-se considerar como: lodo primário, secundário, biológico ou excedente, devido as características de sua composição.

Contudo, independe da composição para realizar o descarte adequado. O lodo deve ser tratado nas estações de tratamento após passar pela fase líquida. No processo da fase sólida o mesmo deve ser removido ou descartado conforme a disposição final ou reuso (SPERLING 2013). Faz-se necessário buscar alternativas de disposição final que apresentem benefícios ao uso (SPERLING apud LARA et al, 2001).

Na tabela 2 apresentam-se as vantagens e desvantagens adotadas:

**Tabela 2:** Vantagens e desvantagens das alternativas de disposição de lodo

Alternativa de disposição	Vantagens	Desvantagens
Descarga Oceânica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixo Custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poluição das águas, flora e fauna oceânica</li> </ul>
Incineração	<ul style="list-style-type: none"> <li>Redução drástica de volume</li> <li>Esterilização</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Custos elevados</li> <li>Disposição das Cinzas</li> <li>Poluição atmosférica</li> </ul>
Aterro Sanitário	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixo Custo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Necessidade de grandes áreas</li> <li>Localização próxima a centros urbanos</li> <li>Características especiais de solo</li> <li>Isolamento ambiental</li> <li>Produção de gases e percolado</li> <li>Dificuldade de reintegração da área após desativação</li> </ul>
"Landfarming" – disposição superficial no solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Degradação microbiana de baixo Custo</li> <li>Disposição de grandes volumes por unidade de área</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acúmulo de metais pesados e elementos de difícil decomposição no solo</li> <li>Possibilidade de contaminação do lençol freático</li> <li>Liberação de odores e atração de vetores</li> <li>Dificuldade de reintegração da área após desativação</li> </ul>
Recuperação de áreas Degradadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Taxas elevadas de aplicação</li> <li>Resultados positivos sobre a reconstituição do solo e flora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Odores</li> <li>Limitações de composição e uso</li> <li>Contaminação do lençol freático, fauna e flora</li> </ul>
Reciclagem agrícola	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grande disponibilidade de áreas</li> <li>Efeitos positivos sobre o solo</li> <li>Solução a longo prazo</li> <li>Potencial como fertilizante</li> <li>Resposta positiva das culturas ao uso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitações referentes à composição e as taxas de aplicação</li> <li>Contaminação do solo com metais</li> <li>Contaminação de alimentos com elementos tóxicos e organismos patogênicos</li> <li>Odores</li> </ul>

**Fonte:** Sperling apud Lara *et al* (2001)

O lodo de esgoto possui classificações de acordo com suas especificações de uso e serão relatadas a seguir, conforme (CONAMA, 2006).

- **Classe A** – poderão ser utilizados para quaisquer culturas (respeitada algumas restrições da resolução).
- **Classe B** – utilização restrita ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos (respeitada algumas restrições da resolução).

Na tabela 3 refere-se os potenciais riscos ambientais ou impactos relacionados às alternativas de disposição de lodo (SPERLING, 2013).

**Tabela 3:** Vantagens e desvantagens das alternativas de disposição de lodo

Alternativa de disposição do lodo de esgoto	Potenciais impactos ambientais negativos
Descarga Oceânica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição das águas, flora e fauna oceânica</li> <li>• Alteração de comunidades da fauna marinha</li> <li>• Transmissão de doenças</li> <li>• Contaminação de elementos da cadeia alimentar</li> </ul>
Incineração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição do ar</li> <li>• Impactos associados com o local de disposição das cinzas</li> </ul>
Aterro Sanitário <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exclusivo</li> <li>• Co-disposição com lixo urbano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição das águas superficial e subterrânea</li> <li>• Poluição do ar</li> <li>• Poluição do solo</li> <li>• Transmissão de doenças</li> <li>• Impactos estéticos e sociais</li> </ul>
"Landfarming" – disposição superficial no solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição das águas superficial e subterrânea</li> <li>• Poluição do solo</li> <li>• Poluição do ar</li> <li>• Transmissão de doenças</li> </ul>
Recuperação de área Degradada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição das águas superficial e subterrânea</li> <li>• Poluição do solo</li> <li>• Odor</li> <li>• Contaminação de elementos da cadeia alimentar</li> <li>• Transmissão de doenças</li> </ul>
Reciclagem agrícola	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição das águas superficial e subterrânea</li> <li>• Poluição do solo</li> <li>• Contaminação de elementos da cadeia alimentar</li> <li>• Transmissão de doenças</li> <li>• Impactos estéticos e sociais</li> </ul>

Fonte: Sperling apud Lara *et al* (2001)

## 5.1 Etapas do tratamento do lodo

No tratamento de esgoto existem duas fases: líquida e sólida. Na fase líquida o esgoto é constituído por esgotos domésticos, águas de infiltração e

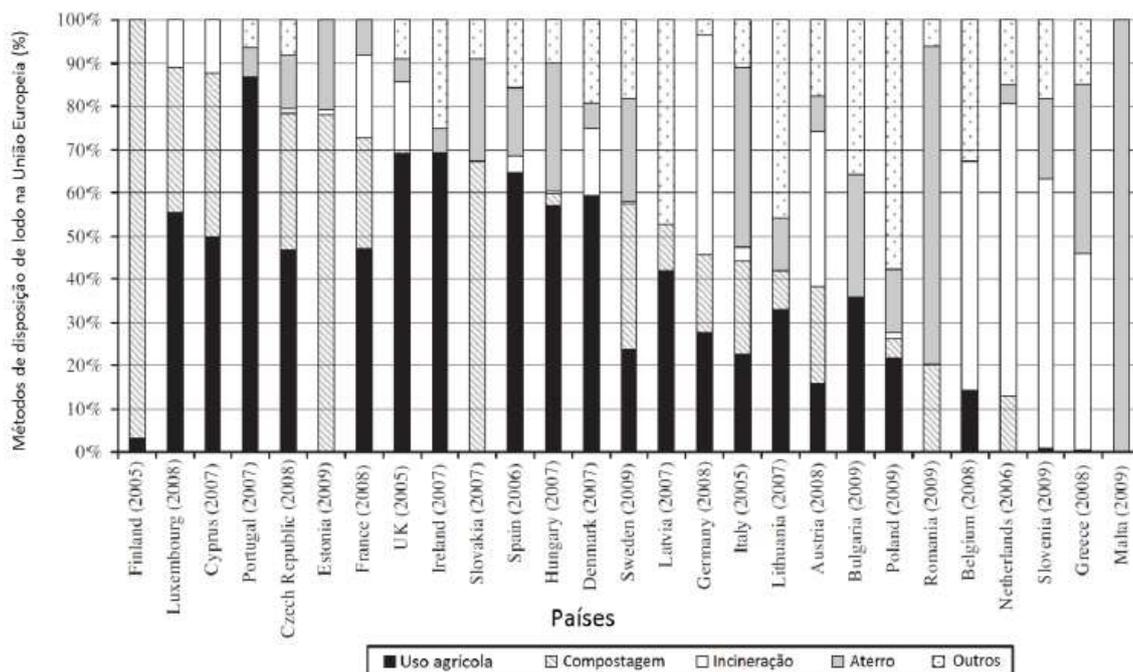
despejos industriais. Já na fase sólida é constituído por resíduos resultantes do processo da fase líquida como sólidos grosseiros, areia e lodo. Pelo fato desse resíduo ser rico em matéria orgânica, metais pesados e patógenos nocivos à saúde e ao meio ambiente, faz-se necessário, um descarte adequado (FONTES, *et al.*, 2004b). O sistema utilizado para o tratamento do esgoto depende das características dos resíduos recebidos, e de qual produto final se deseja obter (ANDREOLI *et al.*, 2001; FERNANDES, 1999; TSUTIYA *et al.*, 2001).

As principais fases da gestão do lodo são:

- **Adensamento ou espessamento** – remoção de umidade (redução de volume).
- **Estabilização** – remoção de matéria orgânica (remoção de sólidos voláteis).
- **Condicionamento** – preparação para a desidratação (principalmente mecânica)
- **Desaguamento ou desidratação** - remoção de umidade (redução de volume)
- **Higienização** – remoção de organismos patogênicos
- **Disposição final** – destinação final dos subprodutos (SPERLING, 2013).

No Gráfico 3 é apresentado de forma sucinta os países da União Europeia e principais meios de destinação final do lodo, considerando a realidade e recursos disponíveis de cada um deles.

**Gráfico 3: Métodos de disposição de lodo na União Europeia.**



Fonte: Adaptado de Kelessids e Stasinakis (2012).

## 5.2 Requisitos para o uso do lodo

Há restrições para utilização do lodo proveniente de esgoto doméstico, elas são regulamentadas pela Resolução do Conama nº 375/2006, onde estabelece os critérios para o uso agrícola, e procedimentos que devem reduzir os patógenos e atração de vetores.

Nas tabelas 4 e 5 são apresentados os requisitos mínimos de qualidade que devem obedecer do lodo de esgoto ou produto derivado destinado a agricultura.

**Tabela 4:** Lodo de esgoto ou produto derivado – substâncias inorgânicas

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg; base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromio	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: Resolução CONAMA nº 375/2006

**Tabela 5:** Classes de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patogênicos.

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes <103 NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST Salmonella ausência em 10 g de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes <106 NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST ST Sólidos Totais NMP: Número Mais Provável UFF: Unidade Formatadora de Foco UFP: Unidade Formatadora de Placa

**Fonte:** Resolução CONAMA nº 375/2006.

Para o cultivo de pastagens, (alface, repolho, couve flor, etc), tubérculos e raízes e culturas inundadas é vedada a aplicação de qualquer classe de lodo de esgoto.

Também é vedada a aplicação de lodo em Áreas de Proteção Ambiental – APA, Áreas de Proteção Permanente – APP, assim como em Áreas de Proteção de Mananciais – APMs, entre outros locais que coloquem em risco o meio ambiente, bem como a saúde humana (CONAMA, 2006).

Para fins agrícolas agrícola deve-se obedecer aos limites de concentrações de metais pesados conforme Tabela 6.

**Tabela 6:** Concentrações limites de metais pesados no lodo de esgoto

Metal pesado	Concentração máxima permitida no lodo (mg kg <sup>-1</sup> )	Taxa de aplicação anual máxima (kg há <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Carga máxima cumulada de metais pela aplicação do lodo (kg ha <sup>-1</sup> )
Arsênio	75	2,0	41
Cádmio	85	1,9	39
Cobre	4.300	75	1.500
Chumbo	840	15	300
Mercúrio	57	0,85	17
Molibdênio	75	-	-
Níquel	420	21	420
Selênio	100	5,0	100
Zinco	7.500	140	2.800

**Fonte:** CETESB (1999).

### 5.2.1 Classificação dos resíduos sólidos

Por não haver legislação que regulamente no Brasil o uso de lodo na construção civil, a norma NBR 10004 ABNT (2004a), apresenta os graus de periculosidade no seu descarte inadequado.

Conforme a NBR 10004 os resíduos são classificados em classe I – perigosos, e classe II – não perigosos.

- **Resíduos de Classe I – Perigosos;**

São aqueles que apresentam propriedades físicas, químicas ou infecto contagiosas. Podem provocar riscos à saúde pública, ao meio ambiente, quando descartado de forma inapropriada. Exemplos: óleo lubrificante usado ou contaminado, Óleo de corte e usinagem usado, Equipamentos descartados contaminados com óleo, Lodos de galvanoplastia, Lodos gerados no tratamento de efluentes líquidos de pintura industrial, efluentes líquidos ou resíduos originados no processo de preservação da madeira,

Acumuladores elétricos a base de chumbo (baterias) e Lâmpada com vapor de mercúrio após o uso (fluorescente).

- **Resíduos de Classe II – Não Perigosos**

São os resíduos não perigosos, e são subdivididos em dois grupos.

- **Classe II A – Não Inertes**

São caracterizados devido suas propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- **Classe II B – Inertes**

São os resíduos, que segundo a NBR 10006 ABNT (2004c), possuem solubilizantes em padrões superiores de potabilidade da água estabelecidos pela norma, verificando a cor, turbidez, dureza e sabor.

### 5.3 Caracterização do lodo

Os esgotos são compostos basicamente por efluentes residenciais. Os lodos industriais possuem materiais pesados, fazendo que sua aplicação agrícola, seja inadequada (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

O lodo de esgoto é um subproduto gerado pelo tratamento de esgoto, pode-se ser utilizado para fins agrícolas e recuperação de solos degradados, desde que, seu monitoramento seja constante para evitar a contaminação do solo e corpos d'água (GOMES et al., 2001; SPERLING e ANDREOLI, 2010; SILVA et al., 2008).

### 5.3.1 Agentes patógenos

Segundo a resolução do Conama nº 375/2006, mesmo o lodo sendo rico em matéria orgânica, e nutrientes como nitrogênio, fósforo e micronutrientes é vedada sua utilização diretamente no solo para cultivo agrícola, por conterem uma diversidade de organismos com potencial patogênico como protozoários, ovos de helmintos, vírus e bactérias.

Para aplicação em solo, o lodo deve passar por tratamento para redução de patógenos e contra atração de vetores. Esses processos podem incluir digestão aeróbia, digestão anaeróbia, estabilização alcalina, secagem térmica e compostagem (QIN LU; STOFELLA, 2012).

Conforme o Conama nº 375/2006, a redução significativa de patógenos ocorre nas seguintes etapas:

- **Digestão Aeróbia** – ocorre retenções mínimas de ar ou oxigênio de 40 dias a 20°C por 60 dias a 15°C.
- **Digestão Anaeróbia** – ocorre por um período mínimo de 15 dias a 35°-55°C ou de 60 dias a 20°C.
- **Estabilização Alcalina** – é realizado a adição cal afim de elevar o ph, até pelo menos 12, por no mínimo duas horas
- **Secagem Térmica** – redução da umidade do lodo de esgoto ou produto derivado a 10% ou menos.
- **Compostagem** – qualquer método citado anteriormente desde que, a biomassa atinja temperatura mínima de 40°C, durante pelo menos 5 dias, com oscilações de 55°C, por 4 horas ininterruptas durante o período.

### **5.3.2 Metais pesados**

Conforme Alloway (1990); Tiller (1989); Tdsadilas et al (1996), o lodo de esgoto é um material e fonte alternativa potencial de nutrientes para as plantas devido aos elevados teores de N, P, K, Ca, Mg e S. Contudo a existência de metais pesados como (Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, etc) faz -se necessário o cumprimento de requisitos para sua utilização.

A contaminação por esses metais pode ocorrer por meio das plantas, poeira e água, mas a forma principal é pelo consumo de plantas pelo homem contendo esse metal. (MANUZA et al, 1995).

### **5.3.3 Nutrientes**

O lodo proveniente do esgoto é considerável fonte de nutrientes. Contudo confrontado aos fertilizantes do mercado possui menores concentrações de N (Nitrogênio), P (Fósforo) e K (Potássio). Na compostagem há perda de N, devido a mineralização no processo da digestão ou da própria compostagem (MARTINS apud COGGER, 2006).

Alguns estudos apresentam que, podem haver perda de até 15% de N, pela volatilização da amônia, ou seja, sua passagem do estado líquido para o gasoso (MARTINS apud TUBAIL et al, 2008).

Conhecido também como bio sólido, o lodo contém consideráveis micronutrientes indispensáveis para as plantas como B (Boro), Cl (Cloro), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês), Mo (Molibdênio) e Zn (Zinco). Contudo pode ser aplicado também em solos alcalinos ou arenosos (MARTINS apud WARMAN e TERMEER et al, 2005).

### **5.3.4 Principais métodos de descarte**

De acordo com Godoy apud Nuvolari et al (2011), é recente a preocupação do Brasil com o descarte adequado do lodo proveniente do tratamento de esgoto. Nos processos de tratamento havia somente a disposição final, sem comprovar onde e como o descarte iria proceder, apenas descartavam os resíduos, sendo os aterros sanitários o método mais utilizado. Contudo também havia

descarga oceânica onde o lodo líquido era bombeado por dutos e lançados em alto mar. Devido a preocupação ambiental, foi proibido o descarte em alto mar nos EUA e Europa. Na Tabela 7 apresenta-se dados comparativos de custos da disposição final.

**Tabela 7:** Comparações de 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)

### 5.3.5 Reuso

Devido as pesquisas desenvolvidas nos últimos tempos, algumas alternativas para o descarte e/ou aproveitamento do lodo proveniente do esgoto tem sido de grande valia, pois têm-se descoberto novas técnicas de aproveitamento minimizando os impactos ambientais e desenvolvimento sustentável.

Dentre as formas de aproveitamento destacam-se (GODOY, 2013):

- **Reaproveitamento Industrial**
  - Fabricação de tijolos e cerâmicas;
  - Produção de agregado leve para construção civil;
  - Produção de cimento.
- **Reaproveitamento Agrícola**
  - Fertilizante orgânico e Compostagem
  - Recuperação de solos degradados.

## 5.4 Fabricação de Tijolos e Cerâmicas

A Estação de Tratamento de Esgoto de Fishwater Flats, Port Elizabeth, na África do Sul é a mais antiga que se tem conhecimento sobre a fabricação de tijolos utilizando lodo proveniente do tratamento de esgoto. Para tijolos comuns é

misturado 30% do volume da argila, que atinge uma resistência de 38 Mpa, enquanto as normas do South African Bureau of Standards, preconizam o valor mínimo de 14 Mpa. Os tijolos produzidos com a adição de lodo possuem porosidade que contribui na ligação da argamassa (LIMA apud SLIM e WAKEFIELD, 1991).

Para inserir lodo como componente na fabricação da indústria de cerâmica vermelha alguns fatores como resistência do produto final e isolamento térmico, devem ser considerados (LIMA apud DUARTE, 2008).

Segundo Cusidó et al (1996) os tijolos cerâmicos produzidos pela mistura de argila, serragem e lodo de ETE, apresentam um excelente desempenho ao serem aplicados na construção de paredes. O então chamado Ecobrik obteve resultados satisfatórios tanto para o aproveitamento da energia solar, como para o menor consumo de energia elétrica.

Na Tabela 8 mostra-se a fração de economia solar e o consumo de aquecimento auxiliar para manter a temperatura de 21°C.

**Tabela 8:** Consumo de energia para quatro tipos de alvenaria

<b>Projeto da alvenaria</b>	<b>FES</b>	<b>CAA (%)</b>
Somente tijolo (e = 30 cm)	26,6	100
Tijolo (e = 15 cm) + Ecobrick® (e = 15 cm)	30,2	83
Parede de isolamento multicamadas (e = 15 cm)	35,6	64
Ecobrick® (e = 29 cm)	40,6	51

FES: Fração de economia solar (ganho útil de calor do sol/perdas térmicas).  
CAA: Consumo de aquecimento auxiliar para manter a temperatura de 21 °C.

**Fonte:** Cusidó (1996)

Segundo Duarte apud Liew *et al* (2004a), os tijolos maciços fabricados com o lodo a 20% em base seca são tecnicamente viáveis, em relação a absorção e à resistência a compressão, contudo, com um volume de 30% tornam-se quebradiços. Os pesquisadores concluíram que a adição de até 40% de lodo é possível produzir tijolos sem odores e não tóxicos. Na Tabela 9 é mostrada a absorção de água e resistência à compressão dos tijolos maciços.

**Tabela 9:** Desempenho de tijolos maciços com cinza de lodo de esgoto

% lodo	Absorção de água (%)				Resistência à compressão (MPa)			
	(1)	(2)	(3)		(1)	(2)	(3)	
			LD1	LD2			LD1	LD2
0	0,03	-	4,4	4,4	87,2	-	9,9	9,9
10	0,07		3,2	3,2	85,7	-	13,6	13,1
20	0,11	-	4,1	2,7	80,0	-	15,4	15,0
30	1,39	-	4,0	3,3	70,7	-	17,6	16,6
40	1,52	-	3,0	3,0	70,5	-	21,3	18,2
50	1,7	-	-	-	69,4	-	-	-
100	-	02-12	-	-	-	>100	-	-

(1) tijolos reduzidos, conformação por extrusão e temperatura de queima superior a 1000° C  
(2) escala real, conformação por alta pressão e queima a 1000° C  
(3) tijolos reduzidos, moldados manualmente com formas de madeira e queima a 950° C LD1 - lodos ativados; LD2 - reator anaeróbio de fluxo ascendente.

**Fonte:** (1) Tay, 1997; Okuno e Yamada, 2000; Nuvolari, 2002.

#### 5.4.1 Produção de agregado leve para construção civil

Segundo Lima apud Cheeseman; Viridi (2005) os agregados são matérias primas de alta porosidade e baixa massa específica, e algumas se obtém através da natureza. Contudo existem as que também podem ser produzidas industrialmente como: cinza volante e escória de alto forno. Elas são utilizadas na fabricação de concretos e blocos leves, sistema de drenagem, etc. Conforme Lima apud Brosch (1975) o lodo de esgoto foi utilizado no processo de sinterização e aplicado em concreto leve. O resultado foi satisfatório quanto a resistência à abrasão e ao esmagamento.

Outro estudo foi apresentado por Lima apud Morales; Agopyan (1992), do lodo como matéria prima para adquirir agregado leve. O resultado foi positivo em relação a seu uso, conforme critérios estabelecidos na norma para fabricação de componentes de concreto para alvenaria, concreto estrutural ou para isolamento térmico. Sendo os custos de fabricação do material na época do estudo nivelado ao da argila expandida, tornando sua utilização praticável.

#### 5.4.2 Produção de cimento

O cimento biológico foi desenvolvido por meio do lodo digerido e desidratado misturado a cal. Todo material passou por processo de queima,

moagem e peneiramento, resultando em cimento Biológico ou “Bio-Cimento”, que substituiu o cimento Portland na produção de argamassa. Analisou-se que essa substituição em até 30%, melhorou consideravelmente a resistência à compressão a argamassa referida (LIMA apud TAY *et al* (2002); TAY e SHOW (1994).

## **5.5 Fertilizante orgânico e compostagem**

A compostagem é uma alternativa de melhoria do lodo, onde o torna livre dos patógenos, e assim sua aplicação para fins agrícolas de forma segura, substituindo os adubos convencionais. Por meio da compostagem podemos ter inúmeros benefícios, como a reciclagem para o solo, reaproveitamento de matéria orgânica e aumento da vida útil dos aterros sanitários (LIMA apud PELEGRINO *et al*, 2008).

Segundo Andreoli; Lara; Fernandes (1999) no sistema Windrow ou Leiras Reviradas, os resíduos são dispostos em seção triangular de 3,0 a 4,0m de base e 1,5 a 2,0m de altura. São ordenadas em áreas abertas e aeração da mistura se dá pelo revolvimento com pá carregadeira. Outra forma de aeração, é a colocação de tubos perfurados na base da leira.

Nas Leiras Estáticas, como próprio nome sugere, as mesmas permanecem inertes durante todo o processo, onde os resíduos são dispostos em alguns casos, formando blocos. A aeração dá-se por tubos perfurados abaixo da disposição dos resíduos.

Nos Reatores Biológicos os resíduos são inseridos a um sistema fechado, onde trabalha a aeração, revolvimento e temperatura. Portanto esse sistema é o mais eficaz que os anteriores, devido a otimização do processo, sendo considerada compostagem acelerada.

### **5.5.1 Recuperação de solos degradados**

Países desenvolvidos e industrializados têm-se utilizado os biossólidos (lodo após tratamento), para fins agrícolas e florestais. Sendo a França com 58%, Itália 33%, Suíça 45% e Noruega 58% (ANDREOLI apud TSUTIYA, 2001). No Brasil

desde a década de oitenta acontece experimentação do uso do lodo de esgoto na agricultura (ANDREOLI apud BETTIOL; CARVALHO, 1982).

Os solos degradados são aqueles que sofreram modificações, sejam elas de disposição físicas, químicas ou biológicas. Por sua vez a recuperação trata-se de procedimentos para restituir as condições do mesmo.

O lodo de esgoto é um resíduo com grande capacidade para regeneração de áreas de solos degradados (ANDREOLI apud CARDOSO; FORTES NETO, 2000). Ele pode ser aplicado em proporções normalmente elevadas para recuperação dos solos (ANDREOLI apud TAMANINI, 2005; BEZERRA 2006).

Segundo Berton (2000), apesar das vantagens de utilização do lodo como condicionador de solos degradados, há muito a se desenvolver nas pesquisas a esse respeito, a fim de orientar sua aplicabilidade de forma segura e benefícios de suas propriedades físico-químicas do solo, além dos impactos.

Necessita-se de pesquisas que aprofundem nas reações químicas entre lodo e solo, assim como os perigos de sua lixiviação e contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

## **6. RELATO DA PESQUISA**

Realizou-se uma visita técnica no dia 12/04/2019 na TERMAX Fertilizantes, localizada em Santa Luzia / MG, onde é desenvolvido fertilizante organominerais de alta eficiência.

### **6.1 Visita técnica à Termax Fertilizantes**

Apesar do produto apresentado ter como base outras matérias primas, que não são o lodo de esgoto para seu desenvolvimento, percebe-se que é um trabalho de muitos estudos até chegar ao produto final. Há na empresa pessoas qualificadas e engajadas com o projeto, assim como laboratório para pesquisas além vários maquinários robustos para produção do mesmo.

Termax-P é um fertilizante mineral simples obtido a partir da fusão a 1500°C de uma mistura de rocha fosfática com outras matérias-primas contendo cálcio, magnésio e silício.

Trata-se de um fertilizante que possui características químicas superiores, liberando de maneira gradual e mais eficiente o fósforo.

Dentre as características químicas superiores podem-se citar:

- Sua dissolução no solo ocorre de forma gradual, minimizando perdas de fósforo;
- Propriedades corretivas da acidez do solo devido ao ph básico;
- Adaptado a todos os tipos de cultura, etc.

Além do magnésio e cálcio, que lhe conferem ação corretiva, também contém silício que, aumenta a resistência a doenças e pragas. O produto em questão não absorve umidade, não deteriora, não empedra e ainda, não provoca corrosão no maquinário agrícola. Por não utilizar a via ácida em seu processo de produção, é também totalmente indicado para agricultura orgânica.

### **6.2 Visita técnica à empresa em estudo**

A empresa C, foi visitada no dia 22/05/2019, trata-se de uma empresa de grande porte que possui Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), com equipamentos importados e sistema automatizado.

### **6.2.1 Aproveitamento do efluente tratado**

Normalmente o efluente tratado é devolvido ao corpo receptor, ou seja, após todo o processo de tratamento do esgoto, água proveniente desse tratamento é devolvida à natureza através dos córregos, etc. Nesse caso essa água é bombeada a um reservatório onde é reutilizada as atividades de limpeza dentro do próprio empreendimento.

### **6.2.2 Aproveitamento do lodo**

Geralmente o lodo proveniente do tratamento de esgoto é desidratado e conduzido para o aterro sanitário, isso acontece com uma parte do lodo que fica armazenado dentro de uma caçamba. Contudo, no caso da empresa C um percentual desse lodo tratado é utilizado seu potencial energético para geração de energia, enquanto outra parcela é destinada ao aterro sanitário.

Essa destinação traz vários benefícios, entre eles podem-se citar:

- Corte do custo de disposição e transporte do lodo;
- Diminuição do impacto ambiental;
- Diminuição dos custos energéticos.

## **6.3 Resultados e discussão**

A disposição final do lodo é dispendiosa e difícil. Apesar de haver várias formas de disposição final para o lodo de esgoto como aterros sanitários, incineração e reciclagem, o método de descarte mais adequado para cada situação deve ser analisado com critério, a fim de adotar a prática mais viável de forma técnica, econômica e ambiental.

Pires (2006) afirma que os descartes realizados nos aterros sanitários equivalem a 50% do custo de operação da ETE. A incineração é outra opção, mas que demanda alto custo na sua implantação e gastos onerosos com energia. Apesar da utilização agrícola os custos não são tão acessíveis, devido ao transporte do produto para sua distribuição nos locais de uso.

De acordo com uma estimativa de custo da Sanepar, a compostagem do lodo de esgoto proveniente de ETE, apresenta custo de R\$ 50,00 a R\$ 110,00/t. Nestes valores não estão inclusos (pátio de impermeabilização, sistema de aeração de leiras, maquinários, etc).

Segundo Andreoli apud Menezes *et al* (2002) apesar de haver pesquisas no Brasil sobre a reciclagem de resíduos ela ainda não desempenha um papel efetivo na indústria da construção civil, devido à falta de pesquisas brasileiras integradas com as internacionais. Contudo destacam-se ainda, as faltas de estímulos às indústrias.

A construção civil busca a reciclagem de resíduos como produtos alternativos, com a proposta de minimizar os impactos ambientais e redução dos custos no setor. Portanto, essas práticas são benéficas, permitindo que haja redução de recursos naturais não renováveis, redução de área de aterro, redução e controle da poluição (ANDREOLI apud AL SAYED *et al*, 1995).

Em Barém, conforme Andreoli *et al* apud Al Sayed *et al* (1995), foi aplicado lodo de esgoto para fabricação de concreto asfáltico e comprovado sua utilização como filer, atendendo as especificações.

Andreoli *et al* apud Slim; Wakefield (1991) verificaram a disposição do lodo por meio de adição na fabricação de tijolos. É vantajoso pelo baixo consumo de água e combustível e incorporação da matéria-prima, uma forma adequada de disposição.

Andreoli *et al* apud Aziz; Koe (1990) pesquisaram em Singapura a reutilização das cinzas de lodo de esgoto. Os pesquisadores concluíram que a mesma possui relevância de utilização na construção civil, diretamente como componentes da construção de estradas e indiretamente como insumo na produção de agregados de concreto e produtos como: tijolos, pisos, blocos de pavimento, como filer em concreto e misturas betuminosas.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Conclui-se, portanto, que é fundamental a conscientização da sociedade para práticas sustentáveis, a fim de proteger o meio ambiente, bem como a saúde pública, desenvolvendo e aprimorando tecnologias limpas e como alternativas de gestão integrada para ampliar e compartilhar responsabilidades.

Outro fator bastante relevante é o conhecimento técnico e logístico, para planejar, manusear e transportar os resíduos, uma vez que o transporte representa uma grande demanda econômica no processo do reaproveitamento.

Fatores relevantes a serem avaliados são os altos custos das tecnologias existentes para tratar o lodo proveniente da ETE, transformando-o em um subproduto para ser utilizado na agricultura e/ou na indústria.

Contudo mesmo havendo boas práticas para o descarte adequado ou reaproveitamento do lodo de esgoto, há necessidade de incentivo por parte dos órgãos regulamentadores, para que as indústrias se conscientizem de seu papel na sociedade, buscando inserir em suas atividades esses materiais que seriam descartados, minimizando os impactos ambientais com ações sustentáveis e reduzindo o consumo de fontes naturais não renováveis.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, Miguel Mansur; FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. Aspectos Tecnológicos e Processos. ANDREOLI, Cleverton Vitório; LARA, Ardelene Inês de; FERNANDES, Fernando. **Reciclagem de Biossólidos Transformando Problemas em Soluções**. Curitiba: Paraná, 1999. cap.2 p. 96-98.

AL SAYED, M. H.; MADANY, I.M.; BUALIA.R.M., "Use os sewage sludge ash in asphalt paving mixes in hot regions". In **Construction and Building Materials**, volume 9, pp. 19-23, 1995.

ALLOWAY, B. J. Heavy metals in soils. John Wiley & Sons. New York, 1990, 339 p. ELLIOTT, H. A.; LIBERATI, M. R. & HUANG, C. P. Competitive adsorption of heavy metals by soils. J. **Environ Qual.**, v. 15, n. 3, p. 214 - 219, 1986.

ANDREOLI, C.V. et al. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Abes, 2006. 417 p.

ANDREOLI, C.V., BONNET, B.R.P., LARA, A.I., WOLTER, F.R., "**Proposição de** ANDREOLI, Cleverton Vitório et al. Uso de Lodo de Esgoto na Produção de Substrato Vegetal. ANDREOLI, Cleverton Vitório; LARA, Ardelene Inês de; FERNANDES, Fernando. **Reciclagem de Biossólidos Transformando Problemas em Soluções**. Curitiba: Paraná, 1999. cap.8 p. 274-276.

ANDREOLI, Cleverton Vitório; FERNANDES, Fernando; Aspectos Metodológicos. ANDREOLI, Cleverton Vitório; LARA, Ardelene Inês de; FERNANDES, Fernando. **Reciclagem de Biossólidos Transformando Problemas em Soluções**. Curitiba: Paraná, 1999. cap.1 p. 33-35.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL DE MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, IV,2001, São Paulo. Anais Eletrônicos... Disponível em <[www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20IV\\_CT206\\_2001.pdf](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/artigo%20IV_CT206_2001.pdf)> Acessado em: 21 de junho de 2003.

ARAÚJO, Franciulli da Silva Dantas de. **Influência de Lodo de ETE na Massa para Fabricação de Cerâmica Vermelha**. 76 f. Dissertação (Pó Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

AZIZ, M.A.; KOE, L.C.C. Potencial utilization of sewage sludge. Water Science and Technology. V.22,n.12, p.277-285,1990. **Plano de monitoramento da reciclagem agrícola do lodo de esgoto no estado do Paraná**", n.: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, pp. 232-244, Foz do Iguaçu, 1997.

BETTIOL, Wagner e CAMARGO, Otávio Antônio de. **Lodo de Esgoto Impactos Ambientais na Agricultura**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P.C.T.; FRANCO, B.J.D.C. **Utilização do lodo de esgoto como fertilizante**. O solo, v75, n.1, p.44-54, 1982

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 375**, de 29 de agosto de 2006 – In: Resoluções, 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acessado em: 13.mar.2019.

BROSCH (1975) C.D. Brosch. **Fabricação de agregado leve a partir do lodo de esgoto**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, páginas 103-107. Rio de Janeiro – RJ. Citado na pág. 23,25.

CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas** – Critérios projeto e operação. São Paulo, 1999. 32p. (Manual Técnico – P4230).

COGGER, C.G.; FORGE, T.A.; NEILSEN, G.H. Biosolids recycling: nitrogen management and soil ecology. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 86, n. 4. p. 613–620, 2006.

CORREA, R.S; Fonseca, Y.M.; CORREA, A.S. **Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v11.n.4, p.420-426, ago.2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n04a12.pdf>> Acesso em 29 jul. 2019.

CUSIDÓ et al (1996) J.A. Cusidó, M. Celebrovsky, J. Riba e F. Arteaga. Ecobrick: **A new ceramic material for solar buildings**. Renewable Energy, 8 (1-4): 327-330. Special Issue World Renewable Energy Congress Renewable Energy, Energy Efficiently and the Environment.

CHANG, A. C.; PAN, G.; PAGE, A. L.; ASANO, T. Developing Human Health-related Chemical Guidelines for Reclaimed Waster and Sewage Sludge Applications in Agriculture. California: **Wealth Human Organization**, 2001. 94 p. Disponível em <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/gwwuchemicals.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/gwwuchemicals.pdf)> Acessado em 03 de maio de 2019.

CHEESEMAN; VIRDI (2005) C.R. Cheeseman; Viridi. Propeties and microstructure of lightweight aggregate produced from sintered sewage sludge ash. **Resouvers, Conservation and Recycling**, 45(1): 18-30, Citado na pág. 23,25.

DUARTE, Anaxsandra da Costa Lima. **Incorporação de Lodo de Esgoto na Massa Cerâmica Para Fabricação e Tijolos Maciços: Uma Alternativa Para Disposição Final do Resíduo**. 111f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

FERNANDES, F., Uso e manejo do lodo de esgotos na agricultura, 1ª ed. Paraná, **Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR)**, 1999.

FERTILIZANTES de Alta Eficiência Aliado a Características Físicas e Químicas Superiores. **Termax Fertilizantes**, 15 mai.2019. Disponível em:<[www.termaxfertilizantes.com.br](http://www.termaxfertilizantes.com.br)> Acessado em: 15 mai. 2019.

FONTES, C. M. A., BARBOSA, M. C., TOLEDO FILHO, R. D., “**Aproveitamento da cinza de lodo de esgotos como aditivo mineral para a produção de concretos de baixo impacto ambiental**”, In: Inter American Conference on Non-Conventional Materials and Technologies in the Eco-Construction and Infrastructure, IAC- OCMAT, João Pessoa, November, 13-16th, 2004b.

FONTES, Cintia Maria Ariani. **Utilização das Cinzas de Lodo de Resíduo Sólido Urbano em Concretos de Alto Desempenho**. 294f. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro 2008.

FONTES, Cintia M. A; TOLEDO Filho, R. D; CLAUDIA, Barbosa, M. C. **Cinza de lodo de esgoto (CLE) em concretos de alto desempenho: caracterização e aplicação**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. Bahia, v9, p. 989-1006, dez. 2016.

FORTES NETO, P. **Degradação de biossólido incorporado ao solo avaliada através de medidas microbiológicas**. 2000. 113p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba,2000.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. Brasília 3ª edição. 2006.

GEYER, A. L. **Contribuição ao estudo da disposição final e aproveitamento da cinza de lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários como adição ao concreto**. Tese (Doutoramento em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GODOY, Lucia Camilo de. A Logística na Destinação do Lodo de Esgoto. **Revista Científica On line – Tecnologia, Gestão e Humanismo**. São Paulo, v.2, n.1, 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**.

INGUNZA, Maria del Pilar Durante et al. Uso de Resíduos do Saneamento na Fabricação de Cerâmica Vermelha ANDREOLI, Cleverson Vítório; LARA, Ardelene Inês de; FERNANDES, Fernando. **Reciclagem de Biossólidos Transformando Problemas em Soluções**. Curitiba: Paraná, 1999. cap.9 p. 284-288.

KELESSIDIS, A e STASINAKIS, A. S. (2012). **Comparative Study of the methods Used for Treatment and Final Disposal of Sewage Sludge in European Countries**. Waste management, 32 (6), 1186-1195.

LARA, A.I., ANDREOLI, C.V., PEGORINI, E.S. (2001). **Avaliação dos Impactos Ambientais e Monitoramento da Disposição Final do Lodo.**In: ANDREOLI, C.V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. (2001). **Princípios do Tratamento Biológico de águas residuárias.**V.6. Lodo de Esgotos. Tratamento e Disposição Final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. 484 p.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; PRADO, Eliana Leão do; OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. **Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI.** Revista de Administração Pública, 45(2): 331-48 Mar/ Abr 2011.

LIEW A. G.; IDRIS, A.; WONG, C. H. K; NOOR, M. J. M. M.; BAKI, A. M. M. **Incorporation of sewage sludge in clay brick and its characterization.** Waste Management and Research 22 (4):226-233, 2004 a.

LIEW A. G.; SAMAD A. A.; WONG, C. H. K; JAAFAR, M. S; BAKI, A. M. M. Reusability of sewage sludge in clay bricks. **Journal of Material Cycles and Waste Management** 6(1):41-47, 2004 b.

LIMA, Jeffersson Fernandes de. **Avaliação da Incorporação de Cinzas de Lodo de Esgoto como Adição Mineral em Concretos de Cimento Portland.** 97f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

MANUNZA, B.; DEIANA, S.; MADDAN, V.; GESSA, C. & SEEBER, R. (1995). Stability constants of metal-humate complexes: Titration data analyzed by bimodal gaussian distribution. **Soil. Sci. Soc. Am. J.**, v. 59, n. 6, p.1570 - 1574, Nov./ Dec., 1995.

MARIA IC, Kocssi MA & Dechen SCF (2007) **Agregação do Solo em Área que Recebeu Lodo de Esgoto.** Bragantia, 66:291-298.

MARTINS, Bruno Henrique da Silva et al. Uso de Biossólido na Agricultura. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 64-72, 2015.

MARTINS, Sara Fernandes. **Análise Econômica da Produção do Lodo de Esgoto Compostado.** 71f. Dissertação (Mestre em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP. Botucatu, São Paulo, 2016.

MENEZES, R.R.; NEVES, G.A.; FERREIRA, H.C. O estado da arte sobre o uso de matérias primas cerâmicas alternativas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.6, n.2, p.303-313,2002.

NUVOLARI, Ariovaldo. Esgoto Sanitário: **Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola.** São Paulo 6ª edição, 1996.

NUVOLARI, Ariovaldo. Esgoto Sanitário: **Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola**. 1ª. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2003.

——— NBR 10004/04 - **Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a. 71p.

——— NBR 10006/04 - **Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c. 3p.

OKUNO, N.; USHIKAWA, Y.; SHIMIZU, A.; YOSHIDA, M. Utilization of sludge in building material., **Water Science and Technology** 49 (10): 225-232, 2004.

OKUNO, N.; YAMADA, A. Evaluation of full scale solidification processes implemented in Tokyo lightweight aggregate, slag and brick. **Water Science and Technology** 41 (8): 69-76, 2000.

PELEGRINO, E.C.F.; FLIZIKOWSKI, L.C.; SOUZA, J.B. de. **Compostagem de lodo de estação de tratamento de esgoto**. In: VI Semana de Estudos de Engenharia Ambiental. Unicentro, 2008.

PEREIRA, José Almir Rodrigues e SOARES, Jaqueline Maria. **Rede Coletora de Esgoto Sanitário: Projeto, Construção e Operação**. Belém, 2006. NUMA/UFPA, EDUFPA, GPHS/CT.

POGGIANI, Fábio; SILVA, Paulo Henrique Muller Da; GUEDES, Marcelino Carneiro. Uso do Lodo de Esgoto em Plantações Florestais. ANDREOLI, Cleverson Vitorio. **Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento**. 1ª ed. Curitiba: Paraná, 2006. cap. 6 p. 159-188.

PROSAB, Rede Cooperativa de Pesquisa. **Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos**. Curitiba, PR, 2001.

PROSAB (PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO). **Reúso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologia de tratamento para esse fim**. Rio de Janeiro: Abes, 2006.

QUINTANA, Núria Rosa Gagliardi; BUENO, Osmar de Carvalho; MELO, Wanderley José de. Custo de Transporte do Lodo de Esgoto para Viabilidade no Uso Agrícola. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, vol. 27, n 3, p. 90-96, julho-setembro, 2012.

QIN LU, Z.L. He; STOFFELLA, P.J. **Land Application of Biosolids in the USA: A Review**. Hindawi Publishing Corporation. v.2012. 11p.

SANEPAR, Companhia de saneamento do Paraná. **Manual técnico para utilização do lodo de esgoto no Paraná** – Curitiba: 1997.

SLIM e WAKEFIELD (1991) J. A Slim e R. Wakefield. **The utilization of sewage sludge in the manufacture of clay bricks**. Water AS., 17(13): 197-202.

SLIM, J.A.; RW WAKEFIELD. The utilisation of sewage sludge in the manufacture of clay bricks. Water AS Vol.17 no.3,1991.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

TAY et al. (2002) J. H Tay, K. Y Show e S. Y Hong. **Potencial reuse of wastewater sludge for innovative applications in construction industry**. *Bulletin of the College of Engineering, N.T.U.*, (86): 103-112. Citado na pág. 23,27

TAY e SHOW (1994) Joo-Hwa Tay e Kuan-Yeow Show. Municipal wastewater sludge as cementitious and blended cement. **Cement and Concrete Composites**, 16(1): 39-48. Citado na pág. 23,27

TILLER, K. G. Heavy metals in soils and their environmental significance. **Adv. Soil Sci.**, v. 9, p. 113 - 142, 1989.

TUBAIL, K.; CHEN, L.; MICHEL, F.C. Gypsum additions reduce ammonia nitrogen losses during composting of dairy manure and biosolids. **Compost Science and Utilization**, v.16, n.4.p.285–293, 2008.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki e SOBRINHO, Pedro Alem. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. São Paulo 2ª edição, 2000. DEHS/EPUSP.

TSADILAS, C. D.; MATSI, T.; BARBAYIANNIS, N. & DIMOYIANNIS, D. Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 26, n. 15-16, p. 2603 - 2619, 1995

TSUTIYA, M.T., COMPARINI, J.B., SOBRINHO, P.A., HESPANHOL, I. CARVALHO, P.C.T., MELFI, A.J., MELO, W.J., MARQUES, M.O., **Biossólidos na agricultura**, 1ª ed. São Paulo, SABESP, 2001.

TSUTIYA, M.T. **Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto**. In BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed). Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap. 4, p. 69-106

WARMAN, P.R.; TERMEER, W.C. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn and B content of crop and soils. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 9, p. 1029–1038, 2005.