

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO ESPECIALIZAÇÃO EM AUDITORIA E PERÍCIA  
AMBIENTAL**

**GUILHERME SALVADOR DEBIASI**

**ABORDAGEM DAS DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA  
DESTINAÇÃO DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE  
ESGOTOS**

**CRICIÚMA, JUNHO DE 2011.**

**GUILHERME SALVADOR DEBIASI**

**ABORDAGEM DAS DIFERENTES ALTERNATIVAS PARA  
DESTINAÇÃO DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE  
ESGOTOS**

Monografia apresentada à Diretoria de Pós-graduação da Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, para a obtenção do título de especialista em Auditoria e Perícia Ambiental.

Orientador: Prof. Nadja Zim Alexandre

**CRICIÚMA, JUNHO DE 2011.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a DEUS por me dar forças nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais que sempre apoiaram e incentivaram nos momentos de dedicação aos estudos.

Ao professor orientador pelo auxílio para a realização do trabalho.

“Poucas pessoas realmente vivem, a maioria apenas existe”.

*Oscar Wilde*

## RESUMO

Com a pressão dos órgãos ambientais e da sociedade cada vez mais vem sendo instalados sistemas para coleta e tratamento dos esgotos sanitários. O aumento no número de ETE implica em maior produção de lodos de esgoto sanitário, o que vem exigindo a busca de alternativas para sua disposição. Uma destinação adequada é muito importante para que se tenham resultados sanitários, ambientais e sociais positivos. Porém é importante a busca por soluções seguras sob o ponto de vista ambiental e que sejam economicamente viáveis. Este trabalho procura, através de uma pesquisa bibliográfica, realizada através de livros, teses, dissertações, normas técnicas e internet, identificar diferentes alternativas para o descarte ou o reaproveitamento do lodo de estações de tratamento de esgotos sanitários.

**Palavras-chave:** lodo; esgoto; descarte de lodo; reaproveitamento de lodo.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema de sistema de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização.....	19
Figura 2: Conceito de sistema convencional de tratamento de esgoto.....	21
Figura 3: Esquema simplificado do funcionamento de uma lagoa facultativa.....	22
Figura 4: Representação esquemática de um reator UASB.....	23
Figura 5: Secagem da lagoa.....	24
Figura 6: Leito de secagem de lodo.....	25
Figura 7: Leito de secagem.....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Freqüência de monitoramento.....	32
Tabela 2: Lodos de esgoto ou produtos derivados – substâncias inorgânicas.....	32
Tabela 3: Classes de lodos de esgoto e produtos derivados – agentes patogênicos.....	33
Tabela 4: Cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou derivado em solos agrícolas.....	33
Tabela 5: Concentração permitida de substâncias orgânicas em solos agrícolas.....	34

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

ETE – Estação de tratamento de esgotos

SAMAE – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1 Estações de Tratamento de Esgoto - ETE .....	13
2.1.1 Lodos ativados.....	15
2.1.2 Lagoas de estabilização.....	16
2.1.3 Lagoas facultativas .....	17
2.1.4 Lagoas aeradas facultativas .....	17
2.1.5 Lagoas anaeróbias.....	18
2.1.6 Lagoas de maturação.....	19
2.1.7 Filtros biológicos .....	19
2.1.8 Método da rampa .....	19
2.1.9 Reator anaeróbio de fluxo ascendente.....	20
2.2 Lodo gerado na ETE .....	21
<b>3 TRATAMENTO DO LODO .....</b>	<b>27</b>
3.1 Adensamento.....	27
3.2 Condicionamento.....	27
3.3 Desaguamento.....	28
3.4 Estabilização.....	28
3.5 Higienização.....	28
3.6 Secagem natural.....	28
<b>4 DESTINAÇÃO.....</b>	<b>30</b>
4.1 Descarte .....	30
4.1.1 Aterro sanitário .....	30
4.1.2 Disposição marítima.....	30
4.2 Reaproveitamento .....	31
4.2.1 Disposição agrícola .....	31
4.2.1 Agregado na construção .....	34
4.2.1 Recuperação de áreas degradadas.....	35
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O presente estudo descreve as principais alternativas de descarte e aproveitamento de lodo de estações de tratamento de esgotos e apresenta também uma abordagem sobre as leis e normas que regulamentam o tema.

A coleta e tratamento de esgoto sanitário são importantes medidas de saneamento, que visam à preservação dos recursos hídricos e a qualidade de vida da população. Com o constante aumento populacional, cada vez é maior as vazões recebidas pelas estações de tratamento de esgotos (ETE), o que conseqüentemente se reflete na quantidade de resíduo gerado.

Esse resíduo ou lodo proveniente das ETE, se não aproveitados, obrigatoriamente deverão ser dispostos de forma adequada com objetivo de minimizar o impacto ao meio ambiente, à saúde e o bem estar da sociedade.

Cada estação de tratamento gera um lodo com características próprias, dependendo do efluente que recebe e também do tipo de tratamento que é realizado. Por isso é importante que se façam análises periódicas, com objetivo de identificar alterações na composição do mesmo.

O presente estudo tem como objetivo principal descrever as principais alternativas adotadas como solução para descarte e aproveitamento de lodo de estações de tratamento de esgoto sanitário.

Para melhor entendimento, alguns objetivos específicos foram associados ao estudo, entre eles:

Realizar o levantamento da legislação ambiental e normatizações que regulamentam o assunto.

Identificar as diferentes formas de descarte para o lodo de estações de tratamento de esgoto.

Identificar as formas de aproveitamento de lodo para que o mesmo possa ser uma alternativa viável técnica e economicamente.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para se conhecer as principais características do lodo de estações de tratamento de esgoto é importante conhecer o funcionamento desde a coleta até o tratamento realizado nestas estações.

O esgoto sanitário é definido como sendo o “despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária” (NBR 9648, 1986).

Sendo que o esgoto doméstico é o resíduo líquido gerado pela utilização da água em necessidades básicas do homem, tais como higiene, necessidades fisiológicas, preparo de alimentos, podendo conter também substâncias que podem ser descartadas na rede coletora de maneira irregular.

Segundo Von Sperling (1996) os esgotos domésticos são constituídos por diversos tipos de substâncias tais como:

- a) Matéria orgânica constituída por restos de alimentos, fios de cabelo, substâncias presentes nas fezes e na urina humana, entre outros.
- b) Substâncias tensoativas ou detergentes e sabões provenientes do material utilizado na lavagem de roupas e louças, limpeza lavagem dos banheiros e outros.
- c) Sólidos grosseiros compostos por diversos materiais que por ventura são descartados na rede de esgoto, como plásticos, madeiras, papel, cacos de vidro, absorventes, preservativos e outros.
- d) Substâncias provenientes de problemas na rede coletora, como por exemplo, terra e areia.

A água de infiltração é a água presente no subsolo e que penetra na rede coletora de esgoto através das juntas da canalização, ou pelas paredes dos poços de visitas, quando a sua impermeabilização for mal feita, sendo que o nível do lençol freático, assim como as características do solo, são fatores que aumentam ou diminuem a quantidade de infiltração. Essa infiltração é indesejável ao sistema separador e o mesmo prejudica o desempenho da rede coletora de esgoto e do tratamento.

A contribuição pluvial parasitária é o deflúvio de água superficial que é absorvida pela rede coletora. Podendo ocorrer por falhas na vedação das tampas

dos poços de visitas. Acrescenta-se a esta parcela as ligações clandestinas de águas pluviais.

Com relação aos despejos de origem industrial, Cavalcanti (2004) esclarece que o termo aplicado é efluente líquido e suas características variam em função das diferentes matérias-primas e produtos utilizados em cada processo industrial. O autor esclarece ainda que os efluentes devem respeitar os padrões estabelecidos na legislação federal e estadual antes de serem descartados nos corpos receptores.

## **2.1 Estações de Tratamento de Esgoto - ETE**

Conforme Von Sperling (1996) o esgoto sanitário é composto normalmente por 99% de água e apenas cerca de 1% de material sólido. Desta forma, pode-se dizer que o propósito das Estações de Tratamento de Esgoto é retirar a maior parte desse material sólido da água, permitindo devolvê-la com melhor qualidade ao corpo receptor.

Existem vários métodos de tratamento de esgotos sendo que a seleção do método depende da vazão a ser tratada ou da população a ser atendida, da área disponível para tratamento, dos custos de investimentos, entre outros. Porém independente do sistema de tratamento a ser escolhido ele terá baixa eficiência se for mal construído e operado.

Segundo Imhoff e Klaus (1985, p. 2) “ao se decidir pelo processo a ser empregado, devem ser levado em conta, em primeiro lugar, as condições do curso de água receptor [...]”.

Nuvolari (2003) descreve o sistema convencional de tratamento de esgoto dividindo-o nas seguintes unidades:

### **a) Grades**

As grades destinam-se a retirada dos sólidos grosseiros, tais como: plásticos, absorventes, preservativos, pequenos animais mortos, fraldas descartáveis entre outros. As grades são colocadas na entrada do esgoto nas

estações de tratamento, podendo ser em número de uma, duas ou três, dependendo do porte da estação de tratamento de esgoto.

#### b) Caixa de areia

A finalidade da caixa de areia como o nome mesmo diz é a retirada da areia. É importante que se faça uma caixa de areia antes de uma estação elevatória, pois a ação abrasiva da areia pode danificar as bombas de recalque.

A retenção deste material na caixa de areia é através da sedimentação, obtida com a redução da velocidade horizontal de passagem do esgoto, mantida entre 0,15 e 0,30 m/s. Neste processo deseja-se que se retenham apenas partículas com diâmetro relativamente maiores que 0,2 mm, não se desejando a retenção de matéria orgânica.

#### c) Peneiras

As peneiras tem a função da retenção de sólidos muito finos ou fibrosos. Até a década de 70 as peneiras eram raramente utilizadas em estações de tratamento de esgoto sanitário, devido a sua dificuldade de limpeza. Porém com a evolução dos mecanismos de auto-limpeza e mecanização este equipamento tem sido utilizado com bastante frequência tanto em estações de tratamento de esgotos como em estações de tratamento de efluentes industriais.

#### d) Decantadores primários

A função dos decantadores primários é a de remoção dos sólidos em suspensão, com objetivo de promover a clarificação do esgoto. Deste processo de tratamento forma-se no fundo do decantador o chamado lodo primário, constituído principalmente por matéria orgânica ainda não estabilizada, e por isto deve ainda passar por um processo de digestão.

Quando o lodo é putrescível, torna-se importante não deixá-lo permanecer no decantador durante um tempo suficiente para aparecerem fenômenos de fermentação, pois nesses casos os gases formados arrastam os sólidos para a superfície e vão ser carregados para fora, de mistura ao efluente. (IMHOFF, 1985, P. 52).

## e) Tratamento secundário

Mesmo após o tratamento primário, o esgoto ainda necessita de um tratamento secundário, com o objetivo de remover os sólidos dissolvidos e reduzir a fração solúvel de matéria orgânica.

Sperling (1996) ainda explica que a essência do tratamento secundário é a inclusão de uma etapa biológica. Enquanto nos tratamentos preliminar e primário predominam mecanismos de ordem física, no tratamento secundário a remoção da matéria orgânica é efetuada por reações bioquímicas, realizadas por microrganismos.

Assim, nesta etapa do tratamento, se criam condições para que se mantenha uma quantidade controlada de microrganismos para que esses possam consumir a matéria orgânica o mais rápido possível, realizando-se um processo de recirculação do lodo secundário. Os decantadores secundários são responsáveis pela separação dos sólidos em suspensão presentes no tanque de aeração, permitindo a saída de um efluente clarificado e o aumento do teor de sólidos em suspensão no fundo do decantador. Essa unidade exerce um papel fundamental no processo de lodos ativados, pois o material sólido que advém do tanque de aeração é nela retido, originando o chamado, lodo ativado (Nuvolari, 2007).

Contudo, em muitos locais ainda são utilizados os tratamentos individuais, como fossas sépticas, filtros anaeróbios, sumidouros valas de infiltração entre outros dispositivos. Entre as unidades de tratamento biológico coletivo, os mais conhecidos são os lodos ativados, lagoas de estabilização, filtros biológicos, reator anaeróbio de fluxo ascendente, entre outros.

Existem vários métodos de tratamentos coletivos de esgoto, cada um com suas vantagens e desvantagens. O estudo de cada caso é que irá determinar qual será a melhor opção.

### **2.1.1 Lodos ativados**

Os sistemas de lodos ativados geralmente são os mais utilizados nas grandes estações de tratamento de esgotos dos grandes centros urbanos. Este sistema de tratamento pode apresentar inúmeras variações. O objetivo principal das diversas fases deste tratamento consiste, basicamente na remoção dos sólidos

grosseiros, areia, sedimentáveis e não-sedimentáveis. Segundo Imhoff (1985, p. 89) “de certa maneira, o processo de tratamento por lodos ativados pode ser assimilado a uma autodepuração artificialmente acelerada”.

Segundo Von Sperling (2002) “o sistema de lodo ativado inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando em uma operação mais sofisticada e em maior consumo de energia elétrica”.

A etapa biológica do sistema de lodos ativados é dividida nas seguintes partes: tanque de aeração (reator), tanque de decantação (decantador secundário) e recirculação de lodo (Von Sperling, 2002).

O volume do tanque de aeração do sistema de lodo ativado é bem reduzido, em virtude da recirculação do lodo, fazendo com que o tempo de detenção do líquido seja relativamente baixo. No entanto a parte sólida permanece no sistema por tempo superior a da parte líquida, sendo este tempo de retenção chamada de “idade do lodo”.

O sistema de lodo ativado, segundo Von Sperling (2002), pode ser avaliado: a) Quando a idade do lodo; b) quanto à alimentação; e c) Quanto ao afluente à etapa biológica do sistema de lodos ativados.

No primeiro caso, ou seja, quanto à idade do lodo, o sistema pode operar como: lodo ativado convencional ou por aeração prolongada. Quanto ao fluxo que alimenta o reator, o lodo ativado pode ser considerado de fluxo contínuo ou de fluxo intermitente (batelada). Por último, quanto às características do afluente ao reator biológico, o mesmo pode ser: esgoto bruto ou sem tratamento; efluente do tratamento primário; efluente do reator anaeróbio ou efluente de outro processo de tratamento.

### **2.1.2 Lagoas de estabilização**

As lagoas de estabilização tem a função de acelerar o processo natural de autodepuração da matéria orgânica. Sendo esse sistema considerado o processo mais simples de tratamento de esgotos podendo ser realizado na presença do oxigênio ou não.

Dentre os principais tipos de lagoas de estabilização destacam-se as facultativas, aeradas, anaeróbias e de maturação. Sendo que as lagoas podem ser dispostas em serie, aumentando assim capacidade de tratamento do sistema.

### **2.1.3 Lagoas facultativas**

Nesse tipo de lagoa ocorre o processo natural, onde as bactérias aeróbias se encarregam da degradação da matéria orgânica. Porém nesse tipo de tratamento não ocorre somente o processo aeróbio, pois no fundo da lagoa existe muito pouco ou quase nenhum oxigênio, sendo realizado neste local a uma lenta decomposição causada pelas bactérias anaeróbias.

Segundo Von Sperling (2002), neste processo o esgoto entra em uma extremidade da lagoa e sai na outra, sendo que nesse percurso, que leva vários dias, uma serie de mecanismos contribui para a purificação do esgoto. Sendo que esses mecanismos ocorrem em três zonas distintas na lagoa, denominadas: zona anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa.

Neste processo podemos destacar na zona anaeróbia a decomposição da matéria orgânica, que sedimenta, por microorganismos anaeróbios, e na parte mais superficial, na zona aeróbia a matéria orgânica é oxidada por meio da respiração aeróbia. Onde, segundo Von Sperling (2002), ocorre um perfeito equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico. As bactérias em sua respiração consomem oxigênio e produzem gás carbônico, enquanto as algas consomem gás carbônico e produzem oxigênio.

Para o dimensionamento da lagoa facultativa, como se trata de um processo natural, devem-se levar em consideração os fatores climáticos. Sendo levados em considerações os níveis de insolação, vento e temperatura. Onde a radiação solar terá influência na velocidade da fotossíntese das algas, a temperatura, tem relação com a fotossíntese, com a taxa de decomposição bacteriana, com a solubilidade e transferência de gases e com as condições da mistura, e o vento com as condições da mistura e a aeração atmosférica.

### **2.1.4 Lagoas aeradas facultativas**

As lagoas aeradas facultativas são semelhantes as lagoas facultativas convencionais, com a diferença que nas lagoas facultativas convencionais o



oxigênio é obtido pela fotossíntese das algas, enquanto que nas aeradas este é obtido principalmente pela ação de aeradores.

### **2.1.5 Lagoas anaeróbias**

“Estas lagoas são dimensionadas para receber carga orgânica tão grande que são completamente isentas de oxigênio dissolvido.” (Silva e Mara, 1979, P.69).

Segundo Campos (1999), não é usual utilizar a lagoa anaeróbia como único processo de tratamento, geralmente é associado com outras lagoas, facultativas ou de maturação, formando um sistema denominado lagoas de estabilização.

“A remoção de poluentes é obtida pela sedimentação e ação de microorganismos anaeróbios, eliminando a necessidade das algas para a produção de oxigênio no meio líquido.” (Campos, 1999, P.102). Portanto as lagoas anaeróbias podem ser projetadas com profundidades maiores que as facultativas.

A vantagem das lagoas anaeróbias é que com profundidades maiores, obtêm-se áreas superficiais menores, diminuindo os gastos com compra de terrenos. Entretanto, as desvantagens são as possíveis ocorrências de maus odores e acúmulo de materiais flutuantes.

O fator temperatura é muito importante neste processo, sendo um processo mais lento, tendo um rendimento considerável em uma temperatura entre 25 e 35°C. Segundo Silva e Mara (1979, P.69), nas temperaturas inferiores a 15°C, as lagoas de estabilização anaeróbias atuam como meros tanques de estocagem de lodos.

Também é importante mencionar que não é recomendado que a lagoa ora funcione de forma aeróbia e ora anaeróbia. Por essa razão que as lagoas anaeróbias recebem uma carga de aplicação de DBO muito mais elevadas que aquelas da lagoa facultativa.

As lagoas anaeróbias, assim como qualquer reator anaeróbio, resultam em efluentes sem oxigênio dissolvido, portanto, é importante que haja um tratamento posterior, preferencialmente um processo aeróbio. Sendo comumente, no caso das lagoas anaeróbias, utilizadas como pós-tratamento as lagoas fotossintéticas, conforme apresentado na Figura 3:

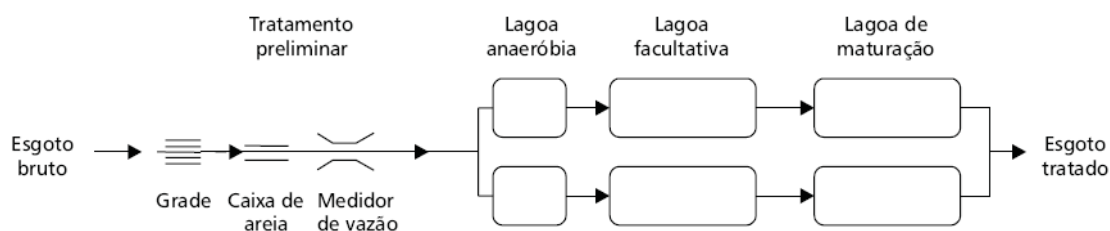


Figura 1: Esquema de sistema de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização.  
Fonte: Campos (1999)

### 2.1.6 Lagoas de maturação

As lagoas de maturação são direcionadas a remoção dos organismos patogênicos. Segundo Silva e Mara (1979, P.91), “as bactérias fecais e os vírus morrem em razoável espaço de tempo, devido ao é que para eles um meio inóspito.” Os cistos e ovos de parasitos intestinas, devido a longos tempos de detenção, sedimentam ao fundo da lagoa e morrem.

Na lagoa de maturação, onde deve-se ter um processo predominantemente aeróbio, aconselha-se profundidades semelhantes as das lagoas facultativas. Essas lagoas não apresentam uma remoção considerável da  $DBO_5$ , no entanto, a respeito da remoção de coliformes fecais estes sistemas apresentam um ótimo resultado.

### 2.1.7 Filtros biológicos

Neste processo como o nome já diz, cria-se um filtro onde o esgoto per cola no sentido vertical, passando por uma massa biológica onde a matéria orgânica fica retida e vai sendo decomposta. Os filtros podem ser de baixa taxa, de taxa intermediária ou de alta taxa, sendo o ultimo o mais utilizado, pois a proliferação de moscas comum nos dois anteriores, este fica reduzido.

### 2.1.8 Método da rampa

Após um pré-tratamento o esgoto é lançado em uma superfície de solo com gramíneas plantadas e inclinação entre 2 e 8% dependendo das características

do solo. Parte da água evapora, parte é absorvida pela vegetação e outra parte infiltra no solo, o restante que passar será coletado por canaletas no pé da rampa.

Recomenda-se que neste processo o esgoto seja lançado continuamente durante quatro dias no solo, e sendo interrompido por dois dias para que as larvas de insetos morram, evitando-se assim a procriação de insetos.

### **2.1.9 Reator anaeróbio de fluxo ascendente**

O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo recebe, no Brasil, varias denominações diferentes, como por exemplo: RAFA, DAFA, RAFAALL, RALF etc. Entretanto a denominação mais conhecida no Brasil, e no mundo é UASB (upflow anaerobic sludge blanket).

De acordo com Campos (1999), o reator anaeróbio de manta de lodo (UASB), desempenha simultaneamente varias funções que, em outros processos seja necessário a utilização de tanques separados.

No tanque do UASB ocorre a sedimentação dos sólidos suspensos no esgoto, que, pela sua densidade e devido ao fluxo hidráulico ascendente, ficam retidos no manto de lodo biológico espesso; da mesma forma, a sedimentação do lodo biológico eventualmente ascendente, mas para o qual é essencial a instalação também de um separador de sólidos na parte superior do tanque (Campos, 1999, P. 78).

No reator UASB, além de um separador trifásico (sólido, líquido e gás), é de fundamental importância que haja uma adequada distribuição do efluente no interior do reator, para evitar o surgimento de zonas mortas.

O processo de tratamento do reator UASB procede-se da seguinte maneira; após o tempo necessário para a partida do sistema, forma-se no fundo do reator uma camada de lodo denominada de leito de lodo, logo acima encontra-se uma zona de lodo mais dispersa, denominada manta de lodo, onde os sólidos apresentam sedimentação mais lenta. Este sistema é constantemente misturado, com o movimento ascendente das bolhas de biogás e do efluente que entra no reator.

O movimento ascendente do biogás e do efluente além de misturar o sistema, também carrega parte do lodo, que precisa sedimentar e retornar para o

fundo do reator. Para que este processo ocorra é necessária a instalação de um separador trifásico (sólido, líquido e gás).

## 2.2 Lodo gerado na ETE

O lodo é o material resultante do tratamento do esgoto sanitário. A quantidade e as características do lodo vão depender do tipo de tratamento e do efluente coletado e tratado. Segundo Campos (1999), o lodo pode ser classificado como lodo primário ou lodo secundário. Um esquema do sistema convencional de tratamento de esgoto pode ser visto na figura 2, assim como a produção do lodo que pode ser visto em cada estágio do tratamento.

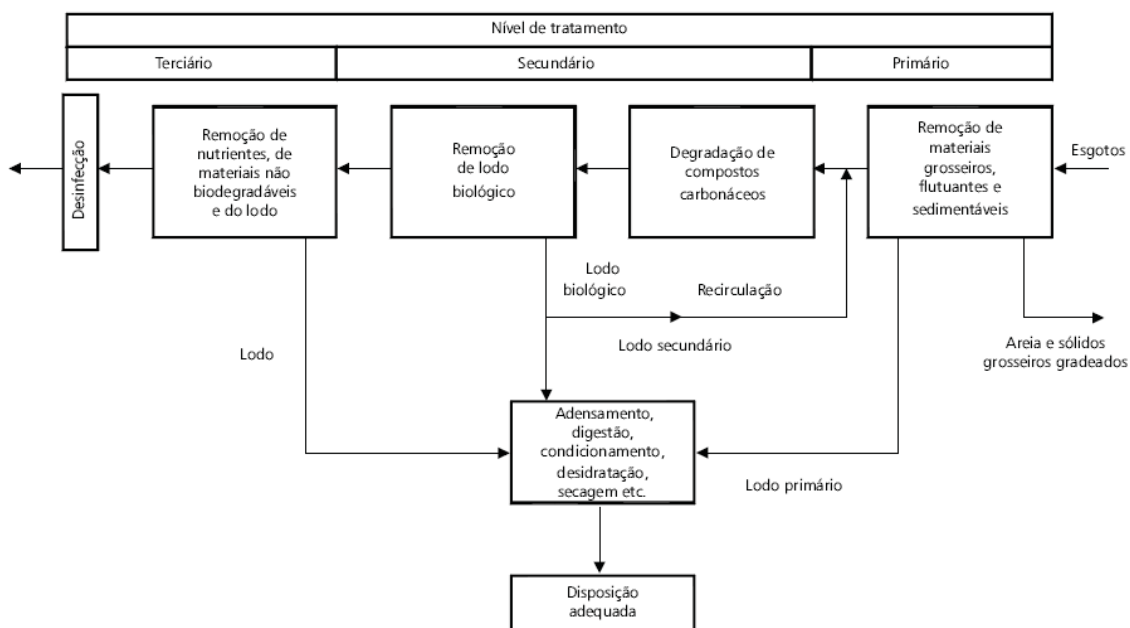


Figura 2: Conceito de sistema convencional de tratamento de esgoto.  
Fonte: Campos (1999)

Segundo Andreoli (2006) as características e o volume de lodo gerado na ETE dependem do tipo de tratamento adotado: aeróbio, anaeróbio ou facultativo e das características do esgoto coletado, os esgotos sanitários domésticos, por exemplo, vão possuir principalmente despejos domésticos, vindos dos banheiros residenciais, cozinhas etc.

Dependendo das características do lodo é que vai se determinar a melhor maneira de descarte, ou se for o caso, de reaproveitamento.

Sólidos grosseiros, areia, óleos, graxas e outros materiais flutuantes são alguns dos produtos que podem ser encontrados na composição do lodo de estações de tratamento de esgoto. Também podendo ser encontrada elevada concentração de metais pesados e organismos patogênicos.

É importante que se tenha um controle do tempo que o lodo pode permanecer no sistema de tratamento do esgoto sem que este venha a prejudicar o processo. A figura 3 mostra a deposição de lodo em lagoas de estabilização, devendo este ser retirado quando colocar em risco o funcionamento adequado do processo.

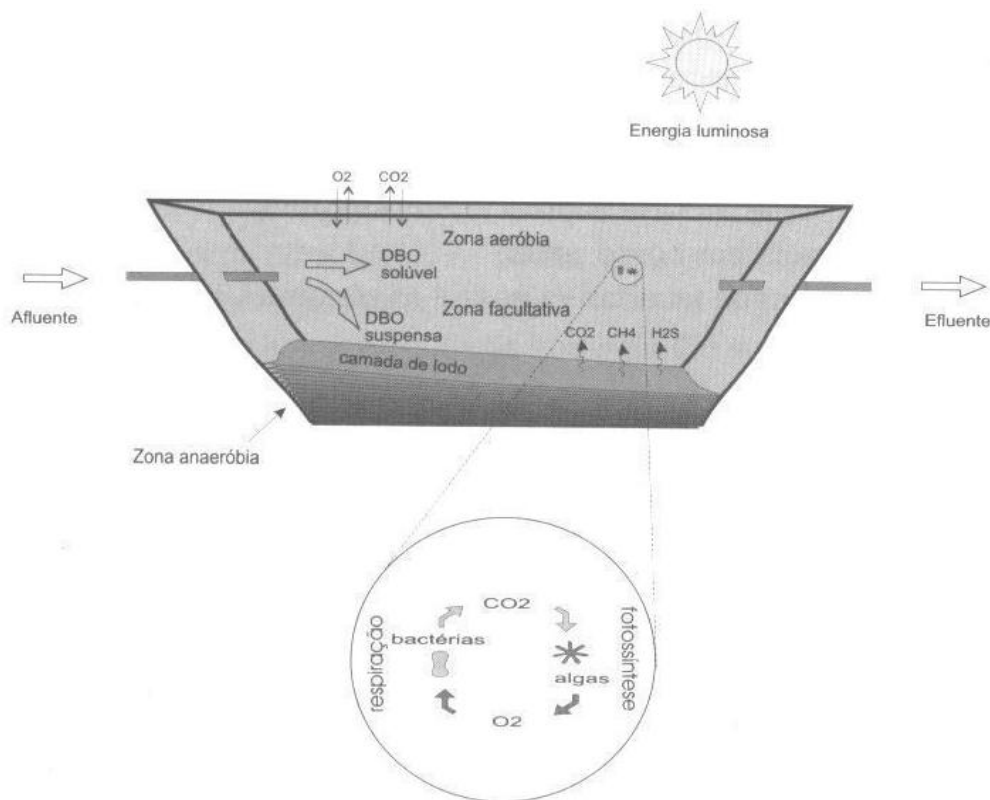


Figura 3: Esquema simplificado do funcionamento de uma lagoa facultativa.  
Fonte: Von Sperling (2002).

Na figura 4 observa-se a produção do lodo em Reatores UASB, sendo que nesse caso, segundo Campos (1999), o lodo é parte importante do processo de

tratamento do esgoto, tendo que ser retirada parte deste de tempos em tempos para que o excesso do leito de lodo não se torne prejudicial ao filtro.

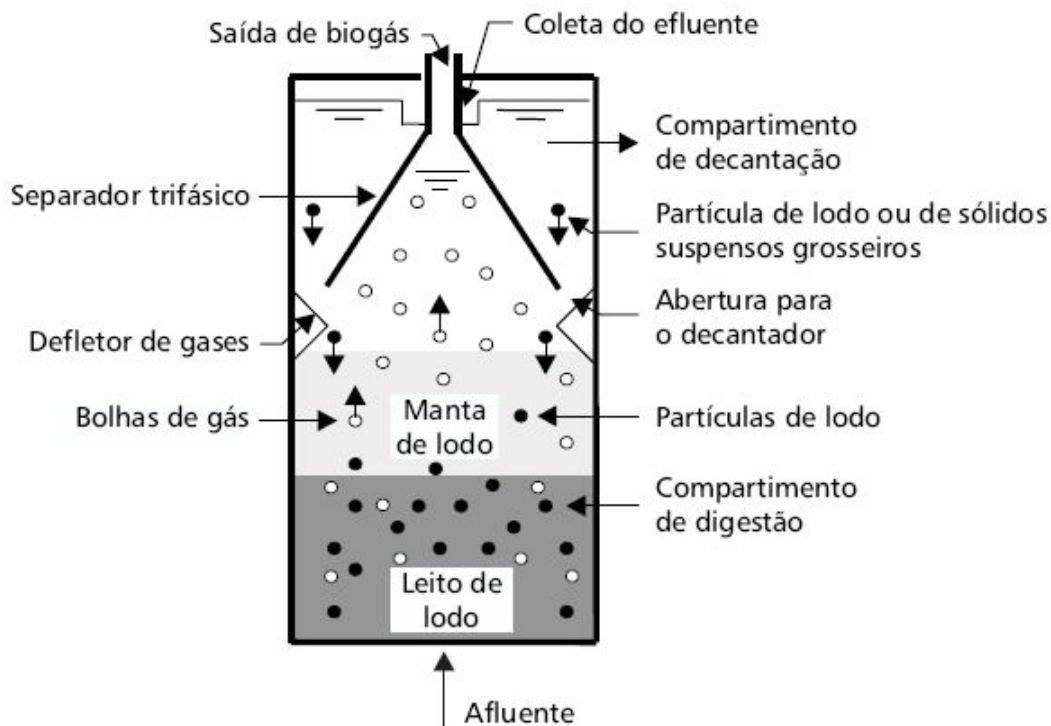


Figura 4: Representação esquemática de um reator UASB com formação de manto de lodo.  
Fonte: Campos (1999)

Na figura 5 têm-se uma imagem de uma lagoa de estabilização que foi seca para a retirada do lodo acumulado no fundo. Como pode ser observado esse lodo apresenta ainda grande volume de água, que precisa ser retirada para que o volume total do lodo, parte sólida mais parte líquida, seja menor, diminuindo os gastos com transporte e destinação final.



Figura 5: Secagem da lagoa.  
Fonte: SAMAE de Orleans

O lodo quando retirado do sistema de tratamento está com grande quantidade de água na mistura.

À medida que o teor de sólidos da suspensão inicial aumenta, o lodo se torna mais pastoso e, abaixo de uma porcentagem de 75%, perde as características de fluido passando a ser uma torta semi-sólida. Ao perder mais água a torta enrijece e com a umidade de 65% é um sólido duro, que não deixa transparecer que ainda quase 2/3 de sua massa seja água. Secando mais ainda, o lodo se quebra em grânulos quando a umidade alcança em torno de 40 % e eventualmente se desintegra, formando um pó fino para a umidade menor que 15%. (ANDREOLI, 2006, P.28).

Na figura 6 observa-se o lodo logo após ter sido retirado de um reator UASB, como pode ser observado ele possui ainda grande quantidade de líquido que precisa ser retirado para que o lodo apresente um volume adequado para o seu manuseio e transporte.



Figura 6: Leito de secagem de lodo.  
Fonte: Do Autor

Na figura 7 observa-se a aparência do lodo em um leito de secagem, aparentemente seco, mas ainda com grande quantidade de água.





Figura 7: Leito de secagem de lodo.  
Fonte: Do Autor

### **3 TRATAMENTO DO LODO**

Poluição química e biológica do meio ambiente, principalmente a preocupação com a presença de metais pesados e organismos patogênicos, faz com que se tenha a necessidade de um tratamento para o lodo retirado das estações de tratamento de esgoto.

Segundo Andreoli (2006), o tratamento deste material consiste basicamente no condicionamento e no desaguamento do lodo que pode ser por processos mecânicos ou por processos naturais.

Para a escolha do tipo de tratamento que será utilizado, diversos fatores precisam ser observados, como por exemplo, o tipo do lodo, as características finais que se deseja obter, o volume que será produzido na estação, o custo da instalação entre outro.

#### **3.1 Adensamento**

O adensamento do lodo consiste na redução do volume de água do lodo por processos físicos. O principal objetivo é a redução do volume total para que seja mais fácil seu manuseio e transporte.

“O dimensionamento da unidade de adensamento deve prever no lodo efluente uma recuperação máxima de 90% dos sólidos em suspensão do lodo afluente” (NBR 12209, 1992).

Ainda segundo a Norma NBR 12209 (1992) o efluente líquido da unidade de adensamento deve retornar à entrada da ETE.

#### **3.2 Condicionamento**

Para Andreoli (2006), o condicionamento consiste em melhorar as características para separação da fase sólida e líquida.

Muitas vezes a separação da fase sólida da fase líquida é um processo demorado, sendo necessário o seu condicionamento, que poderá ser físico ou químico.

### **3.3 Desaguamento**

O desaguamento consiste no processo de redução do volume do lodo pela redução do teor de água (Andreoli, 2006), e pode ser feito por secagem natural ou por processos mecânicos.

Os processos naturais mais comuns são os leitos de secagem e as lagoas de secagem e os processos mecânicos mais conhecidos são as centrifugas e prensas desaguadoras.

### **3.4 Estabilização**

Os objetivos são eliminar os maus odores, eliminar os organismos patogênicos diminuir o potencial de putrefação.

De acordo com Campos (1999) com o avanço no processo de biodegradação as características indesejáveis do lodo são atenuadas, até se tornarem toleráveis, ponto esse que se considera o lodo estabilizado.

A estabilização é uma parte do processo de tratamento muito importante para que se obtenha um lodo com características adequadas, principalmente se for reaproveitado de alguma forma, como por exemplo, na agricultura ou como matéria prima na construção civil.

### **3.5 Higienização**

São maneiras criadas para se eliminar as condições de desenvolvimento de microorganismos.

A higienização precisa ser feita para que o lodo possa ser manuseado de forma segura sem colocar em risco a saúde de quem for trabalhar com esse material.

### **3.6 Secagem natural**

De acordo com Campos (1999) a secagem natural do lodo é feita por processos naturais ocorridos em leitos de secagem, lagoas de secagem ou disposição no solo. Geralmente são utilizados em pequenas estações de tratamento,

pois seu processo é mais lento que em processos mecanizados.

Os leitos de secagem são muito utilizados, por terem baixo custo de instalação e serem de fácil operação. Ainda segundo Campos (1999) “leitos de secagem são unidades que têm por objetivo desidratar, por meios naturais, o lodo digerido em digestores aeróbios ou anaeróbios”. Porém também tem desvantagens, pois seu desempenho vai depender de fatores climáticos, como temperatura, umidade, evaporação e outros.

Para que se tenha um lodo com características adequadas nos processos naturais de secagem é importante que se tenha muito cuidado, pois em épocas muito chuvosas o processo pode demorar mais tempo que o recomendado.

## **4 DESTINO DO LODO**

Após o processo de tratamento realizado no lodo da estação de tratamento de esgoto é necessário que o mesmo tenha destinação adequada de forma a não gerar impacto no ambiente. Por destinação do lodo entende-se desde o descarte até o aproveitamento do mesmo de alguma forma.

Vários estudos foram realizados para se avaliar qual a destinação mais adequada para o lodo das ETEs, porém existem muitas variáveis que precisam ser observadas em cada caso.

### **4.1 Descarte do lodo**

O descarte é uma das opções para a destinação final do lodo de esgoto sanitário, porém é necessário que este material esteja em condições adequadas de desaguamento para que evite gastos excessivos com transporte e destinação final, uma vez que boa parte deste material é composta por líquido.

Também é importante que esteja em condições sanitárias adequadas, para que não provoque contaminação do solo ou da água. Uma opção utilizada para a diminuição dos riscos de contaminação é a incineração, ocasionando tanto a redução do volume quanto sua estilização, sendo descartado apenas as cinzas em aterros especiais.

#### **4.1.1 Aterro sanitário**

O aterro é uma das opções de descartes mais utilizadas pelas empresas responsáveis pelo saneamento urbano. Se o aterro for controlado de forma correta e o material for desidratado e estabilizado de forma adequada, esta opção também é válida em diversos casos. Entretanto não é isso que ocorre com todas as estações, o lodo sendo muitas vezes descartados juntamente com os resíduos sólidos urbanos.

#### **4.1.2 Disposição marítima**

De acordo com Campos (1999) a disposição de despejos nos oceanos já

é uma prática antiga, e experiências realizadas na Inglaterra demonstra que se as operações forem realizadas com cuidado a mesma não representa perigo.

O mesmo autor descreve que é essencial um controle estrito e monitoramento contínuo e que atualmente o lançamento em oceanos não é permitido.

## **4.2 Reaproveitamento**

O lodo de esgoto pode ter uma alternativa viável para o seu aproveitamento, tanto na agricultura como na construção civil ou recuperação de áreas degradadas.

### **4.2.1 Disposição agrícola**

A disposição agrícola é feita principalmente em plantações florestais, pois ainda não se tem certeza da sua contaminação em gêneros alimentícios. No exterior essa prática já é comum em diversos países.

Tem-se com isso a preocupação de que o lodo de esgoto possa contaminar os solos com metais pesados e também alterando o seu pH, afetando as comunidades microbianas e insetos.

Tendo como a seguinte hipótese científica:

O lodo de esgoto causará alterações na comunidade de organismos do solo, nos teores de metais pesados, na mineralização do C e N, na fitodisponibilidade de fósforo e nas propriedades físicas e químicas, sendo que a adição contínua de lodo de esgoto poderá causar alterações sobre os componentes do agroecossistema e contaminação do solo, da água e do ar. (BETTIOL E CAMARGO, 2006, P. 19).

Segundo a resolução nº 375 do CONAMA de 29 de agosto de 2006, referente à utilização de lodos de esgoto na agricultura as características do lodo deverão ser monitoradas de acordo com o disposto na tabela 1.

Tabela 1: Frequência de monitoramento

Quantidade de lodo de esgoto ou produto derivado destinado para aplicação na agricultura em toneladas/ano (base seca)	Frequência de monitoramento
Até 60	Anual, preferencialmente anterior ao período de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado
De 60 a 240	Semestral, preferencialmente anterior aos períodos de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado
De 240 a 1.500	Trimestral
De 1.500 a 15.000	Bimestral
Acima de 15.000	Mensal

Fonte: CONAMA (2006)

O material coletado e analisado, segundo a resolução nº 375 do CONAMA, não deverá ultrapassar os limites estabelecidos pela tabela 2, sobre substâncias inorgânicas.

Tabela 2: Lodos de esgoto ou produtos derivados – 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: CONAMA (2006)

Referente aos agentes patogênicos a resolução do CONAMA também faz exigências para que se possa utilizar o lodo de estações de esgoto na agricultura, se essas as apresentadas na tabela 3, sobre os agentes patogênicos.

Tabela 3: Classes de lodo de esgoto e produtos derivados – agentes patogênicos.

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes <math>10^3</math> NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos <math>0,25</math> ovo/g de ST Salmonella ausência em 10 g de ST Vírus <math>0,25</math> UFP ou UFF/ g de ST
B	Coliformes Termotolerantes <math>10^6</math> NMP/g de ST Ovos viáveis de helmintos <math>10</math> ovo/g de ST

Fonte: CONAMA (2006)

ST: Sólidos Totais

NMP: Número Mais Provável

UFF: Unidade Formadora de Foco

UFP: Unidade Formadora de Placa

Existe também um limite referente à carga total acumulada teórica no solo que é apresentado na tabela 4.

Tabela 4: Cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em solos agrícolas.

Substâncias Inorgânicas	Carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado (kg/ha)
Arsênio	30
Bário	265
Cádmio	4
Chumbo	41
Cobre	137
Cromio	154
Mercúrio	1,2
Molibdênio	13
Níquel	74
Selênio	13
Zinco	445

Fonte: CONAMA (2006)

Segundo a resolução do CONAMA 375 deverá se ter cuidado com a presença de substâncias potencialmente tóxicas a serem determinadas em lodo de esgoto. A tabela 5 aponta a concentração permitida de substâncias orgânicas em solos agrícolas.



Tabela 5: Concentração permitida de substâncias orgânicas em solos agrícolas.

Substância	Concentração permitida no solo (mg/kg)
<b>Benzenos Clorados</b>	
1,2-Diclorobenzeno	0,73
1,3-Diclorobenzeno	0,39
1,4-Diclorobenzeno	0,39
1,2,3-Triclorobenzeno	0,01
1,2,4-Triclorobenzeno	0,011
1,2,5-Triclorobenzeno	0,5
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	0,16
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	0,01
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	0,0065
<b>Ésteres de ftalatos</b>	
Di-n-butil ftalato	0,7
Di (2-etilhexil)ftalato (DEHP)	1
Dimetil ftalato	0,25
<b>Fenóis não clorados</b>	
Cresóis	0,16
<b>Fenóis clorados</b>	
2,4-Diclorofenol	0,031
2,4,6-Triclorofenol	2,4
Pentaclorofenol	0,16
<b>Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos</b>	
Benzo(a)antraceno	0,025
Benzo(a)pireno	0,052
Benzo(k)fluoranteno	0,38
Indeno(123-c,d)pireno	0,031
Naftaleno	0,12
Fenantreno	3,3
Lindano	0,001

Fonte: CONAMA (2006)

#### 4.2.1 Agregado na construção

Uma das alternativas para se reduzir a poluição do meio ambiente é transformar resíduos em matéria prima. Além de diminuir a utilização de recursos naturais. Segundo Andreoli (2006), existem vários estudos já realizados para que se possa utilizar o lodo de estações de tratamento de esgoto como agregado na construção civil. Podendo ser utilizados tanto o próprio material do lodo como matéria prima até as cinzas provenientes da sua incineração.

“O aproveitamento de resíduos é uma pratica habitual nos países industrializados” (Andreoli, 2006).

O mesmo autor comenta que já foram feitos testes com a utilização das cinzas em concretos asfálticos onde se obteve desempenho satisfatório.

Para a cerâmica vermelha, por exemplo, é utilizada a argila como matéria prima, sendo esta retirada do meio ambiente.

Já há testes segundo Andreoli (2006), que comprovaram que podem ser incorporados lodos de ETEs juntamente com a argila como matéria prima, diminuindo assim a extração de argilas no meio ambiente. Entretanto os testes apontaram que houve uma redução da resistência do produto final.

Contudo, apesar da diminuição da resistência, os blocos cerâmicos ainda atenderam as normas mínimas de resistência da Associação brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Portanto é importante se buscar novas fontes de matéria prima com a utilização de lodos de esgoto, entretanto o material não deverá apresentar características que sejam inferiores às mínimas exigidas pela Associação brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

#### **4.2.1 Recuperação de áreas degradadas**

Assim como na disposição agrícola o lodo de estação de tratamento de esgoto poderá ser utilizado na recuperação de áreas degradadas. Uma vez que o solo de algumas destas áreas se encontra com considerável deficiência de nutrientes.

Existem muitas áreas que precisam ser recuperadas e estudos a este respeito são sempre bem vindos. Porém, segundo Andreoli (2006) é preciso ter muito cuidado para que este lodo não contenha metais pesados que possam vir a prejudicar ainda mais as condições das áreas a serem recuperadas.

## 5 CONCLUSÃO

A disposição final do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto deve ser realizada de forma que não prejudique o meio ambiente e a saúde pública. Para tanto, existe a necessidade de se realizar estudos e pesquisas que apontem soluções seguras e que diversifiquem as possibilidades de destinação e de uso.

Como primeiro passo a ser dado na busca de novas soluções, é a completa caracterização do lodo, pois de nada adianta se ter uma destinação final correta se o lodo não apresentar características adequadas para tanto.

Os métodos de descarte em muitas estações de tratamento ainda são duvidosos, contudo, tendo estudos adequados poderá se obter uma destinação com viabilidade técnica e econômica e que apresente segurança para a saúde pública e o meio ambiente.

Atualmente, a disposição em aterros sanitários é a prática considerada mais recomendada pelos órgãos de controle ambiental. Contudo, há de considerar que estes necessitam de extensa área para sua instalação, o que pode inviabilizar economicamente esta atividade no futuro.

Pode se observar que o uso agrícola é uma opção que apresenta viabilidade econômica, já sendo utilizado em diversos países e apresentando bons resultados. A utilização na recuperação de áreas degradadas também é muito interessante, pois em muitas regiões o solo já não tem nutrientes para que a vegetação cresça. Em ambos os casos, deve se tomar cuidado para não provocar supersaturação de nitrogênio e fósforo no solo. Outro fator importante, a ser observado nestes casos é a possibilidade de contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Outra opção para utilização deste material é como carga na matéria-prima de construção ou de materiais cerâmicos. Contudo vale lembrar que as normas existentes deverão ser respeitadas.

As medidas de saneamento são importantes, como a coleta e o tratamento dos esgotos sanitários. Porém não devemos esquecer que o resíduo gerado por este tratamento também merece um cuidado especial, para que não possa vir a contaminar o meio ambiente, colocando em risco a saúde e o bem estar da sociedade.

E buscando a melhor alternativa de descarte, mesmo não conseguindo resolver totalmente este problema ambiental que se procure a melhor opção para o meio ambiente que cada vez mais está dando sinais de sua degradação e necessita com urgência de socorro.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9648**: Estudo de Concepção de sistemas de esgoto sanitário: Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1986.

ANDREOLI, Cleverson (Coordenador); Alternativas de Uso de Resíduos do Saneamento. Rio de Janeiro, ABES, 2006. 417 p.

BETTIO, Wagner e CAMARGO, Otávio; **Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura**. São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p.

BRAILE, P.M., CAVALCANTI, J.E.W. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo : CETESB, 1979. p. 764.

CAMPOS, José Roberto; **Tratamento de esgoto sanitário por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1.999.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 375, de 29 de Agosto de 2006**. CONAMA, 2006.

GONÇALVES, Ricardo Franci; Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Desinfecção de efluentes sanitários**. São Carlos, SP: RiMA, 2003. 422 p.

IMHOFF, Karl e Klaus R.. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Edgard Blücher, 1985.

NUVOLARI, Ariovaldo (Coord.). **Esgoto sanitário**, coleta transporte tratamento e reuso agrícola. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 520 p.

SILVA, Salomão Anselmo; I. Mara David Ducan. **Tratamentos biológicos de águas residuárias : lagoas de estabilização**. Rio de Janeiro: ABES, 1979. 140 p.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: Instituto de Filosofia e Teologia de Goiás, 2002. 196 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias ; v. 3)