

**UNIVERSIDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS**  
**INSTITUTO DE ESTUDOS TECNOLÓGICOS**

**Otávio Rodrigues Fonseca**

**TRATAMENTO DE EFLUENTES**

M 11  
2006  
MEIO AMBIENTE

Juiz de Fora - MG  
Junho de 2006

Otávio Rodrigues Fonseca

TRATAMENTO DE EFLUENTES

Monografia apresentada ao Instituto de Estudos Tecnológicos da Universidade Presidente Antônio Carlos, como requisito parcial à obtenção do título de “Tecnólogo em Meio Ambiente”.

Orientador: Professor Alexandre Lioi Nascentes

Biblioteca



MA00255

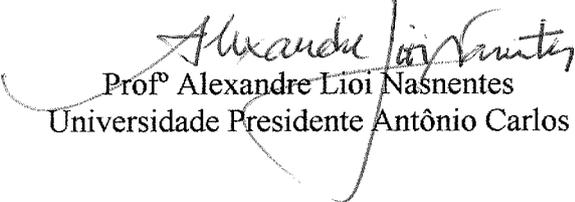
Alto dos Passos

Juiz de Fora - MG  
Junho de 2006

Otávio Rodrigues Fonseca

**TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Monografia apresentada ao Instituto de Estudos Tecnológicos da Universidade Presidente Antônio Carlos, como requisito parcial à obtenção do título de “Tecnólogo em Meio Ambiente” e aprovado pelo seguinte professor:

  
Profº Alexandre Lioi Nascentes  
Universidade Presidente Antônio Carlos

Juiz de Fora - MG  
28/06/2006

Dedico este trabalho à minha família, aos  
meus amigos e aos professores.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade de concluir um Curso de Graduação, aos meus familiares pelo carinho, aos Professores e amigos pelo apoio e incentivo.

Na natureza nada se perde, nada se cria, tudo  
se transforma.....

LAVOSIER

## RESUMO

O Trabalho a seguir foi desenvolvido através de conhecimentos adquiridos durante o Curso de Graduação em Tecnologia do Meio Ambiente e consulta bibliográfica e tem por objetivos descrever as principais características dos efluentes líquidos, suas formas de tratamento e equipamentos utilizados.

Palavras-chave : Meio ambiente, efluentes líquidos ,esgotos, biológico.

## FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Planta de Roma durante a idade imperial com a Cloaca Massima em evidência----   | 12 |
| Figura 2: Geração de resíduos líquidos industriais-----   | 14 |
| Figura 3: Classificação da Matéria Orgânica-----  | 15 |
| Figura 4 : Lagoas de estabilização de esgoto-----   | 21 |
| Figura 5 : Lagoas de estabilização de esgoto-----   | 21 |
| Figura 6: Filtro biológico-----   | 22 |
| Figura 7: Aerohomogeneizadores de alta eficiência, para injeção dinâmica de ar ou oxigênio puro, no tratamento de efluentes-----          | 23 |
| Figura 8: Tanque de aeração utilizando Aerohomogeneizadores-----  | 23 |
| Figura 9: Aerador flutuante-----  | 24 |
| Figura 10: Estação de tratamento de efluentes utilizando o sistema de lodos ativados-----   | 24 |
| Figura 11: Estação de tratamento de efluentes utilizando o sistema de lodos ativados-----   | 24 |
| Figura 12: Difusor de ar-----   | 25 |
| Figura 13: Difusores de ar no fundo do tanque-----  | 25 |
| Figura 14: Tanque séptico e filtro anaeróbico em alvenaria-----   | 25 |
| Figura 15: Tanque séptico e filtro anaeróbico em fibra de vidro-----  | 25 |
| Figura 16: Esquema de tratamento do esgoto sanitário da residência até o corpo receptor através de fossa séptica e filtro anaeróbico----- | 26 |
| Figura 17: Fossa séptica ou filtro anaeróbico em fibra de vidro-----  | 26 |
| Figura 18: Reator anaeróbico, tratamento de efluentes de tomates e vegetais Unilever/Patos de Minas-MG-----                               | 26 |
| Figura 19: Biodigestor-----   | 28 |
| Figura 20: Leito de secagem de lodo-----  | 30 |
| Figura 21: Leito de secagem de lodo-----  | 30 |
| Figura 22: Filtro prensa-----   | 30 |

## TABELAS

Tabela 1: Características de alguns despejos industriais-----16

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> -----                                    | <b>10</b> |
| 1.1. Tratamento histórico dado às águas residuárias-----      | 11        |
| <b>2. CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS</b> -----         | <b>13</b> |
| 2.1. Esgoto Sanitário-----                                    | 13        |
| 2.2. Efluentes líquidos Industriais – Generalidades-----      | 13        |
| 2.3. Demanda bioquímica de Oxigênio – DBO-----                | 15        |
| 2.4. Demanda química de Oxigênio – DQO-----                   | 17        |
| 2.5. Autodepuração-----                                       | 17        |
| <b>3. TRATAMENTO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS</b> -----             | <b>18</b> |
| <b>4. SISTEMAS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES</b> ----- | <b>20</b> |
| 4.1. Lagoas de Estabilização-----                             | 21        |
| 4.2. Filtros Biológicos-----                                  | 21        |
| 4.3. Biofiltro aerado submerso-----                           | 22        |
| 4.4. Tratamento com oxigênio puro-----                        | 22        |
| 4.5. Lodos Ativados-----                                      | 23        |
| 4.6. Ar difuso-----   | 24        |
| 4.7. Filtro Anaeróbico-----                                   | 25        |
| 4.8. Reator Anaeróbico-----                                   | 26        |
| 4.9. Biodigestores-----                                       | 27        |
| 4.10. Disposição no Solo-----                                 | 28        |
| 4.11. Tratamento com biotecnologia-----                       | 29        |
| 4.12. Sub-Produto dos sistemas de tratamento-----             | 29        |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> -----                          | <b>31</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS</b> -----                                   | <b>33</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A água é utilizada de diversas maneiras no dia-a-dia, para tomar banho, lavar louça, na descarga do vaso sanitário. Depois de eliminada, ela passa a ser chamada de esgoto. A origem do esgoto pode ser, além de doméstica, pluvial (água das chuvas) e industrial (água utilizada nos processos industriais). Se não receber tratamento adequado, o esgoto pode causar enormes prejuízos à saúde pública por meio de transmissão de doenças. Seja pelo contato direto ou através de ratos, baratas e moscas. Ele pode ainda poluir rios e fontes, afetando os recursos hídricos e a vida vegetal e animal. Para evitar esses problemas, as autoridades sanitárias instituíram padrões de qualidade de efluentes.

O esgoto não tratado além de prejudicar o meio ambiente, prejudica também a saúde das pessoas. Os agentes patogênicos causam muitas doenças. A solução é o tratamento do esgoto, para somente então devolvê-lo aos cursos d'água.

Os recursos hídricos que correm em áreas urbanas sofrem ações poluidoras variadas, que afetam os sistemas de abastecimento de água e de drenagem pluvial. O processo de urbanização exige movimentação de terra – aterros e desaterros – que freqüentemente provocam assoreamento nos fundos dos vales, em lagoas e represas, aumentando o risco de ocorrência de inundações e ainda problemas de drenagem urbana. Em muitas cidades, os fundos de vales foram urbanizados com a construção de avenidas sanitárias, sem que fosse considerado o regime natural de cheias, ou mesmo, que se buscasse uma reintegração e valorização do curso d'água como recurso hídrico para a comunidade local. Por outro lado, nos período de chuvas críticas aumenta a ocorrência de acidentes, como os deslizamentos de encostas em decorrência do índice elevado de impermeabilização do solo e da ocupação inadequada de terrenos.

Esta situação tem forçado a maioria dos países a construir plantas de Tratamento de Efluentes para controlar a poluição gerada pelos esgotos municipais e efluentes industriais.

É surpreendente que alguns países ricos despejem esgoto não tratado em cursos d'água, causando poluição e doenças, além de tornar a água de torneira não-potável.

O esgoto pode ser transportado pelos tubulação diretamente aos rios ou mares ou levado às estações de tratamento, e depois de tratado, devolvido aos cursos d'água. A água pluvial pode ser drenada em um sistema próprio de coleta ou misturar-se ao sistema de esgoto.

### 1.1. Tratamento histórico dado às águas residuárias

A relação do Saneamento e Meio Ambiente - em especial as ações ligadas ao Esgotamento Sanitário - está muito voltada às questões de saúde pública, principalmente a proliferação de doenças de veiculação hídrica, uma vez que os corpos receptores dos esgotos domésticos e efluentes industriais são os corpos d'água.

A Cloaca Máxima (em Latim: Cloaca Massima) da Roma Antiga é uma das mais antigas redes de esgotos.

Foi construída nos finais do século VI a.C. por volta dos governos dos últimos reis de Roma, Tarquínio Prisco ou Tarquínio, o Soberbo — usufruindo da experiência desenvolvida pela engenharia etrusca —, com a finalidade de drenar as águas residuais e o lixo de uma das populosas cidades do mundo, Roma, para o rio Tibre, que atravessa a cidade, em direção ao Mar Tirreno, a alguns quilómetros a Oeste.

Ainda que Tito Lívio a descreva como escavada no subsolo da cidade, escrevendo no entanto muito depois da sua construção, outras fontes (e pelo seu percurso) indicam que o sistema original se tratasse de um canal a céu aberto que recolhia as águas dos cursos naturais que desciam das colinas, drenando também a planície do Fórum Romano; este canal, por vezes escavado abaixo do nível do solo, seria progressivamente coberto devido às exigências do espaço do centro citadino.

A Cloaca Massima foi mantida em bom estado durante toda a idade imperial. Há notícia, por exemplo, de uma inspeção e trabalhos de manutenção sob a alçada de Agripa, a 33 a.C.. Os traços arqueológicos revelam intervenções em épocas distintas, com diversos materiais e técnicas de construção. O seu funcionamento prosseguiu durante bastante tempo após a queda do Império Romano. ([http://pt.wikipedia.org/wiki/Cloaca\\_Massima](http://pt.wikipedia.org/wiki/Cloaca_Massima))

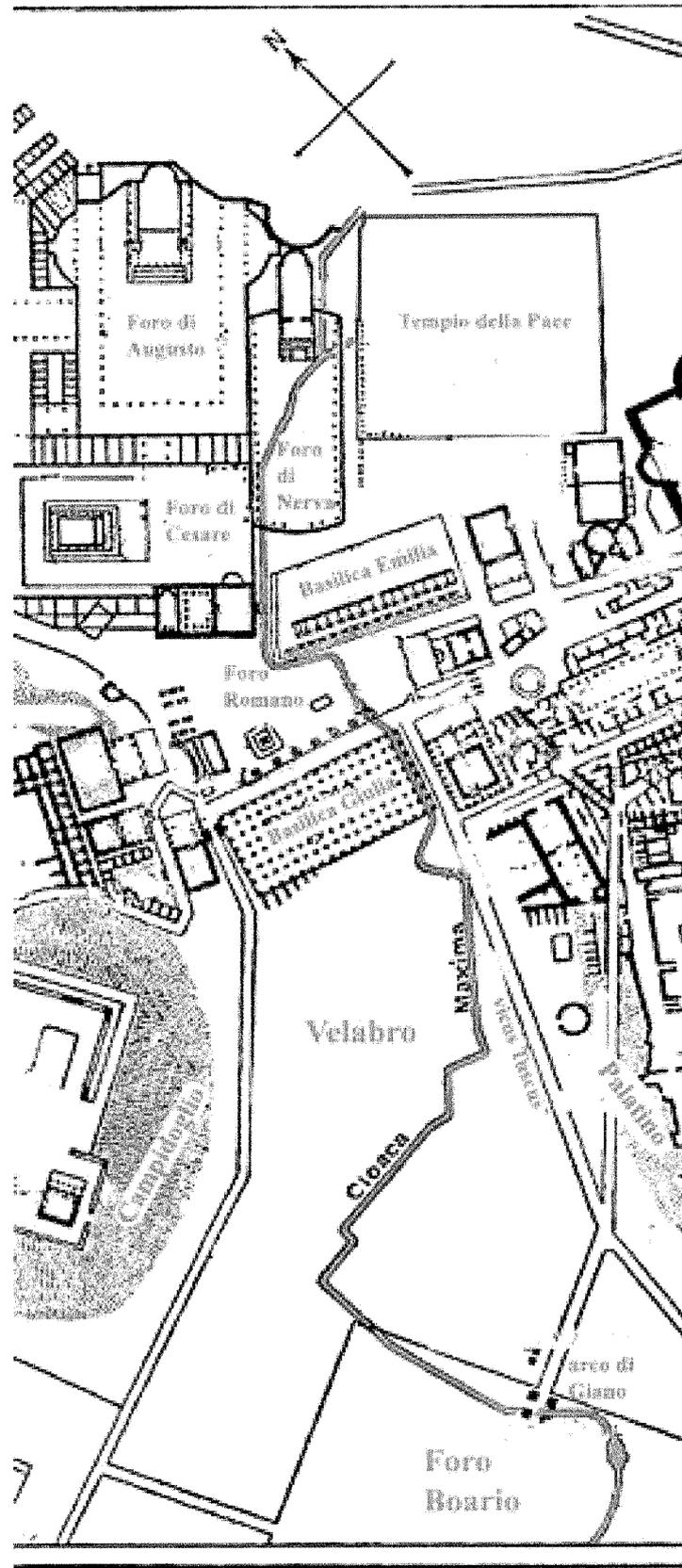


Figura 1: Planta de Roma durante a idade imperial com a Cloca Massima em evidência

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Cloaca\\_Massima](http://pt.wikipedia.org/wiki/Cloaca_Massima)

## 2. CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS

### 2.1. Esgoto Sanitário

A característica dos esgotos é função dos usos à qual a água foi submetida. Esses usos, e a forma com que são exercidos, variam com o clima, situação social e econômica, e hábitos da população.

As principais características físicas ligadas aos esgotos são: matéria sólida, temperatura, odor, cor, turbidez e variação de vazão.

As principais características químicas dos esgotos são: matéria orgânica e matéria inorgânica. As principais características biológicas do esgoto são: microorganismos e indicadores de contaminação fecal.

Os esgotos sanitários juntamente com os efluentes industriais são lançados na Rede de Coletora de Esgotos.

### 2.2. Efluentes líquidos Industriais – Generalidades

De acordo com a Norma Brasileira — NBR 9800/87, efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanções de processo industrial, águas de refrigeração, águas pluviais e esgoto doméstico.

Por muito tempo não existiu a preocupação de caracterizar a geração de efluentes líquidos industriais e de avaliar seus impactos no meio ambiente. No entanto, a legislação vigente e a conscientização ambiental fazem com que algumas indústrias desenvolvam atividades para quantificar a vazão e determinar a composição dos resíduos líquidos industriais. A vazão dos efluentes líquidos industriais é relacionada com o tempo de funcionamento de cada linha de produção e com as características do processo, da matéria-prima e dos equipamentos, podendo ser constante ou bastante variada, conforme representado nas Figuras a seguir, respectivamente.

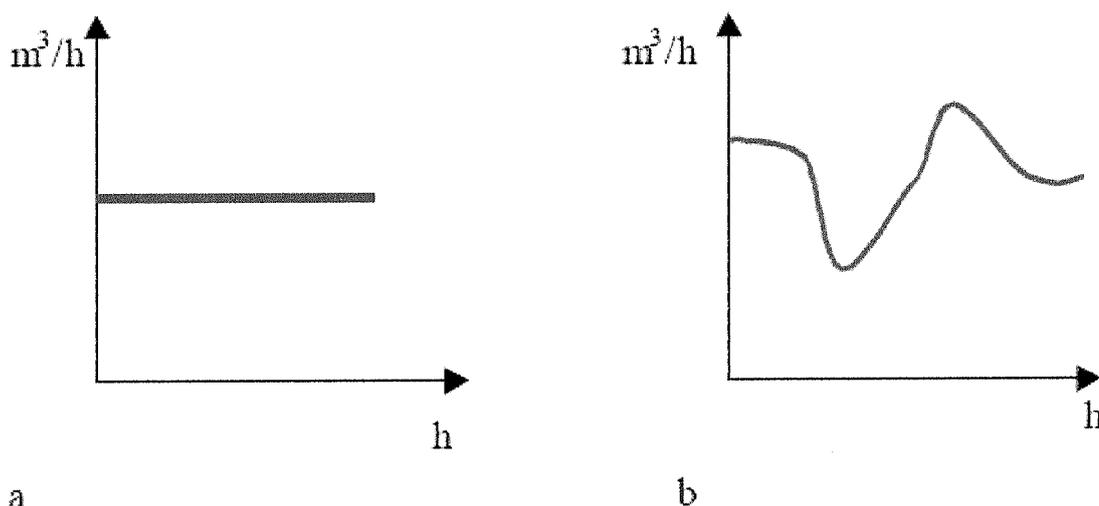


Figura 2: Geração de resíduos líquidos industriais com vazão constante (a) e com vazão variável (b).

A quantificação da vazão do resíduo líquido industrial pode ser realizada em equipamentos eletro-mecânicos ou em medidores hidráulicos (Parshall e vertedores), sendo importante para verificar se:

- a) a vazão é contínua ou intermitente no processo produtivo;
- b) é grande a diferença entre os valores mínimo, médio e máximo;
- c) existe contribuição indevida, como águas pluviais e esgoto sanitário;
- d) há pico localizado de contribuição, especialmente de determinada fase do processamento;
- e) os índices de controle de qualidade são adequados, como os que relacionam o volume efluente líquido industrial ( $m^3$ ) com o consumo e custo de energia elétrica, de água e de matéria-prima.

A variação horária das vazões permite a elaboração do Hidrograma de Vazões, que é utilizado para determinação das vazões mínima, média e máxima no período estudado.

VON SPERLING (1995) comenta que a vazão de esgotos advinda dos despejos industriais é função precípua do tipo e porte da indústria, processo, grau de reciclagem, existência de pré-tratamento etc.

As características físicas, químicas e biológicas do efluente líquido industrial são variáveis com o tipo de indústria, com o período de operação, com a matéria-prima utilizada, com a reutilização de água etc. Com isso, o efluente líquido pode ser solúvel ou com sólidos

em suspensão, com ou sem coloração, orgânico ou inorgânico, com temperatura baixa ou elevada.

Entre as determinações mais comuns para caracterizar a massa líquida estão as determinações físicas (temperatura, cor, turbidez, sólidos etc.), as químicas (pH, alcalinidade, teor de matéria orgânica, metais etc.) e as biológicas (bactérias, protozoários, vírus etc.).

Uma das determinações mais realizadas é a da matéria orgânica total, que pode ser biodegradável ou não. Para quantificar as concentrações de matéria orgânica total e de matéria orgânica biodegradável são realizadas as determinações da Demanda Química de Oxigênio - DQO e da Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO<sub>5</sub>, respectivamente, conforme esquematizado na Figura 3.

|   |                          |
|---|--------------------------|
| <b>MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL</b><br>(DQO)      |                          |
| <b>Biodegradável</b><br>(DBO <sub>5</sub> ) | <b>Não Biodegradável</b> |

Figura 3: Classificação da Matéria Orgânica

### 2.3. Demanda bioquímica de Oxigênio – DBO

É a forma mais utilizada para medir a quantidade de matéria orgânica presente no esgoto ou em outras palavras, medir a quantidade de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica com a cooperação de bactérias aeróbicas. Quanto maior o grau de poluição orgânica maior será a DBO. A DBO vai reduzindo-se gradativamente durante o processo aeróbico até anular-se, quando então a matéria orgânica estará totalmente estabilizada. (TEIXEIRA, 2003)

O teste é realizado a 20 oC durante 5 dias, no escuro (evitando-se quaisquer produção interna de O<sub>2</sub> por algas ou fonte externa de OD);

$DBO_{5,20^{\circ}C}$  = CONSUMO DE OD DA AMOSTRA POR MICRORGANISMOS DURANTE 5 DIAS

$$DBO_{5,20^{\circ}C} = OD_{1^{\circ} DIA} - OD_{5^{\circ} DIA}$$

Determinação de DBO em águas contendo METAIS PESADOS leva a resultados inexatos, porém os maiores aumentos em termos de DBO são provocados por despejos de origem orgânica.

Em geral a DBO dos esgotos domésticos varia entre 100 e 300 mg/l, em outras palavras o número em mg indica a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar bioquimicamente a matéria orgânica presente no esgoto. (TEIXEIRA, 2003)

| <b>Tipo de Indústria</b> | <b>Unidade Básica de Produção</b> | <b>Volume de Despejo Por Unidade Produzida (litros)</b> | <b>DBO (5 dias / 20° C) (mg/l)</b> |
|--------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|
| Fábrica de papel         | 1 tonelada de fibra               | 45.000 - 270.000  | 20 - 100                           |
| Lavanderias              | 45 kg de roupas                   | 450 - 1800  | 300 - 1000                         |
| Tinturarias              | 0,45 kg de roupas                 | 20 - 50   | 100 - 2000                         |
| Curtumes                 | 0,45 kg de couro cru              | 9 - 90  | 400 - 5000                         |
| Matadouro                | 1 boi / 1 porco                   | 220 - 1300  | 800 - 5000                         |
|                          | 1 carneiro                        | 90 - 540  |                                    |
| Laticínio                | 4,5 litros de leite               | 4,5 - 35  | 300 - 2000                         |
| Enlatados                | 1 tonelada de matéria prima       | 910 - 3200  | 300 - 3000                         |
| Cervejarias              | 4,5 litros de cerveja             | 25 - 130  | 400 - 1200                         |
| Produtos Farmacêuticos   | 45 kg de produtos químicos        | 450 - 1300  | 500 - 10.000                       |

Tabela 1: Características de alguns despejos industriais:

Fonte: TEIXEIRA, (2003) apud CRESPO, (2001)

#### 2.4. Demanda química de Oxigênio – DQO

É a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. Um valor de DQO alto indica uma grande concentração de matéria orgânica e baixo teor de oxigênio. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial.

É utilizada para medir a quantidade de matéria orgânica das águas naturais e dos esgotos. O equivalente ao oxigênio da matéria orgânica que pode ser oxidado e medido usando-se um forte agente oxidante em meio ácido. Normalmente, usa-se como oxidante o dicromato de potássio. O teste de DQO também é usado para medir a quantidade de matéria orgânica em esgotos que contêm substâncias tóxicas. Em geral, a DQO é maior que a DBO. Para muitos tipos de despejos, é possível correlacionar DQO com DBO, correlação que, uma vez estabelecida, permite substituir a determinação da DBO pela da DQO. (BARROS, 1995)

#### 2.5. Autodepuração

Após serem poluídos, os mananciais podem recuperar-se em decorrência de fatores naturais. Em outras palavras, um rio que após receber esgoto sanitário tenha percorrido certa distância, pode apresentar-se livre de vestígios da poluição, desde que esta não tenha ultrapassado certos limites. Isto ocorre devido ao fenômeno que se denomina autodepuração. A concentração de oxigênio dissolvido (OD) no corpo receptor deve estar entre 4 e 5 mg/l, quando em menor concentração. Até o ponto em que este limite não é excedido, a disposição de despejos orgânicos “in natura” em cursos d'água representa o método mais econômico de disposição. Quando este limite é excedido, o esgoto deve passar por um tratamento antes de ser lançado no corpo receptor, a fim de complementar os efeitos da autodepuração. (TEIXEIRA, 2003)

### 3. TRATAMENTO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS

A implantação de uma estação de tratamento de esgotos tem por objetivo a remoção dos principais poluentes presentes nas águas residuárias, retornando-as ao corpo d'água sem alteração de sua qualidade.

Enquanto o esgoto sanitário causa poluição orgânica e bacteriológica, o industrial geralmente produz a poluição química. O efluente industrial, além das substâncias presentes na água de origem, contém impurezas orgânicas e/ou inorgânicas resultantes das atividades industriais, em quantidade e qualidade variáveis com o tipo de indústria

Numa mesma localidade, as águas residuárias poderão ser representadas por esgotos gerados pela comunidade (esgotos domésticos) e também por esgotos industriais (esgotos industriais). Espera-se, portanto, alcançar os seguintes objetivos:

- Esgotos domésticos: remoção de matéria orgânica, sólidos em suspensão e organismos patogênicos (organismos causadores de doenças). Eventualmente em processos mais sofisticados, processa-se a remoção de nitrogênio e fósforo (nutrientes);
- Esgotos industriais ou mistura de esgotos domésticos e industriais: remoção de um ou mais dos seguintes poluentes: matéria orgânica, sólidos em suspensão, nitrogênio e fósforo, compostos tóxicos e compostos não biodegradáveis.

A qualidade dos esgotos tratados que se deve alcançar através do tratamento deve satisfazer à legislação ambiental vigente. Para compreensão desta legislação, é necessário conhecer os seguintes conceitos, os quais são detalhados a seguir:

- Classificação dos corpos d'água: Resolução CONAMA 20/1986 (nível nacional) ou Deliberação Normativa COPAM 10/1986 (estado de Minas Gerais);
- Padrão de lançamento: Resolução CONAMA 20/1986 (nível nacional) ou Deliberação Normativa COPAM 10/1986 (estado de Minas Gerais);
- Padrão do Corpo Receptor: Resolução CONAMA 20/1986 (nível nacional) ou Deliberação Normativa COPAM 10/1986 (estado de Minas Gerais);

Os padrões de lançamento existem apenas por uma questão prática, já que é difícil se manter o controle efetivo das fontes poluidoras com base apenas na qualidade do corpo receptor. O interrelacionamento entre os dois padrões se dá no sentido de que um efluente, além de satisfazer os padrões de lançamento, deve proporcionar condições tais no corpo

receptor, de forma que a qualidade do mesmo se enquadre dentro dos padrões para corpos receptores.

O grau de remoção dos poluentes no tratamento, de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente está associado aos conceitos de nível do tratamento e eficiência do tratamento.

Usualmente, consideram-se os seguintes níveis para o tratamento dos esgotos:

➤ Nível Preliminar: O tratamento preliminar objetiva apenas a remoção dos sólidos grosseiros através de mecanismos físicos (gradeamento) aplicados à montante de elevatória ou na etapa inicial do tratamento. (TEIXEIRA, 2003)

➤ Nível Primário: O tratamento primário visa a remoção de sólidos sedimentáveis (60 a 70%) ou flutuantes (óleos e graxas) e parte da matéria orgânica (30 a 40%) e organismos patogênicos (30 a 40%), através de mecanismos físicos (decantadores) aplicados entre o tratamento preliminar e o secundário. As fossas séptica são também um exemplo de tratamento primário. (TEIXEIRA, 2003)

➤ Nível Secundário: O tratamento secundário, no qual predominam os mecanismos biológicos, o objetivo principal é a remoção de matéria orgânica (60 a 99%) e organismos patogênicos (60 a 99%) e, eventualmente, nutrientes. (TEIXEIRA, 2003)

O tratamento secundário tenta reproduzir os fenômenos naturais de remoção da matéria orgânica (autodepuração) que ocorrem no corpo receptor. A vantagem é que o processo é feito mais rapidamente, em menos espaço e em condições controladas.

Exemplos de Tratamentos Secundários:

➤ Sistemas Simplificados: lagoas de estabilização; disposição no solo; filtros e reatores anaeróbicos;

➤ Sistemas Mecanizados: lagoas de estabilização com aeração; filtros biológicos; lodos ativados.

➤ Nível Terciário: O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário. O tratamento terciário é bastante raro no Brasil.

Para que seja alcançado o padrão de lançamento, o efluente da ETE deve passar pelo menos no nível secundário do tratamento.

#### 4. SISTEMAS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES

O tratamento biológico é a forma mais eficiente de remoção da matéria orgânica dos esgotos. O próprio esgoto contém grande variedade de bactérias e protozoários para compor as culturas microbiais mistas que processam os poluentes orgânicos. O uso desse processo requer o controle da vazão, a recirculação dos microorganismos decantados, o fornecimento de oxigênio e outros fatores. Os fatores que mais afetam o crescimento das culturas são a temperatura, a disponibilidade de nutrientes, o fornecimento de oxigênio, o pH, a presença de elementos tóxicos e a insolação (no caso de plantas verdes).

A matéria orgânica do esgoto é decomposta pela ação das bactérias presentes no próprio efluente, transformando-se em substâncias estáveis, ou seja as substâncias orgânicas insolúveis dão origem a substâncias inorgânicas solúveis. Havendo oxigênio livre (dissolvido), são as bactérias aeróbias que promovem a decomposição. Na ausência do oxigênio, a decomposição se dá pela ação das bactérias anaeróbias. A decomposição aeróbia diferencia-se da anaeróbia pelo seu tempo de processamento e pelos produtos resultantes. Em condições naturais, a decomposição aeróbia necessita três vezes menos tempo que a anaeróbia e dela resultam gás carbônico, água, nitratos e sulfatos, substâncias inofensivas e úteis à vida vegetal. O resultado da decomposição anaeróbia é a geração de gases como o sulfídrico, metano, nitrogênio, amoníaco e outros, muitos dos quais malcheirosos. (BORSOI, 1997)

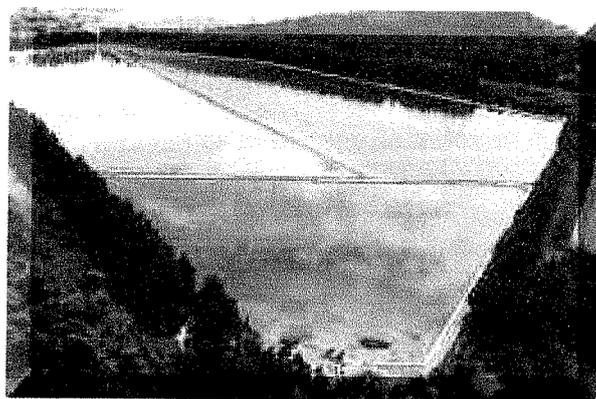
A decomposição do esgoto é um processo que demanda vários dias, iniciando-se com uma contagem elevada de DBO, que vai decrescendo e atinge seu valor mínimo ao completar-se a estabilização. A determinação da DBO é importante para indicar o teor de matéria orgânica biodegradável e definir o grau de poluição que o esgoto pode causar ou a quantidade de oxigênio necessária para submeter o esgoto a um tratamento aeróbio.

As tecnologias de tratamento de efluentes nada mais são que o aperfeiçoamento do processo de depuração da natureza, buscando reduzir seu tempo de duração e aumentar sua capacidade de absorção, com consumo mínimo de recursos em instalações e operação e o melhor resultado em termos de qualidade do efluente lançado, sem deixar de considerar a dimensão da população a ser atendida. Os sistemas existentes podem ser classificados, basicamente, em tecnologias de sistemas simplificados ou mecanizados e processos aeróbios ou anaeróbios. Porém podem ser utilizadas várias tecnologias e unidades de tratamento na construção de um sistema de tratamento de efluentes eficiente o que será dimensionado e pré-definido de acordo com as especificações do efluente.

#### 4.1. Lagoas de Estabilização

As Lagoas sem aeração consistem em uma técnica simplificada que exige uma área extensa para a instalação da lagoa, na qual os esgotos sofrem o processo aeróbio de depuração graças à existência de plantas verdes que oxigenam a água. Para reduzir a área necessária podem ser instaladas lagoas menores para processar a depuração anaeróbia. A eficiência na remoção de DBO é de 70 a 90% e de coliformes é de 90 a 99%. Os custos de implantação e operação são reduzidos, tem razoável resistência a variações de carga e o lodo gerado é removido após 20 anos de uso. Por outro lado, sofre com a variação das condições atmosféricas (temperatura e insolação), produz maus odores, no caso das anaeróbias, e insetos. Quando sua manutenção é descuidada há o crescimento da vegetação local. O OD necessário para as bactérias é fornecido por algas através da fotossíntese. Por isso, a superfície de insolação tem que ser grande, necessitando de grandes áreas físicas para a construção das lagoas.

As Lagoas de estabilização aeradas são semelhante as Lagoas Facultativas, podem utilizar sistema de aeração através de equipamentos mecânicos o que faz com que as lagoas ocupem menor espaço físico.



Figuras 4 e 5: Lagoas de estabilização de esgoto

Fonte: [www.daep.com.br/lagoa.jpg](http://www.daep.com.br/lagoa.jpg)

#### 4.2. Filtros Biológicos:

A matéria orgânica é estabilizada por bactérias que crescem aderidas a um meio suporte (pedras ou materiais sintéticos). O esgoto é aplicado na superfície do tanque através de distribuidores rotativos. O líquido percola pelo tanque saindo pelo fundo e a matéria

orgânica fica retida pelas bactérias. Os espaços vazios entre as pedras permitem a circulação do ar. O sistema necessita de decantação primária.



Figura 6: Filtro biológico

Fonte: [www.scubla.it/.../filtro\\_percolatore.jpg](http://www.scubla.it/.../filtro_percolatore.jpg)

#### **4.3. Biofiltro aerado submerso:**

Sistema mecanizado e aeróbio. Compreende um reator biológico de culturas bacterianas que são fixadas em camada suporte instalada na parte média. O esgoto é introduzido na base do reator, através de um duto, e a aeração é suprida por tubulação também pela base. O líquido é filtrado pelo material no suporte e passa para o nível superior do reator já tratado. A remoção de material orgânico é compatível com os processos de lodos ativados e de filtros biológicos. Sua grande vantagem está na reduzida necessidade de área para instalação e na possibilidade de serem enterrados no subsolo.

#### **4.4. Tratamento com oxigênio puro:**

Sistema mecanizado cujo processo aeróbio utiliza o oxigênio puro no lugar do ar atmosférico. Os principais componentes são, em geral, o gerador de oxigênio, um tanque de oxigenação compartimentado e com cobertura, um decantador secundário e bombas para recirculação dos lodos ativados. Comparado aos sistemas aerados convencionais, apresenta alta eficiência - a eliminação de DBO alcança a faixa de 90 a 95%, sendo efetuada em tempo reduzido e suportando altas cargas de matéria orgânica. Outros aspectos positivos são a possibilidade de controle total da emissão de maus odores e a produção reduzida de lodo. A instalação não demanda grande área e seus equipamentos são de pequeno porte. O consumo

de energia equivale a 30% da energia requerida em processo de aeração com ar atmosférico. No Brasil, até a presente data, esse sistema tem sido utilizado principalmente no tratamento de efluentes industriais pois o seu custo tem sido um fator impeditivo para o uso no tratamento de esgotos domésticos. (BORSOI, 1997)

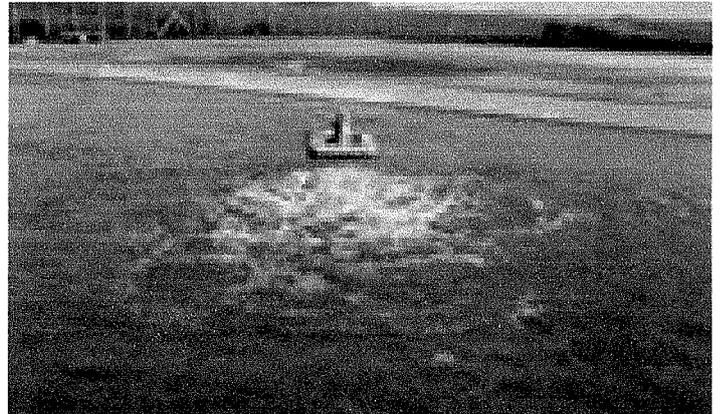


Figura 7: Aerohomogeneizadores de alta eficiência, para injeção dinâmica de ar ou oxigênio puro, no tratamento de efluentes.

Figura 8: Tanque de aeração utilizando Aerohomogeneizadores.

Fonte: [http://www.brasmetano.com.br/Equipamentos/Aeradores\\_spiralair.asp](http://www.brasmetano.com.br/Equipamentos/Aeradores_spiralair.asp)

#### 4.5. Lodos Ativados:

Neste sistema, o esgoto vai para tanques de aeração onde as bactérias existentes no próprio esgoto se alimentam da matéria orgânica e consomem oxigênio. Para que essas bactérias se desenvolvam mais rapidamente e acelerem o processo de decomposição, recebem oxigênio através dos aeradores.

Com isso, as bactérias se agrupam, eliminando a matéria orgânica, e passam para o tanque de decantação, formando um lodo. Esse lodo é recirculado para o tanque de aeração, e o excedente é descartado através dos leitos de secagem.

A matéria orgânica é removida por bactérias que crescem dispersa em um tanque (tanque de aeração). A biomassa (bactérias) do tanque de aeração sedimenta em um decantador final (decantador secundário), permitindo que o efluente saia clarificado para o corpo receptor. O lodo que se sedimenta no fundo do decantador secundário é recirculado, por bombeamento, ao tanque de aeração, aumentando a eficiência do sistema. O fornecimento de

oxigênio é feito artificialmente por aeradores mecânicos. A área para implantação desse sistema é bastante reduzida em comparação aos demais sistemas.



Figura 9: Aerador flutuante

Fonte: <http://www.filtrando.com.br/ete.htm>

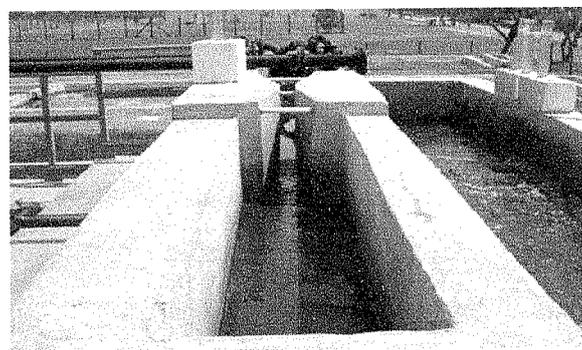
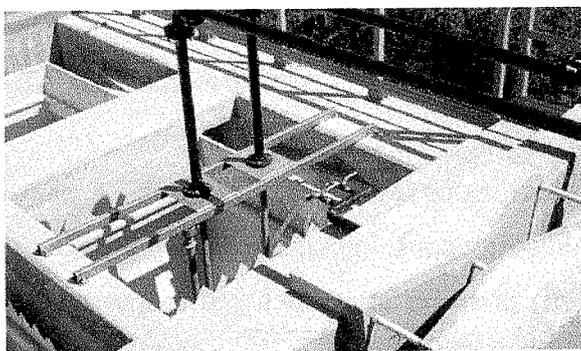


Figura 10 e figura 11: Estação de tratamento de efluentes utilizando o sistema de lodos ativados

Fonte: [www.saneamento.poli.ufrj.br/IMAGENS2/imagensgaleria2005/lodosativados/004.jpg](http://www.saneamento.poli.ufrj.br/IMAGENS2/imagensgaleria2005/lodosativados/004.jpg)

#### 4.6. Ar difuso:

Sistema mecanizado e aeróbio, no qual a aeração é feita pelo bombeamento de ar comprimido transportado por uma rede de distribuição até os difusores no fundo do tanque de aeração. O tanque pode ser construído em diversos formatos e permite profundidades maiores, como é o caso do poço profundo (“deep shaft”) que requer pouca área para sua instalação. A rede de distribuição pode ser fixa ou móvel e superficial ou submersa. O sistema de difusão de ar comprimido pode ser de bolhas finas, médias ou grandes. Quanto menor a bolha maior a eficiência na transferência de oxigênio e maiores os problemas de manutenção. A eficiência na remoção de DBO e na eliminação de patogênicos assemelha-se a da lagoa de estabilização aerada. (BORSOI, 1997)

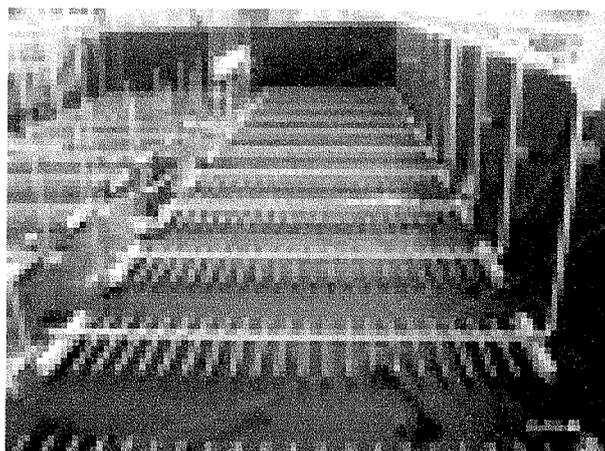
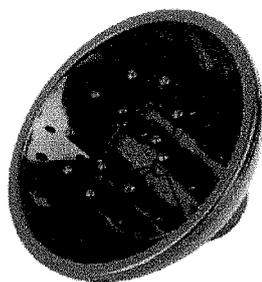


Figura 12: Difusor de ar

Figura 13: Difusores de ar no fundo do tanque

Fonte: <http://www.agetec.com.br/uploads/25.01.jpg>

#### 4.7. Filtro Anaeróbico:

A matéria orgânica é estabilizada por bactérias aderidas a um meio suporte (usualmente pedras) em um tanque afogado com fluxo de esgotos de baixo para cima. O sistema requer um tratamento primário (freqüentemente fossa séptica) e pode ser feito em tanques de alvenaria ou sintéticos (fibra de vidro)

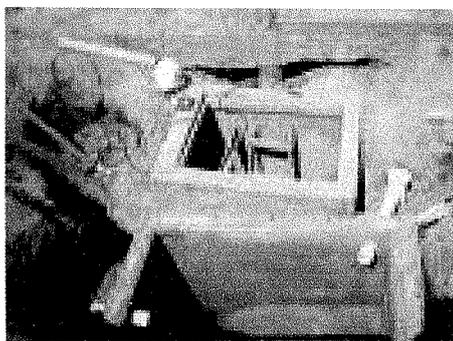


Figura 14: Tanque séptico e filtro anaeróbico em alvenaria

Fonte: [www.imagensdaobra.hpg.ig.com.br/.../Image025.jpg](http://www.imagensdaobra.hpg.ig.com.br/.../Image025.jpg)

Figura 15: Tanque séptico e filtro anaeróbico em fibra de vidro

Fonte: [www.saneamento.poli.ufrj.br/IMAGENS/galeria005/tqsepticofiltroanaerobico/004.jpg](http://www.saneamento.poli.ufrj.br/IMAGENS/galeria005/tqsepticofiltroanaerobico/004.jpg)



Figura 16: Esquema de tratamento do esgoto sanitário da residência até o corpo receptor através de fossa séptica e filtro anaeróbico

Figura 17: Fossa séptica ou filtro anaeróbico em fibra de vidro

Fonte: [www.guiaguide.com.br/.../agricelimg06.jpg](http://www.guiaguide.com.br/.../agricelimg06.jpg)

#### 4.8. Reator Anaeróbico:

A matéria orgânica é estabilizada por bactérias dispersas em um tanque fechado com fluxo de esgotos de baixo para cima. A parte superior do tanque é dividida em zonas de sedimentação e zona de coleta de gás. O sistema dispensa o tratamento primário, mas usualmente necessita de uma etapa de pós-tratamento.

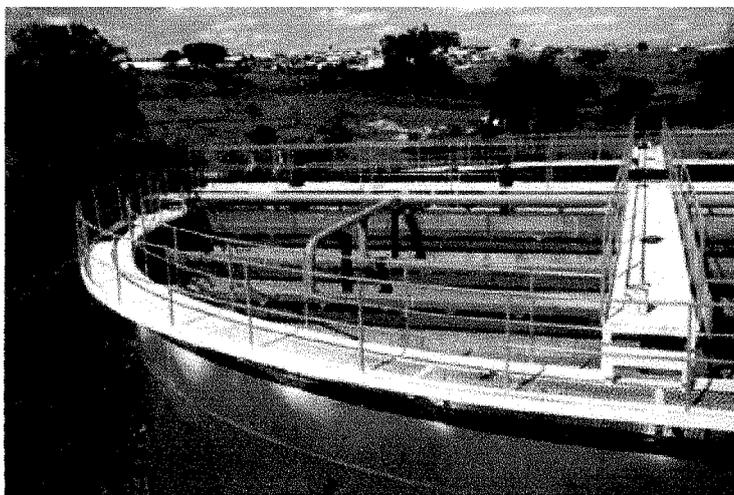


Figura 18: Reator anaeróbico, tratamento de efluentes de tomates e vegetais  
Unilever/Patos de Minas-MG

Fonte: [www.acquaeng.com.br/imagens/2\\_p.jpg](http://www.acquaeng.com.br/imagens/2_p.jpg)

#### 4.9. Biodigestores:

Cientificamente, biodigestão é o nome atribuído ao processo de transformação, decomposição ou degradação de substâncias orgânicas, sejam elas de origem animal ou vegetal, realizada por seres vivos, como microrganismos, por exemplo, ou até mesmo o homem. O processo de fermentação que ocorre no interior dos biodigestores é o mesmo usado para fabricar vinho, cerveja, vinagre e outras substâncias. A diferença é que nestes casos, para realizar esse trabalho as bactérias necessitam de oxigênio, portanto são chamadas de aeróbias. Já as anaeróbias, só trabalham na ausência de oxigênio. São bactérias que sobrevivem nos intestinos dos animais, por exemplo, sendo as responsáveis pela fermentação dos excrementos.

O princípio de funcionamento de um biodigestor é bastante simples. Trata-se basicamente de uma câmara fechada onde os resíduos orgânicos, são fermentados anaerobiamente (sem a presença de oxigênio), transformando esta biomassa em gás combustível e fertilizante. Outro ponto positivo deste processo é que o biogás é capaz de produzir, simultaneamente, não apenas energia elétrica, mas também energia térmica na forma de água ou ar quente, oriunda do calor gerado pelo processo de combustão em motores/geradores convertidos a biogás. Por isso, o biogás pode ser usado para alimentar fogões, no aquecimento de água, motores, lampiões e em geladeiras a gás, se constituindo numa das fontes energéticas mais econômicas e de fácil aquisição.

Para produzir um metro cúbico (m<sup>3</sup>) de biogás são necessários 25 kg de esterco fresco de vaca; ou 5 kg de esterco seco de galinha; ou 12 kg de esterco de porco; ou 25 kg de plantas ou cascas de cereais; ou 20 kg de lixo. Dejetos humanos também produzem biogás. É por isso que os biodigestores são apontados como uma excelente alternativa energética para propriedades rurais, sendo uma opção valiosa para o aproveitamento de dejetos e restos de cultura, isso sem mencionar as vantagens para o saneamento ambiental. Mesmo assim, apesar da abundância de matéria prima para a geração de biogás, o Brasil ainda não despertou para o grande potencial dos biodigestores. E não é por falta de referências bem sucedidas. Países pobres como a Índia, por exemplo, possui cerca de 300 mil biodigestores em funcionamento. Por aqui, segundo dados da Embrapa, nos anos 90, eles não chegaram a 8 mil. (EMBRAPA, 1991)

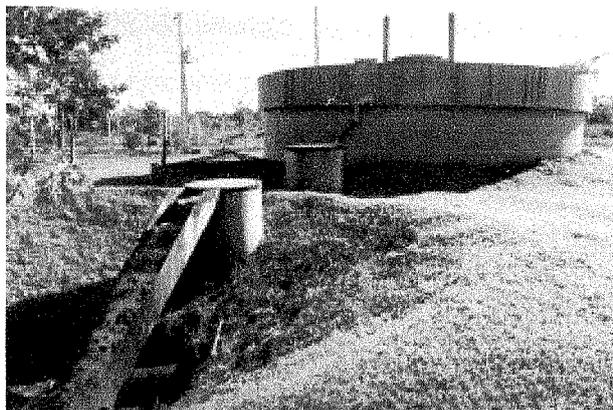


Figura 19: Biodigestor

Fonte: [www.chapadaodoceu.go.gov.br/biodigestor.jpg](http://www.chapadaodoceu.go.gov.br/biodigestor.jpg)

#### 4.10. Disposição no Solo:

A disposição de esgotos domésticos no solo, como processo de tratamento comunitário, é uma das práticas mais antigas e era adotada em Atenas, antes da era cristã. Hoje é usada em países como os EUA, Austrália, Alemanha e outros. No Brasil, estações de tratamento de esgotos - ETE's experimentais por estes métodos, foram implantadas na década de 80 em Capão da Canoa - RS e em Populina - SP. (Revista DAE, S.Paulo, No.145, jun/1986.)

Os esgotos são aplicados no solo, fornecendo água e nutrientes necessários para o crescimento das plantas. Parte do líquido é evaporada e parte infiltra no solo e é absorvida pelas plantas. Quando a infiltração no solo é elevada o tratamento não gera efluente. Os esgotos podem ser aplicados por meio de: valas, canais, aspersores, alagamento e outros, geralmente esse sistema requer um tratamento primário (freqüentemente fossa séptica). Neste sistema, deve ser avaliado com cuidado a possibilidade de transmissão de doenças. (Revista DAE, S.Paulo, No.145, jun/1986.)

Os processos exigem grandes áreas (cerca de 7,5 a 100 m<sup>2</sup> por habitante atendido) e escolha adequada do terreno, da técnica de irrigação e da cultura que irá cobrir (ou não) o terreno, além do afastamento conveniente das habitações por problemas de contaminação do lençol freático (que deve estar a mais de 4 m da superfície), erosão do solo (capacidade de infiltração média de 70 l/m<sup>2</sup>.dia pelo ensaio NB-41/1981 da ABNT), topografia do terreno (declividade máxima da ordem de 10%), vetores, ventos (problema de aerossóis) e odores. Nesta técnica, também contribuem os vegetais plantados na área de descarga dos esgotos (como o milho, frutíferas ou capim resistente à umidade, como o *Brachiaria humidicola*, por

exemplo), tanto pelo seu poder de aeração do solo, como servindo de substrato (colmo e raízes) para os microrganismos que tem por fim *estabilizar ou mineralizar* a matéria orgânica dos esgotos. Aliás, a irrigação com esgotos é uma técnica cada dia mais viável nos dias de hoje. (Revista DAE, S.Paulo, No.145, jun/1986.)

#### **4.11. Tratamento com biotecnologia:**

Sistema não precisa ser mecanizado e é anaeróbico. Baseia-se no aumento da eficiência do processo natural, adicionando-se bactérias selecionadas e concentradas. As bactérias utilizadas são aquelas com maior capacidade para decomposição, conforme o material predominante no efluente. O processo consiste na inoculação contínua das bactérias no fluxo de efluente, o qual deverá ser retido durante alguns dias. Os tanques ou lagoas para tratamento não precisam ter um formato especial e não têm limite de profundidade. Esse processo reduz a geração de lodos e o aspecto importante a considerar é a segurança - o composto de bactérias não pode ser tóxico ou patogênico, isto é, não pode provocar qualquer dano à vida vegetal ou animal. Este tratamento pode ser aplicado diretamente em fossa séptica - equivalente à fase primária do tratamento de esgoto e, neste caso, o problema maior é o controle sobre a efetivação do tratamento pois a fossa séptica é uma solução individual. (BORSOI, 1997)

#### **4.12. Sub-Produto dos sistemas de tratamento**

Todos os sistemas de tratamento geram algum sub-produto sólido como: material gradeado, areia e o lodo. O lodo dos decantadores primários é constituído pelos sólidos em suspensão e dos decantadores secundários por microorganismos (biomassa).

O lodo removido do sistema precisa ser tratado posteriormente, objetivando:

- Redução do volume (através de redução da umidade);
- Redução do teor de matéria orgânica (através da estabilização do lodo).

Para se alcançar esses objetivos, o tratamento do lodo usualmente inclui uma ou mais das etapas e equipamentos entre eles o Leito de secagem e o filtro prensa.

O lodo desidratado nos Leitões de Secagem, que são unidade de desidratação de lodo por processos de evaporação e drenagem da água liberada durante sua secagem, deve ser acondicionado e destinado ao aterro sanitário devidamente licenciado, e autorizar formalmente esta disposição. Pode-se num futuro breve avaliar tecnicamente a aplicação deste lodo nos gramados como fertilizante natural. (JORDÃO, 1995)

Os filtros prensa são utilizados na separação entre sólidos e líquidos na indústria devido à rapidez de filtração, baixa umidade residual da torta e facilidade de limpeza, no entanto seu uso ficou restrito em função do seu alto custo de implantação.

Em seu princípio de funcionamento inicialmente o lodo é bombeado para dentro das câmaras a uma certa pressão, sendo retido o lodo enquanto que a água passa pelos tecidos e sai. Quando o filtro atinge sua capacidade máxima, estando todas as câmaras cheias, desliga-se a bomba e passa-se ar para expulsar a água remanescente. Quando não sair mais água, fecha-se o ar e abrem-se as placas uma a uma removendo a torta. Depois de remover todas as tortas fecha-se novamente o filtro. (CURY, 2003)



Figuras 20 e 21: Leito de secagem de lodo

Fonte: [www.sanasa.com.br](http://www.sanasa.com.br)

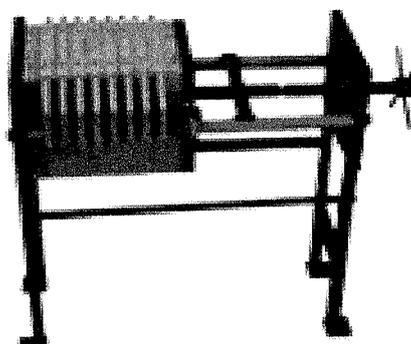


Figura 22: Filtro prensa

Fonte: CURY, (2003)

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo REBOUÇAS (2005), o destino dado ao esgoto produzido no País, do qual 90% é lançado diretamente na natureza, segue uma "lógica irracional". Para o professor, todo o esgoto precisa ser tratado e reutilizado nas indústrias e nas residências como água não-potável. A produção das fábricas e certas atividades domésticas, como lavar roupas ou dar a descarga do banheiro, poderiam ser feitas com essa água. "Não é concebível fazer essas coisas com uma água que custou tanto dinheiro para ser tratada."

Mais irracional ainda, segundo REBOUÇAS (2005), é tratar o esgoto e devolvê-lo em seguida aos rios. Nesse caso, o que se faz é, literalmente, "jogar dinheiro fora", diz. Além de gastar recursos com o tratamento do esgoto, perde-se a oportunidade de usá-lo na indústria, que por sua vez deixaria de consumir água potável. "Nós precisamos entender que a água tem valor econômico, por isso ela não pode ser desperdiçada. Como tem valor econômico, a água precisa ser paga, acrescenta o professor, lembrando que, no Brasil, assim como muitas pessoas não pagam imposto, grandes volumes de água são usados gratuita e impunemente."

Acompanhando o pensamento de REBOUÇAS (2005), podemos afirmar que certamente o tratamento dado à geração de efluentes sanitários e industriais no Brasil não é satisfatório. Porém este fato envolve questões sociais, políticas e econômicas muitas vezes difíceis de serem resolvidas. Na verdade, devemos considerar que a preocupação com a qualidade das águas destinadas aos corpos hídricos já é um passo a favor do meio ambiente e da sociedade. Ainda é possível que se faça muito mais com relação ao tratamento e aproveitamento das águas residuárias, principalmente se considerarmos que a água é um bem escasso e portanto de valor social, político e econômico. É difícil valorar um bem ambiental e no caso da água tal fato torna-se ainda mais complicado já que a mesma, em boas condições para os seus vários usos, é recurso indispensável para a manutenção da vida como conhecemos.

Os sistemas de tratamento, portanto, podem ser utilizados em várias situações, adaptando um e outro adequando à necessidade do tratamento. Não se pode negar que o tratamento dos efluentes tem extrema importância ambiental e social e que deve ser aplicável a todas as situações. Porém, o modo como têm sido cobrado pelos órgãos ambientais e pela própria sociedade o tratamento dos efluentes não se traduz em solução definitiva pois trata o problema de forma parcial não agindo diretamente nas causas e não considerando a questão econômica. Se considerarmos que o efluente nem sempre é totalmente dispensável e que ele

pode ser aproveitado para outras funções até ser realmente descartado para tratamento visualizaremos uma forma de gestão ambiental da água e portanto dos recursos hídricos, energéticos e econômicos.

Os sistemas de tratamento de efluentes devem ser aperfeiçoados não somente na eficiência do tratamento para o lançamento e enquadramento no corpo receptor, mas considerando a economia do recurso água, sua reutilização e minimização no uso.

Como vimos, desde a antiguidade, já existia uma preocupação com o tratamento e destinação final dos esgotos e constatamos aí a sua importância social levando em consideração os inconvenientes urbanos que o acompanham. A população cresce assustadoramente e com ela a necessidade do uso da água e por conseguinte do seu tratamento. Foram descritos neste trabalho tecnologias que podem ser utilizadas fazendo uma análise de cada situação. A avaliação e escolha da tecnologia adequada fica a cargo de um profissional técnico capacitado para fazer o diagnóstico e a escolha do método a ser utilizado. Considerando a necessidade ambiental, exigida pelo governo, sociedade/mercado consumidor o fato do uso da água e seu posterior tratamento diz respeito não só a governos e empresários mas principalmente a sociedade propriamente dita que é a principal afetada, direta ou indiretamente pelos fatores relacionados ao meio ambiente e para isso, devem ser coadjuvantes às tecnologias de tratamento existentes, o fator consciência e educação ambiental.

Nem sempre uma empresa que trata corretamente os seus efluentes e resíduos é uma empresa ambientalmente correta se for levantada a questão de que nem sempre só o tratamento do aspecto ambiental é a solução mas sim a tentativa de se conter, reduzir ou evitar tal aspecto com técnicas de gestão ambiental.

Portanto, as tecnologias para o tratamento de efluentes, que são variadas e eficientes no que se dispõem a fazer, devem ser associadas a técnicas de redução e reaproveitamento do recurso a ser tratado, especificamente neste caso, a água. Por ser um recurso natural tão valioso e já despertar interesse e preocupação desde sempre, é que esta deve ser preservada. Finalmente, no tratamento eficiente de efluentes líquidos devem ser associadas não só as tecnologias existentes, mas as questões ambientais, sociais e econômicas para sua real efetivação.

## 6. REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. (1977). Manual de hidráulica, 6ª ed., São Paulo, Ed. Edgard Blucher Ltda.

BARROS, RAPHAEL DE V. et al. Manual de saneamento e proteção ambiental para municípios Vol. II. DESA/UFMG- Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG. Belo Horizonte –MG. 1995.

BORSOI, Zilda. et al. Tratamento de esgoto: tecnologias acessíveis –Revista - Informe infraestrutura. Novembro de 1997.

Cloaca Massima - Wikipédia, a enciclopédia livre.  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Cloaca\\_Massima](http://pt.wikipedia.org/wiki/Cloaca_Massima)

CRESPO, Patrício Gallegos. Sistemas de Esgotos. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2001.

CURY, Flávia Medina. **Apostila de Processos Industriais**. Universidade Presidente Antônio Carlos. 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite. Capital imobilizado: Sistema Intensivo de Produção de Leite. Coronel Pacheco, MG, 1991. 6p.

GISSMANN, E. Biologia e técnica de manejo do esterco líquido. Palmeira: Colônia Witmarsum.

JORDÃO, E.P. & PESSOA, C.A. (1995). Tratamento de esgotos domésticos, 3ª ed., ABES

Leito de secagem de lodo. Disponível em: [www.sanasa.com.br](http://www.sanasa.com.br) Acesso em 10 de Maio de 2006.

Padrão de lançamento: Resolução CONAMA 20/1986 (nível nacional) ou Deliberação Normativa COPAM 10/1986 (estado de Minas Gerais);

Padrão do Corpo Receptor: Resolução CONAMA 20/1986 (nível nacional) ou Deliberação Normativa COPAM 10/1986 (estado de Minas Gerais);

REBOUÇAS, Aldo da Cunha, et al. Águas doces no Brasil — Capital ecológico, uso e conservação. Instituto de Estudos Avançados da USP. 2005

Resolução CONAMA 20/1986 (nível nacional) ou Deliberação Normativa COPAM 10/1986 (estado de Minas Gerais);

Revista DAE, S.Paulo, No.145, jun/1986.

TEIXEIRA, Gisele Pereira. Apostila de Saneamento II. Universidade Presidente Antônio Carlos. Juiz de Fora. 2003.

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1995. v. 1.

VON SPERLING, Marcos. Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996.