

MINISTÉRIO DA SAÚDE
FIOCRUZ - FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ
ENSP - ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA
DSSA - DEPARTAMENTO DE SANEAMENTO E SAÚDE AMBIENTAL

“AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS DO TIPO MANTA DE LODO – FILTRO BIOLÓGICO
AERÓBIO, APLICADO EM ESCALA PILOTO”

por
Alexandre Lioi Nascentes

Orientador: Prof. Dr. Odir Clécio da Cruz Roque

Rio de Janeiro – RJ

Junho de 2004

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 30 de junho de 2004, pela banca
examinadora constituída pelos membros:

TITULARES:

Prof. Dr. Odir Clécio da Cruz Roque
ENSP - FIOCRUZ

Prof. Dr. Szachna Eliaz Cynamon
ENSP - FIOCRUZ

Prof. Dr. Júlio Domingos Nunes Fortes
FEN - UERJ

AGRADEÇO

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Odir Clécio da Cruz Roque, pelo apoio, incentivo, segurança e conhecimentos transmitidos.

À ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, pela concessão de bolsa de Finalização de Dissertação.

À CESAMA – Companhia Municipal de Saneamento de Juiz de Fora, pela permissão de montar nas instalações da ETE Barreira do Triunfo a fase experimental da pesquisa e pela realização das análises necessárias ao desenvolvimento deste trabalho. Ao André Luiz Telles, pelas análises e pela paciência, bem como a todos os operadores da ETE pela atenção dispensada.

Aos alunos, amigos e futuros colegas de profissão Antônio José Rocha e Luciano Moraes pela grande ajuda à época da montagem da estação piloto.

Aos colegas de Mestrado Alfredo Leite, Beatriz Rapoport, Páulea Zaquini, Rafaela Facchetti e Sérgio Silva pela amizade e pela solidariedade nos momentos de sufoco.

À professora Maria José Salles pela confiança e apoio, que, a partir de uma oportunidade, redirecionou completamente minha vida profissional e pessoal.

A todos os professores e funcionários da Escola Nacional de Saúde Pública – ENSP/FIOCRUZ, que direta ou indiretamente ajudaram a concretizar este trabalho.

Aos grandes mestres que tive na UERJ, que me fizeram engenheiro e aos verdadeiros amigos que fiz por lá e que se mantêm presentes ao longo desses anos.

A todos os colegas, professores e alunos, da Universidade Presidente Antônio Carlos – UNIPAC JF, por me propiciarem a descoberta da paixão pelo magistério.

Ao meu pai, Paulo, pela presença certa, ainda que à distância, pela amizade e pelas providenciais revisões de texto, via *internet*, realizadas sempre em tempo recorde por esse grande estudioso da Língua Portuguesa.

À Teresinha, minha mãe, pelo carinho e dedicação que fez com que eu chegasse até aqui e ao meu irmão, Rafael, por ser o parceiro que sempre foi.

Ao meu grande amor, Priscilla, por uma vida maravilhosa, pelo incentivo e compreensão pelos momentos de ausência e, sobretudo, pelos frutos que esse amor produziu: Gustavo e Natália, aos quais agradeço por encherem minha vida de felicidade.

RESUMO

Inegavelmente os custos e a complexidade de alguns dos principais processos de tratamento de esgotos sanitários dificultam sua aplicação, de forma mais efetiva, nas diversas localidades do território nacional. A Pesquisa Nacional do Saneamento Básico, publicada em 2002 pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, aponta para um percentual ínfimo de distritos que contam com algum tipo de tratamento de seus esgotos. Tem-se, ainda, que 91% dos municípios brasileiros possuem população menor que 50.000 habitantes. Esta condição claramente pressupõe uma maior dificuldade da municipalidade dispor de recursos financeiros e corpo técnico qualificado para instalar e operar estações de tratamento de esgotos. Nesse sentido, este trabalho pretende contribuir para a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias simplificadas e de baixo custo para tratamento de esgotos sanitários. O sistema em estudo é a associação de um Reator Anaeróbio de Manta de Lodo e Fluxo Ascendente a um Filtro Biológico, cujo meio suporte é proveniente do refugo de uma indústria de embalagens plásticas, produto alternativo e de elevada disponibilidade na região do estudo. Para a realização dos estudos foi montado um modelo reduzido do sistema proposto, que foi monitorado para avaliação de sua eficiência, com o objetivo de que o sistema viesse a ser uma alternativa de baixo custo capaz de atender a padrões restritivos de lançamento de efluentes. Foram comparados sistemas com e sem recirculação de lodo, verificando-se a influência dessa recirculação sobre o tratamento. Embora o modelo não tenha, durante a fase experimental, respondido da forma esperada, a literatura técnica mostra que a solução anaeróbia-aeróbia, de modo geral, produz um efluente de qualidade compatível com as normas ambientais, devendo-se realizar novos estudos com vistas ao fortalecimento do sistema estudado como alternativa viável de tratamento de esgotos mesmo para legislações mais exigentes.

Palavras-Chave: UASB, Filtro Biológico, Tratamento de Esgotos, Tratamento de águas residuárias, tratamento anaeróbio-aeróbio, biofiltro.

ABSTRACT

The costs and the complexity of some of the most important processes of treatment of wastewater hinder their application, in a more effective way, in several places of the national territory. In the published results of the National Research of the Basic Sanitation condition in Brazil (2002) by IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, appears for a percentile one tiny of districts have some type of treatment of their sewers. It is had, still, that 91% of the Brazilian municipal districts have less than 50.000 habitants. This condition clearly indicates a larger difficulty for the municipality disposal of financial resources and qualified technical body to install and to operate stations of treatment of sewage. This work intends to contribute for the research and the development of simplified technologies and of low cost treatment of sewage. In this work studies are made of an Anaerobic Sludge Blanket Reactor to an Aerobic Trickling Filter, where the support media comes from the solid waste of an industry of plastic packings and is a alternative product with large disponibility on the studied region. For the accomplishment of the studies a reduced model of the proposed system was set up, that it was monitored for evaluation of his efficiency, with the objective that the system will be comes an alternative of low cost capable to assist to restrictive patterns of wastewater release. In this study it has been compared the treatment with and without recirculation of sludge and verified the influence of recirculation on the treatment. Although the model doesn't have, during the experimental phase, answered in the expected way, the technical literature shows that the solution anaerobic-aerobic produces a compatible results quality, should take place new studies to the invigoration of the system studied as viable alternative of treatment of sewage same for more restrictive legislations.

Key-Words: UASB, Trickling Filter, Sawage Treatment, Wastewater Treatment, anaerobic-aerobic treatment, biofilter.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	9
2.OBJETIVOS.....	11
2.1.OBJETIVOS GERAIS.....	11
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3.ASPECTOS RELATIVOS AO TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	12
3.1.IMPORTÂNCIA DO TRATAMENTO DOS ESGOTOS.....	12
4.POLUIÇÃO DAS ÁGUAS.....	14
4.1.AUTODEPURAÇÃO.....	14
4.2.EUTROFIZAÇÃO.....	16
5.PRINCIPAIS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	17
5.1.PROCESSOS FÍSICOS.....	17
5.2.PROCESSOS QUÍMICOS.....	17
5.3.PROCESSOS BIOLÓGICOS.....	18
6.ESTADO DA ARTE.....	19
6.1.PROCESSOS ANAERÓBIOS.....	19
6.2.PROCESSOS POR BIOFILME.....	21
6.2.1.FILTRAÇÃO BIOLÓGICA.....	22
6.2.2.O MEIO SUPORTE DO FILTRO BIOLÓGICO.....	24
7.PÓS-TRATAMENTO DE REATORES ANAERÓBIOS.....	26
8.RELEVÂNCIA.....	28
8.1.ASPECTOS LEGAIS SOBRE O TRATAMENTO DOS ESGOTOS.....	28
8.2.PADRÕES DE LANÇAMENTO NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	30
8.3.PADRÕES DE LANÇAMENTO NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	30
8.4.PADRÕES DE LANÇAMENTO NO ESTADO DE MINAS GERAIS.....	31
8.5.COMPARAÇÃO ENTRE AS NORMAS ESTADUAIS.....	31
9.ETE BARREIRA DO TRIUNFO.....	32
9.1.DESCRICÃO DA ETE BARREIRA DO TRIUNFO.....	32
9.2.CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO BRUTO.....	32
9.3.LOCAL DE MONTAGEM DO MODELO PILOTO.....	35
10. METODOLOGIA.....	36
11. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
.....	45
12.CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	47
13.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO BIOFILME (ADAPTADO DE IWAI E KITAO, 1994).....	22
FIGURA 2 – FILTRO BIOLÓGICO AERÓBIO.....	23
FIGURA 3 – EVOLUÇÃO DO BIOFILME SOBRE O MEIO SUPORTE.....	24
FIGURA 4 – MEIO SUPORTE NO FILTRO BIOLÓGICO.....	25
FIGURA 5 – ESQUEMA DE MONTAGEM DO MODELO.....	37
FIGURA 6 – APARATO EXPERIMENTAL.....	37
FIGURA 7 – LINHAS DE TRATAMENTO.....	40
FIGURA 8 – PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	41

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – PARÂMETROS IDENTIFICADORES DAS CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO E O PADRÃO DE LANÇAMENTO.....	12
TABELA 2 – EFICIÊNCIAS MÍNIMAS E CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS DE LANÇAMENTO (FEEMA, 1986).....	30
TABELA 3 – DBO E DQO DO ESGOTO BRUTO.....	33
TABELA 4 – CONCENTRAÇÕES DE DBO, DQO E SST NO SISTEMA (MG/L).....	43
TABELA 5 - CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE DBO, DQO E SST NO SISTEMA (MG/L).....	43
TABELA 6 – EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO DE DBO, DQO E SST.....	44
TABELA 7 - EFICIÊNCIAS MÉDIAS DE REMOÇÃO DE DBO, DQO E SST.....	44

GLOSSÁRIO

A/M:	relação alimento/microrganismo
C:N:P:	relação carbono: nitrogênio: fósforo
CECA:	comissão estadual de controle ambiental – RJ
CETESB:	companhia de tecnologia de saneamento ambiental – SP
COPAM:	conselho de política ambiental – MG
DBO:	d demanda bioquímica de oxigênio
DQO:	d demanda química de oxigênio
DS:	decantador secundário
ETE:	estação de tratamento de esgoto
F/M:	relação <i>food/microorganism</i>
FEAM:	fundação estadual do meio ambiente – MG
FEEMA:	fundação estadual de engenharia do meio ambiente – RJ
N:	símbolo químico do nitrogênio
FB:	filtro biológico

OD:	oxigênio dissolvido
OG:	óleos e graxas
P:	símbolo químico do fósforo
pH:	potencial hidrogeniônico, onde $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$
Q:	vazão
RNFT:	resíduos não filtráveis totais
SST:	sólidos suspensos totais
SSV:	sólidos suspensos voláteis
TDH:	tempo de detenção hidráulica
UASB:	reator anaeróbio de manta de lodo (<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>)

1. INTRODUÇÃO

O esgoto sanitário é constituído de aproximadamente 99,9% de água e 0,1% de sólidos. O líquido nada mais é que o meio de transporte das substâncias orgânicas, inorgânicas e dos microrganismos eliminados pelo homem, que são responsáveis, quando não tratados, pela deterioração do corpo receptor (Braga et al, 2002).

Ainda segundo Braga et al (2002), o esgoto contém inúmeros organismos vivos, tais como bactérias, vírus e protozoários que, em sua maioria, são liberados com os dejetos humanos. Alguns são de extrema importância para o próprio tratamento biológico dos efluentes, pois são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica complexa em compostos orgânicos mais simples e estáveis, possibilitando a separação das fases sólida e líquida, e, gerando com isso um efluente tratado assimilável pelo meio ambiente sem efeitos negativos.

De acordo com os dados apresentados pela Pesquisa Nacional do Saneamento Básico (IBGE, 2002), de um total de 9.848 distritos brasileiros, apenas 42% contam com redes coletoras, e desse montante, apenas 33% contam com algum tipo de tratamento. Apresenta, ainda que dos 5.561 municípios, 91% são considerados pequenos, apresentando populações inferiores a 50.000 habitantes.

Com base neste cenário, e em publicações de autores com Lettinga (1995) e Van Haandel & Lettinga (1994), entende-se que a condição brasileira impõe aos sistemas de tratamento algumas características indispensáveis, tais como: baixo custo de implantação e operação, baixo requisito de energia, simplicidade operacional, baixo requisito de área, baixa produção de lodo e eficiência adequada para atendimento às normas ambientais.

Segundo Coura & Van Haandel (1999) a associação de sistemas anaeróbio e aeróbio promete representar uma alternativa viável para sistemas híbridos de tratamento, sendo o reator anaeróbio a unidade de pré-tratamento, que possibilita a redução de tamanho e do consumo de energia do conjunto e oferece condições de digerir o lodo aeróbio excedente. Neste caso se tem um volume total de reatores muito menor e mantém-se a qualidade do efluente em patamares elevados pelo pós-tratamento realizado na fase aeróbia.

Nesse sentido, este trabalho, que está dirigido a sistemas compactos, de baixo custo e operação simplificada, com forte inserção em estratégias descentralizadas de tratamento de esgotos, pretende testar e avaliar a eficiência de um sistema misto

anaeróbio e aeróbio, em escala piloto, composto por reator anaeróbio de manta de lodo seguido de filtro biológico aeróbio, utilizando como meio suporte refugo de indústria de plástico, através do monitoramento de uma unidade experimental.

Na fase experimental, procedeu-se a montagem de uma instalação piloto na Estação de Tratamento de Esgotos Barreira do Triunfo, localizada em Juiz de Fora, da qual foi utilizado o esgoto bruto para os testes necessários ao funcionamento do sistema. As unidades principais da unidade experimental foram o tanque de controle de vazão, o reator anaeróbio de manta de lodo, o filtro biológico aeróbio e o decantador secundário.

Os reatores de manta de lodo, em especial o do tipo UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*), já possuem metodologias de dimensionamento e resultados científicos razoavelmente consagrados, enquanto que o filtro biológico aeróbio e seu recheio proposto, bem como a associação dessas duas operações unitárias, necessitam de investigações mais aprofundadas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

Este trabalho se propõe a pesquisar um sistema de tratamento misto anaeróbio e aeróbio e avaliar sua eficiência em uma instalação piloto, composto por reator UASB seguido de filtro biológico aeróbio, utilizando como meio suporte refugo de indústria de plástico, bem como verificar sua aplicabilidade, através do monitoramento da unidade experimental.

2.2. Objetivos Específicos

- Pesquisar o comportamento do sistema misto em uma unidade piloto;
- Avaliar a eficiência do sistema, em termos de remoção de matéria orgânica;
- Verificar a influência do retorno do lodo secundário para o interior do UASB sobre a eficiência do sistema;
- Comparar as eficiências obtidas no estudo com os sistemas disponíveis;
- Proceder uma avaliação comparativa com sistemas existentes tendo por objetivo que o sistema venha a ser uma alternativa de baixo custo capaz de atender a padrões restritivos de lançamento de efluentes;

3. ASPECTOS RELATIVOS AO TRATAMENTO DE ESGOTOS

3.1. Importância do Tratamento dos Esgotos

Praticamente todo esgoto gerado tem como destino final um corpo d'água. O lançamento destes efluentes em quantidades superiores à capacidade de assimilação do corpo receptor, gerando a contaminação das águas, pode acarretar além de danos ao meio ambiente, prejuízos à saúde pública.

No que tange a questão da preservação do meio ambiente, o lançamento de esgotos ocasiona a depleção do oxigênio dissolvido, podendo provocar a morte de peixes e outros organismos aquáticos.

Dentre as principais doenças relacionadas às fezes e, portanto, aos esgotos, estão a disenteria bacilar, o cólera, a leptospirose, a salmonelose, a febre tifóide, a disenteria amebiana, a giardíase, a hepatite, a gastroenterite e a poliomielite (Benenson, 1985).

Quanto aos aspectos legais ligados ao tratamento dos esgotos, a Resolução CONAMA 20, de 1986, classifica as águas doces, salobras e salinas do território nacional, de acordo com seus usos preponderantes, considerando o nível de qualidade que o corpo d'água deve possuir para atender às necessidades da comunidade. Dentre esses usos a Resolução destaca o abastecimento doméstico, a preservação do equilíbrio e proteção das comunidades aquáticas, a recreação de contato primário, a irrigação, a aqüicultura, a dessedentação de animais, a navegação e a harmonia paisagística. Por fim, define que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d'água desde que atendam aos padrões de qualidade e não confirmem ao corpo receptor características em desacordo com seu enquadramento.

Como o esgoto bruto típico não atende aos padrões legais, conforme mostrado na tabela 1, demonstra-se a obrigação legal do tratamento dos mesmos.

Tabela 1 – Parâmetros identificadores das características do esgoto e o padrão de lançamento

Parâmetro	Concentração	Padrão (CONAMA 20/86)
DBO	350 mg/L	Definidos pelo órgão de controle ambiental estadual
DQO	700 mg/L	
Sólidos Suspensos Totais	400 mg/L	
Sólidos Dissolvidos Totais	700 mg/L	-
Sólidos Decantáveis	15 mL/L	1 mL/L
Nitrogênio Total	50 mg/L	-
Fósforo Total	20 mg/L	-

pH	7	5 a 9
Óleos e Graxas	110 mg/L	50 mg/L

4. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

De modo geral, a poluição das águas tem como origem diversas fontes, associadas ao tipo de uso e ocupação do solo, dentre as quais destacam-se os esgotos sanitários, os efluentes industriais, carga difusa urbana e atividades mineradoras. Neste trabalho se abordam apenas aspectos referentes ao tratamento dos esgotos sanitários, sabido cada uma das fontes poluidoras citadas possui características próprias quanto aos poluentes que carregam.

Segundo Braga et al (2002), os processos bioquímicos de estabilização de matéria orgânica que ocorrem no meio aquático quando do lançamento de uma carga poluidora em um curso d'água resultam na depleção do oxigênio dissolvido requerido pelo metabolismo das bactérias decompositoras. Esta queda no OD provoca impacto no ecossistema aquático, resultando no conhecido cenário de rios urbanos desprovidos de vida em razão da utilização desses corpos d'água como escoadouro dos dejetos humanos lançados sem tratamento.

4.1. Autodepuração

Um dos maiores problemas de poluição dos cursos d'água é o consumo do oxigênio dissolvido após o lançamento de efluentes, sendo de grande importância para a determinação dos níveis de tratamento dos despejos sanitários o conhecimento da capacidade de assimilação da matéria orgânica presente no efluente por parte do corpo receptor, sem que haja prejuízos ao meio ambiente.

A matéria orgânica, representada pela DBO, presente em um esgoto é a responsável pela depleção de oxigênio dissolvido nos cursos d'água. Este fenômeno decorre dos processos naturais de estabilização da matéria carbonácea realizados por microrganismos decompositores que utilizam o oxigênio disponível para sua respiração. O decréscimo na concentração do OD tem diversas implicações negativas ao meio ambiente, como agressões aos ecossistemas aquáticos, eutrofização de corpos d'água, degradação dos mananciais e prejuízos à saúde pública.

O mecanismo natural através do qual o curso d'água se recupera, restabelecendo seu equilíbrio após as alterações causadas por um lançamento de efluentes chama-se autodepuração, e se dá pela conversão dos compostos orgânicos em compostos inertes (mineralizados), não prejudiciais ao meio ambiente.

De um ponto de vista prático, pode-se considerar que uma água esteja depurada quando suas características estiverem novamente em conformidade com a utilização prevista em determinado trecho do curso d'água. Não existe uma depuração absoluta, já que o ecossistema é obrigado a atingir um novo equilíbrio em condições distintas das originais, pela presença de produtos e subprodutos da decomposição que antes não existiam no meio.

Conhecendo-se o fenômeno de autodepuração e sua quantificação pode-se utilizar a capacidade de assimilação dos rios sem que haja danos ao meio ambiente, desde que utilizada com critérios técnicos seguros e bem definidos; bem como a definir o nível crítico da capacidade de autodepuração e impedir que sejam feitos lançamentos com cargas poluidoras acima deste nível.

Segundo Von Sperling (1995) no momento anterior ao lançamento da carga poluidora pressupõe-se um estado natural de equilíbrio, resultando de uma desordem inicial seguida de uma tendência posterior de reorganização. Conforme Ramalho (1983), a presença ou ausência de poluição pode ser caracterizada pelo nível de diversidade de espécies. Em condições naturais os ecossistemas apresentam elevada diversidade de espécies (elevado número de espécies e reduzido número de indivíduos de cada espécie), enquanto que em condições alteradas estes se apresentam com baixa diversidade de espécies.

Esta redução na diversidade é causada pela seleção natural de espécies mais resistentes à poluição, somente aquelas mais adaptadas às novas condições se adaptam, e, geralmente se proliferam, resultando em um elevado número de indivíduos destas poucas espécies resistentes, em detrimento das outras espécies que não puderam por suas características se adaptar à nova condição.

Os diferentes estágios da sucessão ecológica, dentro do processo de autodepuração, podem ser associados a zonas fisicamente identificáveis no decorrer do processo.

Braga (2002) define as diferentes zonas de autodepuração em:

- Zona de águas limpas
- Zona de degradação
- Zona de decomposição ativa
- Zona de recuperação

Na zona de águas limpas a água está em seu estado inicial, com sua biota em equilíbrio e sua concentração de OD em níveis normais.

A zona de degradação tem seu início logo após o lançamento do esgoto no curso d'água e sua principal característica química é a alta concentração de matéria orgânica, ainda em seu estágio mais complexo.

Na zona de decomposição ativa os índices de oxigênio dissolvido atingem suas menores concentrações em razão da elevada atividade decompositora dos microrganismos.

Na zona de recuperação, grande parte do esgoto foi mineralizado e o curso d'água inicia sua recuperação ate condições próximas às iniciais.

4.2. Eutrofização

A eutrofização consiste no enriquecimento nutritivo das coleções de água por compostos orgânicos e inorgânicos de nitrogênio e fósforo, promovendo, com isso, um crescimento desordenado de algas.

Dentre outras formas de contribuição de nutrientes para os corpos d'água, destaca-se a advinda dos lançamentos de esgotos em sistemas lênticos (corpos lagunares) com ou sem tratamento, uma vez que boa parte dos tratamentos comumente utilizados não remove nutrientes a ponto de prevenir o fenômeno da eutrofização.

Segundo Sperling (1995) e Brito (1944) os principais efeitos negativos da eutrofização incluem:

- Problemas estéticos e recreacionais
- Condições de anaerobiose no corpo d'água
- Elevação nos custos do tratamento de água para abastecimento
- Problemas com o abastecimento de água industrial
- Toxicidade das algas
- Impacto sobre a ictiofauna
- Perda de navegabilidade
- Desaparecimento gradual do corpo d'água

5. PRINCIPAIS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Segundo Jordão & Pessôa (1995) os processos de tratamento dos esgotos são formados por uma série de operações unitárias, que são empregadas para a remoção de substâncias indesejáveis ou para a transformação destas substâncias em outras, de forma aceitável.

De modo geral, os processos de tratamento podem ser classificados, em função de seu mecanismo predominante, em processos físicos, químicos e biológicos.

5.1. Processos Físicos

Os processos físicos baseiam-se no fenômeno de separação de fases distintas, aplicáveis, principalmente, a substâncias em suspensão ou com densidade distinta do esgoto. Exemplo: areia e gorduras presentes no esgoto, respectivamente.

Podem ser relacionados como processos físicos:

- a) Remoção de sólidos grosseiros;
- b) Remoção de sólidos sedimentáveis;
- c) Remoção de sólidos flutuantes.

5.2. Processos Químicos

Os processos químicos são aqueles em que há necessidade de dosagem de produtos químicos, e, para efluentes sanitários, raramente são adotados isoladamente, sendo utilizados, geralmente, quando os processos físicos ou biológicos, por si só, não são suficientes para obtenção da qualidade desejada para o efluente final.

Jordão & Pessôa (1995), citam como processos químicos mais comumente adotados no tratamento de esgotos os seguintes:

- a) Floculação;
- b) Precipitação química;
- c) Elutriação;
- d) Oxidação química;
- e) Cloração;
- f) Correção de pH.

5.3. Processos Biológicos

Segundo Sperling (1996), o tratamento biológico de esgotos ocorre inteiramente por mecanismos biológicos, que reproduzem processos naturais que ocorrem no corpo receptor após o lançamento dos despejos, convertendo a matéria orgânica em produtos mineralizados e inertes. Portanto, em uma estação de tratamento de esgotos ocorrem estes mesmos fenômenos naturais, minimizando-se o tempo e aumentando-se as velocidades de reações.

Os principais processos de tratamento de esgotos sanitários e suas respectivas variantes, segundo Von Sperling (1996) são:

- a) Lagoas de Estabilização
 - i) Lagoa Facultativa;
 - ii) Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa;
 - iii) Lagoa Aerada Facultativa;
 - iv) Lagoa Aerada de Mistura Completa seguida de Lagoa de Decantação.
- b) Lodos Ativados
 - i) Convencional;
 - ii) Aeração Prolongada;
 - iii) Seqüencial em Batelada.
- c) Sistemas Aeróbios com Biofilmes
 - i) Filtros Biológicos;
 - ii) Biofiltro Aerado Submerso;
 - iii) Biodiscos.
- d) Sistemas Anaeróbios
 - i) Reator Anaeróbio de Manta de Lodo – UASB;
 - ii) Filtro Anaeróbio;
- e) Sistemas de Disposição no Solo
 - i) Infiltração Lenta;
 - ii) Infiltração Rápida;
 - iii) Infiltração subsuperficial;
 - iv) Escoamento Superficial.

6. ESTADO DA ARTE

Este estudo está dirigido basicamente a sistemas compactos, de baixo custo e operação simplificada, com forte inserção num contexto de uma política de tratamento de esgotos descentralizada.

Esta descentralização pode, em muitos casos, ser capaz de viabilizar a implantação de um projeto graças à possibilidade de pequenos investimentos em diversas etapas, por conta do aproveitamento das redes existentes. Assim, maiores investimentos em coletores de grandes diâmetros, destinados a conduzir os esgotos a uma única Estação de Tratamento de grande porte, se tornariam desnecessários (Cynamon, 1986).

A configuração proposta foi adotada como objeto deste estudo por ser uma solução de baixo custo de implantação e de operação e de baixa demanda de área, aplicável a Companhias de Saneamento, condomínios particulares, indústrias com efluentes de características predominantemente orgânicas, centros comerciais, *shoppings*, hospitais, etc.

6.1. Processos Anaeróbios

No processo de conversão da matéria orgânica em meio anaeróbio são utilizados aceptores inorgânicos de elétrons como o NO_3^- (redução de nitrato), SO_4^{2-} (redução de sulfato), ou CO_2 (formação de metano). A digestão anaeróbia representa um sistema ecológico balanceado, onde cada microrganismo tem uma função essencial. A digestão de compostos complexos é, normalmente, considerada um processo de dois estágios. No primeiro, compostos como carboidratos, lipídios e proteínas são hidrolisados, fermentados e biologicamente convertidos pelas bactérias acidogênicas em substâncias orgânicas mais simples, principalmente ácidos voláteis. No segundo ocorre a conversão destes ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais gasosos (CH_4 e CO_2) pelas bactérias metanogênicas que dependem do substrato fornecido pelas acidogênicas, configurando, portanto, uma interação fundamental ao processo (Chernicharo, 1997).

Segundo Jordão & Pessoa (1995), os processos anaeróbios conseguem um elevado tempo de detenção de sólidos, diminuindo a quantidade de lodo a ser

descartado e um reduzido tempo de detenção hidráulica, tornando menor a demanda de área desta alternativa.

Os reatores anaeróbios de manta de lodo, também denominados UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, RAFA – reator anaeróbio de fluxo ascendente, DAFA, digestor anaeróbio de fluxo ascendente ou RALF – reator anaeróbio de leito fluidizado, consistem, basicamente, em reatores nos quais se promove um fluxo ascendente ao esgoto através de um leito denso, em meio anaeróbio e de elevada atividade biológica. (Chernicharo, 1997) (Jordão & Pessoa, 1995) (Van Haandel & Lettinga, 1994)

A mistura do sistema é promovida pelo fluxo ascensional e pelas bolhas dos gases gerados. Estes gases são direcionados por meio de defletores, que impedem o arraste de partículas sólidas e possibilitam a coleta dos gases para serem queimados ou aproveitados energeticamente. Sendo assim, os sólidos sedimentam e retornam à câmara de digestão.

A digestão anaeróbia representa um sistema ecológico balanceado, onde cada microrganismo tem uma função essencial. A digestão de compostos complexos é, normalmente, considerada como um processo de dois estágios. No primeiro, estes compostos são hidrolisados, fermentados e biologicamente convertidos pelas bactérias acidogênicas em substâncias orgânicas mais simples, principalmente ácidos voláteis. No segundo ocorre a conversão destes ácidos orgânicos pelas bactérias metanogênicas que dependem do substrato fornecido pelas acidogênicas, configurando, portanto, uma interação fundamental ao processo (Chernicharo, 1997).

Apesar das diversas vantagens do reator anaeróbio de manta de lodo, tais como tempos de detenção reduzidos, baixos custos de implantação e operação, reduzida produção de lodo, e um consumo de energia desprezível, o UASB por si só não é capaz de atender a padrões mais exigentes de lançamento em cursos d'água, sendo bastante usual associá-lo a um pós-tratamento (Chernicharo et al, 2001), (Lettinga, 1995) e (Van Haandel & Lettinga, 1994).

Segundo Van Haandel et al (1999a), que estudaram, em escala piloto, a influência da relação área/profundidade sobre o desempenho de reatores UASB operando a tempos de detenção hidráulica iguais, a variação desta relação não influenciou significativamente sobre a eficiência de remoção de matéria orgânica medida em mg DQO/L, que manteve a média de 80% para o efluente decantado. Contudo, foi observado que para velocidades ascensionais muito baixas ($< 0,28 \text{ m.h}^{-1}$) ocorre acúmulo de grande quantidade de sólidos inorgânicos no fundo dos reatores e para

velocidades maiores ($< 0,5 \text{ m.h}^{-1}$) a massa de lodo volátil tendeu a ser pouco maior que a do lodo orgânico.

Em outra publicação, Van Haandel et al (1999b), compararam, ainda, também em escala piloto, o desempenho de reatores UASB unitários com o desempenho de reatores em série (tendo juntos o mesmo tempo de detenção que o reator unitário) e concluíram que a alta eficiência da fermentação metanogênica e a alta alcalinidade do esgoto favoreceram uma excelente estabilidade operacional dos sistemas (pH entre 6,8 e 7,0), que a alta eficiência metanogênica no primeiro reator dos sistemas em série demonstrou a inviabilidade de se separar a fermentação ácida da metanogênica e que numa série de dois reatores UASB, o segundo contribui muito pouco para o tratamento do esgoto, de maneira que a operação em série não oferece vantagens sobre reatores UASB unitários.

Neder et al (1999) acompanharam o funcionamento de reatores UASB, construídos pela CAESB em Brasília para atendimento de populações entre 40.000 e 90.000 habitantes. Os reatores foram executados enterrados no solo, com paredes taludadas revestidas com argamassa armada moldada diretamente sobre o solo, que funcionou como elemento suporte do tanque, dispensando paredes estruturais. A escavação do tanque foi feita já na sua forma final e a ausência de estruturas de concreto ou de aço fez com que o processo construtivo obtivesse resultados extremamente econômicos. As eficiências se mantiveram em torno de 68% para a remoção de DBO e 66% para a remoção de Sólidos Suspensos Totais (SST). As características construtivas utilizadas permitiram construir um sistema a um custo extremamente reduzido, permitindo concluir que o reator descrito é uma alternativa bastante atraente para as condições brasileiras.

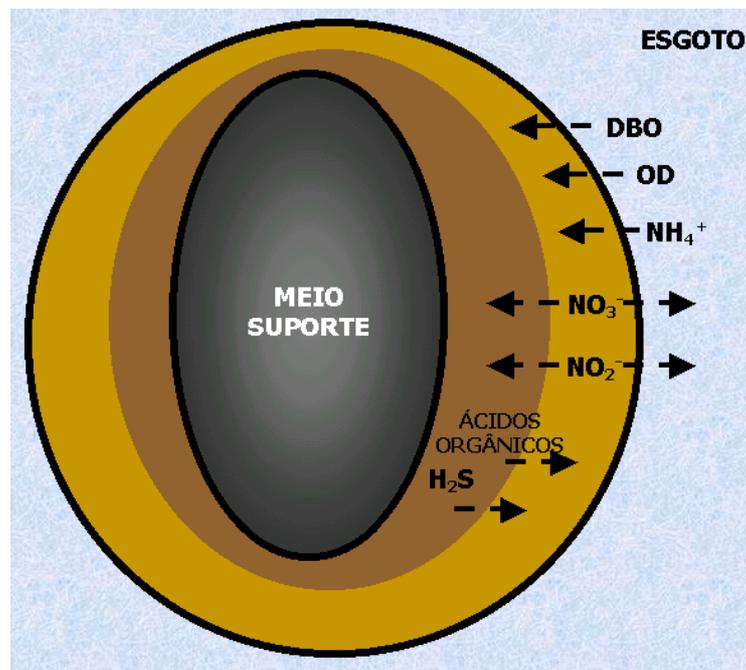
6.2. Processos por Biofilme

Os processos de tratamento por reatores com formação de biofilme apresentam a vantagem de que uma elevada concentração de biomassa pode ser retida em um reator por elevados períodos de tempo. Segundo Lubberding (1995), os processos de adsorção celular têm sido aplicados em uma escala mais ampla e otimizada em vários processos biotecnológicos, bem como no tratamento de esgotos.

No biofilme, os compostos necessários para o desenvolvimento bacteriano, como matéria orgânica, oxigênio, e micronutrientes, são adsorvidos à superfície. Após a

aderência, eles são transportados através do biofilme por mecanismos de difusão, onde são metabolizados pelos microrganismos. Sólidos de natureza coloidal ou suspensa não conseguem se difundir no biofilme, necessitando ser hidrolisados a moléculas de menores dimensões. Os produtos finais do metabolismo são transportados no sentido contrário, em direção à fase líquida (Iwai e Kitao, 1994). A figura 1 ilustra as trocas realizadas pelo biofilme.

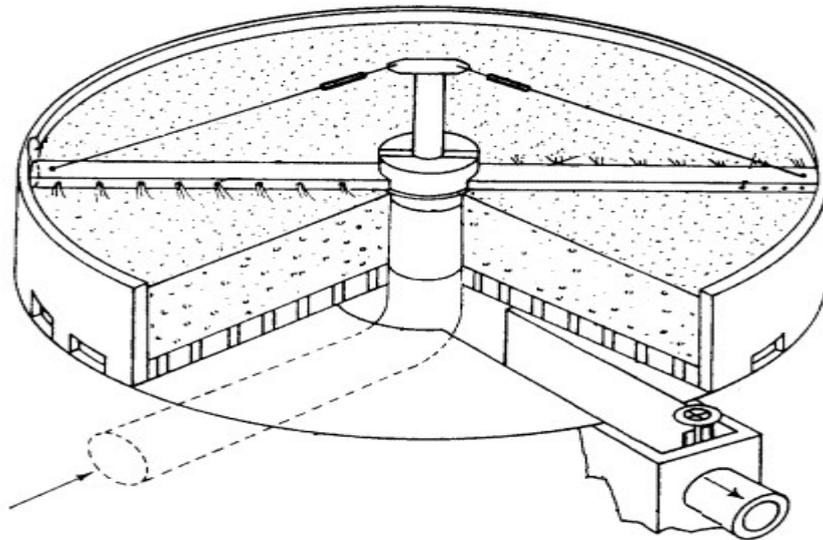
Figura 1 – Representação esquemática do biofilme (adaptado de Iwai e Kitao, 1994)



6.2.1. Filtração Biológica

O Filtro Biológico consiste, genericamente, em um leito fixo permeável onde os microrganismos se fixam, formando o biofilme, e através do qual o esgoto é percolado e entra em contato com o ar, que é responsável pelo fornecimento de oxigênio ao sistema. Na figura 2 vê-se a representação esquemática de um Filtro Biológico Aeróbio.

Figura 2 – Filtro Biológico Aeróbio

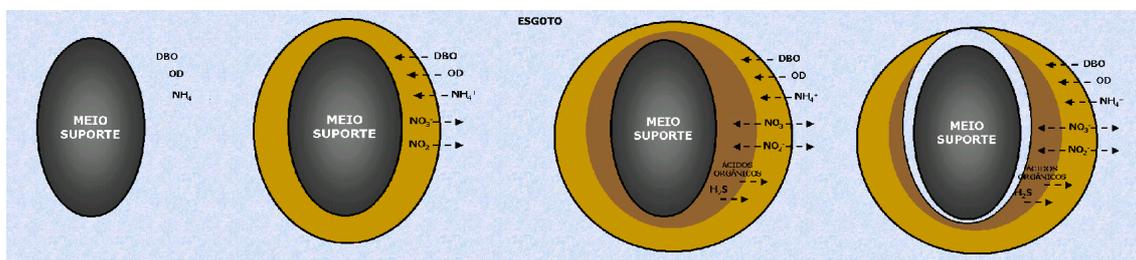


Nos filtros biológicos de maior profundidade, há a necessidade de ventilação na parte inferior do reator para que se promova uma corrente de ar vertical ascendente ou descendente pelo efeito de convecção proporcionado pelo gradiente de temperatura do próprio esgoto em fluxo descendente (Imhoff, 1985).

Segundo Iwai & Kitao (1994), os compostos necessários para o desenvolvimento bacteriano, como matéria orgânica, oxigênio, e micronutrientes, são adsorvidos à superfície e transportados através do biofilme por mecanismos de difusão, onde são metabolizados pelos microrganismos. Sólidos de natureza coloidal ou suspensa não conseguem se difundir no biofilme, necessitando ser hidrolisados a moléculas menores e os produtos finais do metabolismo são transportados no sentido contrário, em direção à fase líquida. À medida que penetra no biofilme, o oxigênio é consumido até atingir valores que definem condições anóxicas ou anaeróbias, podendo-se ter, portanto, uma camada externa com oxigênio, e outra interna desprovida de oxigênio, além de uma camada intermediária, onde se desenvolvem condições anóxicas capaz de promover a redução de nitratos. Esta coexistência entre condições aeróbias, anóxicas e anaeróbias é uma importante característica do filtro biológico.

A matéria orgânica presente no esgoto será digerida pela população de microrganismos presentes no biofilme formado sobre o meio suporte. Enquanto os microrganismos crescem, a espessura da camada biológica aumenta, e o oxigênio disponível é consumido antes que possa penetrar a uma profundidade maior desta camada, formando um ambiente anaeróbio perto da superfície do meio suporte. Como a camada aumenta em espessura, a matéria orgânica digerida é metabolizada antes que possa alcançar os microrganismos perto da face do meio, que por não terem nenhuma fonte externa de matéria orgânica participam de uma fase endógena de crescimento e perdem sua habilidade de aderência. O líquido, então, lava a camada biológica para que uma nova camada possa crescer. Este fenômeno de perder parte da biomassa é basicamente uma função do carregamento hidráulico no filtro (relacionado às velocidades de percolação) e ajuda a selecionar os microrganismos e manter no interior do reator os de maior capacidade metabólica. As placas de microrganismos que se despreendem do meio suporte formam o lodo secundário que é separado da fase líquida no Decantador Secundário. A figura 3 mostra a evolução do biofilme sobre o meio suporte.

Figura 3 – Evolução do biofilme sobre o meio suporte



Conforme descrito por Imhoff (1985), a recirculação do efluente fornece ao afluente certa quantidade de nitratos, oxigênio dissolvido, organismos vivos e enzimas, rejuvenesce o esgoto bruto, eleva o pH, elimina o cheiro, estimula o tratamento e aumenta a eficiência da ação das camadas inferiores do filtro.

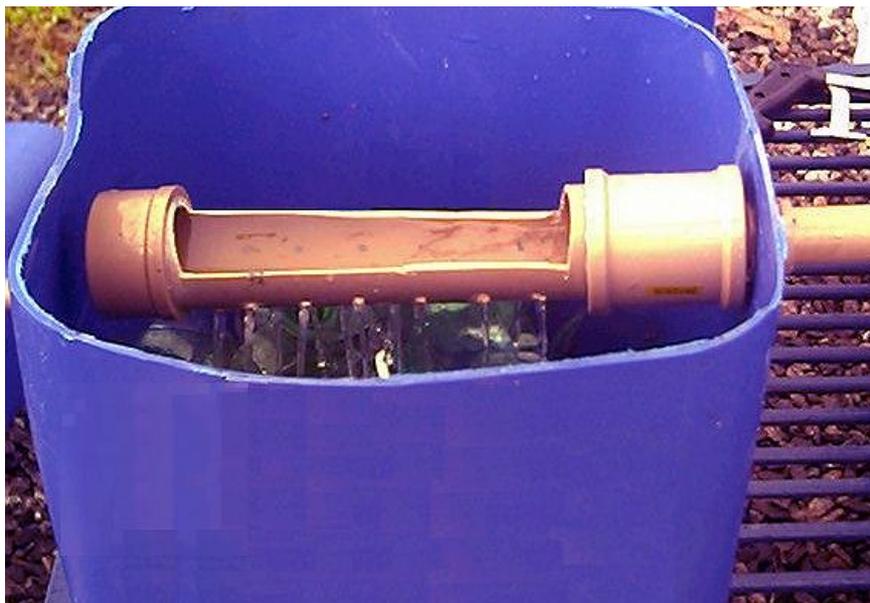
6.2.2.O Meio Suporte do Filtro Biológico

Tradicionalmente, os materiais mais utilizados para meio suporte (antigamente denominado meio filtrante) dos Filtros Biológicos são pedregulhos, cascalhos, pedras britadas, materiais plásticos (figura 4) e escória de autoforos (Jordão & Pessoa, 1995).

Neste trabalho estudou-se a possibilidade de utilizar os resíduos sólidos gerados por indústrias de embalagens plásticas para produtos alimentícios como meio suporte de filtros biológicos, como forma de associar duas questões ambientais de grande importância como o tratamento dos esgotos sanitários e a disposição final de resíduos industriais.

Embora o rejeito desta operação industrial não seja considerado um resíduo perigoso, entende-se que sua utilização com meio suporte do filtro biológico contribua para que se possam, em função do baixo peso deste material e de seu elevado índice de vazios, construir plantas de tratamento de esgotos de mais baixo custo, além de agregar valor econômico a um rejeito industrial.

Figura 4 – Meio Suporte no filtro biológico



7. PÓS-TRATAMENTO DE REATORES ANAERÓBIOS

Segundo Chernicharo et al (2001) os reatores anaeróbios geralmente não produzem efluentes que atendam aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira, sendo de importância capital seu pós-tratamento como forma de adequá-los. Assim, o pós-tratamento tem por objetivo complementar a remoção de matéria orgânica, bem como suprir as deficiências do sistema anaeróbio, em termos de remoção de nutrientes e organismos patogênicos quando isto se fizer necessário.

Em pesquisa referente à associação de sistema anaeróbio-aeróbio, Freire et al (1999), utilizaram um sistema combinado UASB - Lodos Ativados em escala reduzida para tratamento de esgotos sanitários com tempos de detenção hidráulica de 4,0 h no UASB e de 2,8 h no reator de lodos ativados, atingindo eficiências acima de 90%. Verificou-se que a aplicação da vazão variável não afetou o desempenho do sistema. O reator de lodos ativados foi projetado com idade de lodo de um sistema convencional (7 dias), com decantador secundário e recirculação, porém sem o decantador primário, que foi substituído pelo reator UASB, e sem as etapas de tratamento do lodo de descarte, pois o mesmo foi retornado para o interior do UASB, sem prejuízos para o sistema.

Aisse et al (2001) acompanharam o funcionamento de um sistema UASB seguido de filtro biológico convencional sem recirculação de efluente, construído no Paraná em escala piloto, e verificaram uma eficiência média de remoção de matéria orgânica de 71,6%, expressa em termos de DQO e de 64,3% para remoção de SST. Foi observado que o efluente apresentou concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, geralmente superiores a 2,0 mg O₂/L.

Bof et al (1999) associaram, em escala piloto, um reator UASB a um biofiltro aerado submerso operando sob variações de cargas hidráulica e orgânica e com recirculação do lodo aeróbio para o interior do UASB. O reator anaeróbio absorveu bem os impactos de carga e produziu efluentes de concentrações pouco variáveis. A recirculação do lodo aeróbio para o UASB não produziu nenhum efeito negativo sobre seu desempenho contribuindo inclusive para uma redução de 25% do lodo, que foi digerido no interior do UASB, o que em uma estação em escala real, excluiria a necessidade de unidades específicas para este fim, reduzindo, portanto, a demanda de área para implantação do sistema, que apresentou eficiências de 93% (DBO), 89% (DQO) e 92% (SST) e se mostrou como uma alternativa de tratamento de esgotos com baixa produção de lodo e baixo consumo de energia.

Nascimento et al (2000) submeteram a choques de carga hidráulica um sistema composto por um UASB seguido de um filtro biológico com configuração não convencional, onde o compartimento de decantação localizava-se na base do próprio filtro. As eficiências médias, em termos de remoção de DQO, variaram bastante (69 a 91%) em função dos choques de carga hidráulica, embora estes choques não tenham sido tão significativos em termos de concentração final de sólidos suspensos, que se mantiveram entre 21 e 30 mg SST/L, atendendo com folga o padrão de lançamento de 60 mg SST/L estabelecido pela Deliberação Normativa 10/86 do COPAM (Minas Gerais, 1986).

Com base nos estudos citados, nota-se que a associação de sistemas anaeróbios-aeróbios tem se mostrado com uma alternativa que agrega as vantagens do sistema anaeróbio, no que tanque a simplicidade operacional, seus baixos custos de implantação e operação, dentre outros, com o atendimento às normas ambientais, além da possibilidade de estabilização do lodo produzido pelo conjunto na fase anaeróbia.

8. RELEVÂNCIA

A lei 6.938 de 1981, em seu artigo 4.º item IV, define como um dos objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias nacionais orientadas ao uso racional dos recursos ambientais, além de estabelecer, em seu artigo 9.º item V, como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente o incentivo à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental.

A Pesquisa Nacional do Saneamento Básico, publicada pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, indica que dos 9.848 (nove mil oitocentos e quarenta e oito) distritos brasileiros, apenas cerca de 42% possuem rede coletora de esgotos. Destes 42%, apenas 34% possuem algum tipo de sistema de tratamento de esgotos sanitários, o que representa que menos de 15% dos distritos brasileiros tratam seus esgotos.

Além disso, se levadas em conta as mais diversas realidades e particularidades de cada localidade, as condições brasileiras apontam claramente para a necessidade do desenvolvimento de tecnologias simples, de baixo custo e elevada confiabilidade para o tratamento dos esgotos como um agente facilitador do êxito de ações de saneamento e de proteção dos recursos hídricos, principalmente, em se considerando que, segundo o IBGE, 91% dos municípios brasileiros são considerados pequenos, pois possuem população menor que 50.000 habitantes.

A falta de mão de obra qualificada para operação de sistemas complexos, os altos investimentos e o próprio equívoco em considerar os corpos hídricos como recurso inesgotável e com capacidade de assimilação de qualquer despejo que nele se faça, demonstram a notória necessidade de processos simplificados para uma mudança significativa no quadro sanitário e conseqüente melhora nos números publicados pelo IBGE.

8.1. Aspectos Legais sobre o tratamento dos esgotos

As ações humanas que se desenvolvem sobre o meio ambiente levam a diversas modificações sobre este. Tais modificações são denominadas genericamente de impactos ambientais, uma vez que, a partir de um determinado momento e em

decorrência do caráter da ação, as condições anteriormente instaladas no local passam a apresentar modificações em seus aspectos originais.

Sempre, em maior ou menor intensidade, o meio ambiente tem capacidade de reagir a impactos e adquirir uma nova conformação. Todavia, esta nova configuração muitas vezes atinge níveis de qualidade incompatíveis com a própria preservação do sistema.

A Constituição Brasileira de 1988, reza no artigo 225 que todos têm direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

A Lei 6.938/81 define como meio ambiente o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas. Define, ainda, como poluidor a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividades causadoras de degradação ambiental. Esta mesma Lei define como um dos objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente o estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais, consagrando assim o Princípio do Limite, cabendo aos sistemas de tratamento de esgotos atender a estes limites.

No Estado do Rio de Janeiro estes limites são dados pela NT-202.R10, que define os critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos e pela DZ-215.R1, que dá as diretrizes para o controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem não industrial, ambas publicadas pela CECA e utilizadas pela FEEMA.

Em Minas Gerais estes limites são dados pela Deliberação Normativa 10/86 do COPAM, que estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamento de efluentes nas coleções de águas, e dá outras providências.

Em São Paulo o padrão de lançamento de efluentes foi disciplinado pelo Decreto n. 8.468, de 08 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio-ambiente.

Vale ressaltar que em 1998, com a publicação da Lei 9.605, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, segundo o art. 54 § 2.º, o lançamento de efluentes em desacordo com as

exigências estabelecidas em leis ou regulamentos passou a ser considerado crime ambiental.

8.2. Padrões de Lançamento no Estado de São Paulo

No Estado de São Paulo, o Decreto n. 8.468, de 08 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio-ambiente determina os limites estabelecidos como padrão de lançamento de efluentes.

O mecanismo de controle de concentração de matéria orgânica presente no efluente, em termos de concentração de DBO, baseia-se na determinação do limite de 60 mg/L ou adoção de processo de tratamento que garanta uma eficiência mínima de 80% de redução da DBO.

8.3. Padrões de Lançamento no Estado do Rio de Janeiro

Os Padrões de Lançamento de efluentes no Estado do Rio de Janeiro são definidos pela NT-202.R-10, publicada em 1986. De forma complementar, tem-se a DZ-215.R1, que dá as diretrizes de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem não industrial, e define as eficiências exigíveis para a seleção do processo de tratamento em função da carga orgânica aplicada de acordo com a tabela 2, abaixo.

Tabela 2 –Eficiências mínimas e concentrações máximas de lançamento (FEEMA, 1986)

Carga Orgânica (Kg DBO/d)	Eficiência (%)	Concentrações (mg/L)	
		DBO	RNFT
$C \leq 10$	30	180	180
$10 < C \leq 50$	70	80	80
$50 < C \leq 100$	80	60	60
$C > 100$	90	30	30

Com isso, a legislação fluminense exige uma eficiência de tratamento maior, e obviamente o emprego de maior tecnologia, quanto maior seja o lançamento de esgotos, em termos de carga orgânica.

8.4. Padrões de Lançamento no Estado de Minas Gerais

No estado de Minas Gerais o instrumento legal que define o padrão de lançamento de efluentes é a Deliberação Normativa 10/86 do COPAM, que estabelece normas e padrões para qualidade das águas e lançamento de efluentes nas coleções de águas.

A DN 10/86 do COPAM estabelece, em relação à DBO, um limite de 60 mg/L, exceto quando o sistema de tratamento reduzir a carga poluidora de efluente, em termos de DBO do despejo, em, no mínimo 85%. Para a DQO, a Deliberação determina uma concentração máxima de 90 mg/L ou uma eficiência mínima de redução de DQO de 90%.

Determina para os sólidos suspensos totais uma concentração máxima diária de 100 mg/L ou uma concentração média aritmética mensal de 60 mg/L.

8.5. Comparação entre as Normas Estaduais

Pode-se observar que a legislação de São Paulo e de Minas Gerais impõem um limite de DBO do efluente de 60 mg/L, enquanto no Rio de Janeiro utiliza-se o conceito de atendimento à eficiência de remoção mínima ou concentração efluente máxima, em função de faixas de carga orgânica.

Se por um lado Minas Gerais e São Paulo são, de modo geral, mais restritivos para pequenos lançamentos, se comparados com a legislação fluminense, isso acaba por inviabilizar a implantação de processos menos sofisticados para pequenos empreendimentos que trariam o benefício do tratamento desses esgotos, estando, porém, em desacordo com a legislação estadual.

No entanto, sob a ótica do conceito da eficiência mínima ou concentração máxima, passa-se a exigir de um grande poluidor o emprego da melhor tecnologia disponível para adequação de seus efluentes às normas ambientais.

9. ETE BARREIRA DO TRIUNFO

A fase experimental deste estudo foram realizadas na Estação de Tratamento de Esgotos da Barreira do Triunfo, mantida pela CESAMA – Companhia Municipal de Saneamento, que controla e opera a ETE, além de submeter periodicamente os resultados das análises de eficiência ao órgão ambiental de Minas gerais – FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente.

A ETE recebe contribuições tanto de efluentes industriais, previamente tratados por processos físico-químicos, advindos das linhas de fabricação da Daimler Crysler do Brasil, indústria do setor automotivo, localizada ao lado da Estação de Tratamento, quanto de esgotos sanitários provenientes do bairro Barreira do Triunfo e das instalações hidro-sanitárias da planta industrial.

O efluente utilizado no modelo reduzido advinha do tanque de equalização da ETE, após este já ter passado pelas operações unitárias de gradeamento, desarenação e equalização. Todas as análises apresentadas neste trabalho foram realizadas pelo laboratório da ETE Barreira do Triunfo.

9.1. Descrição da ETE Barreira do Triunfo

O processo de tratamento da ETE Barreira do Triunfo é do tipo lodos ativados, de modalidade aeração prolongada, com uma eficiência média de 97%, em termos de redução de DBO, o que garante ao efluente tratado uma condição de enquadramento à legislação ambiental estadual, permitindo, com isso, seu lançamento no rio Paraibuna, pertencente à bacia do rio Paraíba do Sul.

A capacidade da ETE é de tratar até 910 m³/d, o que representa, considerando-se uma DBO bruta de 350 mg/L, um equivalente populacional de cerca de 6.000 habitantes.

No processo, o esgoto bruto é submetido à etapa de tratamento preliminar, constituído pelo sistema de gradeamento, que visa remover sólidos grosseiros; pela caixa de areia, que tem por objetivo remover partículas minerais do líquido e pelo medidor de vazão, de onde segue para o tanque de equalização.

9.2. Caracterização do Esgoto Bruto

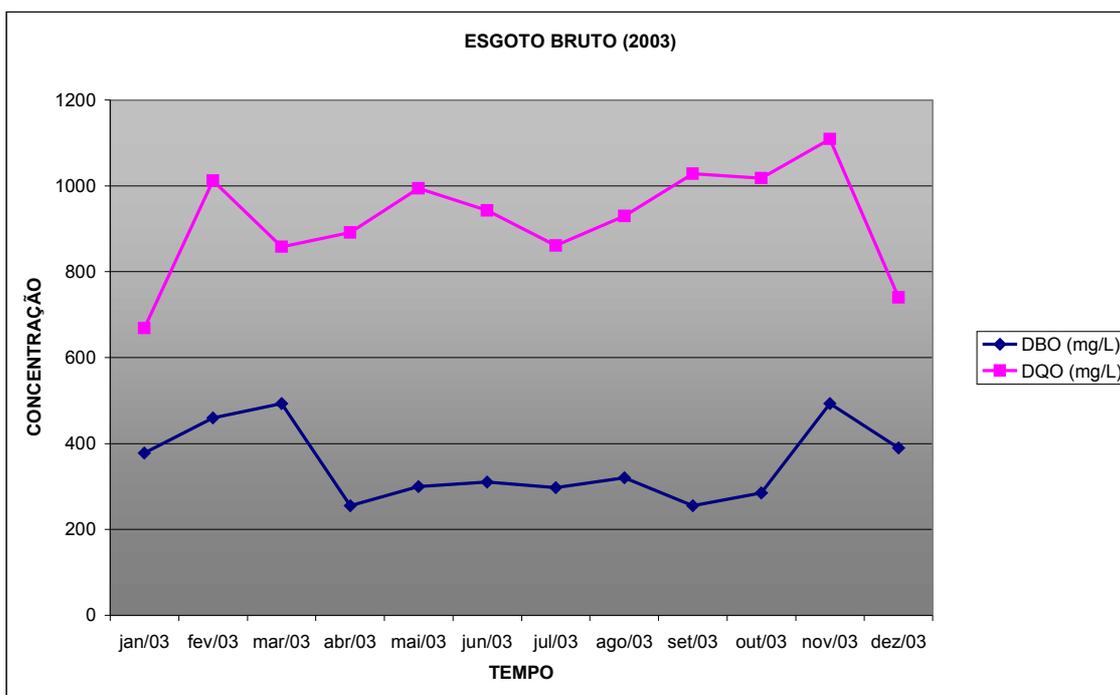
Foram obtidos, junto à CESAMA, os dados referentes ao esgoto bruto afluente à ETE. Estes dados são provenientes do programa de monitoramento da estação e servem, neste trabalho, para caracterizar o esgoto que entra no modelo reduzido.

Na tabela 3 são mostradas as médias mensais da DBO e da DQO colhidas durante o ano de 2003, devidamente *plotados* no gráfico 1.

Tabela 3 – DBO e DQO do esgoto bruto

Mês	DBO(mg/L)	DQO(mg/L)	DQO/DBO
jan/2003	378	669	1,77
fev/2003	460	1012	2,20
mar/2003	498	858	1,74
abr/2003	255	891	3,49
mai/2003	300	994	3,31
jun/2003	310	943	3,04
jul/2003	297	861	2,90
ago/2003	320	930	2,91
set/2003	255	1028	4,03
out/2003	285	1018	3,57
nov/2003	498	1109	2,25
dez/2003	390	740	1,90
Médias	353	921	2,76

Gráfico 1 – DBO e DQO do esgoto bruto



A variação dos valores de DBO e DQO do esgoto bruto demonstra que o afluente à estação de estudo apresenta concentrações de substrato tipicamente misturados, apresentando médias, principalmente em termos de DQO, que variam em função dos efluentes industriais lançados na rede.

Pode-se notar que nos meses de maior atividade da indústria: fevereiro, setembro, outubro e novembro, épocas prováveis de maior produção de veículos, os valores de DQO se elevaram acentuadamente, embora a DBO tenha se mantido praticamente estável ao longo dos meses de observação, à exceção de fevereiro, março e novembro de 2003.

Em termos de médias mensais, pode-se verificar que os esgotos podem ser tratados via processos biológicos, devido às relações DQO/DBO favoráveis em todos os meses analisados. As médias anuais, no caso, não têm significância em relação ao tratamento, pois dependem de fatores limitantes sazonais.

Considera-se, ainda, que os valores de nitrogênio e fósforo no esgoto bruto encontram-se dentro dos valores preconizados, uma vez que parcela significativa de sua composição advém da contribuição dos esgotos sanitários do bairro Barreira do Triunfo, embora a carga orgânica aplicada não favoreça a processos anaeróbios.

9.3. Local de Montagem do Modelo Piloto

O local utilizado para a montagem do modelo reduzido foi a Estação de Tratamento de Esgotos da Barreira do Triunfo, localizada no bairro Barreira do Triunfo, Juiz de Fora, município pertencente à Zona da Mata do Estado de Minas Gerais.

10. METODOLOGIA

O levantamento de informações seguiu as seguintes etapas: levantamento bibliográfico, levantamento de informações junto a instituições de pesquisa, tais como universidades, bibliotecas e órgãos ligados ao meio ambiente, visitas técnicas, montagem de estação piloto, monitoramento dos parâmetros pertinentes na unidade piloto, documentação fotográfica, análise e estruturação das informações bibliográficas e de campo.

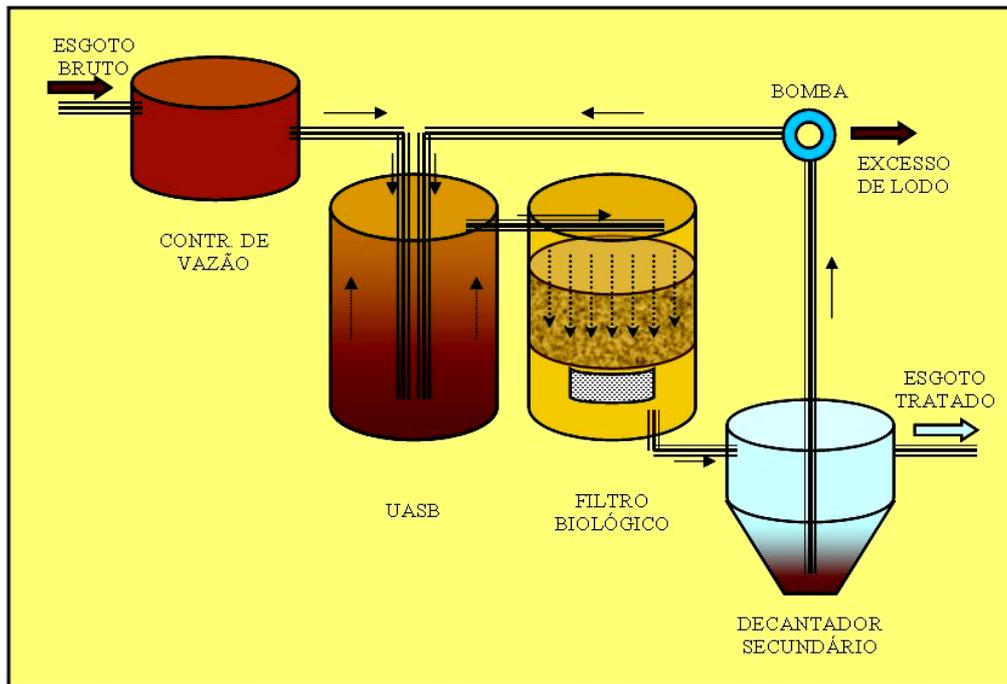
O levantamento bibliográfico foi complementado através de pesquisa de literatura técnica, em livros, revistas, trabalhos publicados e demais informações disponíveis no meio acadêmico, em companhias de saneamento, órgãos ambientais, na *internet* e em empresas privadas atuantes na área. Foram, também, levantadas normas e legislações referentes a padrões de lançamentos de efluentes líquidos dos Estados do Rio de Janeiro, de Minas Gerais e de São Paulo, que, dentre outros, possuem normas e diretrizes restritivas, de modo a verificar a aplicabilidade do processo ante as exigências legais para processos de tratamento de esgotos.

A opção para avaliação do sistema proposto baseou-se nos estudos de processos de tratamento de esgotos em fase anaeróbia-aeróbia com retorno do lodo aeróbio à fase anaeróbia com objetivo de minimizar resíduos orgânicos oriundos do processo. Principalmente alicerçados nos estudos do PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, que manteve a rede de pesquisas sobre o tema “Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios” (Chernicharo et al, 2001), considerou-se a hipótese de tratar os esgotos por processos simplificados, porém eficientes, visando sua possível utilização em cidades de pequeno porte, que é o caso da maioria dos municípios brasileiros.

Para tanto, a fase experimental da pesquisa consistiu na montagem de estação piloto em local cedido pela CESAMA – Companhia Municipal de Saneamento de Juiz de Fora, nas instalações da Estação de Tratamento de Esgotos Barreira do Triunfo, da qual foi utilizado esgoto (previamente gradeado, desarenado e equalizado) para o funcionamento do modelo piloto.

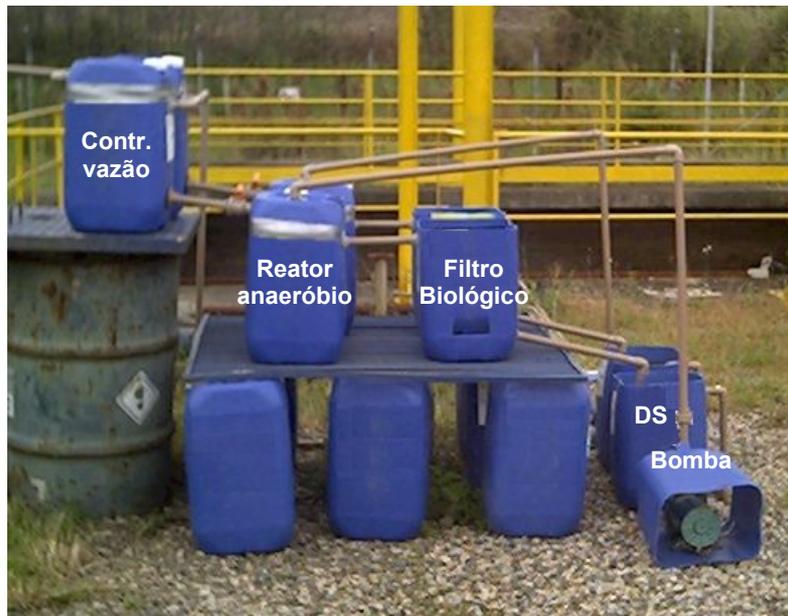
As principais unidades do protótipo são o tanque de controle de vazão, o UASB, o filtro biológico e o decantador secundário. Na figura 5, está ilustrado, de forma esquemática, o aparato experimental.

Figura 5 – Esquema de montagem do modelo



O sistema foi montado utilizando-se bombonas de polietileno de 30 L, bombas hidráulicas centrífugas e tubulações, registros e conexões em PVC, como pode ser observado na figura 6.

Figura 6 – Aparato experimental



O processo de tratamento teve seu início em janeiro de 2004, após 15 dias de montagem e instalação. A partida do sistema se deu conforme a literatura e a prática recomendam, deixando-se passar os esgotos através das operações unitárias envolvidas de forma a criar condições propícias à inoculação dos reatores anaeróbios com 30% de seu volume com lodo biológico proveniente da ETE, que apesar de não ser o mais indicado para a partida do UASB, propiciou um funcionamento bastante estável do sistema em cerca de seus dois meses de aclimação.

O meio suporte utilizado no interior do Filtro Biológico provém do resíduo sólido (refugo) gerado por uma indústria de embalagens plásticas, cuja produção é destinada a fábricas de laticínios e produtos derivados do leite, e, portanto, o produto final tem que ser isento de contaminações. Com isso, as “rebarbas” ou aparas de embalagens que tenham qualquer contato com superfícies não esterilizadas são consideradas impróprias para utilização, e são classificados como refugo da produção. Este refugo é bastante leve e possui elevada superfície específica, parecendo, em uma primeira análise, ser bastante conveniente seu uso como recheio do filtro biológico.

Como esta atividade industrial possui uma grande quantidade de unidades de pequeno e médio porte distribuídas ao longo do território nacional, pode-se considerar

que a disponibilidade deste rejeito seja elevada em qualquer Estado brasileiro. Contudo, mesmo que haja locais mais remotos, onde esta disponibilidade não seja verificada, o baixo peso específico do material contribui para um reduzido custo de transporte, viabilizando, com isso, sua utilização em praticamente todo território brasileiro.

O refugo industrial foi homogeneizado e disposto de forma aleatória no interior do filtro. O volume utilizado foi de 30 L em cada linha de tratamento e o peso específico do material, determinado por pesagem em balança era de 58 Kg/m³.

Com o objetivo de se garantir uma maior clareza de resultados, foram montadas duas linhas de tratamento em paralelo, conforme figura 7. Com isso minimizou-se os efeitos da variação de fatores ambientais, como temperatura, umidade e características do afluente ao sistema piloto, uma vez que as condições a serem comparadas (sistema com e sem recirculação) ocorrem simultaneamente.

Figura 7 – Linhas de tratamento



Na primeira etapa, ambas as linhas de tratamento funcionaram com as mesmas características: vazão, carga orgânica e recirculação nula, produzindo, para estas condições, resultados bastante semelhantes.

Na etapa subsequente, uma das linhas manteve-se exatamente como na primeira etapa, para fins de comparação, enquanto que a outra passou a ter o lodo do fundo do decantador recirculado para o interior do UASB.

Para controle do fluxo afluente ao sistema foram instalados registros na saída das primeiras bombonas do modelo, que funcionaram como tanque de controle de vazão. Estes tanques mantinham, no seu interior, o nível de líquido constante graças a um extravasor que descartava constantemente a vazão excedente.

A abertura do registro foi calibrada, utilizando-se medição em balde graduado, para manter uma vazão constante de 72 L/d, correspondente a 0,05 L/s. Com esta vazão, o tempo de detenção hidráulica no UASB foi de 10 h, e, no filtro biológico, a Taxa de Aplicação Superficial foi de 1,0 m³/m².d e a Carga Orgânica Volumétrica média de 0,46 Kg DBO/m³.d.

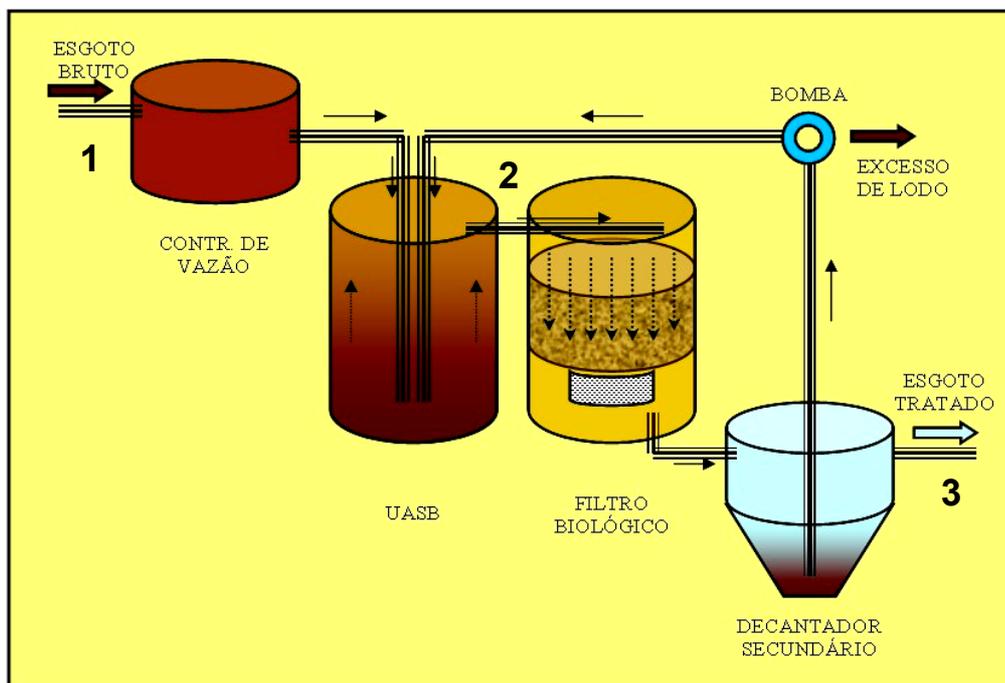
Para garantir uma vazão o mais constante possível, esta foi aferida diariamente e corrigida, se necessário, uma vez que o acúmulo de sólidos no registro prejudicava o fluxo do esgoto.

Na linha que não contou com recirculação do efluente, o lodo acumulado no decantador secundário foi sendo removido duas vezes por dia para impedir arraste do mesmo, prejudicando a qualidade do efluente final.

Na linha com recirculação, foi adotada uma taxa de 50%, através do acionamento da bomba duas vezes por dia, recirculando o equivalente a 18 L em cada acionamento, perfazendo uma vazão de recirculação de 36 L/d.

Foram realizadas, no laboratório de controle da ETE, análises semanais dos parâmetros DBO, DQO e SST nos pontos correspondentes ao esgoto bruto, o efluente ao reator anaeróbico e o efluente na saída do sistema, respectivamente, como mostrado na figura 8.

Figura 8 – Pontos de amostragem



Com base nas etapas de levantamento bibliográfico e de coleta de dados obtidos do acompanhamento da estação piloto, procedeu-se a análise dos resultados e a sistematização das possíveis conclusões decorrentes do trabalho de pesquisa.

11. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o monitoramento do sistema, entre os dias 5 de março e 2 de abril, através da realização de análises físico-químicas do esgoto foram obtidos os dados constantes da tabela 4:

Tabela 4 – Concentrações de DBO, DQO e SST no sistema (mg/L)

data	parâmetro	sem recirculação			com recirculação		
		1	2	3	1	2	3
05/mar	DBO	305	162	129	305	180	121
	DQO	732	515	350	732	503	322
	SST	292	110	65	292	122	57
12/mar	DBO	282	140	115	282	160	102
	DQO	453	322	239	453	315	210
	SST	305	99	72	305	115	70
19/mar	DBO	401	238	174	401	250	155
	DQO	1323	1006	754	1323	905	660
	SST	372	120	85	372	122	94
26/mar	DBO	355	191	155	355	215	112
	DQO	889	618	398	889	608	360
	SST	281	115	74	281	130	67
02/abr	DBO	310	140	116	310	180	101
	DQO	618	431	270	618	400	243
	SST	305	96	60	305	103	54

A partir dos dados acima, chegamos às concentrações médias observadas ao longo da operação do sistema conforme tabela 5.

Tabela 5 - Concentrações médias de DBO, DQO e SST no sistema (mg/L)

	parâmetro	sem recirculação			com recirculação		
		1	2	3	1	2	3
médias	DBO	330,6	174,2	137,8	330,6	197	118,2
	DQO	803	578,4	402,2	803	546,2	359
	SST	311	108	71,2	311	118,4	68,4

Em termos de remoção percentual de DBO, DQO e SST, podemos observar a performance de ambas as linhas de tratamento, com e sem recirculação na tabela 6.

Tabela 6 – Eficiências de remoção de DBO, DQO e SST

data	parâmetro	sem recirculação		com recirculação	
		Euasb	Ettotal	Euasb	Ettotal
05/mar	DBO	46,9%	57,7%	41,0%	60,3%
	DQO	29,6%	52,2%	31,3%	56,0%
	SST	62,3%	77,7%	58,2%	80,5%
12/mar	DBO	50,4%	59,2%	43,3%	63,8%
	DQO	28,9%	47,2%	30,5%	53,6%
	SST	67,5%	76,4%	62,3%	77,0%
19/mar	DBO	40,6%	56,6%	37,7%	61,3%
	DQO	24,0%	43,0%	31,6%	50,1%
	SST	67,7%	77,2%	67,2%	74,7%
26/mar	DBO	46,2%	56,3%	39,4%	68,5%
	DQO	30,5%	55,2%	31,6%	59,5%
	SST	59,1%	73,7%	53,7%	76,2%
02/abr	DBO	54,8%	62,6%	41,9%	67,4%
	DQO	30,3%	56,3%	35,3%	60,7%
	SST	68,5%	80,3%	66,2%	82,3%

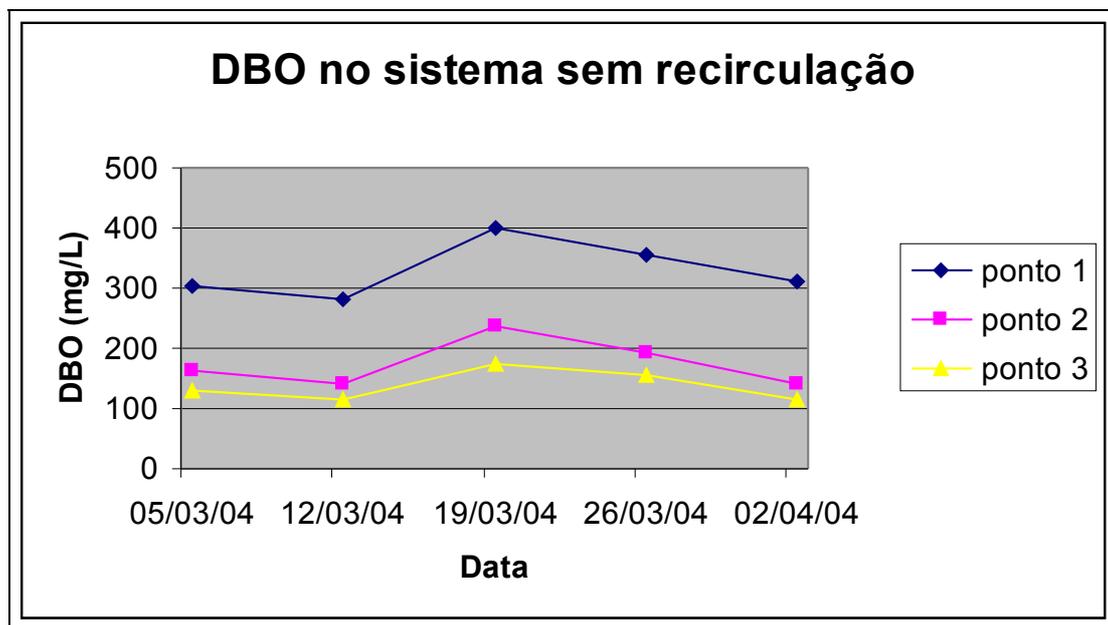
Sintetizando estes dados em valores médios de eficiência, em percentual, estes resultados são mostrados na tabela 7.

Tabela 7 - Eficiências médias de remoção de DBO, DQO e SST

	parâmetro	sem recirculação		com recirculação	
		Euasb	Ettotal	Euasb	Ettotal
médias	DBO	47,3%	58,3%	40,4%	64,2%
	DQO	28,0%	49,9%	32,0%	55,3%
	SST	65,3%	77,1%	61,9%	78,0%

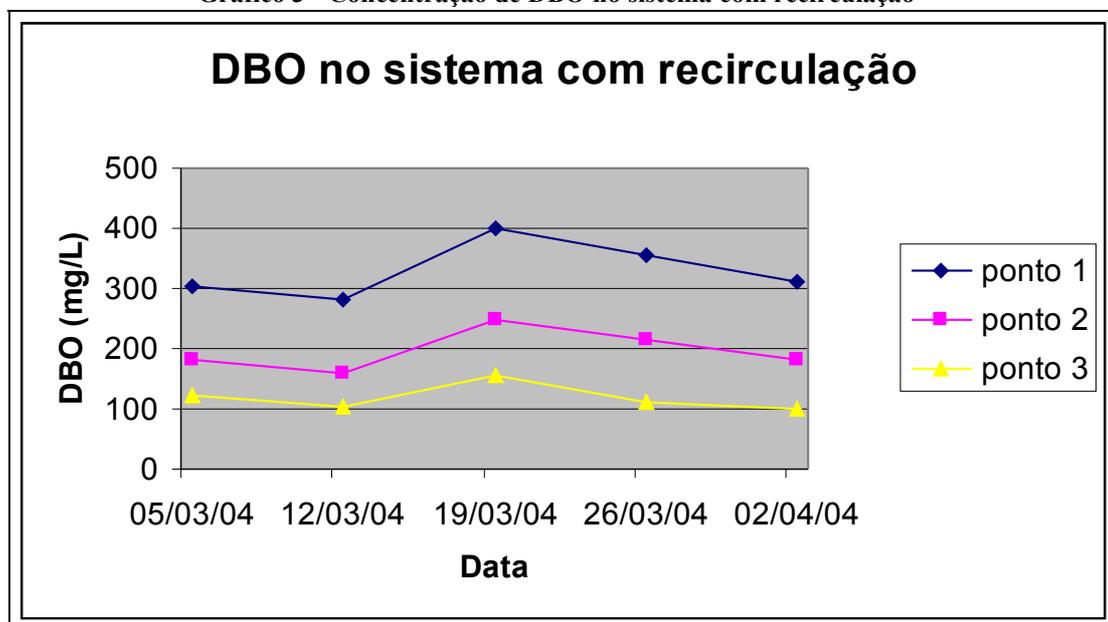
O gráfico 2 apresenta a evolução, ao longo do tempo, da DBO para os 3 pontos de amostragem no sistema sem recirculação.

Gráfico 2 – Concentração de DBO no sistema sem recirculação



O gráfico 3 mostra a evolução, ao longo do tempo, da DBO para os 3 pontos de amostragem no sistema com recirculação.

Gráfico 3 - Concentração de DBO no sistema com recirculação



Com respeito às eficiências obtidas, verifica-se que estão bem abaixo de valores esperados de eficiências de processos anaeróbios seguidos de aeróbios. A experiência tem mostrado (Aisse et al, 2001), (Bof et al, 1999), (nascimento et al, 2000) e

(Chernicharo et al, 2001) que conjugando os dois processos, assim como no caso de lagoa anaeróbia seguida de aeróbia, reator de manta de lodo seguido de lagoa de polimento, atingem valores de eficiência compatíveis com a legislação brasileira em termos de carga orgânica, embora deixem a desejar, em relação à remoção de indicadores biológicos (Von Sperling, 1995).

Os resultados apontam para uma interferência da qualidade do esgoto, principalmente na DQO, que não apenas influencia na inibição de processos anaeróbios, principalmente pela presença de efluentes industriais através da provável contribuição de ramificações sulfídricas de efluentes de indústrias automotivas, bem como na formação de biofilme sobre o meio suporte. A presença provável de material gorduroso afeta sobremaneira a difusão na zoogléia formada.

As baixas eficiências do reator anaeróbio surpreendem principalmente por se tratar de processo que possui elevadas performances a partir de cargas orgânicas elevadas (Chernicharo, 1997).

A hipótese que se pode levantar é que a mistura dos esgotos influencia negativamente o processo proposto e que a presença de moléculas orgânicas complexas afetam as eficiências por processos anaeróbios, principalmente aqueles por leito fluidizado.

A reduzida altura adotada no reator anaeróbio, bem como a ausência de mecanismos defletores para minimizar o arraste de sólidos pode ter comprometido a performance do modelo em termos de matéria orgânica e sólidos suspensos.

Em relação ao filtro biológico, a baixa eficiência esta na dificuldade da formação do biofilme, uma vez que se têm a carga orgânica ainda extremamente elevada e a participação, junto às paredes do meio suporte, de respiração anaeróbia, afetando o meio aeróbio formado. O suporte também não se mostrou eficaz, apesar de ter se apresentado, em princípio, como uma boa opção para a finalidade proposta. Apesar da etapa de homogeneização do meio suporte, este ainda apresenta uma distribuição de vazios bastante variável, de acordo com o refugio.

12. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No presente estudo foi operada e monitorada uma instalação piloto de reator anaeróbio de manta de lodo seguido de filtro biológico com meio suporte plástico de refugo industrial para tratamento de esgotos sanitários, visando avaliar a eficiência do conjunto.

Os experimentos foram realizados mantendo-se uma vazão no sistema constante de 72 L/d, o tempo de detenção hidráulica no UASB foi de 10 h, com taxa de aplicação superficial e carga orgânica volumétrica média no filtro biológico de 1,0 m³/m².d e 0,46 Kg DBO/m³.d, respectivamente.

Da análise dos dados e resultados obtidos durante a fase experimental deste estudo, pode-se concluir que:

A eficiência média, em termos de redução de DBO, no reator anaeróbio do sistema sem recirculação foi de 47,3%, enquanto que no sistema com recirculação foi de 40,4%, notadamente menor em razão do incremento da velocidade ascensional do líquido promovido pela vazão adicional da recirculação, que aumentou o arraste de sólidos, prejudicando a qualidade de seu efluente.

A eficiência global do processo, em termos de redução de DBO, no sistema sem recirculação foi menor que no sistema com recirculação, respectivamente, 58,3% e 64,2%, demonstrando que o retorno do lodo secundário para o interior do reator anaeróbio não causa efeitos negativos sobre o sistema, sendo uma solução viável a digestão do mesmo na fase anaeróbia.

As concentrações finais médias de DBO, DQO e SST, na saída do piloto, foram respectivamente 137,8 mg/L, 402,2 mg/L e 71,2 mg/L, para o sistema sem recirculação e 118,2 mg/L, 359 mg/L e 68,4 mg/L no sistema com recirculação.

O processo não apresentou, para as condições do modelo piloto, tanto de esgoto bruto quanto de disposições construtivas, conforme ponderados na discussão, as eficiências esperadas para processos anaeróbios-aeróbios, obtendo resultados não compatíveis com a legislação ambiental brasileira.

Embora o modelo não tenha respondido da forma esperada, a literatura técnica mostra que a solução anaeróbia-aeróbia, de modo geral, produz um efluente de qualidade compatível com as normas ambientais, devendo-se realizar novos estudos com vistas ao fortalecimento do sistema reator anaeróbio de manta de lodo – filtro

biológico aeróbio como alternativa viável de tratamento de esgotos mesmo para legislações mais exigentes.

Por fim, considera-se este trabalho como uma contribuição significativa dentro do universo de possíveis estudos e pesquisas acerca deste tema, que certamente continuarão a contribuir cada vez mais para o fortalecimento do conhecimento científico referente ao tratamento de efluentes. Sendo assim, para pesquisas futuras referentes ao tratamento de esgotos pela associação de processos anaeróbios seguidos de aeróbios são sugeridos os seguintes estudos:

- a) Adequação do sistema a outros tipos de efluentes, tais como: têxteis, papel e celulose, laticínios, chorume, etc.
- b) Utilização de outros tipos de meio suporte alternativos, como casca de coco, lã de vidro, bambu, gargalo de garrafas PET, etc.
- c) Modelagem matemática do sistema, levando-se em conta variáveis como área de ventilação e relação área/profundidade do filtro, outras taxas de recirculação, remoção de nutrientes, etc.
- d) Determinação de fatores de escala entre modelo piloto e sistema em escala real.

13.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, M.M.; LOBATO, M.B.; BONA, A.; GARBOSSA, L.H.P.; JURGENSEN, D. & ALÉM SOBRINHO, P., 2001. Avaliação do sistema reator UASB e filtro biológico aerado submerso para o tratamento de esgoto sanitário. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais. Rio de Janeiro: Abes.

ARCEIVALA, S. J., 1981. Wastewater treatment and disposal. Engineering and ecology in pollution control. New York: Marcel Dekker.

AZEVEDO NETTO, J.M. & ALVAREZ, G.A., 1977. Manual de hidráulica. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda.

BENENSON, A.B., 1985. Control of communicable diseases in man. EUA: American Public Health association.

BOF, V.S., CASTRO, M.S.M., GONÇALVES, R.F., 1999. ETE UASB + biofiltro aerado submerso: desempenho operacional com retorno do lodo aeróbio para o UASB. In: 20.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais. Rio de Janeiro: Abes.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N. & EIGER, S., 2002. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Ed. Prentice Hall.

BRASIL, 1981. Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF.

BRITO, F.S.R., 1944. A planta de Santos – Obras Completas de Saturnino de Brito. Instituto Nacional do Livro, Imprensa Nacional: Rio de Janeiro.

CHERNICHARO, C.A.L., 1997. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol.4. Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: DESA-UFMG.

CHERNICHARO, C.A.L. (coord.), 2001. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Projeto PROSAB.

COURA, M.A., VAN HAANDEL, A.C., 1999. Viabilidade técnica e econômica do digestor anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) no sistema anaeróbio/aeróbio. In: Anais: 20.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais. Rio de Janeiro: Abes.

CYNAMON, S.E., 1986. Sistema não convencional de esgoto sanitário a custo reduzido, para pequenas coletividades e áreas periféricas. 2 ed. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública.

FREIRE, V.H.; VON SPERLING, M. & CHERNICHARO, C.A.L., 1999. Avaliação do desempenho de um sistema combinado UASB - Lodos Ativados no tratamento de efluentes sanitários. In: 20.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais. Rio de Janeiro: Abes.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002. Pesquisa Nacional do Saneamento Básico. Brasília, DF. 14 de fevereiro de 2003.

<<http://www.ibge.gov.br>>

IMHOFF, K. & IMHOFF, K.R., 1985. Manual de tratamento de águas residuárias. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda.

IWAI, S. & KITAO,T., 1994. Wastewater treatment with microbial films. Lancaster: Technomic Publishing Co.

JORDÃO, E.P. & PESSOA, C.A., 1995. Tratamento de esgotos domésticos. Rio de Janeiro: ABES.

LETTINGA, G., 1995. Introduction. In: International course on anaerobic treatment. Wageningen Agricultural University. IHE Delft.

LUBBERDING, H.J., 1995. Applied anaerobic digestion. In: International course on anaerobic treatment. Wageningen Agricultural University / IHE Delft. Wageningen.

METCALF & EDDY, 1991. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. New Delhi: Mc Graw-Hill.

MINAS GERAIS, 1986. Deliberação Normativa COPAM n.º 10, de 16 de dezembro de 1986. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamentos de efluentes nas coleções de águas e dá outras providências. *Diário do Executivo [do] Estado de Minas Gerais*, Belo Horizonte, MG.

NASCIMENTO, M.C.P.; CHERNICHARO, C.A.L.; MOURA, J.C.R. & CASTRO, L., 2000. Comportamento de um sistema UASB/Filtro Biológico Aeróbio quando exposto a choques de carga hidráulica. In: XXVII Congresso interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais. Rio de Janeiro: Abes.

NEDER, K.D.; PINTO, M.A.T.; LUDUVICE, M.L. & FELIZATTO, M.R., 1999. Desempenho operacional de reator UASB compartimentado simplificado. In: 20o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Rio de Janeiro: Abes.

RAMALHO, R.S., 1983. Introduction to wastewater treatment processes. 2.ed. Academic press.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21.^a ed. USA: WEF.

ROQUE, O.C.C., 1997. Sistemas alternativos de tratamento de esgoto aplicáveis às condições brasileiras. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro: ENSP / FIOCRUZ.

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G., 1994. Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente. Ed. Epigraf.

VAN HAANDEL, A.C.; CAVALCANTI, P.F.F. & SOUSA, F.P. ,1999a. Comparação do desempenho de reatores UASB unitários com o de reatores em série. In: 20.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais. Rio de Janeiro: Abes.

VAN HAANDEL, A.C.; CAVALCANTI, P.F.F. & ARAÚJO, M.L.B., 1999b. Efeito da proporção área/profundidade sobre o desempenho de um reator UASB. In: 20.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais. Rio de Janeiro: Abes.

VON SPERLING, M., 1995. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA-UFMG.

VON SPERLING, M., 1996. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 2. Princípios do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA-UFMG.

VON SPERLING, M., 1997. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 4. Lodos Ativados. Belo Horizonte: DESA-UFMG.