

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT

HERCULES ANTONIO DE OLIVEIRA

Aumento de escala de um sistema de tratamento de esgoto doméstico utilizando reator aeróbio com biodisco, precedido de reator anaeróbio tipo fluxo ascendente

São Paulo
2004

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

HERCULES ANTONIO DE OLIVEIRA

Aumento de escala de um sistema de tratamento de esgoto doméstico utilizando reator aeróbio com biodisco, precedido de reator anaeróbio tipo fluxo ascendente

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, para obtenção do título de Mestre em Processos Industriais.

Área de concentração: Processos Industriais da Engenharia Química

Orientador: Prof. Dr. Marco Giulietti

São Paulo

2004

Oliveira, Hercules Antonio de

Aumento de escala de um sistema de tratamento de esgoto doméstico utilizando reator aeróbio com biodisco, precedido de reator anaeróbio tipo fluxo ascendente. / Hercules Antonio de Oliveira. São Paulo, 2004.

.71.p.

Dissertação (Mestrado em Processos Industriais) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Processos Industriais da Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Marco Giulietti

1. Aumento de escala 2. Tratamento de esgoto sanitário 3. Reator anaeróbio
4. Reator aeróbio 5. Tese I. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Centro de Aperfeiçoamento Tecnológico II. Título

CDU 628.336.4(043)
O48a

À minha esposa Vandra,

À minha filha Marina,

Ao criador,

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Marco Giulietti pela serenidade e competência com a qual exerceu o compromisso de orientador.

Ao Eng^o. Dr Silas Derenzo pelo incentivo para que eu me dedicasse a essa empreitada.

Aos colegas pós-graduandos pelo incentivo, amizade e colaboração.

A empresa PROACQUA, nas figuras de seus dirigentes, Eng^o Alex Barros de Sá, Eng^o Cristiano F. de Sá, e Dr Elso Vitoratto, pela empreendedorismo em executar dentre outras, as obras de construção e montagem das estações de tratamento Pinheirinho e Itaipu.

RESUMO

Parâmetros de projeto que permitem o aumento de escala em plantas de tratamento de esgoto doméstico com tecnologia considerada não convencional são escassos em nossas literaturas técnicas.

Foram utilizados critérios de aumento de escala para a realização do projeto de uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário (ETE), tomando-se como base as informações de processo, projeto e dados operacionais da ETE Pinheirinho, construída às margens da represa Billings no Jardim dos Pinheiros, município de São Bernardo do Campo, São Paulo, ETE esta, apta para tratar a contribuição de 3.360 habitantes.

Das informações da ETE Pinheirinho, gerou-se o projeto de uma ETE com capacidade de tratamento da contribuição de 29.000 habitantes do bairro de Itaipu, situado em Niterói, Rio de Janeiro, ou seja uma ampliação de escala nominal de aproximadamente 9 vezes.

Para definição da concepção de processo a ser aplicada, lançou-se mão de conceitos estabelecidos em literaturas técnicas específicas, na experiência adquirida pelo autor, em projetos anteriores, e na consolidação dos dados operacionais da ETE Pinheirinho, considerada como unidade piloto neste estudo.

O processo utilizado, qual seja um processo aeróbio com filme fixo da população microbiana em biodiscos, precedido de um sistema anaeróbio composto por um reator de fluxo ascendente (RAFA ou UASB), vem sendo reconhecido pelos órgãos públicos envolvidos na questão de tratamento de esgoto, por empresas de projetos, por empresas concessionárias de serviços correlatos, e pela própria empresa que assumiu a empreitada da construção da ETE de ITAIPU, como tecnologia de baixo custo operacional quando comparada com tecnologias de tratamento tradicionais.

Ganhos secundários potenciais tais como menor quantidade de lodo biológico gerado em excesso, produção de biogás passível de aproveitamento, e significativa economia nos custos operacionais e de energia são apresentados de forma sucinta, uma vez que serviram para consolidar a tomada de decisão em favor do processo selecionado.

Como banco de dados analítico, estão disponíveis análises referentes à performance da ETE Pinheirinho, onde se comprova rendimento em termos de remoção de DBO, de 70% no reator anaeróbio, e 95% no sistema como um todo. A operação dessa unidade está atualmente sob responsabilidade da SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Nessas condições, este trabalho demonstra os procedimentos utilizados para aumento de escala que originou a ETE Itaipu, procurando também fornecer subsídios para a execução de outros projetos similares.

Palavras-chave: Aumento de escala, Esgoto doméstico, Esgoto sanitário, Reator anaeróbio, Reator aeróbio, Biodisco, RAFA, UASB.

ABSTRACT

Design parameters that allow the scale up of sewage sludge plants with non-conventional technology are scarce in the literature.

There were used scale up criteria to make the design of an Sewage Sludge Treatment System (ETE), taking as base the information of process, design and operational data of ETE Pinheirinho, build on Billings dike margins in Jardim dos Pinheiros, municipal district of São Bernardo do Campo, able to treat the contribution of 3.360 habitants.

From ETE Pinheirinho information's, there was made the design of an ETE with capacity to treat the contribution of 29.000 habitants at Itaipu district, located in Niteroi, Rio de Janeiro State. Is a scale up from one to 9 times in the nominal capacity.

For definition of process concept to be applied, it was used the concepts established in specific literatures, in the experience acquired by the author in foregoing projects, and in the consolidation of operational data from ETE Pinheirinho, considerate here as pilot unit for this application.

The applied process, which are an anaerobic process with fixed microbial population in films supported in biodiscs, preceded of an anaerobic system composed by an up flow reactor (RAFA or UASB), have been recognized by public authorities involved with sewage treatment matter, by engineering companies, by companies that have responsibilities whit that kind of works, and by the own company that assumed the hard work for the construction of the Itaipu waste water system, as a technology that present low operational cost when are compared with conventional technology.

Additional secondary gains such as smaller quantity of biologic sludge generated in excess, significant economy in operational costs and energy are presented in a summarized form, once it were in favor of the decision to select that process.

As analytical data bank, the analysis related to the ETE Pinheirinho performance, are available, and they verify the performance in terms of DBO removal, of 70% in anaerobic reactor, and 95% in the all system.

In this way, this work shows the procedure for the scale up utilized to generate the design of the ETE Itaipu, attempt too supply also information for the execution of other similar projects.

Key words: Scale up, Domestic sewer, Sanitary sewer, Aerobic reactor, Anaerobic reactor, Biodisc, RAFA, UASB.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Microbiologia da digestão anaeróbia, em diagramação proposta por Guger & Zehnder(Pereira,1998) 5	5
Figura 2. Reator anaeróbio de baixa carga sem câmaras internas para separação de gás da fase líquida	14
Figura 3. Reator de alta taxa e um estágio, apresentando sistema de aquecimento externo.....	15
Figura 4. Reator de alta taxa e dois estágios.....	15
Figura 5. Filtro anaeróbio de fluxo ascendente destacando a utilização de suporte para a população microbiana	16
Figura 6. Reator anaeróbio de leito fluidificado, com recirculação do efluente tratado para garantir taxa de aplicação adequada alimentação	16
Figura 7. Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA ou UASB).....	17
Figura 8. Reator anaeróbio com recirculação interna	17
Figura 9. Processo de tratamento utilizando reatores aeróbios por batelada	18
Figura 10. Processo de tratamento utilizando reator aeróbio fluxo em pistão	19
Figura 11. Processo de tratamento utilizando reator aeróbio de mistura completa	19
Figura 12. Diagrama típico do processo de lodo ativado, ressaltando alternativas para adensamento do lodo antes da desidratação ...	20
Figura 13. Canal de grade e caixa de areia mecanizada	25
Figura 14. Esquema do biodisco utilizado, com destaque para a montagem dos tubos de polietileno corrugado.....	35
Figura 15. Foto do biodisco utilizado, já imerso no tanque de aeração	35
Figura 16. Foto do biodisco utilizado, em instalação no tanque de aeração	36

Figura 17. Gráfico da concentração de DBO afluente e efluente à ETE Pinheirinho, em função do tempo de operação.....	37
Figura 18. Gráfico da concentração de DQO afluente e efluente à ETE Pinheirinho, em função do tempo de operação.....	38
Figura 19. Gráfico da eficiência em remoção de DBO e DQO em função do tempo de operação	38
Figura 20. ETE Pinheirinho - foto panorâmica A	45
Figura 21. ETE Pinheirinho - foto panorâmica B	46
Figura 22. ETE Itaipu - foto panorâmica	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.. Composição elementar média das bactérias metanogênicas.....	7
Tabela 2. Produção de biogás a partir de 1 kg de sólidos voláteis de lodo de esgoto fresco (base seca) e TRH habitual obtidos em função de diversas temperaturas (Vitoratto, 1990)	9
Tabela 3. Gêneros bacterianos e classe de protozoários presentes nos sistemas de lodos ativados (Vazoller <i>et al</i> , 1989; Jenkins <i>et al</i> , 1993).....	13
Tabela 4. Conversão de DQO em metano.....	22
Tabela 5. Síntese dos parâmetros de processo.....	32
Tabela 6. Características dos biodiscos utilizados.....	36
Tabela 7. Critérios de aumento de escala para os principais parâmetros de projeto das ETE's.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETE	Estação de Tratamento de Esgoto ou Estação de Tratamento de Efluentes
RAFA	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A
UASB	Up Flow Anaerobic Sludge Blanked

SUMÁRIO

RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	
LISTA DE TABELAS	
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Digestão anaeróbia	4
3.1.1. Microbiologia e bioquímica	5
3.1.2. Fatores de ambiente e suas influências na digestão anaeróbia	7
3.2. Digestão aeróbia	10
3.3. Tipo de reatores	13
3.3.1. Reatores anaeróbios	13
3.3.2. Reatores aeróbios	18
3.4. Processos mistos	21
3.5. Geração de Biogás	22
3.6. Lodo biológico gerado em excesso	22
3.7. Considerações sobre aumento de escala	23
3.7.1. Unidades de tratamento primário	23
3.7.2. Unidades de tratamento biológico	25
4. PROJETO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO	30
4.1. Considerações gerais sobre os tratamentos dos esgotos	30
4.2. Unidades componentes do sistema projetado	31
4.2.1. Pré-tratamento	31
4.2.2. Tratamento biológico	31
4.2.3. Unidades auxiliares	31
4.3. Descritivo sucinto do sistema de tratamento	32
4.4. Análises de performance da ETE Pinheirinho	36
4.5. Memorial de cálculo – ETE Pinheirinho	39
4.5.1. Dimensionamento das unidades de pré- tratamento	39
4.5.2. Dimensionamento das unidades de tratamento secundário	40
4.6. Memorial de cálculo – ETE Pinheirinho	46
4.6.1. Dimensionamento das unidades de pré- tratamento	47
4.6.2. Dimensionamento das unidades de tratamento secundário	48
5. CRITÉRIOS DE AUMENTO DE ESCALA	53
6. CONCLUSÕES	56

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	57
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
9. GLOSSÁRIO DOS TERMOS TÉCNICOS UTILIZADOS.....	64
10. ANEXOS	
ANEXO A: PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS PARA CONTROLE OPERACIONAL.....	67
ANEXO B:FLUXOGRAMA DE PROCESSO ETE PINHEIRINHO	69
ANEXO C: INFORMATIVO CIVIL ETE PINHEIRINHO.....	70
ANEXO D:FLUXOGRAMA DE PROCESSO ETE ITAIPU.....	71
ANEXO E: INFORMATIVO CIVIL ETE ITAIPU.....	72

1. INTRODUÇÃO

Os trabalhos de elaboração do projeto da ETE Pinheirinho foram iniciados com o Plano de Tratamento do Esgoto Sanitário, exigência do Ministério Público para que o condomínio Jardim Pinheiro situado em São Bernardo do Campo, São Paulo, não fosse inviabilizado por estar em área de preservação de manancial.

Essas exigências resultaram na decisão da Prefeitura Municipal de São Bernardo do Campo em urbanizar o bairro como um todo, e no esforço da comunidade em viabilizar financeiramente a construção dessa ETE.

O projeto foi desenvolvido, utilizando-se dados de processo e experiências anteriores em plantas ainda menores, da empresa PROACQUA, que foi responsável pela montagem e fornecimento das unidades deste sistema. Da mesma forma, a construção civil foi de responsabilidade da empresa EMPARSANCO.

Considerando as exigências legais quanto aos padrões de lançamento, partiu-se do princípio de que seria necessária a implantação de um tratamento terciário, e para essas condições, o sistema de tratamento foi concebido.

Dadas as condições sócio-econômicas dos moradores do condomínio em questão, foi relevante a necessidade de minimização dos custos operacionais. Por essa razão optou-se pela utilização até então não muito aplicada, de processo misto de tratamento, ou seja processo aeróbio precedido de processo anaeróbio, em prejuízo da aplicação de processos tradicionais tais como lodos ativados, pelas razões justificadas nos itens pertinentes apresentados a seguir.

Os sistemas aeróbios denominados lodos ativados e suas diversas alternâncias de processo (aeração prolongada, convencional, aeração escalonada), são considerados tecnologias tradicionais em função da aplicação consagrada como processos de alta eficiência.

A segurança para aplicação dessas tecnologias, mesmo em escala reduzida, veio da possibilidade da utilização de biodiscos para fixação da população microbiana no sistema aeróbio, evitando-se que o lodo anaeróbio, pela dificuldade de floculação, e conseqüentemente de decantação, escapasse do sistema, sem possibilidade de recirculação da população microbiana pelo método convencional de decantação e reciclo.

Os biodiscos aplicados têm a finalidade de manter um leito fixo da população microbiana, notadamente para aquelas facultativas efluentes ao

reator anaeróbio, buscando-se portanto incrementar o desempenho no sistema aeróbio.

Também em condições ainda não aferidas, considera-se para efeito de dimensionamento das unidades de suprimento de oxigênio, que os biodiscos conseguem captar ar atmosférico, minimizando custos operacionais, a exemplo da economia de energia proporcionada pelo sistema anaeróbio.

Outros ganhos de processo esperados pela aplicação dos biodiscos são aqueles referentes à garantia de nitrificação do efluente, e também em condições não aferidas, à possibilidade de desnitrificação nos primeiros módulos aeróbios, que se mantêm em condições anóxicas, e recebem parte do afluente do decantador que é recirculado.

Os parâmetros de aumento de escala abordados neste trabalho foram utilizados para o projeto de uma ETE implantada em Niterói - RJ, denominada ETE Itaipu, que representa um aumento de escala quando referenciado à ETE Pinheirinho de aproximadamente 9 vezes, e que iniciou a operação em Janeiro de 2004.

A ETE Itaipu, foi construída em um condomínio de alto padrão, e dispõe de arquitetura que a integra com as residências de relativo alto padrão, existentes na vizinhança.

As questões relacionadas com a possível emissão de odores do sistema anaeróbio foram contornadas com a cobertura com lajes em concreto, de todo o sistema anaeróbio, e parte dos tanques aeróbios onde se considerou possível a não manutenção total de condições aeróbias.

Além do fechamento de parte do sistema, tanto na ETE Itaipu como na ETE Pinheirinho, previu-se a exaustão nas áreas mais suscetíveis a emissão de odores, como por exemplo, nos canais de gradeamento, nas caixas de areia, e na área reservada ao manuseio dos materiais removidos dessas unidades.

Na ETE Pinheirinho foi instalado um lavador de gases para o biogás gerado que utiliza uma solução diluída de hidróxido de sódio como líquido de abatimento de compostos com enxofre.

Para a ETE Itaipu, foi prevista a instalação de um queimador de biogás, e de uma torre de lavagem para os gases coletados nas câmaras dos decantadores do reator anaeróbio, nos primeiros módulos aerados, e na área de manuseio de sólidos primários

Na ETE Pinheirinho o lodo ativo em excesso é retirado por caminhões limpa fossa acoplados a tubulações instaladas na laje de cobertura do reator anaeróbio, com aproximadamente 5 % em peso de sólidos secos, e

disposto em outras unidades da SABESP para posterior desaguamento e destinação final.

Foi prevista a instalação de uma unidade de desaguamento de lodo na ETE Itaipu, que será composta por uma centrífuga horizontal e unidades de apoio para preparo e dosagem de polímero.

Como banco de dados analítico, estão disponíveis análises referentes o desempenho da ETE Pinheirinho, onde se comprova rendimento em termos de remoção de DBO, de 70% no reator anaeróbio, e 95% no sistema como um todo. A operação dessa unidade está atualmente sob responsabilidade da SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Essas análises foram efetuadas com o intuito de comprovação de performance, para que se caracterizasse a entrega da ETE por parte da empreiteira responsável pela obra, não possibilitando a coleta de informações que permitisse analisar desvios de processo, ou mesmo problemas operacionais.

Na partida da estação de tratamento do bairro Pinheirinho, observou-se problemas sérios de inibição no reator anaeróbio, uma vez que todas as fossas sépticas do bairro foram descarregadas diretamente à ETE, sem nenhum controle analítico ou operacional. Verificou-se posteriormente que o lodo daquelas fossas continha raticidas, materiais inertes e excesso de gorduras, exigindo limpeza de todo o sistema para que fosse viabilizada nova inoculação do sistema e se estabelecessem procedimentos para nova partida.

2. OBJETIVOS

Espera-se que o conteúdo desta dissertação proporcione aos técnicos que atuam na área de projeto de unidades de tratamento de esgoto sanitário, informações seguras sobre parâmetros de projeto utilizados em situação de plena escala, com condições operacionais e de desempenho satisfatórios, além de:

- Consolidar processos com custos operacionais menores que processos convencionais, tanto no aspecto de consumo energético como disposição final de lodo biológico gerado em excesso.
- Demonstrar que sistemas mistos podem ser construídos em áreas densamente povoadas sem problemas ambientais como, por exemplo, emanção de odores ou excesso de ruídos.

- Estabelecer critérios de aumento de escala para processos de tratamento de esgoto.
- Enfatizar focos passíveis de novas investigações para otimizar projetos de estações de tratamento de água residuárias em plena escala.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi preferencialmente orientada para a busca de respostas relacionadas às questões relativas ao processo anaeróbio; quanto ao processo aeróbio, destacaram-se os estudos realizados com este processo associado a sistemas mistos, tanto em escala piloto como de laboratório.

Considera-se que os processos aerados, são bastante conhecidos tanto sob o aspecto de microbiologia como com relação aos aspectos relacionados ao projeto propriamente dito.

Com relação aos critérios utilizados no aumento de escala procurou-se apresentar de forma concisa os parâmetros considerados conservadores uma vez que a ETE Itaipu é uma planta comercial, não passível de problemas operacionais eventualmente ocasionados pela utilização de parâmetros alcançados em unidades laboratoriais ou piloto.

3.1. Digestão anaeróbia

Os processos anaeróbios de fermentação de matéria orgânica, devem ter sido observados antes mesmo dos primeiros relatos datados de 1776 que provam a descoberta do metano pelo químico italiano Alessandro Volta.

Segundo Pinto (1999), e em 1844 Ulisses Gayo, comprovou a possibilidade de produção de gás metano a partir da fermentação de uma mistura de esterco, palha de estábulo e discutiu suas possibilidades de utilização. A partir de então, difundiu-se em países como a China e a Índia, a aplicação de biodigestores rurais como fonte de energia, combustível para cocção, iluminação, conforto térmico, etc.

No Brasil, especialmente no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), no início da década de 1980, foi desenvolvido grande esforço no sentido de viabilizar a biodigestão anaeróbia do vinhoto proveniente da produção de álcool etílico, e de outros efluentes industriais com alta carga orgânica, com a finalidade de geração de biogás.

3.1.1. Microbiologia e bioquímica

A digestão anaeróbia é vista como uma fermentação simples e nas primeiras abordagens era entendida como ação de dois grupos de bactérias, onde o primeiro era caracterizado como o das bactérias acidogênicas, responsáveis pela transformação de lipídios, proteínas e carboidratos em ácidos graxos de cadeia curta, como acético, propiônico e outros, álcoois, H₂ e CO₂ e o segundo grupo como o das bactérias metanogênicas, que transformavam esses produtos intermediários em gases, principalmente CH₄ e CO₂ (Peres, 1982).

Em meados de 1980, observava-se a aplicação de sistemas compostos por reatores caracterizados como acidogênicos (tanques de mistura completa) seguidos de reatores denominados metanogênicos tipo RAFA ou UASB.

Em abordagem mais recente, Pereira (1998), em Tese de Mestrado em Engenharia Biológica pela Universidade do Minho, apresenta um esquema de digestão anaeróbia adaptado por Guger & Zehnder (1983), conforme mostra a figura 1:

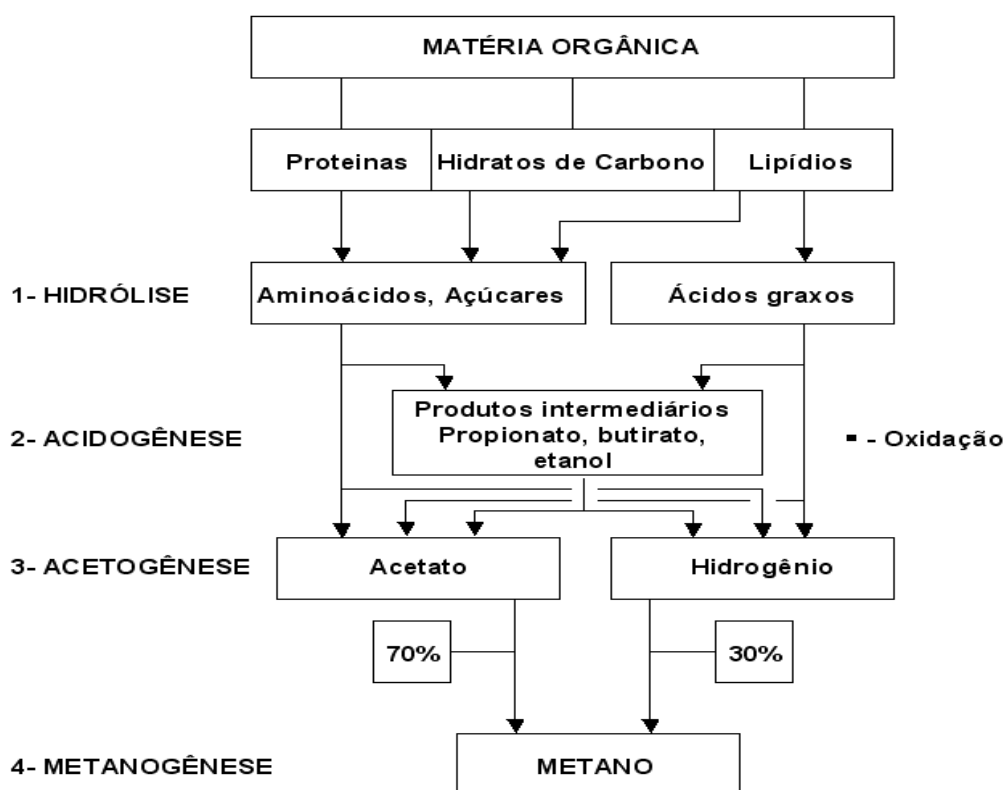


Figura 1. Microbiologia da digestão anaeróbia, em diagramação proposta por Guger & Zehnder (Pereira, 1998).

A figura 1, sintetiza a etapas de degradação da matéria Orgânica que culminam com a produção de gás metano, quais sejam, os processos de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese que definem-se conforme descrito a seguir:

a) Bactérias hidrolíticas fermentativas

A hidrólise é realizada por bactérias hidrolíticas fermentativas, que promovem a solubilização da matéria orgânica, ou seja, a quebra dos polímeros transformando-os em monômeros por meio de enzimas extracelulares.

A velocidade adequada do processo de hidrólise é afetada por vários fatores tais como baixas temperaturas, pH fora da faixa recomendada, podendo ser a etapa limitante no processo de degradação anaeróbia (Parkin & Owen, 1986).

b) Acidogênese

Os monômeros formados passam a ser o substrato utilizado no processo fermentativo também chamado acidogênico representando por volta de 90% da população microbiana (Zeikus, 1980). Na etapa de acidogênese, formam-se os produtos intermediários como propionato, butirato e etanol.

c) Acetogênese

A partir dos produtos originados na fase acidogênica, prepara-se na acetogênese os substratos necessários na metanogênese, ou seja, predominantemente o acetato e o hidrogênio.

Teoricamente, 67 a 69% do CH_4 formado provêm do acetato, mas alguns estudos mostram que essa porcentagem pode chegar até 73%, graças à atividade das bactérias homoacetogênicas (Peres, 1982).

d) Metanogênese

Trata-se da etapa final do processo de degradação anaeróbia, sendo o passo controlador do processo, uma vez que as bactérias metanogênicas são as produtoras do metano.

São anaeróbias estritas, e requerem potencial Redox entre -250 e -300 mV, dificultando técnicas de cultivo.

As bactérias metanobactérias são divididas em dois grandes subgrupos, quais sejam as bactérias hidrogenotróficas e as acetotróficas; segundo Mosey & Fernandes (1984) as primeiras controlam o potencial

redox do meio mantendo baixa a concentração de hidrogênio, enquanto as acetotróficas são responsáveis pela degradação do Acetato

A tabela 1 sintetiza a composição elementar média das bactérias metanogênicas (Scherer *et al.*, 1983; Takashima & Speece, 1990).

Tabela 1. Composição elementar média das bactérias metanogênicas.

Elemento	µg/g (Base seca)
C	370.000 – 440.000
H	55.000 – 65.000
N	95.000 – 128.000
P	5.000 – 28.000
S	5.600 – 12.000
Na	3.000 – 40.000
K	1.300 – 50.000
Ca	1.000 – 4.500
Mg	900 – 530
Fe	700 – 2.800
Ni	65 – 180
Co	10 – 120
Zn	50 – 630
Mo	10 – 70
Cu	<10 – 160
Mn	5 – 25

3.1.2. Fatores de ambiente e suas influências na digestão anaeróbia

a) Efeito do pH

Pereira (1998) cita Zehnder (1988), referenciando que a produção do metano pode ocorrer na faixa de pH de 6 a 8, sendo a faixa ótima entre 6,7 a 7,4.

O efeito do pH em diversas concentrações de ácidos orgânicos voláteis também foi estudado, havendo a recomendação de manter o pH do processo entre 6,8 a 7,2 (Anderson *et al.*, 1982).

Isoldi *et al.* (2001) cita Ramalho (1983), Metcalf & Eddy (1991), Van Haandel & Lettinga (1994), Chernicharo (1997) e Foresti (1997), demonstrando pH ótimo de operação entre 6,6 e 7,4.

A faixa de pH ótima é diferente para as diversas populações que participam do processo anaeróbio. Para a conversão de proteínas a aminoácidos, a faixa ótima é entre 7,0 e 7,5, ao passo que para a conversão de aminoácidos a ácidos o valor ótimo é em torno de 6,3 Já a conversão de carboidratos pode ocorrer numa faixa mais ampla, de 4,0 a 7,5 (Souza, 1984).

b) Importância da alcalinidade

A alcalinidade do sistema sendo suficientemente elevada acarreta no tamponamento do pH no reator, evitando assim que o acúmulo dos ácidos orgânicos voláteis resulte na queda de pH. Uma faixa de alcalinidade entre 2500 a 5000 mg CaCO₃/L é considerada desejável, no entanto se o processo for operado sem acúmulo de ácidos orgânicos, é possível trabalhar bem com valores da ordem de 500 a 1000mg CaCO₃/L, mesmo para efluentes industriais (Souza, 1984).

c) Efeito da temperatura

Apesar da formação de metano poder ocorrer em condições extremas, como de 0 a 97°C (Zehnder, 1988), a temperatura é um fator importante para se ter o processo viável tecnologicamente, principalmente para o uso de reatores com alta taxa de admissão de DBO (≥ 4 kg de DBO por metro cúbico de reator/dia).

Pode-se enquadrar a maioria das espécies de bactérias metanogênicas na faixa mesofílica, entre 20 a 40°C, e na termofílica, entre 50 a 60°C (Peres, 1982).

Lettinga *et al.* (1997), citado por Isoldi *et al.* (2001), associa três faixas de temperatura ao crescimento bacteriano, quais sejam faixa psicrófila, compreendida entre 0 e 20 °C, faixa mesófila entre 20 e 45 °C, e faixa termofílica entre 45 e 70 °C.

Vitoratto (1990) cita Imhoff, que mostra conforme tabela 2, uma correlação entre temperatura, a máxima produção de biogás obtida a partir de lodo de esgoto fresco, e o tempo de retenção hidráulica (TRH) usual nos processos de digestão anaeróbia.

Tabela 2. Produção de biogás a partir de 1 kg de sólidos voláteis de lodo de esgoto fresco (base seca) e TRH habitual obtidos em função de diversas temperaturas (Vitoratto, 1990).

Temperatura °C	Produção de biogás (L/kg SV)	TRH (dias)
10	430	90
15	530	60
20	610	45
25	710	30
30	760	27
50	-	15
55	-	13

Foresti (1997), relata operações de vários reatores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA), também mundialmente conhecido como UASB, (*Upflow*

Anaerobic Sludge Blanket) operando em temperaturas normalmente maiores que 20°C, com tempo de residência hidráulica (TRH) entre 6 a 10 horas, com taxas de aplicação menores que 3,0 kg DQO/m³.dia, com rendimento em termos de remoção de demanda química de oxigênio (DQO), entre 65 e 80 %.

d) Influência da agitação

A agitação melhora o contato entre a biomassa ativa e a alimentação, proporcionando maior uniformidade na formação de produtos intermediários e finais da biodigestão.

Nessas condições, é necessária uma boa condição de distribuição da alimentação na base do reator anaeróbio para manter uma taxa de aplicação hidráulica adequada para que se evitem zonas mortas, com conseqüente diminuição do desempenho no digestor.

Especificamente para os reatores UASB, referencia-se taxa de aplicação superficial na base do reator entre 0,5 e 1,5 m³.(m².h)⁻¹ (Granato, 2003).

e) Efeito de nutrientes

Para que a fermentação e o crescimento microbiano ocorram em condições ótimas, é necessário que haja macro e micronutrientes em concentrações adequadas.

Para tratamento de esgoto sanitário considera-se essas relações dentro de parâmetros normais, não se aplicando sistemas para dosagem de macro ou micro nutrientes.

f) Efeito de inibidores

Alguns compostos químicos são biologicamente tóxicos quando se encontram em solução e excedem uma dada concentração crítica, para a qual as bactérias ainda são capazes de se aclimatar.

Metais pesados podem aparecer em efluentes industriais e mesmo em esgotos municipais, podendo vir a exercer um efeito tóxico em concentrações relativamente baixas como Zn (163 mg/L); Cd (180 mg/L); Cu (170 mg/L) e Fe (2600 mg/L) (Anderson, 1982).

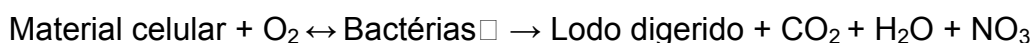
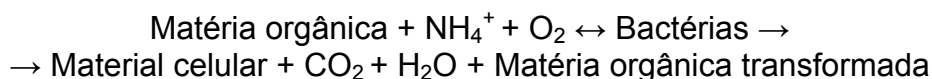
3.2. Digestão aeróbia

A digestão aeróbia é a base conceitual dos sistemas de tratamentos de águas residuárias orgânicas do tipo lodo ativado.

O mecanismo da estabilização é a biodegradação de componentes orgânicos pelos organismos aeróbios e nos sistemas de lodos ativados por aeração prolongada. A fase final do processo é caracterizada pela respiração endógena, que acontece quando o substrato disponível para a biodegradação é totalmente consumido e os microrganismos passam a consumir o próprio plasma microbiano para obter energia para suas reações celulares.

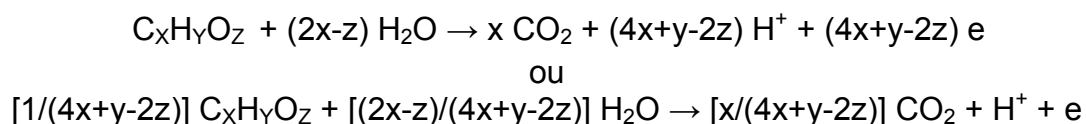
Portanto, o processo de digestão aeróbia passa pela oxidação direta da matéria orgânica biodegradável e aumento da biomassa bacteriana e, posteriormente, pela oxidação do material microbiano celular pelos próprios microrganismos.

O processo aeróbio pode ser sintetizado conforme a reação esquemática:

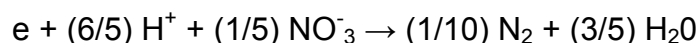


Admitindo-se uma fórmula geral estrutural $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$ para o material orgânico, as reações de redução e de oxidação podem ser escritas como:

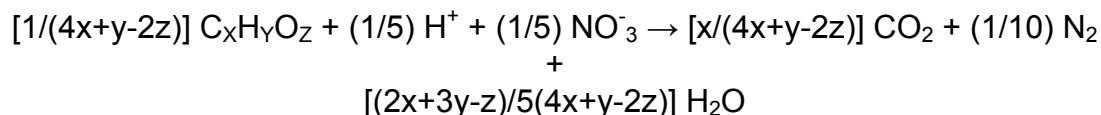
a) Oxidação:



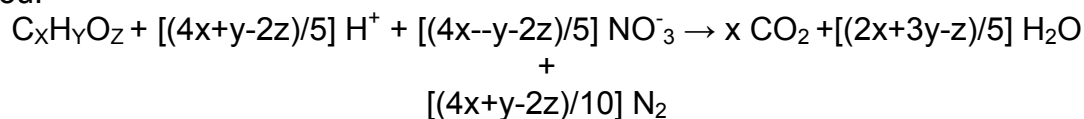
b) Redução:



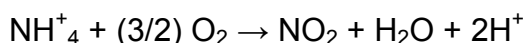
c) Redox:

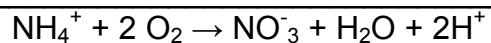
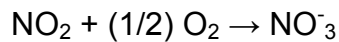


ou:



d) Nitrificação

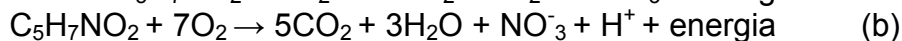




Devido à necessidade de manter o processo em respiração endógena, a digestão aeróbia é tipicamente utilizada para estabilizar lodos ativados, pois esses lodos têm grande massa bacteriana.

A inclusão de lodos ativados no sistema, devido ao seu pequeno conteúdo de material celular, tende a incrementar a primeira reação, o que se reflete no aumento do período de detenção do lodo, necessário para transformar o lodo primário em material celular.

Utilizando a fórmula $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ como representativa do material celular dos microrganismos, o processo pode ser representado pelas equações:



A equação a), representa um sistema que não atinge o estágio de nitrificação, enquanto na equação b), o processo realiza a nitrificação.

Teoricamente, 50% da alcalinidade consumida pela nitrificação é recuperada pela desnitrificação. Caso haja queda excessiva de pH, devido à nitrificação, o sistema pode passar por um período de desnitrificação (desligando-se os aeradores), ou adicionando-se cal ao lodo para restabelecer o pH.

Quando não ocorre a nitrificação, dependendo do tempo de retenção celular e do descarte de lodo biológico gerado em excesso, são necessários por volta de 1,5 kg de oxigênio por kg de material celular. Se o sistema realiza a nitrificação, as necessidades teóricas podem ultrapassar a 2,0 kg de O₂/kg de material celular Metcalf & Eddy (1991).

Os tipos microbianos dos lodos ativados são encontrados naturalmente nos ecossistemas aquáticos e se estabelecem no biorreator através das condições de operação, como características da quantidade da matéria orgânica presente na água residuária, agitação, disponibilidade de oxigênio dissolvido e interações microbianas.

No início do processo, pode-se observar a presença de amebas e flagelados, posteriormente substituídos por protozoários holozóicos, como por exemplo, os ciliados livre-natantes. O processo culmina quando se observa a presença de ciliados sésseis, e micrometazoários, como os rotíferos e nematóides.

O emprego prático da avaliação dos tipos de protozoários e micrometazoários presentes no biorreator é de extremo valor, uma vez que análises microscópicas bastante simples podem indicar as condições de operação do sistema.

Os fungos não são comuns em sistemas de lodos ativados, mas quando presentes, pertencem ao grupo dos deuteromicetos (fungos imperfeitos). No entanto, podem predominar quando o tratamento de águas residuárias de origem industrial resulta em acentuada queda de pH no meio, ou limita a disponibilidade de fontes nitrogenadas. A tabela 3 resume os gêneros bacterianos e classes de protozoários presentes nos lodos ativados.

Tabela 3. Gêneros bacterianos e classe de protozoários presentes nos sistemas de lodos ativados (Vazoller *et al.*, 1989; Jenkins *et al.*, 1993).

Gêneros bacterianos	
Heterótrofas	<i>Pseudomonas sp</i> , <i>Zooglea ramigera</i> , <i>Achromobacter sp</i> , <i>Flavobacterium sp</i> , <i>Bdellovibrio sp</i> , <i>Mycobacterium sp</i> , <i>Alcaligenes sp</i> , <i>Arthrobacter sp</i> e <i>Citromonas sp</i> .
Filamentosas	<i>Sphaerotillus natans</i> , <i>Beggiatoa sp</i> , <i>Thiothrix</i> , <i>Leucothrix sp</i> , <i>Microthrix parvicella</i> , <i>Nocardia sp</i> , <i>Nostocoida limicola</i> , <i>Haliscomenobacter hydrossis</i> , <i>Flexibacter sp</i> e <i>Geotrichum sp</i> .
Nitrificantes	<i>Nitrosomonas sp</i> e <i>Nitrobacter sp</i> .
Fonte: Vazoller <i>et al.</i> (1989); Jenkins <i>et al.</i> (1993).	
Exemplos de protozoários	
Classe <i>Sarcodina</i> Amebas	<i>Arcella discoides</i> , <i>Amoeba sp</i>
Classe Ciliata, Ciliados livre-natantes e sésseis	<i>Aspidisca costata</i> , <i>Trachelophyllum sp</i> , <i>Paramecium sp</i> , <i>Didinium sp</i> , <i>Chilodenella sp</i>
Classe <i>Mastigophora</i> Flagelados	<i>Spiromonas sp</i> , <i>Bodo sp</i> , <i>Euglena sp</i> , <i>Monas sp</i> , <i>Cercobodo sp</i>
Fonte: Vazoller <i>et al.</i> (1989).	

3.3. Tipos de reatores

3.3.1. Reatores anaeróbios

É possível recuperar de literaturas que referenciam a utilização de processos anaeróbios em reatores de alta taxa, para a fase líquida, desde meados de 1970.

A partir de 1980, inúmeros estudos em escala piloto foram desenvolvidos, e cristalizou-se nessa época a idéia de utilização de reatores anaeróbios para tratamento de efluentes com média e alta concentração de matéria orgânica, expressa comumente como DBO, como por exemplo, os estudos de reatores UASB em alta taxa, operando em climas temperados realizados por Lettinga *et al.* (1980), e Lettinga & Hulshoff (1986).

Ruiz *et al.* (1988), referenciam altas eficiências e baixos tempos de retenção hidráulica em reatores anaeróbios de leito fluidizado ou de manto de lodo (UASB).

Schellingkout & Collazos (1990), em trabalho publicado pelo Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria Y Ciencias de Ambiente, reportam vários estudos em escala piloto e destacam a escassez, à época, de sistemas em larga escala.

Avançando na década de 1990 observa-se que diferentes tecnologias de processos anaeróbios foram aplicadas a efluentes com baixa concentração.

As figuras 2 a 8 apresentam diversos arranjos de reatores anaeróbios (Chernicharo, 1997).

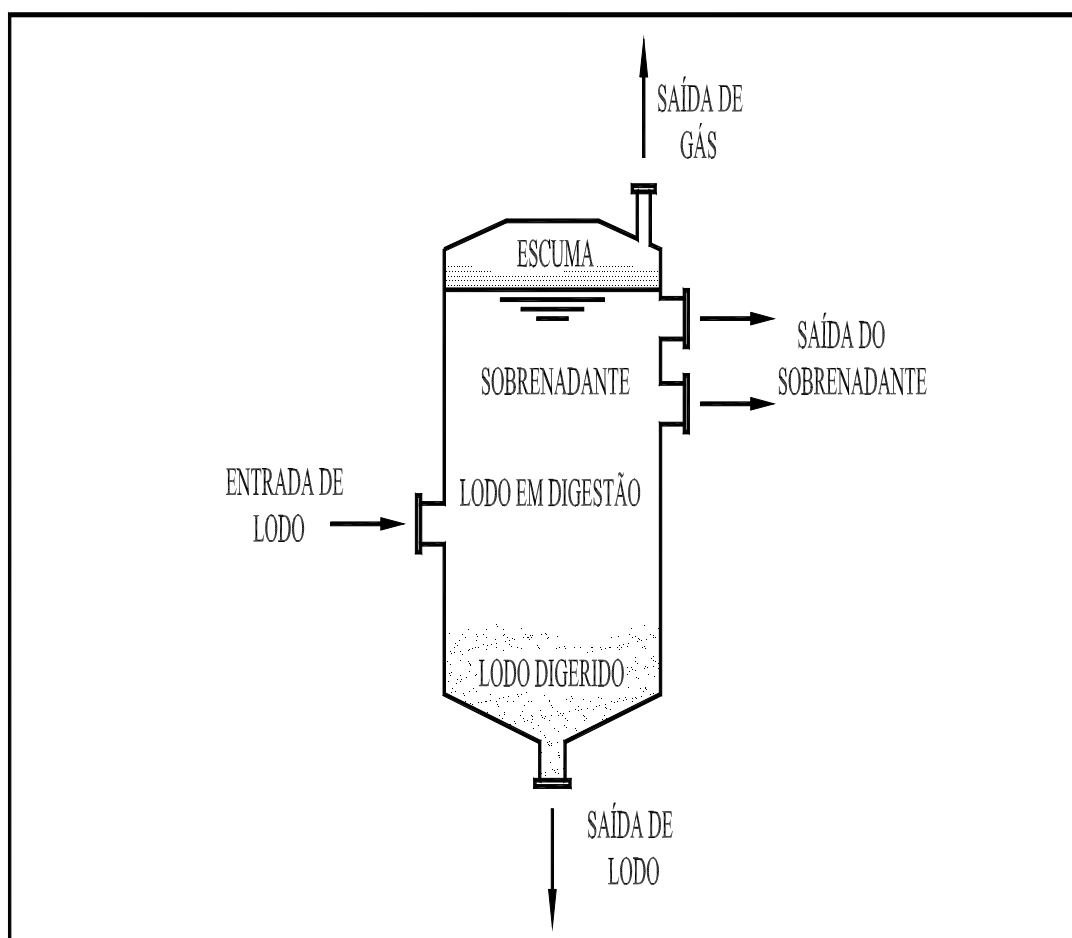


Figura 2. Reator anaeróbio de baixa carga sem câmaras internas para separação de gás da fase líquida.

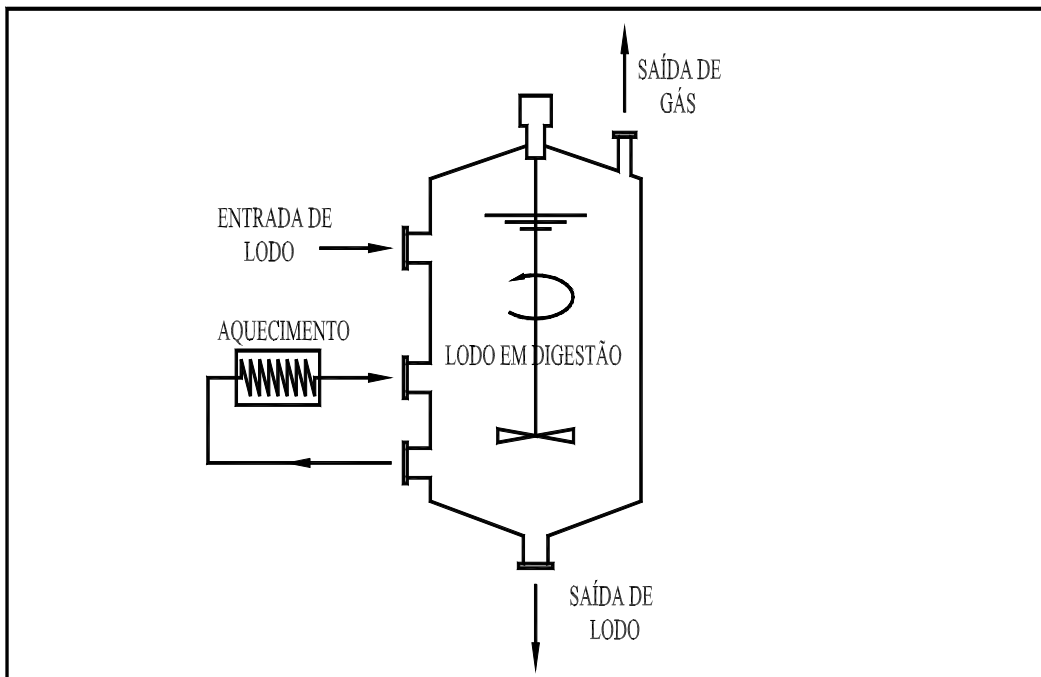


Figura 3. Reator de alta taxa e um estágio, apresentando sistema de aquecimento externo.

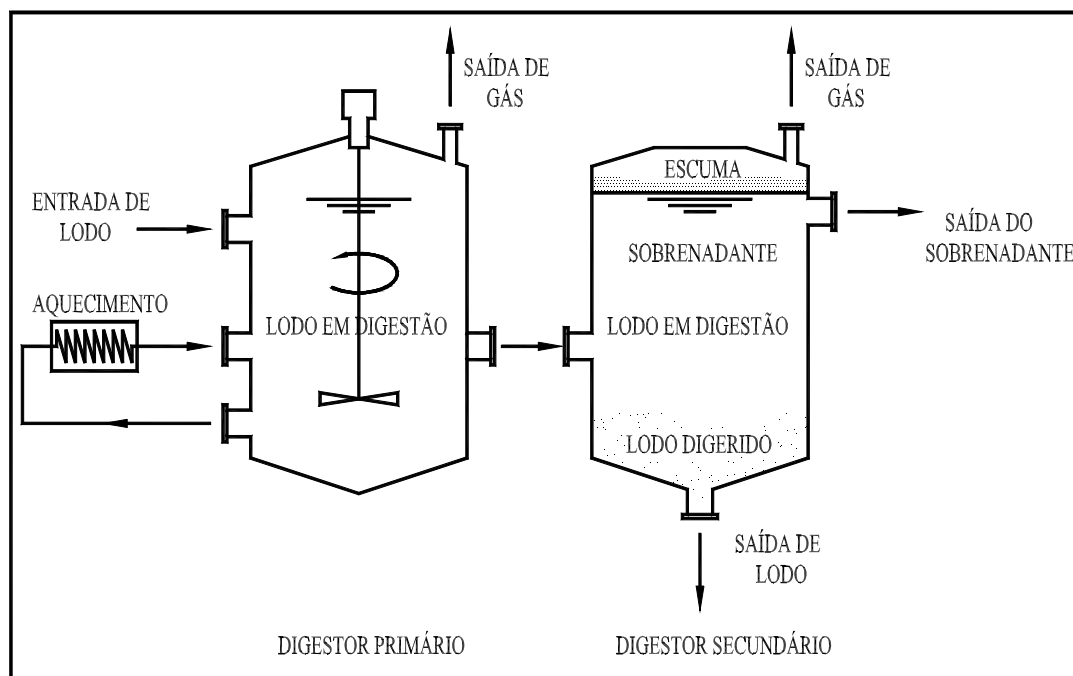


Figura 4. Reator de alta taxa e dois estágios.

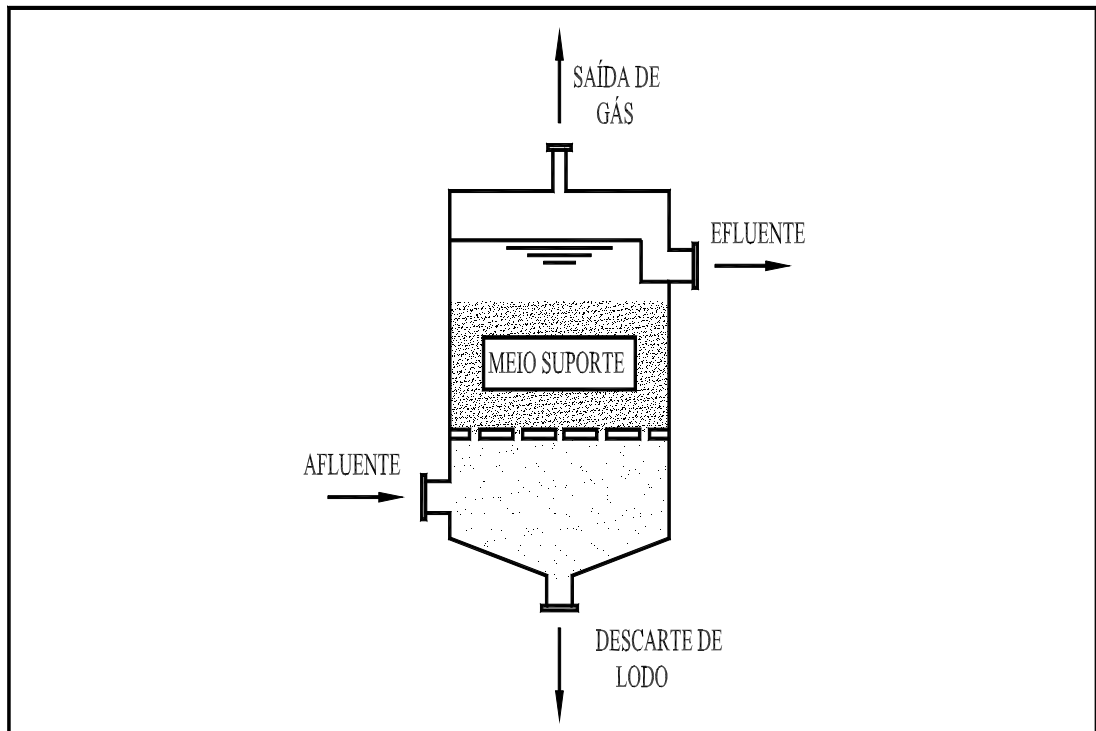


Figura 5. Filtro anaeróbio de fluxo ascendente destacando a utilização de suporte para a população microbiana.

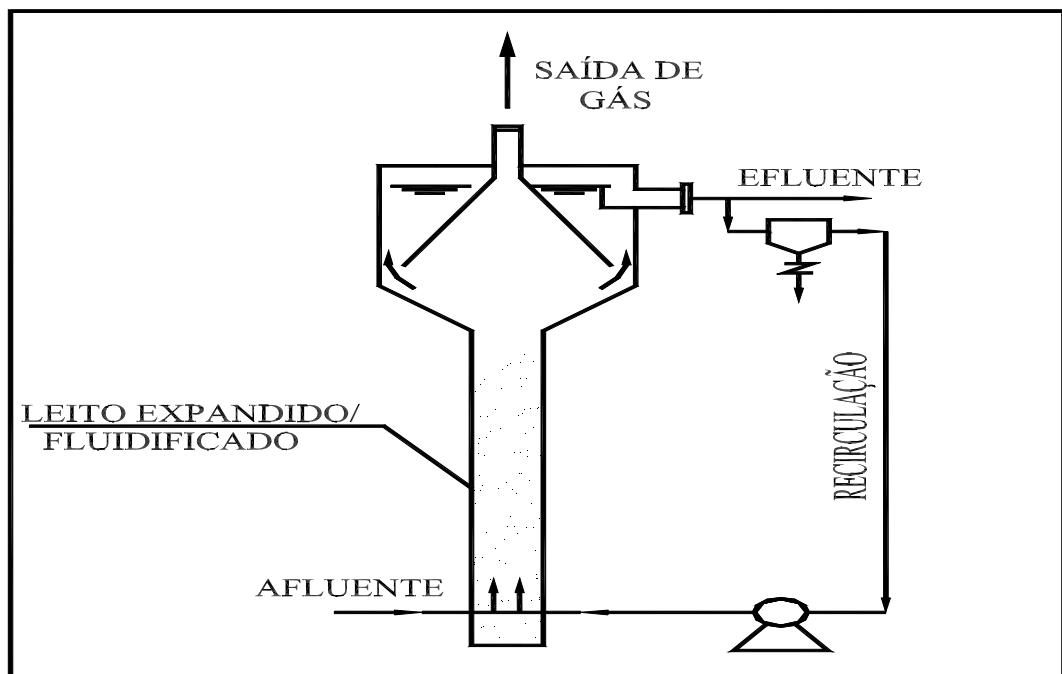


Figura 6. Reator anaeróbio de leito fluidificado, com recirculação do efluente tratado para garantir taxa de aplicação adequada na alimentação.

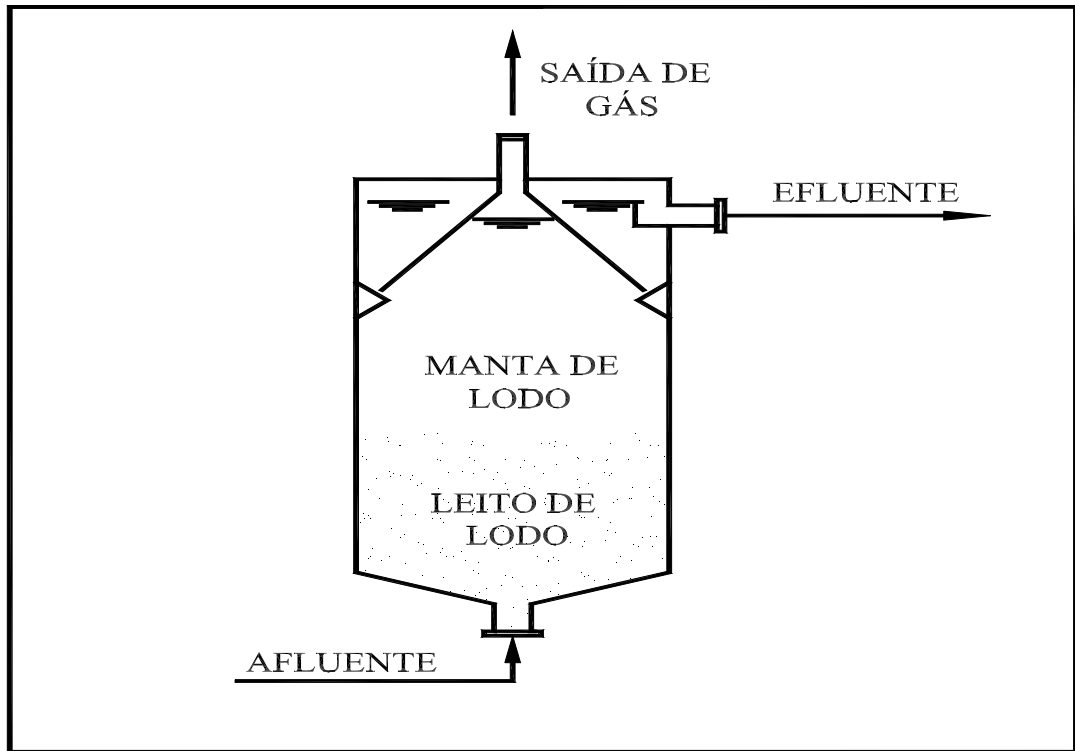


Figura 7. Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA ou UASB).

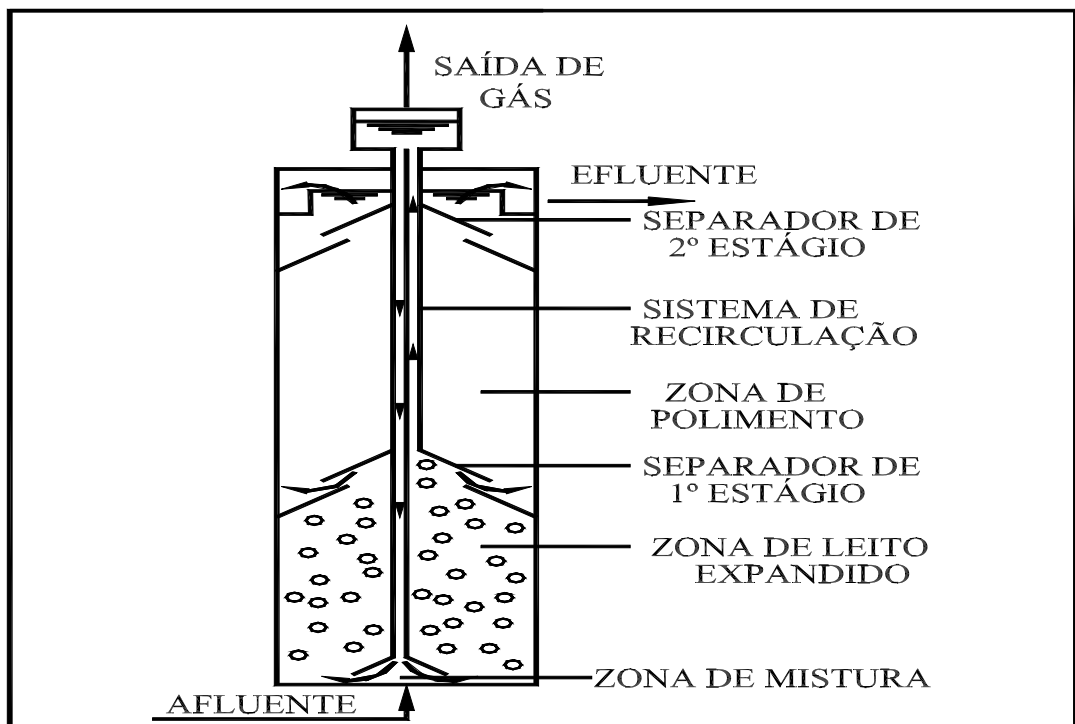


Figura 8. Reator anaeróbio de fluxo ascendente com recirculação interna.

3.3.2. Reatores aeróbios

Esses reatores vem sendo amplamente utilizados desde o início do século 20 para tratamento de águas residuárias orgânicas, notadamente esgoto sanitário, e mais recentemente em tratamento de efluentes líquidos industriais em locais que se faz necessário que os descartes de efluentes atendam padrões restritivos de lançamento.

Suas principais variantes são:

- a) Reatores de batelada ou fluxo descontínuo;
- b) Fluxo em pistão;
- c) Mistura completa sem e com recirculação.

Considera-se que esses processos estão bastante consolidados como processos tradicionais e de eficiência bastante alta em termos de remoção de DBO.

Apresentam-se a seguir alguns fluxogramas simplificados, denotados por processos secundários, uma vez que não se indica em nenhum deles a possibilidade de remoção de nitrogênio e fósforo, o que caracterizaria um processo denominado terciário.

As figuras 9, 10 e 11, representam os processos aeróbios relacionados.

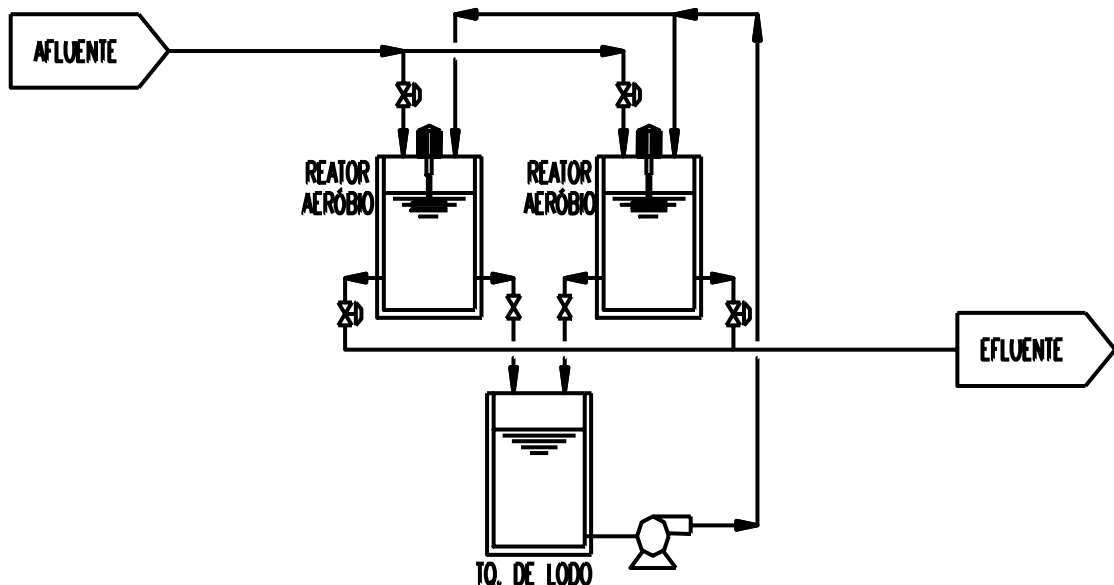


Figura 9. Processo de tratamento utilizando reatores aeróbios por batelada.

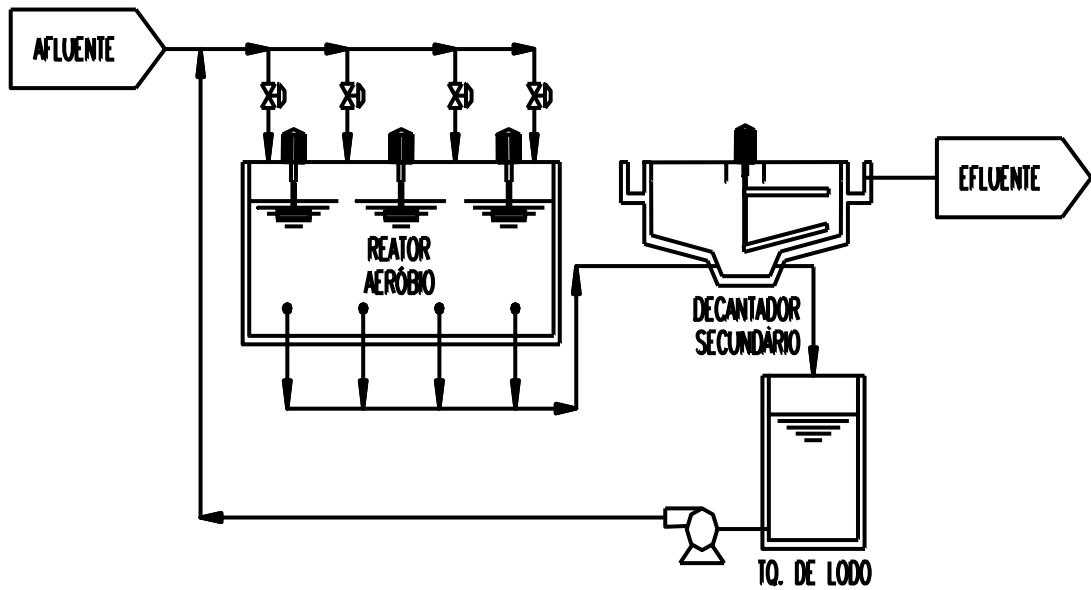


Figura 10. Processo de tratamento utilizando reator aeróbio com fluxo em pistão.

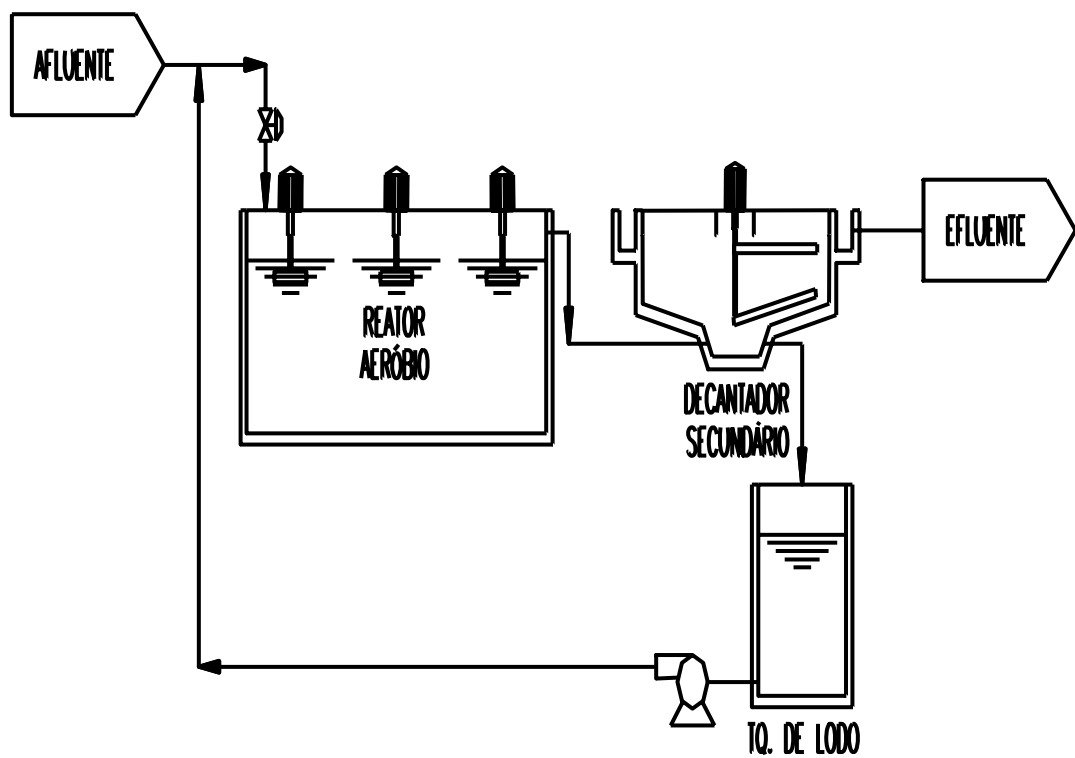


Figura 11. Processo de tratamento utilizando reator aeróbio de mistura completa.

A figura 12, baseada em fluxograma SABESP (2004), apresenta um esquema completo das operações unitárias envolvidas no tratamento de esgoto sanitário, utilizando o processo de lodo ativado convencional.

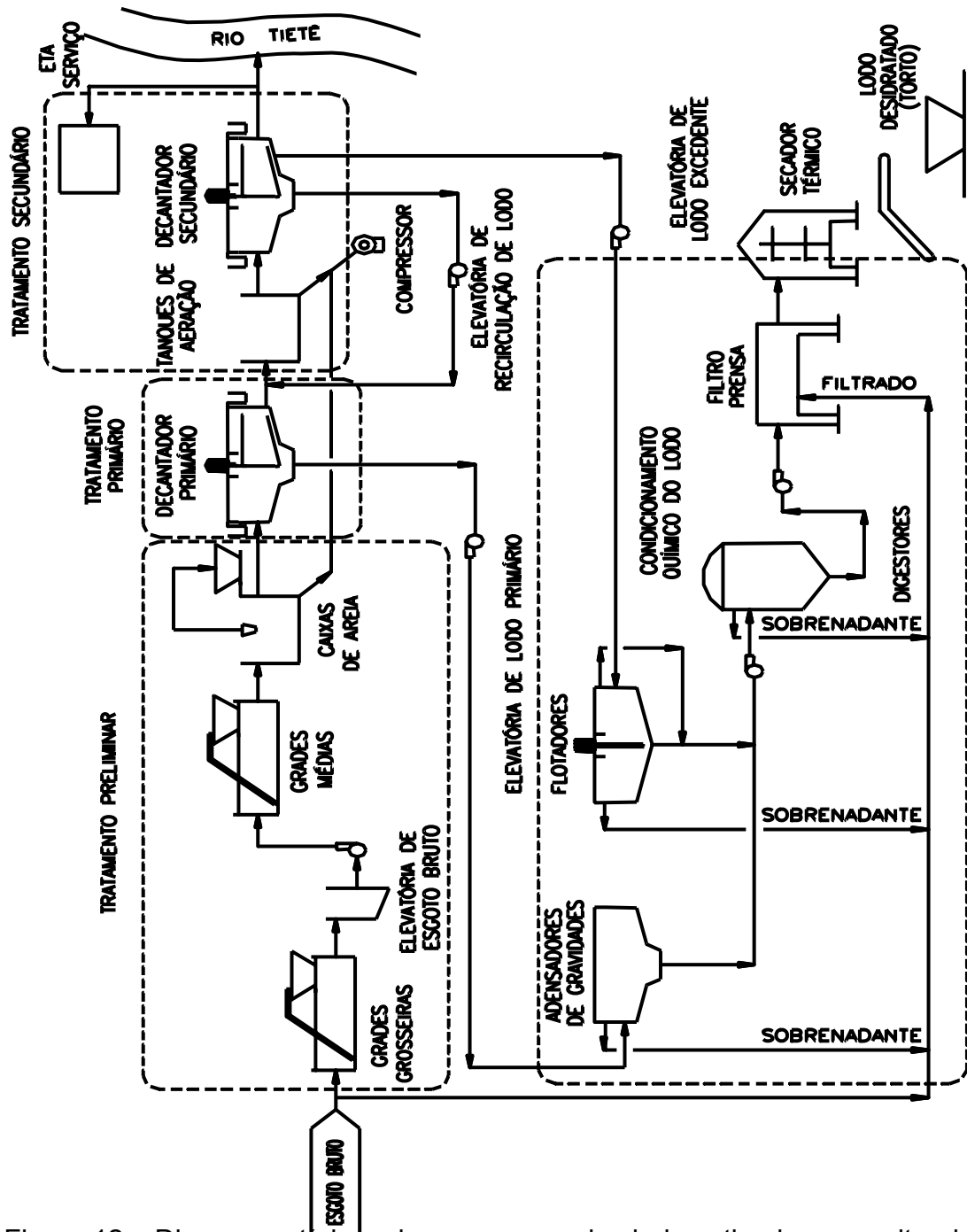


Figura 12. Diagrama típico do processo de lodo ativado, ressaltando alternativas para adensamento do lodo antes da desidratação.

3.4. Processos mistos

Recentemente em função da evolução dos sistemas anaeróbios, notadamente no que se refere ao controle de emissões de odores, observa-se uma tendência de desenvolvimento visando a aplicação em larga escala de sistema aeróbio precedido de anaeróbio.

A redução de carga orgânica no sistema anaeróbio resulta na redução proporcional do consumo de oxigênio para o sistema aeróbio seguinte, com conseqüente redução, também proporcional, da energia despendida na aeração.

Hirakawa *et al.* (2002), para incrementar o desempenho do reator anaeróbio, que isoladamente tem se mostrado insuficiente para assegurar o atendimento à legislação ambiental, apresentaram dados sobre uma planta piloto operada entre junho de 1988 e junho de 1999, onde demonstram a viabilidade da utilização de biofiltro aerado submerso para pós-tratamento do efluente de um reator UASB.

Isoldi *et al.* (2001), relatam parâmetros de operação do reator UASB em um sistema combinado reator UASB – reator aeróbio.

Von Sperling *et al.* (2002), reportam resultados de monitoramento de um reator UASB piloto seguido de uma lagoa de polimento

Ferreira (2003) apresenta dados sobre pós-tratamento de efluente de reator UASB em sistema de lodos ativados visando a remoção biológica do nitrogênio associada à remoção físico-química de fósforo.

Vitoratto & Righetto (2003) apresentam painel sobre sistema aeróbio com biodisco precedido de reator anaeróbio de fluxo ascendente.

A SANASA , empresa de saneamento da região metropolitana de Campinas, emitiu edital em 2004 para construção e montagem de duas estações de tratamento utilizando reatores UASB seguidos de filtros aeróbios submersos, o que mostra a viabilidade desse processo.

A PROACQUA Processos de Saneamento e Efluentes Ltda, desde 1990, constrói sistemas mistos de pequeno e médio porte, até que em 2002, em trabalho conjunto com o autor desta dissertação constrói a ETE Palatinato em Petrópolis.

Esses eventos resultaram posteriormente no projeto, construção e montagem da ETE Cambinhas em Niterói, Rio de Janeiro, e posteriormente na ETE Itaipu também em Niterói – RJ, estações de tratamento estas, que agregaram melhorias técnicas que subsidiaram esta dissertação.

3.5. Geração de biogás

A geração de biogás é uma consequência da degradação da matéria orgânica submetida às condições de anaerobiose.

Chernicharo (1997) atribuiu critérios para a estimativa de produção de biogás considerando a relação dessa produção, com a quantidade da carga de DQO afluente, que se converte em metano, conforme mostra a tabela 4.

Tabela 4 - Conversão de DQO em metano.

DQO TOTAL	DQO CH ₄ = parcela de DQO convertida em gás metano
	DQO cel = parcela de DQO utilizada para crescimento celular
	DQO ret = parcela de DQO não convertida, mantida no lodo do reator
	DQO efl = parcela de DQO não convertida, perdida no efluente
Produção de metano	0,36 a 0,65 kg de CH ₄ /kg DQO aplicada, não considerando perda de gás pelo efluente.

Granato (2003), em trabalho visando demonstrar a viabilidade da utilização do biogás gerado quando se digere a vinhaça, aponta para a geração específica de metano da ordem de 0,35 kg CH₄/kg de DQO removida, o que significa por volta de 0,2 kg CH₄/kg DQO aplicada.

Vitoratto & Righetto (2003), em outra base de cálculo, atribuem a geração de 12 L de biogás.hab⁻¹.dia⁻¹. Considerando biogás com 65 % de CH₄ em peso, essa condição implica em aproximadamente 0,12 kg CH₄/kg DBO aplicada.

Essas diferenças podem ser atribuídas à dificuldade de aferição dos dados em sistema de plena escala, em função de vazamentos, e perda de biogás pelo efluente.

3.6. Lodo biológico gerado em excesso

A SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A (2004), em edital para construção e montagem de uma ETE com reatores anaeróbios após pré-tratamento, especifica a geração de lodo em excesso conforme:

- a) Produção de lodo devido ao efluente: 0,28 kg SS/kg DBO aplicada ao reator anaeróbio.
- b) Lodo produzido no reator aeróbio: 0,8 kg SS/kg DBO aplicada ao reator aeróbio.
- c) Lodo do retorno do desaguamento: 5% do total acima.

Chernicharo (1997), orienta para valores de geração de lodo em excesso entre 0,1 a 0,2 kg de sólidos totais/kg DQO aplicada.

3.7. Considerações sobre aumento de escala

Zlokarnik (1991) enumera quais questões devem ser respondidas para executar um aumento de escala, dentre as quais:

- Quão pequeno a escala pode ser?
- Um modelo é suficiente para se caminhar para escalas de tamanhos diferentes?
- Quais regras governam a adaptação dos parâmetros de processo medidos em escala piloto para a planta em escala plena?
- É possível se manter completa similaridade entre os processos de uma escala piloto e os de plena escala?

De acordo com os critérios de Bisio & Kabel (1995), a ETE Pinheirinho pode ser considerada uma planta comercial, uma vez que processa a vazão resultante da contribuição de 3.360 habitantes, equivalente a 25 m³/h, apesar de ser o ponto de partida para o aumento de escala. Ressalta que não é possível nos dias de hoje, um indivíduo ser um especialista em todos os aspectos envolvidos nas atividades de aumento de escala.

As condições estabelecidas para o aumento de escala também foram imposições comerciais e circunstanciais em função da população a ser atendida pela ETE Itaipu, ou seja, 29.000 habitantes, resultando em aumento de escala de 1:8,6.

Exceto em problemas mais simples, as atividades de aumento de escala são desenvolvidas por um grupo com o mesmo objetivo.

Em linhas gerais os critérios para dimensionamento das diferentes unidades componentes tanto da ETE Pinheirinho como da ETE Itaipu, obedeceram as mesmas premissas, as quais são citadas em várias literaturas específicas.

3.7.1. Unidades de tratamento primário

Iniciando pelo canal de grade, Nunes (1996) recomenda que se mantenha uma velocidade por volta de 0,6 m/s entre grades, sendo bastante comum a utilização dos seguintes critérios:

- a) Gradeamento grosso: Espaçamento entre grades de 2,0" ou 51 mm.
- b) Gradeamento médio: Espaçamento entre grades de 1 ½" ou 38 mm.
- c) Gradeamento fino: Normalmente utilizado em estações de tratamento de grande capacidade, com abertura de até 3 mm, e com disponibilidade de mecanismos de limpeza automática. A abertura bastante reduzida é viabilizada em função do automatismo de limpeza.

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas normatiza todos os critérios a serem adotados no dimensionamento de canais de grade conforme:

- Grade de barras retas, de limpeza manual: NBR 11885 de 02/1991
- Grade fixa de barras retas com limpeza mecanizada: NBR 13059 de 12/1993
- Grade fixa de barras curvas com limpeza mecanizada: NBR 13160 de 06/1994

A unidade seguinte, normalmente aplicada em tratamento de esgoto doméstico, é a caixa de areia.

O critério mais comumente utilizado é aquele estabelecido pela ABNT (NBR 12209 de 04/1992), que determina como taxa máxima de aplicação superficial o valor de $1.300 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$.

Os desenhos desses equipamentos são bastante padronizados, e utilizados, independente do fornecedor, com os mesmos acessórios de distribuição de fluxo, removedores e lavadores de areia, em conformidade por exemplo com a figura 13.

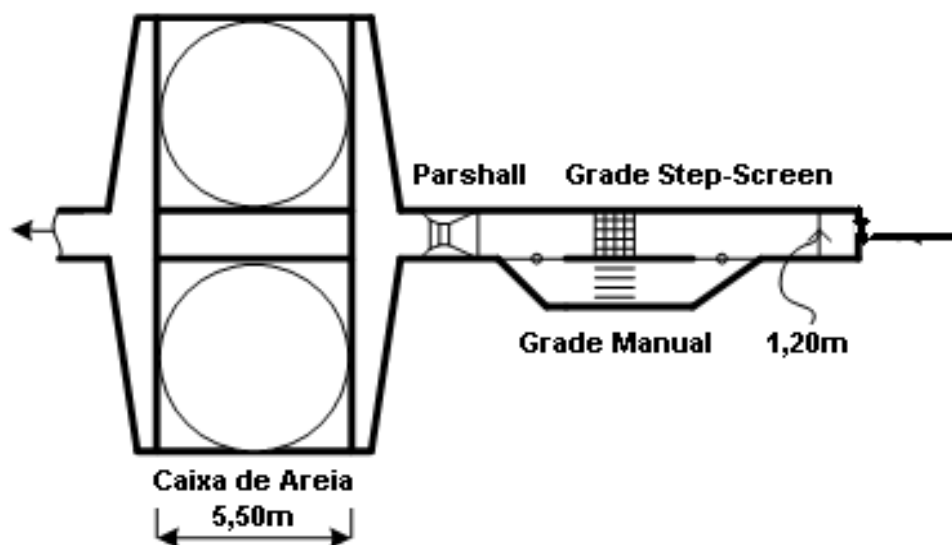


Figura 13. Canal de grade e caixa de areia mecanizada.

As estações de tratamento de esgoto sanitário utilizam canais normalmente construídos em concreto para o escoamento e distribuição de fluxo nas unidades de pré-tratamento.

Tanto a montante como a jusante das caixas de areia, sejam elas mecanizadas ou manuais, quanto à disponibilidade de dispositivos para remoção de areia, é bastante comum a utilização de calha Parshall para medição de vazão.

Como essas calhas atribuem uma vazão a uma determinada altura de lâmina de água no ressalto hidráulico próximo do estreitamento da passagem de fluxo (figura 13), é bastante usual a utilização de sondas de ultra-som acopladas a conversor da altura do ressalto hidráulico a qualquer unidade de medida de vazão que se deseje.

É bastante usual também que essa sonda possibilite além de leituras instantâneas, o registro de vazões diárias acumuladas.

3.7.2. Unidades de tratamento biológico

a) Reator anaeróbio (RAFA)

Van Haandel & Lettinga (1994), Chernicharo (1997), Foresti (2002) enfatizam critérios específicos para o dimensionamento desses reatores, sendo mais destacados, os seguintes parâmetros:

a.1) Taxa de aplicação na base do reator em $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hora}^{-1}$.

A taxa de aplicação na base do reator é obtida pela equação $T_a = Q/A$, onde:

$$\begin{aligned} T_a &= \text{Taxa de aplicação em } \text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{hora})^{-1} \\ Q &= \text{Vazão em } \text{m}^3 \cdot \text{hora}^{-1} \\ A &= \text{Área em } \text{m}^2 \end{aligned}$$

Os valores recomendados expressos como velocidade superficial do fluxo resultante são de 0,5 a 0,7 $\text{m} \cdot \text{hora}^{-1}$, devendo em vazão de pico (2 a 4 horas), não exceder 1,5 $\text{m} \cdot \text{hora}^{-1}$ (Chernicharo, 1997).

a.2) Carga orgânica aplicada por volume do reator em $\text{kg DBO} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{dia})^{-1}$ ou $\text{kg DQO} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{dia})^{-1}$.

Conhecendo-se a concentração de DBO do efluente bruto, e a vazão de alimentação do reator obtêm-se a carga orgânica de alimentação aplicando-se a fórmula:

$$C \cdot O_{al} (\text{kg DBO} \cdot \text{dia}^{-1}) = C \cdot \text{DBO} (\text{mg/L}) \cdot Q (\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}) \cdot 10^{-3}$$

Nestas condições, dividindo-se a carga orgânica pelo volume do reator tem-se a carga orgânica aplicada por volume do reator.

$$C \cdot O_{ap} (\text{kg DBO} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{dia})^{-1}) = C \cdot O_{al} (\text{kg DBO} \cdot \text{dia}^{-1}) \cdot V_{ra}^{-1} (\text{m}^3)$$

onde V_{ra} é o volume do reator anaeróbio.

LETTINGA *et al.* (1997), recomenda taxas entre 1,0 e 3,0 $\text{kg DQO} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{dia})^{-1}$, o que para esgoto sanitário representa por volta de 0,6 a 2,0 $\text{kg DBO} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{dia})^{-1}$.

a.3) Número de distribuidores da alimentação no fundo do reator.

Os autores citados acima referenciam de 2 a 4 tubos de alimentação por m^2 de base do reator.

a.4) Taxa de aplicação superficial do decantador ou conjunto de decantadores superiores ao reator em $\text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{dia})^{-1}$.

É comum a utilização de valores de velocidade ascensional entre 0,6 a 1 $\text{m} \cdot \text{hora}^{-1}$ (Chernicharo, 1997). Esses números são semelhantes aos utilizados em decantadores secundários de sistema aeróbios.

b) Reator aeróbio

As informações que se seguem foram extraídas de Metcalf & Eddy (1977), e em razão de se tratar de tecnologia bastante difundida, as questões relacionadas com digestão aeróbia não foram motivo de busca aprofundada nas fontes bibliográficas.

Os principais parâmetros de dimensionamento de reatores aeróbios são:

b.1) Relação substrato/população microbiana

Esta relação conhecida por fator F/M (Food/Microorganism), relaciona a carga orgânica aplicada [$C.O_{apl}$ em $kg\ DBO.(m^3.dia)^{-1}$] e a população microbiana presente na célula de aeração expressa em concentração de sólidos orgânicos voláteis (SSV em $mg\ SSV.L^{-1}$ ou $kg.m^{-3}$) multiplicado pelo volume do reator aeróbio (m^3), resultando em sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração (SSVTA em $kg.m^3$).

Valores clássicos para sistemas de lodo ativado são:

$$0,07 \leq F/M \leq 1,4 \text{ (kg DBO.kg SSVTA}^{-1}\text{)}$$
$$3,0 \text{ SSV} \leq 4,5 \text{ (kg SSV.m}^{-3}\text{)}$$

Volume do reator em m^3 , resultante quando se estabelece a relação F/M.

Observa-se que cálculos sofisticados de volume de reator quando a experiência não define a relação F/M, exige conhecimento dos seguintes parâmetros:

- Concentração de sólidos biológicos (voláteis);
- Percentual desses sólidos que são biodegradáveis;
- Fator de conversão desse percentual em DBO_5 ;
- Idade do lodo e tempo de retenção celular necessário;
- Fatores diversos relacionados com as características do substrato e da população microbiana tais como:

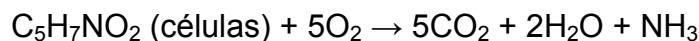
Y: Coeficiente de produção e crescimento em kg microrganismos/massa de substrato utilizado.

Kd: Coeficiente de decréscimo da população microbiana expresso em $dias^{-1}$.

X: Concentração de microrganismos em massa/volume.

b.2) Quantidade de oxigênio necessária

Considerando que a relação estequiométrica pode ser expressa como:



A relação kg de oxigênio.kg de células⁻¹, é estabelecida em 1,42 (células), intuindo que o oxigênio teórico necessário em kg.dia⁻¹, é igual ao alimento utilizado por dia, menos a população microbiana descartada do sistema por dia, também em kg.dia⁻¹.

A população microbiana removida do sistema por dia depende por exemplo, da idade do lodo exigida no processo, da concentração da população microbiana mantida no reator e da concentração da população microbiana no lodo recirculado ao reator aeróbio a partir do decantador secundário, segundo:

$$Q_{\text{exc}} = X.V/(IL).X_{\text{rec}}$$

Onde:

Q_{exc} : Vazão de liquor biológico removido do sistema em m³.dia⁻¹.

X: Concentração celular no reator aeróbio mg.L⁻¹, também usualmente expresso como sólidos suspensos voláteis (SSV).

V: Volume do reator aeróbio (m³)

IL: Idade do lodo (dias)

X_{rec} : Concentração celular no reciclo de sólidos a partir do decantador secundário em mg.L⁻¹, novamente usualmente expresso como concentração de sólidos suspensos voláteis.

Finalmente a quantidade teórica de oxigênio para oxidação da matéria carbonácea, utilizando um fator de conversão de DBO₅ para DBO_L adequado, desconsiderando a nitrificação é obtida conforme:

$$\text{O}_2 \text{ necessário (kg.dia}^{-1}\text{)} = \{C.O_{\text{apl.}}(\text{kg DBO.dia}^{-1})/0,68\} - \{1,42.Q_{\text{exc}}(\text{kg.dia}^{-1})\}$$

Onde 0,68 é o fator de conversão DBO₅ para DBO_L (células).

A vazão de ar a ser admitida ao sistema ou mesmo a massa de oxigênio puro, se esta for a alternativa adotada, dependerá da eficiência do sistema de difusão selecionado.

c) Decantador secundário

Para o dimensionamento de decantadores secundários utilizados em sistemas que utilizam substratos conhecidos, é comum o uso de taxa de aplicação entre 16 e 24 m³.(m².dia)⁻¹, considerando apenas a vazão de efluente bruto.

O tempo de residência hidráulico (TRH) entre 2 e 4 horas define a altura útil da unidade.

d) Elevatória para recirculação da massa biológica

As elevatórias para recirculação da massa biológica a partir do fundo dos decantadores secundários são unidades simples, quando inclusive não se remove essa massa diretamente do fundo do decantador.

A vazão de reciclo se presta a manter a concentração microbiana desejada no reator aeróbio que normalmente se mantêm entre 50 e 60 % da vazão de entrada no sistema de tratamento, utilizando as seguintes premissas:

$$X \cdot (Q + Q_{rec}) = X_{rec} \cdot Q_{rec}$$

Onde Q é a vazão afluyente ao tanque de aeração, e Q_{rec} a vazão de retorno do produto decantado.

Valores bastante seguros de X e X_{rec} para efeito de dimensionamento de sistemas aeróbios pelo processo de lodo ativo são:

$$3.000 \leq X \leq 4.500 \text{ mg/L}$$

$$10.000 \leq X_{rec} \leq 12.000 \text{ mg/L}$$

As bombas normalmente têm capacidade para a vazão total em função das operações de partida e inoculação do sistema.

e) Desaguamento do lodo biológico gerado em excesso

Os equipamentos mais utilizados para desaguamento do lodo biológico gerado em excesso são as centrífugas horizontais e os filtros prensas em suas diversas modalidades.

Nos sistemas de lodos ativados, o lodo removido do fundo do decantador apresenta por volta de 1,0 a 1,5 % em massa de sólidos secos. Normalmente se utiliza um adensador para elevar essa concentração para 2,0 a 2,5 % antes de alimentar a centrífuga, com intuito de minimizar a vazão efluente, e conseqüentemente o equipamento de deságüe.

No sistema misto, o lodo removido do decantador é disposto no reator anaeróbio, e o descarte do lodo em excesso a partir deste, é efetuado com concentração de sólidos secos já entre 4 a 5 % em massa.

4. PROJETO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO

4.1. Considerações gerais sobre os tratamentos dos esgotos

Lançamentos de esgoto sanitário em corpos d'água receptores, sem tratamento adequado, são responsáveis por um sem número de doenças transmissíveis, dentre as quais destaca-se a infecção pelo vibrião colérico.

Importante também é o aspecto de preservação ambiental quando se evita, pela prática de soluções adequadas, a ação deletéria de substâncias poluentes nesses corpos d'água receptores.

Como regra, os tratamentos de águas residuárias são classificados pelo nível de depuração das substâncias afluentes, de forma geral conforme:

a) Tratamento preliminar

Tem como objetivo remover através de grades ou peneiras, o material sólido grosseiro e decantável como areia, e por flotação remover óleo e gordura, componentes esses carregados nas redes de coleta.

b) Tratamento primário

São os processos responsáveis pela remoção de sólidos em suspensão após o tratamento preliminar, empregando-se equipamentos como decantadores e flotadores, e classificadores de areia.

c) Tratamento secundário

São processos biológicos, responsáveis pela remoção da matéria orgânica solúvel afluente, transformando-a em gases, sais minerais e novos microrganismos.

Pode-se classificar o tratamento biológico em três tipos: o aeróbio quando se empregam microrganismos que necessitam de oxigênio dissolvido; o anaeróbio quando se empregam microrganismos que não necessitam de oxigênio; e o facultativo que utiliza microrganismos atuantes nas duas condições.

d) Tratamento terciário ou avançado

É utilizado quando se deseja obter um tratamento de qualidade superior para os esgotos. Nesse tratamento remove-se principalmente compostos como nitrogênio e fósforo.

Emprega-se o tratamento terciário, quando o esgoto tratado deve ser lançado em áreas de preservação, como rios, represas, lagos, onde a qualidade da água deve ser mantida para que se evite a eutrofização dos corpos d'água receptores.

É também comumente empregado quando se deseja o reaproveitamento da água, principalmente em indústrias.

4.2. Unidades componentes do sistema projetado

Os sistemas de tratamentos da ETE Pinheirinho, e ETE Itaipu, são compostos pelas seguintes unidades:

4.2.1. Pré-tratamento

- a) Uma unidade de gradeamento
- b) Duas unidades em paralelo para remoção de areia
- c) Uma calha Parshall

4.2.2. Tratamento biológico

- a) Tanque anaeróbio (Reatores anaeróbios de fluxo ascendente RAFA);
- b) Tanque anóxico;
- c) Tanque aeróbio (com reator rotativo de leito fixo);
- d) Decantador secundário:
Processa-se tanto o reciclo de lodo ativo como o descarte do lodo gerado em excesso segundo:
 - ♦ Reciclo de lodo ativo para o sistema via *air-lift* na ETE Pinheirinho e via bomba centrífuga horizontal na ETE Itaipu.
 - ♦ Descarte do lodo em excesso para estabilização no digestor anaeróbio via *air-lift* na ETE Pinheirinho e via bomba centrífuga horizontal na ETE Itaipu.
- e) Remoção de fósforo em decantador anexo para a ETE-Itaipu

4.2.3. Unidades auxiliares

- a) Sopradores de ar tipo Roots;
- b) Selo hidráulico para biogás;
- c) Lavador de gás para a ETE Pinheirinho;
- d) Queimador de gás para a ETE Itaipu.

Nenhuma dessas unidades dispunha, até a conclusão deste trabalho, de equipamento mecânico para desidratação de lodo biológico gerado em excesso uma vez que na ETE Pinheirinho hoje operada pela SABESP, o lodo é retirado via caminhão limpa-fossa e disposto em unidades maiores dessa companhia, enquanto que na ETE Itaipu, em função do pouco tempo

de operação a implantação dessa unidade de desidratação está prevista para meados de 2005.

4.3. Descritivo sucinto do sistema de tratamento

A tabela 5 resume as condições básicas de processo da ETE Pinheirinho e da ETE Itaipu.

Tabela 5 - Síntese dos parâmetros de processo.

PARÂMETROS	ETE PINHEIRINHO	ETE ITAIPU
População atendida	3.360	29.000
Vazão de projeto (m ³ /h)	25	324
DBO efluente (mg/L)	300	236
Carga Orgânica (kg DBO/dia)	180	1.835

O resumo dos principais parâmetros de projeto adotados tanto no dimensionamento da ETE Pinheirinho como no dimensionamento da ETE Itaipu, são apresentados na tabela 7 e o descritivo que se segue encontra-se em conformidade com os fluxogramas de processo apresentados nos Anexos II e III, onde são mostrados, respectivamente, os balanços de massa dos principais componentes das correntes da ETE Pinheirinho e ETE Itaipu.

O esgoto, após o tratamento primário, é encaminhado aos reatores anaeróbios, via caixa de distribuição sobre o reator, sendo o esgoto distribuído em várias correntes líquidas simétricas, que são conduzidas até o fundo do reator por tubos de polietileno de alta densidade (PEAD).

O esgoto, por tubulação interna instalada na parte superior do reator, por gravidade é enviado para um módulo agitado com possibilidade de receber oxigênio, denominado tanque anóxico, e deste seqüencialmente para o tanque aeróbio provido de biodiscos também conhecidos como reatores rotativos.

De forma geral, esses reatores rotativos tem a capacidade de manter uma elevada concentração de sólidos (biomassa), muito além dos sistemas aeróbios, como lodo ativado por aeração prolongada, possibilitando assim reduzir os volumes dos tanques de aeração.

O biodisco é um reator rotativo, com filme microbiano fixo, que consiste de vários tubos plásticos corrugados, enrolados como um carretel, empregado para o tratamento de esgoto sanitário. Os tubos são enrolados em espiras, suportadas por uma estrutura metálica, formando um carretel, com eixo central que permite o movimento de rotação.

Com o movimento de rotação contínuo a matéria orgânica e os nutrientes são transferidos para o filme biológico, aderido nas paredes internas e externas dos tubos, promovendo o tratamento dos efluentes.

Os espaços vazios nos tubos garantem um contato contínuo entre os microrganismos, aderidos no filme biológico, com o efluente proporcionando bom aproveitamento do oxigênio fornecido, associado ao fato de que o biodisco é também uma fonte adicional de oxigênio.

Na parte suplementar do módulo aerado não sujeito à ação do biodisco, a aeração é efetuada através de difusores de bolha fina, e o ar suprido por sopradores Roots.

A utilização de biodiscos nos módulos aerados foi estabelecida como forma de garantir a fixação da população microbiana nesses módulos, primeiro em função da baixa carga orgânica afluyente, devido à eficiência de no mínimo 65 % em termos de remoção de DBO no sistema anaeróbio; segundo porque observou-se, nas plantas de testes, dificuldade de floculação do lodo biológico, notadamente na transposição de condições anaeróbias para aeróbias.

Após oxidação da matéria orgânica, o líquido biológico é encaminhado por gravidade ao decantador secundário para separar os flocos de bactérias (lodo) do líquido clarificado, possibilitando o retorno de lodo ativo e conseqüentemente a manutenção da concentração de sólidos voláteis no módulo aerado.

O lodo retido no fundo do decantador é removido continuamente, retornando parte desse lodo para primeiro tanque de aeração, caracterizando-se assim o reciclo de biomassa e parte descartado para o biodigestor RAFA, onde a matéria orgânica é estabilizada.

O efluente tratado, após desinfecção com cloro, via bomba dosadora, é disponibilizado para descarte.

Tanto a ETE Pinheirinho, como a ETE Itaipu, possuem também a jusante do reator anaeróbio, um módulo denominado tanque anóxico, que foi concebido para que se avaliasse o processo de desnitrificação, uma vez que os níveis de aeração projetados promovem nitrificação nos tanques de aeração com biodiscos.

Nessas condições, na ETE Pinheirinho, uma corrente é reciclada do decantador secundário, e na ETE Itaipu recicla-se a massa biológica do último módulo de aeração para o tanque anóxico instalado entre o biodigestor anaeróbio e o 1º tanque de aeração, descrito anteriormente.

A desnitrificação é um processo biológico de conversão das formas oxidadas de nitrato e nitrito em gases nitrogênio e oxigênio, que ocorre em baixo nível de oxigênio dissolvido disponível no meio, de tal forma que os microrganismos utilizam o oxigênio do nitrato e do nitrito para respiração, ao invés do oxigênio dissolvido proveniente do ar.

Uma ampla faixa de bactérias facultativas heterotróficas utiliza o oxigênio quimicamente ligado do nitrato e nitrito, sendo esse processo denominado de desnitrificação anóxica, portanto, em meio aeróbio com ausência de oxigênio livre.

Mesmo por ocasião do dimensionamento da unidade considerada resultante do aumento de escala, ou seja a ETE Itaipu, o critério de dimensionamento do tanque anóxico não estava totalmente definido, até mesmo por insuficiência de informações em literaturas específicas.

Em resumo, a finalidade desses módulos é permitir que a população microbiana, na interface entre aerobiose e anaerobiose consuma o oxigênio (desnitrificação) do nitrato resultante basicamente do processo de nitrificação da amônia presente no esgoto bruto.

Na ETE Pinheirinho, o módulo anóxico antecede o módulo aerado, e dispõe de um turbo oxigenador que permite a oxigenação do meio, como simples mistura, enquanto que na ETE Itaipu, optou-se por, além da possibilidade de recirculação via bomba da massa biológica para o módulo anóxico a montante do módulo aerado, manter um módulo a montante do decantador também, a exemplo do primeiro módulo anóxico, com possibilidade de aeração ou simples mistura via turbooxigenador.

As melhores condições operacionais relacionadas com a performance do sistema não foram até o momento certificadas, cabendo a ressalva que o sistema permite que durante a operação normal várias condições operacionais de processo sejam investigadas.

A figura 14 apresenta um esquema do biodisco utilizado, enquanto as figuras 15 e 16 apresentam fotos dos biodiscos instalados na ETE Itaipu.

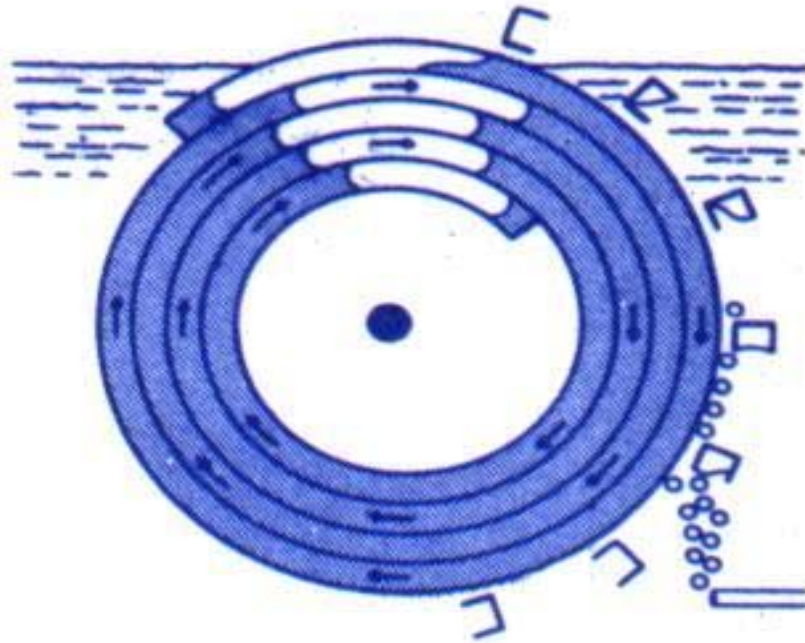


Figura 14. Esquema do biodisco utilizado, com destaque para a montagem dos tubos de polietileno corrugado



Figura 15. Foto do biodisco utilizado, já imerso no tanque de aeração.



Figura 16. Foto do biodisco utilizado, em instalação no tanque de aeração.

A tabela 6 apresenta a área superficial disponibilizada para o biofilme, em função das dimensões dos biofiltros utilizados.

Tabela 6. Características dos biodiscos utilizados.

	ETE Pinheirinho	ETE Itaipu
Dimensões da roda (biodisco)		
Diâmetro (m)	2,5	3,25
Largura (m)	2,5	2,5
Área superficial específica (m ²)	2400	4020
Número de rodas	3	15
Material de construção		
Estrutura	Aço Inox AISI 304	Aço Inox AISI 304
Carretel	Polietileno corrugado	Polietileno corrugado

4.4. Análises de performance da ETE Pinheirinho

Os gráficos apresentados a seguir representam os dados analíticos disponíveis da estação de tratamento Pinheirinho.

Ressalta-se que, apesar dos bons resultados de performance em termos de remoção de carga orgânica, essas informações foram colhidas em época que se observou descartes de lodo de inúmeras fossas sépticas das residências do bairro acarretando situações de choque de carga.

Mesmo considerando as poucas informações analíticas de caracterização das correntes dessa ETE considerada piloto, as condições operacionais, favoráveis e facilitadas, favoreceram a aplicação dos parâmetros de processos na unidade Itaipu.

Os gráficos foram elaborados a partir das informações disponibilizadas pela empresa PROACQUA, que operou a unidade até a entrega da mesma para o corpo técnico da SABESP.

Nessas condições, as figuras 17, 18 e 19 apresentam os resultados de remoção de DBO e DQO.

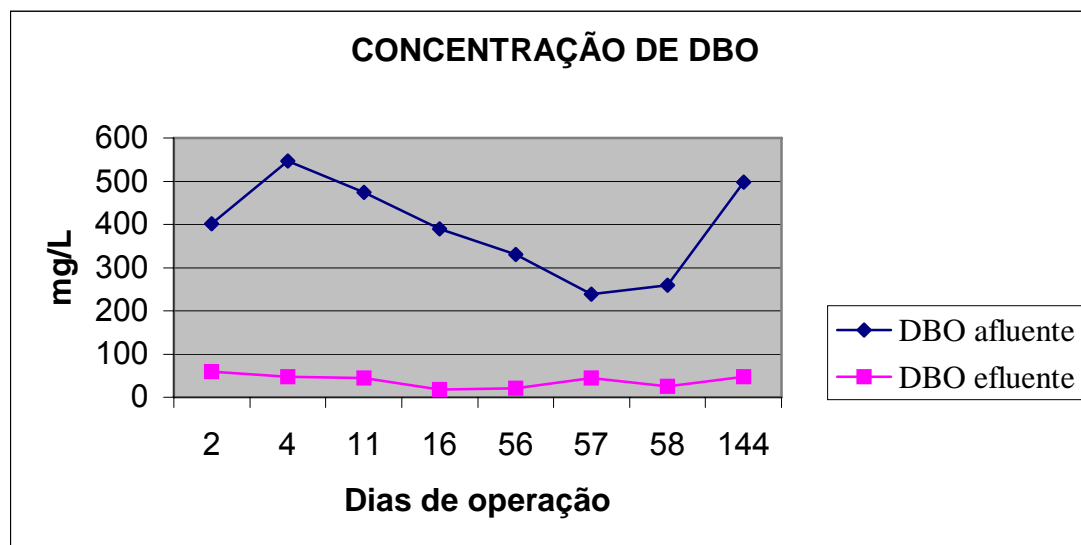


Figura 17. Concentração de DBO afluente e efluente da ETE Pinheirinho ao longo do tempo de operação.

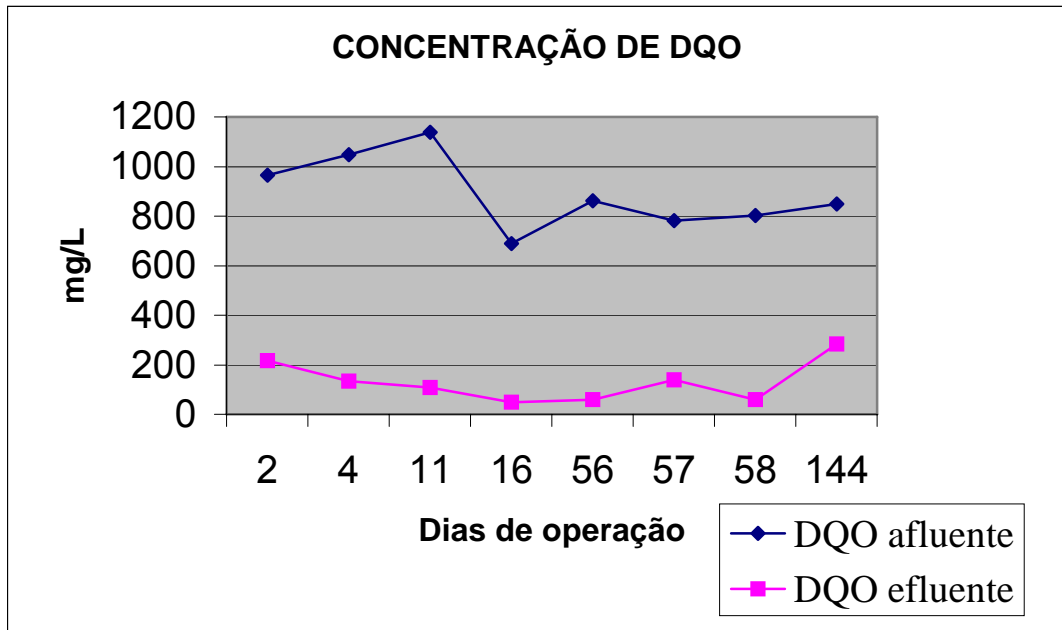


Figura 18. Concentração de DQO afluente e efluente da ETE Pinheirinho em função do tempo de operação

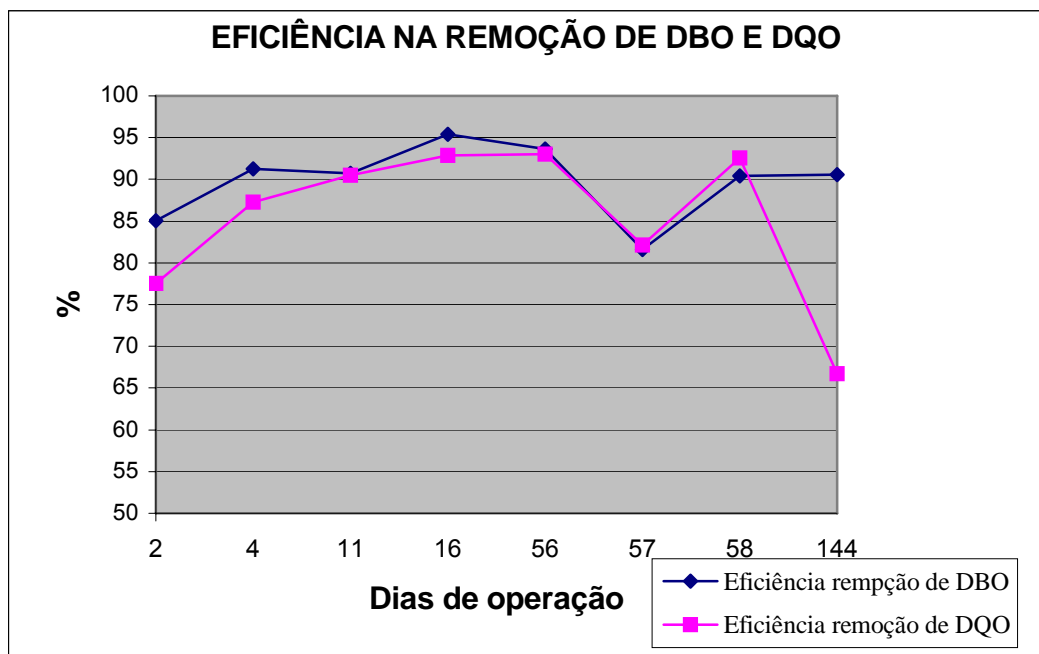


Figura 19. Eficiência de remoção de DBO e DQO da ETE Pinheirinho em função do tempo de operação.

4.5. Memorial de cálculo – ETE Pinheirinho

A ETE Pinheirinho foi dimensionada para uma população total de 3360 habitantes.

Grande parte do esgoto bruto chega a ETE por gravidade e parte, aproximadamente 25% do esgoto total, é enviada através de duas Estações Elevatórias de Esgoto. As premissas de projeto foram

- População equivalente = 3360 habitantes
- Eficiência em termos de remoção de DBO = 94%
- Vazão de projeto (com infiltração) = 25 m³/h
- Vazão máxima = 45 m³/h
- DBO entrada = 300 mg/L
- Carga orgânica total gerada = 180 kg DBO/dia
- DBO de saída < 16 mg/L

Características do efluente tratado a ser lançado no corpo receptor, lagoa da represa Billings:

- Material sedimentável ausente;
- Concentração da DBO5 10 a 18 mg/L
- Concentração de nitrogênio NH₃ < 5 mg/L de N (NH₄⁺)
- Concentração de nitrogênio total < 10 mg/L

- Concentração de fósforo < 1 mg/L
- Concentração de coliformes fecais < 100 unid. coli-fecal/100 mL

- Concentração de O₂ dissolvido > 2 mg/L

4.5.1. Dimensionamento das unidades de pré-tratamento

a) Gradeamento (manual)

Para o gradeamento com limpeza manual, foram instaladas duas grades fixas, sendo uma média e outra fina, em um canal com as seguintes dimensões :

Dimensões do canal de grades:

- Comprimento = 1,5 m
- Largura = 0,5 m
- Altura total = 1,37 m

Em paralelo, em um canal com as mesmas dimensões, foi instalada uma grade média com limpeza manual.

b) Caixa de areia (manual)

Foram instaladas duas caixas de areia, em paralelo, com limpeza manual.

Dimensões das caixas de areia:

- N° de caixas = 2 unidades
- Comprimento = 2,5 m
- Largura = 0,45 m
- Altura total = 1,37 m
- Área superficial = 1,125 m²
- Taxa de aplicação = 960 m³/m².dia

Na seqüência, o efluente segue para medição da vazão, realizada em calha Parshall.

c) Calha Parshall

Dimensões da calha Parshall

- Comprimento do canal = 1,0 m
- Largura do canal = 0,3 m
- Altura total = 0,8 m
- Abertura da calha - garganta (W) = 3"

4.5.2. Dimensionamento das unidades de tratamento secundário

a) Tanque anaeróbio

- Tipo de reator = RAFA
- Eficiência média = 65 %
- Carga orgânica afluyente total = 180 kg DBO/dia
- Carga orgânica residual = 63 kg DBO/dia

b) Dimensões do reator anaeróbio

- N° de tanques = 1
- Comprimento = 8,9 m
- Largura = 6,4 m
- Altura de líquido = 4,0 m
- Altura total = 4,4 m

- Volume útil = 227,8 m³
- Área = 56,9 m²
- Carga orgânica aplicada = 0,79 kg DBO/m³.dia
- TRH (Q média) = 9,1 horas

c) Distribuição do líquido no fundo do reator anaeróbio

- Nº tubos de distribuição = 21
- Material dos tubos = PEAD
- Diâmetro dos tubos = 2"
- Taxa de distribuição interna = 1 tubo a cada 2,7 m²

d) Decantadores internos ao reator anaeróbio

- Nº de decantadores = 2
- Largura do decantador = 2,2 m
- Comprimento do decantador = 8,9 m
- Inclinação das placas defletoras = 50°
- Área total de decantação = 39,2 m²
- Taxa de aplicação superficial = 15,3 m³/m².dia

e) Saída de biogás

- Geração de biogás = 12 L/0,054 kg DBO.dia
- Produção diária de metano = 30 m³/dia
- Linha de gás = Tubo de Aço Inox 2".
- Pressão de gás (máxima) = 15 cm de coluna d'água

f) Produção de lodo

- Carga orgânica = 180 kg DBO/dia
- Carga orgânica = 306 kg DQO/dia
- Produção de lodo (sistema anaeróbio) = 0,28 kg SS/kg DBO admitida
- Produção de lodo (sistema aeróbio) = 0,80 kg SS/kg DBO admitida
- Produção estimada de lodo nos reatores = 90,7 kg SS/dia
- Redução de lodo aeróbio no RAFA = 20% da massa admitida
- Concentração de descarga do RAFA = 4 %
- Produção total de lodo para desaguamento = 2300 kg/dia
- Densidade aproximada = 1,05 kg/L
- Tempo de operação da centrífuga = 12 horas
- Vazão de alimentação da centrífuga = 180 L/h
- Concentração de descarga da centrífuga = 25 %
- Produção total de lodo para descarte = 363 kg/dia

g) Drenagem de espuma

Pelas tampas de visita localizadas na superfície do tanque, é possível efetuar a retirada de espuma acumulada no topo do reator.

O esgoto, após tratamento parcial nos reatores anaeróbios, é por gravidade conduzido para o sistema aeróbio, onde recebe tratamento complementar da matéria orgânica.

h) Tanque anóxico

Dimensões dos tanques anóxico:

- N° tanques = 1
- Comprimento = 4,8 m
- Largura = 3,1 m
- Altura de líquido = 2,6 m
- Volume útil = 38,7 m³

No tanque anóxico, foi instalado um misturador horizontal submerso para impedir a sedimentação do lodo biológico.

Como forma também de se controlar as condições anóxicas, esse equipamento pode aspirar oxigênio da atmosfera mantendo o meio com milivoltagem da ordem de 200 a 50 mV, favorecendo o processo de desnitrificação.

Para tanto parte do líquido que é retirado do decantador, por *air lift*, com nitrogênio na forma de nitrato, retorna para o tanque anóxico, promovendo assim a desnitrificação e conseqüente redução do nitrogênio, pelo processo biológico.

i) Tanques de aeração

i.1. Dimensões dos tanques de aeração

- N° tanques = 3
- Comprimento = 4,8 m
- Largura = 3 m
- Altura de líquido = 2,6 m
- Volume útil = 37,4 m³
- TRH (cada tanque) = 1,5 horas
- Quantidade de rodas = 1 em cada tanque

i.2. Dimensões das rodas de biodisco

- Diâmetro da roda = 2,75 m
- Largura = 2,5 m
- Área superficial de cada roda = 2400 m²

i.3. Carga orgânica aplicada nos biodiscos

- Carga orgânica (entrada) = 63 kg DBO/dia
- Número de rodas de biodisco = 3
- Carga aplicada aos biodiscos = 8,7 g DBO/m²

i.4. Suprimento de oxigênio para sistema aeróbio

A expectativa da capacidade de captação de oxigênio pelos biodiscos, ao girar a 1 rpm é de 40 m³/h.

Assim a capacidade de aeração de cada roda, estimando em 9% o rendimento da transferência de oxigênio ao meio líquido, é:

- 40 m³/h x 0,21 x 0,09 (9%) x ~1,3(kg/m³) = 0,95 kg O₂/h

Como são 3 rodas/módulo, então 3 x 0,91 kg O₂/h x 24 = 65 kg O₂/dia.

- Quantidade específica de oxigênio = 3,0 kg O₂/kg DBO aplicada
- Quantidade necessária de oxigênio = 189 kg O₂/dia
- Oxigênio fornecido pelas rodas = 65 kg O₂/dia
- Oxigênio fornecido pelo turbo oxigenador = 76,2 kg O₂/dia
- Oxigênio fornecido via soprador *Roots* = 47,3 kg O₂/dia

j) Decantador final

Dimensões do decantador

- N° tanques = 1
- Comprimento = 6,4 m
- Largura = 3,2 m
- Altura de líquido na parte reta = 2,6 m
- Altura total de líquido = 4,5 m
- Inclinação do poço = 55°
- N° de poços = 2
- Seção inferior = 0,4 x 0,4 m
- Altura da seção inclinada = 1,9 m
- Área de decantação = 20,5 m²
- Taxa aplicação superficial = 29,3 m³/m².dia

- Volume = 67,9 m³
- TRH = 2,7 horas

A vazão de reciclo de lodo deve ser da ordem de 60% da vazão média tratada na ETE. A regulagem da vazão de reciclo de lodo é realizada pelas quatro válvulas de controle da vazão de ar, localizadas na casa de máquinas e que controla o sistema de *air lift*, empregado para bombear o lodo no reciclo.

Assim, do lodo retirado do decantador secundário pelo *air lift*, cerca de 25% é conduzido continuamente para o biodigestor anaeróbio para ser estabilizado, aproximadamente 50% é recirculado para o tanque anóxico para a desnitrificação e 25%, recirculado para o primeiro tanque aeróbio com disco rotativo.

k) Clorador

A cloração é efetuada empregando-se hipoclorito de sódio concentrado a 12%, sendo esse dosado para se obter uma concentração final de cloro da ordem de 5 a 8 ppm.

Após a adição de cloro, o líquido sobrenadante sai do decantador e passa através do tanque de contato, com volume e tempo de retenção suficiente para que o cloro faça efeito sobre as bactérias patogênicas residuais, promovendo a desinfecção final.

Dimensões do tanque de contato:

- Comprimento = 6,4 m
- Largura = 1,5 m
- Altura de líquido = 2,2 m
- Volume útil = 21,6 m³
- TRH médio = 52 minutos

l) Casa de máquinas

Essa casa foi construída em alvenaria e abriga os sopradores de ar, o painel elétrico, sanitários e outras pequenas unidades auxiliares.

m) Lagoa de fitodepuração

A lagoa de fitodepuração prevista para construção posterior será dedicada a estudos do potencial de remoção de fósforo via ação de plantas aquáticas e terá as seguintes dimensões:

- Comprimento total = 50 m
- Largura da borda = 8,0 m

- Largura da base = 5,0 m
- Altura de líquido = 1,0 m
- Volume útil = 200 m³
- TRH médio = 8,0 horas

As figuras, 20 e 21, apresentam duas vistas panorâmicas da ETE Pinheirinho, enquanto o anexo B representa o fluxograma de processo da estação de tratamento.



Figura 20. ETE Pinheirinho – foto panorâmica A.



Figura 21. ETE Pinheirinho – foto panorâmica B.

Apresenta-se no anexo C, planta baixa e detalhes construtivos caracterizados como Informativo Civil da ETE – Pinheirinho.

Esse desenho faz parte integrante do projeto executado por ocasião da construção da unidade.

4.6. Memorial de cálculo – ETE Itaipu

A ETE Itaipu, obedeceu a um aumento de escala que permite o atendimento da contribuição de esgotos de uma população de 58.000 habitantes, no final de plano, com a instalação de 2 módulos.

Para a primeira fase foi instalado um módulo do tanque anaeróbio, anóxico, aeróbio e decantador, para atender a 29.000 habitantes.

As unidades caracterizadas como pré-tratamento, por serem únicas, foram dimensionadas para a capacidade final.

O esgoto bruto chega a ETE via bombas de uma estação elevatória próxima à ETE, e as premissas de projeto adotadas foram:

- População equivalente = 29.000 habitantes
- Eficiência de remoção de DBO = 94%
- Vazão de projeto (com infiltração) = 90 L/s (324 m³/h)

- Vazão máxima = 162 L/s
- DBO entrada = 236 mg/L
- Carga orgânica total gerada = 1.835 kg DBO/dia
- DBO de saída < 15 mg/L

Os padrões de lançamento estabelecidos para o sistema foram:

- Material sedimentável < 1 mL/L
- Óleos e graxas <20 mg/L (minerais)
<50 mg/L (vegetais)
- Remoção de DBO > 98%.
- Remoção de nitrogênio > 80% (< 5 mg/L de N-NH₄)
- Remoção de fósforo > 90%.
- Remoção de coliformes fecais > 98%.

4.6.1. Dimensionamento das unidades do pré- tratamento

a) Gradeamento (manual)

Para o gradeamento com limpeza manual, foram instaladas duas grades fixas, sendo uma média (50 mm de abertura) e outra fina (38 mm de abertura), em canal com as dimensões a seguir:

Dimensões do canal de grades:

- Comprimento = 3,7 m
- Largura = 1,5 m
- Altura total = 1,5 m
- Número de canais = 2

b) Dimensões das caixas de areia:

- N° de caixas = 2
- Tipo = Manual
- Vazão de projeto (Vazão máxima) = 162 L/s (583 m³/h)
- Comprimento = 6,0 m
- Largura = 1,9 m
- Altura total = 1,5 m
- Área superficial = 11,4 m²
- Taxa de aplicação = 1.364 m³/m².dia

Na seqüência o efluente segue para medição da vazão, realizada em calha Parshall.

c) Calha Parshall

Dimensões da calha Parshall

- Comprimento do canal = 5,0 m
- Largura do canal = 1,1 m
- Altura total = 1,5 m
- Abertura da calha - garganta (W) = 12"

4.6.2. Dimensionamento da unidades do tratamento secundário

a) Tanque anaeróbio

- Tipo de reator = RAFA
- Eficiência média = 65%
- Carga orgânica afluyente total = 1.835 kg DBO/dia
- Carga orgânica residual = 641,4 kg DBO/dia

b) Dimensões do reator anaeróbio

- Nº de tanques = 1
- Comprimento = 25 m
- Largura = 18 m
- Altura de líquido = 5,77 m
- Altura total = 6,5 m
- Volume útil = 2.596 m³
- Área = 450 m²
- Carga orgânica aplicada = 0,71 kg DBO/m³.dia
- TRH (Q média) = 7,3 horas

c) Distribuição do líquido no fundo do reator anaeróbio

- Nº tubos de distribuição = 168
- Material dos tubos = PEAD
- Diâmetro dos tubos = 2"
- Taxa de distribuição interna = 1 tubo a cada 3,0 m²

d) Decantadores internos ao reator anaeróbio

- Nº de decantadores = 7
- Largura do decantador = 3 m
- Comprimento do decantador = 18 m
- Inclinação das placas defletoras = 50°
- Área total de decantação = 378 m²
- Taxa de aplicação superficial = 22,6 m³/m².dia

e) Saída de biogás

- Geração de biogás = 12 L / 0,054 Kg DBO.dia
- Produção diária de metano = 305 m³/dia
- Linha de gás = Tubo de Aço Inox 2"
- Pressão de gás (máxima) = 15 cm de coluna de água

f) Produção de lodo

- Carga orgânica = 1.835 kg DBO/dia
- Carga orgânica = 3.121 kg DQO/dia
- Produção lodo (sistema anaeróbio) = 0,28 kg SS/kg DBO admitida
- Produção de lodo (sistema aeróbio) = 0,80 kg SS/kg DBO admitida
- Produção estimada de lodo nos reatores = 924,9 kg SS/dia
- Redução lodo aeróbio no RAFA = 20 % da massa admitida
- Concentração de descarga no RAFA = 4 %
- Produção total de lodo para desaguamento = 23.100 kg/dia
- Densidade aproximada = 1,05 kg/L
- Tempo de operação da centrífuga = 12 horas
- Vazão de alimentação da centrífuga = 1.925 L/h
- Concentração de descarga da centrífuga = 25 %
- Produção total de lodo para descarte = 3.700 kg/dia

g) Drenagem de espuma

Pelas tampas de visita ou por tubulação de drenagem, localizadas na superfície do tanque, será possível efetuar a retirada de espuma acumulada no topo do reator.

h) Tanque anóxico

Dimensões dos tanques anóxico:

- N° tanques = 1
- Comprimento = 25 m
- Largura = 4,5 m
- Altura de líquido = 4,25 m
- Volume útil = 540 m³
- TRH = 1,5 horas

No tanque anóxico, foram instalados dois misturadores horizontais submersos para impedir a sedimentação do lodo biológico.

Como forma também de se controlar as condições anóxicas, esse equipamento pode aspirar oxigênio da atmosfera mantendo o meio com milivoltagem da ordem de 200 a 50 mV, favorecendo o processo de desnitrificação.

Para tanto parte do líquido que é retirado do tanque aeróbio, por bomba, com nitrogênio na forma de nitrato, retorna para o tanque anóxico, promovendo assim a desnitrificação e conseqüente redução do nitrogênio, pelo processo biológico.

i) Tanques de aeração

i.1. Dimensões dos tanques de aeração

- N° tanques = 3
- Comprimento = 25 m
- Largura = 5,4 m
- Altura de líquido = 3,37 m
- Volume útil = 504 m³
- TRH (cada tanque) = 1,41 horas
- Quantidade de rodas = 15

i.2. Dimensões das rodas de biodisco

- Diâmetro da roda = 3,25 m
- Largura = 2,5 m
- Área superficial de cada Roda = 4.020 m²

i.3. Carga orgânica aplicada nos biodiscos

- Carga orgânica (entrada) = 642,3 kg DBO/dia
- Número de rodas de biodisco = 15
- Carga aplicada aos biodiscos = 10,6 g DBO/m²

i.4. Suprimento de oxigênio para sistema aeróbio

Expectativa da capacidade de captação de oxigênio pelos biodiscos:

- Ao girar a 1 rpm a roda capta 50 m³/h.

Assim a capacidade de aeração de cada roda é:

- 50 m³/h x 0,21 x 0,09 (9%) x ~1,3(kg/m³) = 1,2 kg O₂/h.

Como são 15 rodas/módulo, então $15 \times 1,2 \text{ kg O}_2/\text{h} = 18 \text{ kg O}_2/\text{h}$.

- Quantidade específica de oxigênio = $3,0 \text{ kg O}_2/\text{kg DBO}$ aplicada
- Quantidade necessária de oxigênio = $1924 \text{ kg O}_2/\text{dia}$
- Oxigênio fornecido pelo turbo oxigenador = $12,8 \text{ kg O}_2/\text{h}$
- Oxigênio fornecido via soprador *Roots* = $50,3 \text{ kg O}_2/\text{h}$

j) Decantador final

Dimensões do decantador:

- N° tanques = 1
- Comprimento = 25 m
- Largura = 8 m
- Altura de líquido na parte reta = 1,8 m
- Altura total de líquido = 4,3 m
- Inclinação do poço = 55°
- N° de poços = 14
- Altura da seção inclinada = 2,5 m
- Área de decantação = 200 m^2
- Taxa aplicação superficial = $38,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}^*$
- Volume = $400,7 \text{ m}^3$
- TRH = 1,2 horas

A vazão de reciclo de lodo deve ser da ordem de 60% da vazão média tratada na ETE, considerando a necessidade de manutenção da concentração de sólidos voláteis no tanque de aeração por volta de 4.000 mg/L. O reciclo de lodo é realizado por bombas centrífugas.

k) Decantador de fósforo

Essa unidade até a presente data não estava em operação, mas destina-se a enquadrar a concentração de fósforo, através da coagulação, floculação promovida pela adição de cloreto férrico.

Dimensões do decantador:

- N° tanques = 1
- Comprimento = 21 m
- Largura = 3 m
- Altura de líquido na parte reta = 1,3 m
- Altura total de líquido = 3,8 m
- Inclinação do poço = 62°
- N° de poços = 7
- Altura da seção inclinada = 2,5 m

- Área de decantação = 63 m²
- Taxa aplicação superficial = 123 m³/m².dia
- Volume = 140,7 m³
- TRH = 0,5 horas

I) Casa de máquinas

A casa de máquinas foi construída em alvenaria e abriga os sopradores de ar, o painel elétrico, sanitários e outras pequenas unidades auxiliares.

Dimensões da casa de máquinas:

Para sopradores

- Comprimento = 11 m
- Largura = 3,8 m
- Altura total = 3,0 m

Para controle e comando de Motores

- Comprimento = 4,1 m
- Largura = 2,8 m
- Altura total = 3,5 m

A figura 22 apresenta uma foto panorâmica da ETE Itaipu.

Nos anexos D e E, podem ser observados, o fluxograma de processo e o Informativo Civil dessa unidade de tratamento, enquanto no anexo A, apresenta-se um quadro sugerindo procedimentos analíticos para subsidiar tomadas de decisões operacionais.



Figura 22. ETE Itaipu – foto panorâmica.

5. CRITÉRIOS DO AUMENTO DE ESCALA

Os critérios de aumento de escala para os principais parâmetros utilizados para o projeto da ETE Itaipu, com capacidade de tratamento da contribuição de 29.000 habitantes, a partir do projeto da ETE Pinheirinho com capacidade de tratamento da contribuição de tratar a contribuição de 3.360 habitantes, foram baseados na experiência do autor no projeto de outras unidades e com informações colhidas na literatura, sobretudo em Zlokarnik (1991) e Bisio & Kabel (1995). Esses critérios, sumarizados na tabela 7, podem ser utilizados em projetos de ETE's de diferentes capacidades.

Tabela 7. Critérios de aumento de escala para os principais parâmetros de projeto das ETE's

RESUMO DOS PARÂMETROS DE PROJETO			
EQUIPAMENTO/UNIDADE	CRITÉRIO DE PROJETO	ETE PINHERINHO	ETE ITAIPU
I – PRÉ-TRATAMENTO			
1- Caixa de areia	Taxa de aplicação superficial $m^3.(m^2.dia)^{-1}$	960	1.364
2- Calha Parshall	Altura de lâmina d'água/garganta	3"	12"
II- TRATAMENTO ANAERÓBIO			
1- Dispositivo de alimentação	Número de pontos de alimentação/ m^2 de base do reator	Caixas de distribuição 21 tubos 01 tubo/ $2,7 m^2$	Canal principal com vertedores verticais e caixas de distribuição secundárias 01 tubo/ $3,0 m^2$
2- Reator - Volume	Tempo de residência no reator anaeróbio (TRH)	9,1 horas	7,3 horas
3- Reator – Área da base	Velocidade – Taxa de aplicação $m^3.(m^2.hora)^{-1}$	0,42	0,72
4- Reator - Altura útil	m	4,0	5,7
5- Reator – Produção de biogás	0,3 kg biogás/kg DQO removida	Valor não aferido	Valor não aferido
6- Reator - Rendimento	65 % de remoção de DBO		

RESUMO DOS PARÂMETROS DE PROJETO			
EQUIPAMENTO/UNIDADE	CRITÉRIO DE PROJETO	ETE PINHERINHO	ETE ITAIPU
III- TRATAMENTO AERÓBIO			
1- Reator – População microbiana	4 kg SSV/ m ³ de reator	Valor não aferido	Valor não aferido
2- Reator – Volume	Relação massa de substrato/massa da população microbiana kg DBO/kg SSVTA	0,36 esperado sem volume do tanque anóxico	0,27 esperado sem volume do tanque anóxico
3- Reator – Altura útil	Adequada ao biodisco (m)	2,5	3,25
IV- DECANTADOR			
1- Decantador - Área	Taxa de aplicação (m ³ ·(m ² ·h) ⁻¹)	29,3	38,8
2- Decantador – TRH (horas)		2,7	1,7
3- Decantador – Reciclo de lodo	Vazão 0 a 100 % da vazão afluenta a ETE	<i>Air-lift</i>	Bombas centrífugas
V- TANQUE DE CONTATO			
1- Contato – Volume (m ³)		21,6	Não tem cloração
2- Contato – TRH (min)		52	

6. CONCLUSÕES

Os critérios de aumento de escala adotados para o projeto da ETE Itaipu são considerados conservadores, e passíveis de otimização visando redução do investimento para a implantação de unidades de grande porte.

O potencial em termos de ganho de eficiência com a aplicação de biodiscos no sistema aeróbio, não está totalmente estabelecido, mas na ETE Pinheirinho, apesar da ocorrência de cargas de choque, não se observou fuga de sólidos do sistema.

Considera-se que a não ocorrência de fuga de sólidos do sistema aeróbio, se deve ao fato de que o biofilme aderido aos tubos dos biodiscos garante a manutenção de uma grande população microbiana fixa e ativa ao sistema.

Com relação à aplicação desse sistema em locais densamente povoados pode-se garantir:

- As soluções de arquitetura possíveis de serem aplicadas dada a forma construtiva utilizada integram as estações de tratamento às construções vizinhas, mesmo quando essas são residências de médio e alto padrão.
- O sistema de exaustão utilizado mostrou-se eficiente com relação à garantia de não emissão de odores a partir do reator anaeróbio, das áreas de manuseio de sólidos primários (gradeamento e caixa de areia), e dos primeiros módulos aerados ainda sujeitos a anaerobiose.

A utilização de sopradores *Roots*, em função do ruído característico do equipamento, deve observar critérios que permitam o enclausuramento da máquina. Para isso, as possíveis soluções de engenharia são:

- Utilização de silenciadores de sucção e descarga,
- Instalação abrigada em salas com portas e venezianas com proteção anti-ruído.
- Utilizar equipamento com a menor rotação possível, mesmo com prejuízo de se ter maior potência instalada para aeração.

Como solução de engenharia relativa aos custos operacionais pode-se afirmar:

- A utilização do sistema anaeróbio a montante de sistemas aeróbios é tecnicamente aplicável e garante economia de energia elétrica

proporcional à redução de carga orgânica removida nessa etapa do processo.

- A menor geração de lodo biológico em excesso, e a concentração observada na descarga desse lodo (4%), minimiza os investimentos nas unidades de deságüe, e dispensa a utilização de adensadores de lodo a montante dessas unidades.
- A possibilidade de armazenamento de lodo no reator anaeróbio dispensa a utilização de unidades reservas para deságüe do lodo.
- Os procedimentos operacionais são bastante simples, a ponto de ser destacado apenas um operador para a estação de tratamento Itaipu.

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando tanto os aspectos técnicos como econômicos favoráveis à adoção da tecnologia apresentada, vários focos de desenvolvimento podem ser adotados para otimização das estações de tratamento de esgoto utilizando reatores anaeróbios seguidos de sistema aeróbio com leito fixo de população microbiana.

Dentre esses focos pode-se destacar a possibilidade de otimização do próprio sistema de leito fixo no que tange às certificações relativas a:

- Verificação da eficácia dos processos de nitrificação, e desnitrificação, proporcionada e favorecida pela população microbiana aderida no biofilme.
- Aferição da massa de oxigênio transferida pelos biodiscos, e certificação do ganho adicional com a diminuição da potência instalada para aeração.
- Utilização de novos meios de fixação da população microbiana, tais como anéis de *Raschig* ou *Pall*, construídos com materiais com densidades próximas à da água possibilitando homogeneidade do meio.
- Desenvolvimento de estudos microbiológicos no biofilme para caracterização da população microbiana presente nas diferentes camadas aderidas aos tubos de polietileno corrugado.

Com relação às demais unidades de processo, pode-se sugerir:

- Avaliação da possibilidade e das conseqüências ao processo, de se efetuar o descarte do lodo com fósforo no reator anaeróbio,

evitando a instalação de equipamento de deságüe dedicado a esse lodo.

Em escala plena, certificar-se da real geração de lodo em excesso, no sistema como um todo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, G.K., Yang, G., **Determination of bicarbonate and total volatile acid concentration in anaerobic digesters using a simple titration**, Water Environment Research, Alexandria, VA, USA, Vv.64.,n.1.,p. 53-59, 1982.

BISIO, A. & KABEL, R.L., **Scaleup from Laboratory Scale Tests to Successful Commercial Size Design**, John Wiley & Sons, Inc., 690 p., 1995.

BOUWER, E.J. & ZEHNDER, A.J.B., **Bioremediation of organic compounds-putting microbial metabolism to work**, TIBTECH, 11, p. 360-370, 1993.

BRANCO, S.M. & HESS, M.L., **Tratamento de resíduos**, In: Tópicos de microbiologia industrial, EDUSP, v.2., p.47-76, 1975.

CHERNICHARO, C.A.L., **Reatores Anaeróbios**, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, 246 p., 1997.

COMMITTEE ON RESTORATION OF AQUATIC ECOSYSTEMS: Science, Technology and Public Policy, In: **Restoration of Aquatic Ecosystems**. National Academy Press, Washington D.C., EUA, 552 p., 1992.

COOKSON Jr., J.T., **Bioremediation Engineering - Design and Application**, McGraw-Hill Inc., EUA, 524 p., 1995.

FERREIRA, P.M., **Pós-tratamento de Efluente de Reator UASB em Sistema de Lodos Ativado visando a Remoção Biológica do Nitrogênio Associada à Remoção Físico-Química do Fósforo**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Hidráulica da EPUSP, 2003.

FIELD, J.A.; STAMS, A.J.M.; KATO, M.; SCHRAA, G., **Enhanced biodegradation of aromatic pollutants in cocultures of anaerobic and aerobic bacterial consortia**. Antonie van Leeuwenhoek, 67, p. 47-77, 1995.

FORESTI, E., **Sistema de tratamento anaeróbio**, In: III Curso de Tratamento Biológico de Resíduos, UFSC, Florianópolis, 1997.

FORESTI, E., **Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives**, Water Science & Technology, Vol. 45, p. 181-186, 2002.

FREEDMAN, B., **Environmental Ecology - The ecological effects of pollution, disturbance, and other stresses**. 2nd. ed., Academic Press, 606 p., 1995.

GLAZER, A.N. & NIKAIIDO, H., **Environmental applications**, In: Microbial Biotechnology, Eds. W.H. Freeman & Co., New York, p.561-620, 1995.

GLOSSÁRIO VIVATERRA <http://www.vivaterra.org.br/html/gloss.htm> .

GRANATO, F.E., **Geração de energia através da biodigestão aeróbia da vinhaça**, Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial, Faculdade de Engenharia da UNESP – Bauru, 2003.

GRIFFITHS, M., **Biotechnology for a clean environment**, Mike Griffiths Associates, The Pantilles, Ivy Lane, Woking, Inglaterra, 19 p., 1992.

GUGER, E. & ZEHNDER, A.J.B., **Conversion processes in anaerobic digestion**, Wat. Sci. Technol., 15, p. 127-167, 1983.

HIRAKAWA, C.; PIVELI R.P.; SOBRINHO, P.A., **Biofiltro aerado submerso aplicado ao pós-tratamento de efluente de reator UASB - Estudo em Escala Piloto com Esgoto Sanitário**, Revista Engenharia Ambiental, Vol. 7,nº1, 2002.

ISOLDI, L.A.; KOETZ, P.R.; FARIA, O.L.V.; ISOLDI, L., **Parâmetros de operação do reator UASB em um sistema combinado reator UASB – Reator Aeróbio**, Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, p. 16 – 30, 2001.

JENKINS, D.; RICHARD, M.G.; DAIGGER, G.T., **Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming**. 2nd ed., EUA, 193 p., 1993.

LETTINGA, G.; HULSHOFF, P.L.W., **Advanced reactor design, operation and economy**, Wat. Sci. Tech. 18, p. 99-108, 1986

LETTINGA, G.; HULSHOFF, P.L.W.; ZEEMAN, G.; FIELD, J.; VAN LIER, J.B.; VAN BUUREN, J.C.L.; JANSSEN, A.J.H.; LENS, P., **Anaerobic treatment in stainable environmental production concepts**, In: Proc. 8th Int. Conf. Anaerobic Digestion, Sendai, Japão, Vol. 1, p. 32-39, 1997.

LETTINGA, G.; VAN VELSEN, A.F.M.; HOBMA, S.W.; KLAPWIJK, A., **Use of up flow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment**. Biotechnol. Bioeng., 22, p 634-699, 1980.

LIU, S., & SUFLITA, J.M., **Ecology and evolution of microbial populations for bioremediation**, TIBTECH, 11, p. 344-352, 1993.

METCALF & EDDY, INC., **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1334 p., 1991.

MOSEY, F.E. & FERNANDES, X.A., **Mathematical modelling of methanogenesis in sewage sludge digestion**, In: Microbiological Methods for Environmental Biotechnology, J.M. Graincher & J.M. Linch (Eds), Academic Press, New York, p.159-168, 1984.

NUNES, J. A., **Tratamento físico químico de águas residuárias industriais**, 2ª ed., Gráficaeditora J. Andrade, 227 p., 1996.

PARKIN, J.M. & OWEN, W.F., **Fundamental of anaerobic digestion of wastewater sludges**, J. Environ. Eng., Div. ASCE, 112: 5, p. 867-919, 1986.

PEREIRA, M.A.A.S., **Degradação de Ácido Oléico em Filtro Anaeróbio: Efeito da Adaptação do Inoculo e da Recirculação da Biomassa**, Tese de Mestrado em Engenharia Biológica, Universidade do Minho, Portugal, 1998.

PERES, C.S., **Microbiologia da digestão anaeróbia**, In: V Simpósio Nacional de Fermentações, Viçosa, IPT, São Paulo, 40p., 1982

PINTO, C.P., **Tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável**; Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, São Paulo, 144 p, 1999.

RAMALHO, R.S., **Introduction to wastewater treatment process**, 2nd ed. Academic Press, New York, 1983.

ROQUE, O.C, **Curso de especialização em engenharia de saúde pública**, ENPS/FUNASA/FIOTEC, 2000.

RUIZ, M.S.; VEIGA, M.C.; LIGERO, P.; VEJA, A.; BLÁSQUEZ, R., **Water SA**, Department of Fundamental and Industrial Chemistry, University of A Coruña, Coruña, Galizia, Espanha, vol 24, nº 3, p. 215-222, 1998.

SABESP,
http://www.sabesp.com.br/sabesp_ensina/intermediario/tratamento_esgoto/, 2004

SCHELLINGKOUT, M. & COLLAZOS, C.J., Centro Panamericano de Ingeniería Sanitária Y Ciências de Ambiente, 1990.

SCHERER, P.; LIPPERT, M.; WOLF, G., **Composition of the major elements and trace elements of 10 methanogenic bacteria determined by inductively coupled plasma emission spectrometry**, Biol. Trace Element Res., 5, p. 149-163, 1983.

SIEGRIST, H., **The removal of nutrients in activated sludge systems**, EAWAG News (Swiss Federal Institute Science and Technology), 37E, p. 11-16, 1995.

SOUZA, M.E.; **Fatores que influenciam a digestão anaeróbia.**, Revista DAE – V. 44 N° 137, 1984.

TAKASHIMA, M. & SPEECE, R.E., **Mineral requirements for methane fermentation**, Crit. Ver. Env. Control, 19: 5, p. 465-479, 1990.

TUNDISI, J.G. & BARBOSA, F.A.R., **Conservation of aquatic ecosystems: present status and perspectives**. In: Limnology in Brazil, Eds. J.G. Tundisi, C.E.M. Bicudo e T. Matsumura Tundisi, Academia Brasileira de Ciências e Sociedade Brasileira de Limnologia, 376 p, 1995.

VAN DER MEER, J.R., **Potential and limitations to the use of microbiological methods for the treatment of environmental pollution**, EAWAG News (Swiss Federal Institute Science and Technology), 36E, p. 20-23, 1994.

VAN DER MEER, J.R.; LEVEAU, J.H. & WERLEN, C. (1994). **Genetic adaptations of microorganisms to environmental pollutants**. EAWAG News (Swiss Federal Institute Science and Technology), 35E. p. 8-15.

VAN HAANDEL, A.C. & LETTINGA, G., **Tratamento anaeróbio de esgotos**, Um manual para regiões de clima quente, 1994.

VAZOLLER, R.F.; GARCIA, M.A.R.; GARCIA, A.D.; CONCEIÇÃO NETO, J., **Manual Técnico sobre Microbiologia de Lodos Ativados**, CETESB - Séries Anuais. 22 p., 1989.

VITORATTO, E., **Estudo comparativo entre o reator contínuo convencional e o reator contínuo com reciclo interno de sólidos, no tratamento de lodo adensado de esgoto pelo processo de digestão anaeróbia**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, 174p., 1990.

VITORATTO, E. & RIGHETTO, L.C., **Tratamento terciário, empregando biodisco para esgoto sanitário de uma população de 35.000 habitantes**, 2º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, SC, ABES, Niterói, 2003.

VON SPERLING, M., *et al*, **Water Science & Technology**, Vol 45, n° 10, p 237-242, 2002.

ZEHNDER, A.J.B., **Biology of anaerobic microorganisms**, John Wiley and Sons, EUA, 872p., 1988.

ZEIKUS, J.G., **Microbial population in digesters**, In: Anaerobic Digestion. D.A. Stafford, B.J. Wheatley and D.E. Hughes (Eds.), Applied Science Publishers, London, p. 61-89, 1980.

ZLOKARNIK M., **Dimensional Analysis and Scale-up in Chemical Engineering** Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 176 p., 1991.

9. GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS UTILIZADOS

- A

Unidade de área expressa em m^2

- $C.O_{apl}$.

Carga orgânica aplicada. Unidade expressa em $\text{kg DBO}\cdot\text{dia}^{-1}$, ou em termos de taxas como por exemplo $\text{kg DBO}\cdot(\text{m}^3\cdot\text{dia})^{-1}$.

- DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio, em termos práticos, é representada pela quantidade de oxigênio consumida pela unidade de volume de um resíduo, em determinadas condições, através da metabolização da matéria biodegradável por organismos vivos ou por suas enzimas. É, portanto, um parâmetro de medida, que determina através de um bioensaio, a quantidade de oxigênio dissolvido consumido por microrganismos aeróbios durante a metabolização da matéria orgânica biodegradável (Branco & Hess, 1975; Glazer & Nikaido, 1995). Unidade expressa em mg/L

- DQO

Medida da capacidade de consumo de oxigênio pela matéria orgânica presente na água ou água residual. É expressa como a quantidade de oxigênio consumido pela oxidação química, no teste específico. Não diferencia a matéria orgânica estável e assim não pode ser necessariamente correlacionada com a demanda bioquímica de oxigênio. 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 (Glossário Vivaterra - Sociedade de defesa, pesquisa e educação ambiental). Unidade expressa em mg/L

- ETE

Estação de tratamento de esgoto

- F/M

Representa a carga mássica aplicada a um reator biológico, ou seja, relação entre a massa do substrato e a massa da população microbiana presente em um dado reator. Trata-se de um dos principais parâmetros que se tem utilizado para processos de lodos ativados (Roque, 2000). Unidade expressa em kg DBO/kg SSVTA .

- IL

Expressa a idade do lodo biológico ou o tempo de retenção celular no tanque de aeração. Unidade expressa em dias.

- Q

Expressa a vazão de uma determinada corrente em unidade de volume por unidade de tempo.

- Q_{rec}

Vazão de reciclo utilizada para quantificar a população microbiana recirculada a partir do decantador secundário para os tanques de aeração.

- SS

Sólidos secos, base 100 % em peso. Termo utilizado para quantificar principalmente a massa de sólidos presente na corrente de reciclo de decantadores secundários, na corrente de lodo biológico em excesso descartado para desidratação e concentração do lodo desidratado a ser disposto em aterros.

- SSV

Sólidos suspensos voláteis. Termo normalmente utilizado para quantificar a parcela de sólidos orgânicos presente no esgoto, e a população microbiana presente nos reatores biológicos. Unidade expressa em mg/L ou kg/m³.

- SSVTA

Representa a concentração de sólidos suspensos voláteis no reator aeróbio. Unidade expressa em mg/L ou kg/m³.

- T_a

Taxa de aplicação superficial que representa a relação entre a carga hidráulica aplicada e a área disponível de um reator ou decantador. Unidade expressa em m³/m².dia)

- TRH

Tempo de residência ou retenção hidráulica expressa em horas ou dias para grandes tanques e em minutos como por exemplo para tanques de contato e desinfecção.

- X

Concentração celular em um dado reator, expressa em mg/L.

- X_{rec}

Concentração celular na corrente de reciclo de lodo ativo, expressa em mg/L.

ANEXO A

**PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS PARA CONTROLE
OPERACIONAL**

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS PARA CONTROLE OPERACIONAL							
Parâmetros	Esgoto bruto Ponto 1	Saída do RAFA Ponto 2	Tanque anóxico Ponto 3	Líquor biológico Ponto 4	Retorno de lodo Ponto 5	Saida decantador secundário Ponto 6	Esgoto tratado Ponto 7
DBO	1 x semana	1 x semana	-----	-----	-----	1 x semana	1 x semana
DQO	3 x semana	3 x semana	3 x semana	-----	-----	3 x semana	1 x semana
PH	2 x dia	3 x dia	3 x semana	2 x dia	-----	2 x dia	-----
Óleos e graxas	3 x semana	3 x semana	-----	-----	-----	-----	1 x semana
Oxigênio dissolvido	-----	-----	-----	1 x dia	-----	1 x dia	
Nitrogênio e fósforo	3 x semana	3 x semana	3 x semana	-----	-----	-----	3 x semana
Sólidos suspensos (Totais, Fixos, Voláteis)	1 x semana	-----	1 x semana	2 x semana	2 x semana	-----	1 x semana
Avaliação microscópica	-----	-----	-----	1 x semana	-----	-----	-----
Fenóis e detergentes	1 x quinzena	1 x quinzena	-----	-----	-----	-----	1 x quinzena
Sólidos sedimentáveis	-----	1 x dia	-----	1 x dia	-----	1 x dia	1 x dia

ANEXO B

FLUXOGRAMA DE PROCESSO ETE PINHEIRINHO

ANEXO C

INFORMATIVO CIVIL ETE PINHEIRINHO

ANEXO D

FLUXOGRAMA DE PROCESSO ETE ITAIPU

ANEXO E
INFORMATIVO CIVIL ETE ITAIPU

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)