

**Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**

**Maria Silvia Previtalo**

**Diretrizes para a capacitação de mão-de-obra para um sistema de  
tratamento de esgoto por lodos ativados convencional,  
focando a relação alimento / microorganismos e  
idade do lodo como índices de desempenho.**

São Paulo  
2006

**Maria Silvia Previtalo**

**DIRETRIZES PARA A CAPACITAÇÃO DE MÃO-DE-OBRA PARA UM  
SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO POR LODOS  
ATIVADOS CONVENCIONAL, FOCANDO A RELAÇÃO  
ALIMENTO / MICROORGANISMOS E IDADE DO  
LODO COMO ÍNDICES DE DESEMPENHO.**

Dissertação apresentada ao Instituto de  
Pesquisas Tecnológicas do Estado de  
São Paulo - IPT, para obtenção do título  
de Mestre em Habitação: Planejamento e  
Tecnologia.

Área de Concentração: Tecnologia em  
Construção de Edifícios

Orientador: Prof. Dr. Wolney Castilho  
Alves

São Paulo  
Julho de 2006

Ficha Catalográfica  
Elaborada pelo Centro de Informação Tecnológica do  
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

P944d Previtale, Maria Silvia

Diretrizes para capacitação de mão-de-obra, para um sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados convencional, focando a relação alimento / microorganismos e idade do lodo, como índices de desempenho. / Maria Silvia Previtale. São Paulo, 2006.  
107p.

Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia em Construção de Edifícios.

Orientador: Prof. Dr. Wolney Castilho Alves

1. Estação de tratamento de esgoto (ETE) 2. Tratamento aeróbio 3. Capacitação de mão-de-obra 4. Lodo ativado 5. Relação alimento / microorganismo 6. Idade do lodo 7. Tese I. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Centro de Aperfeiçoamento Tecnológico II. Título

06-88

CDU 628.356(043)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu **pai Orestes** (in memoriam) e minha **mãe Iracema**, que sempre estimularam e nunca mediram esforços para possibilitar o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Ao meu **esposo Deverson** e ao meu **pequeno Guilherme**, por estarem na minha vida, fazendo com que este trabalho tivesse sentido em ser realizado.

Aos meus **irmãos Orestes e Ana Alice**, pela torcida durante período de desenvolvimento deste trabalho.

Obrigada.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os **professores** do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo pelos ensinamentos técnicos dados e, aos **funcionários** pelas orientações prestadas ao longo do curso de Mestrado.

Agradeço ao meu colega **Armando**, pelo incentivo nas horas de cansaço, uma vez que dividíamos idas e vindas à São Paulo, para a realização do curso.

Ao Professor Mestre **Luciano Zanella** agradeço pelo apoio dado durante a etapa de qualificação da tese.

E por fim, um especial agradecimento ao meu orientador Professor Doutor **Wolney Castilho Alves** por sua dedicação e grande auxílio no desenvolvimento da dissertação de mestrado e obtenção deste título.

## RESUMO

A operação de sistemas de tratamento de esgoto tem sido feita no Brasil com pessoal de baixa qualificação, não somente pela falta de mão de obra especializada, mas também pela inexistência, na maioria das cidades, de cursos técnicos pertinentes à área.

Tomando como base a experiência atual vivida pelos técnicos responsáveis pelas operações de todos os sistemas de tratamentos de esgotos da empresa Sanasa - Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A, responsável pelo serviço de tratamento e abastecimento de água e, coleta e tratamento dos esgotos domésticos do município de Campinas / SP, uma extensa revisão bibliográfica, visitas técnicas às estações de tratamento de esgotos por lodos ativados convencional e variantes - ETE Piracicamirim do município de Piracicaba / SP, ETE Flores do município de Rio Claro / SP e ETE Santa Mônica do município de Campinas / SP, entrevistas realizadas junto aos responsáveis pela operação, e aos próprios operadores das estações de tratamento de esgotos visitadas, constata-se que o bom desempenho operacional de um sistema de tratamento está intimamente ligado ao conhecimento teórico-prático do operador sobre o processo e, como o operador atua frente às situações críticas que um processo de tratamento de esgoto está sujeito.

Finalmente, este trabalho sugere, por meio dos resultados obtidos, a elaboração de diretrizes para capacitação de mão-de-obra responsável pela operação de sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados convencional, no qual os parâmetros: relação alimento / microorganismos e idade do lodo foram selecionados e considerados de maior relevância para o atendimento dos requisitos de desempenho do sistema.

Palavras chave: Capacitação; Idade do Lodo; Lodos Ativados; Relação Alimento / Microorganismos; Remoção de Matéria Orgânica.

## **ABSTRACT**

The sewerage systems treatment operation has been done in Brazil by low qualified staff, not only due to the lack of specialized workmanship but also for the inexistence, in the majority of cities, of technical courses regarding this area.

Based on the actual experience lived by the technicians responsible for the operations from all the sewerage systems treatment that belong to Sanasa – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A, responsible for the water treatment and supplying service and the domestic sewer assessment and treatment in Campinas/ SP municipality, an extensive bibliographic review, technical visits to the sewerage treatment watering-places by the usage of conventional and alternate activate sludge –ETE Piracicamirim in Piracicaba municipality/ SP, ETE Flores in Rio Claro municipality/ SP and ETE Santa Mônica in Campinas/ SP; interviews accomplished with the responsible for the operations, and with the sewerage treatment watering-place operators visited. It is verified that the satisfactory operational performance of the sewerage systems treatment is neatly related to the operator knowledge about the process and the way in which the operator reacts while facing critical situations in which the sewerage treatment process is exposed to.

Finally, this work suggests, according to the results obtained, the development of guidance for the qualification of the workmanship responsible for the sewerage treatment operational system by the usage of conventional sludge, in which the parameters were: food/ micro-organisms relation and the sludge age were selected and considered the most relevant to the requirement from the system development.

Key-words: Activated Sludge; Guidance; Food/ micro-organisms relation; Organic Matter Removal; Sludge Age.

## Lista de Ilustrações

Figura 4.1	Fluxograma simplificado de um sistema de lodos ativados convencional em regime contínuo dotado de decantador primário.....	32
Figura 4.2	Esquema de sedimentação discreta.....	50
Figura 4.3	Esquema de sedimentação flocculenta.....	51
Figura 4.4	Esquema de sedimentação zonal.....	51
Figura 4.5	Esquema de sedimentação por compressão.....	52
Figura 4.6	Retirada do lodo pelo fundo em decantadores secundários.....	53
Figura 4.7	Comportamento das camadas de lodo diluído e concentrado na sedimentação zonal.....	53
Figura 4.8	Curvas do fluxo limite de sólidos.....	56
Figura 4.9	Esquema da realização do teste de IVL.....	58
Figura 4.10	Valor de IVL máximo atingível, na condição de não sedimentação no cilindro, em função da concentração de SS...	59
Figura 4.11	Representação de duas amostras de lodo, de mesmo IVL, porém com diferentes velocidades de sedimentação.....	60



## Lista de tabelas

Tabela 4.1	Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgotos.....	27
Tabela 4.2	Características dos principais sistemas de aeração mecânica.....	48
Tabela 4.3	Características dos principais sistemas de aeração por ar difuso.....	48
Tabela 4.4	Interpretação aproximada do resultado do Índice Volumétrico de Lodo.....	59
Tabela 4.5	Parâmetros de projeto do sistema de lodos ativados (esgoto doméstico).....	60
Tabela 4.6	Microorganismos indicadores das condições de depuração.....	67
Tabela 4.7	Relação entre a presença de grupos dominantes na microbiota do processo de lodos ativados e o desempenho do sistema.....	68
Tabela 4.8	Análise microbiana típica para um sistema de lodo ativado operando com esgoto doméstico.....	69
Tabela 4.9	Relação entre a fração de organismos nitrificantes e a razão DBO/NTK.....	71
Tabela 4.10	Relação entre $\theta_c$ , DQO/NTK e bactérias nitrificantes / heterótrofas.....	72

Tabela 4.11	Parâmetros relacionados ao sistema de aeração para o sistema de lodos ativados.....	73
Tabela 4.12	Faixas de temperatura para o desenvolvimento ótimo das bactérias.....	75
Tabela 4.13	Programa de monitoramento para sistema de lodos ativados.	82
Tabela 5.1	Sistematização de parâmetros, momento e local para sua obtenção.....	92
Tabela 5.2	Sistematização de públicos alvo em função do local para ações operacionais diretas ou medições associadas.....	95
Tabela 5.3	Diretrizes de capacitação segundo a designação profissional e os parâmetros e demais condições subjacentes à operação baseada na relação A/M e na idade do lodo.....	96
Tabela 5.4	Sistematização de públicos alvo em função do local para ações operacionais diretas ou medições associadas (continuação).....	99

## Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD	Avaliação do desempenho
ANA	Agência Nacional de Águas
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
C/N	Relação nitrogênio / carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono orgânico total
CP	Controle do processo
CLP's	Controladores lógicos programáveis
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E	Eficiência do sistema na remoção de substrato
EPI's	Equipamento de proteção individual
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
F/M	Relação <i>food/microorganism</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia
IVL	Índice volumétrico de lodo
IVLD	Teste sem agitação e com diluição da amostra
IVLA	Teste com agitação durante o período de sedimentação
IVLA <sub>3,5</sub>	Teste com agitação e representação dos resultados na concentração Padronizada de 3,5 g/l (3.500 mg/l)
M	Microorganismos
NBR	Norma Brasileira Registrada
NTK	Nitrogênio total kjeldahl
N <sub>amon</sub>	Nitrogênio amoniacal
OD	Oxigênio dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
org./mL	Organismo por mililitros
pH	Concentração de Hidrogênio Hidrolisável
PRODES	Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas
Qr/Q	Razão de recirculação

SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A – Campinas
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SS	Sólidos suspensos
SSi	Sólidos suspensos inorgânicos
SSed	Sólidos sedimentáveis
SSef	Sólidos em suspensão do efluente
SSF	Sólidos suspensos fixos
SSlr	Sólidos em suspensão no lodo de retorno
SST	Sólidos suspensos totais
SSta	Sólidos em suspensão no tanque de aeração
SSTV	Sólidos suspensos totais voláteis
SSVTA	Sólidos suspensos no tanque de aeração
SSV	Sólidos suspensos voláteis
SSw	Sólidos em suspensão no lodo de excesso
ST	Sólidos totais
STF	Sólidos totais fixos
STV	Sólidos totais voláteis
TA	Tanque de Aeração
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica

## Lista de símbolos

$\theta_c$	Tempo de retenção celular ou idade do lodo	[d]
$\mu$	Taxa de crescimento específica	[d <sup>-1</sup> ]
$\lambda$	Valor adotado em projeto para relação A/M	
A/M	Relação alimento/microorganismo	[g DBO <sub>5,20</sub> fornecido / g SSV .d]
C	Carbono	
C <sub>d</sub>	Concentração da camada diluída	[Kg/m <sup>3</sup> ]
C <sub>l</sub>	Concentração limite	[Kg/m <sup>3</sup> ]
C <sub>u</sub>	Concentração de Lodo retirado pelo fundo	[Kg/m <sup>3</sup> ]
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono (gás carbônico)	
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de Cálcio	
[d]	dia	
f <sub>b</sub>	fração biodegradável de SSV, gerados a um $\theta_c$	[mg SS <sub>b</sub> / mg SSV]
f <sub>b'</sub>	fração biodegradável de SSV, gerados à $\theta_c = 0$	[mg SS <sub>b</sub> / mg SSV]
G <sub>g</sub>	Fluxo por gravidade	[Kg/m <sup>2</sup> h]
G <sub>u</sub>	Fluxo pela retirada de fundo	[Kg/m <sup>2</sup> h]
G <sub>l</sub>	Fluxo limite	[Kg/m <sup>2</sup> h]
G <sub>t</sub>	Fluxo total	[Kg/m <sup>2</sup> h]
H <sub>2</sub> O	Água	
K	Constante de remoção de substrato	[d <sup>-1</sup> ]
K <sub>d</sub>	Coefficiente de respiração endógena	[d <sup>-1</sup> ]
N	Nitrogênio	
N <sub>2</sub>	Nitrogênio gasoso	
NH <sub>3</sub>	Nitrogênio amoniacal	
NH <sub>4</sub>	Amonia	
NO <sub>2</sub>	Nitrito	
NO <sub>3</sub>	Nitrato	
O <sub>2</sub>	Oxigênio	
[org./mL]	Organismo por mililitros	
P	Fósforo	
pH	Concentração de Hidrogênio Hidrolisável	

Px bruta	Produção bruta de sólidos totais	[Kg SST / d]
Px líquida	Produção líquida de sólidos totais	[Kg SST / d]
Pxv bruta	Produção bruta de sólidos em suspensão voláteis	[Kg SSV / d]
Pxi	Produção de sólidos inorgânicos (fixos)	[Kg SS <sub>i</sub> / d]
Pxv líquida	Produção líquida de sólidos em suspensão voláteis	[Kg SSV / d]
Q	Vazão afluyente	[m <sup>3</sup> /d]
Q <sub>o</sub>	Vazão afluyente ao sistema	[m <sup>3</sup> /d]
Q <sub>ex</sub>	Vazão de recirculação de lodo excedente	[m <sup>3</sup> /d]
Q <sub>r</sub>	Vazão de lodo de retorno	[m <sup>3</sup> /d]
Q <sub>w</sub>	Vazão de descarte de lodo de excesso	[m <sup>3</sup> /d]
S	Concentração (substrato) de DBO <sub>5</sub> efluente	[g/m <sup>3</sup> ]
S <sub>0</sub>	Concentração (substrato) de DBO <sub>5</sub> afluyente	[g/m <sup>3</sup> ]
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Sulfato	
T	Temperatura	[°C]
t	Tempo de detenção hidráulica	[d]
U	Taxa de utilização do substrato	[g DBO <sub>5</sub> / g SSV d]
V	Volume do tanque de aeração (reator)	[m <sup>3</sup> ]
X	Concentração de microorganismos no efluente	[g/m <sup>3</sup> ]
X <sub>o</sub>	Concentração de microorganismos no afluyente	[g/m <sup>3</sup> ]
X <sub>b</sub>	Concentração de sólidos suspensos voláteis biodegradável	[g/m <sup>3</sup> ]
X <sub>v</sub>	Concentração de sólidos em suspensão voláteis	[g/m <sup>3</sup> ]
X <sub>ve</sub>	Concentração de sólidos em suspensão voláteis no efluente	[g/m <sup>3</sup> ]
X <sub>vr</sub>	Concentração de sólidos em suspensão voláteis no lodo de retorno	[g/m <sup>3</sup> ]
Y	Coeficiente de produção celular	[g SSV / g DBO <sub>5</sub> removida]
Y <sub>obs</sub>	Produção específica observada	

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>1.1</b>	<b>Os déficits do saneamento ambiental e a degradação dos recursos hídricos</b>	<b>18</b>
<b>1.2</b>	<b>O sistema de lodos ativados</b>	<b>20</b>
<b>1.3</b>	<b>A importância da correta operação de Estações de Tratamento de Esgoto</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivo específico</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Objeto do estudo</b>	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>Seqüência das atividades a serem desenvolvidas</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Sistemas de tratamento de esgotos</b>	<b>25</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Processos de tratamento</b>	<b>25</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Classificação dos processos de tratamento</b>	<b>26</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Características do esgoto doméstico</b>	<b>28</b>

<b>4.2</b>	<b>Processos biológicos no tratamento de esgoto – doméstico</b>	<b>30</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Microbiologia dos Processos Aeróbios</b>	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>Sistemas de lodos ativados</b>	<b>31</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Variantes do processo de lodos ativados</b>	<b>34</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Parâmetros de maior importância no sistema de lodos ativados</b>	<b>34</b>
<b>4.3.2.1</b>	<b>Tempo de detenção hidráulica, idade do lodo e tempo de varrimento celular.</b>	<b>34</b>
<b>4.3.2.2</b>	<b>Relação alimento / microorganismo</b>	<b>37</b>
<b>4.3.2.3</b>	<b>Taxa de utilização do substrato (U)</b>	<b>45</b>
<b>4.3.2.4</b>	<b>Concentração de sólidos no tanque de aeração</b>	<b>46</b>
<b>4.3.2.5</b>	<b>Recirculação de lodo</b>	<b>46</b>
<b>4.3.2.6</b>	<b>Produção e retirada de lodo excedente</b>	<b>47</b>
<b>4.3.2.7</b>	<b>Sistemas de aeração</b>	<b>47</b>
<b>4.3.2.8</b>	<b>Decantador secundário</b>	<b>49</b>
<b>4.3.3</b>	<b>A teoria do fluxo limite de sólidos</b>	<b>54</b>
<b>4.3.4</b>	<b>Índice volumétrico de lodo</b>	<b>57</b>
<b>4.3.5</b>	<b>Parâmetros usuais no projeto de sistemas de lodos ativados</b>	<b>60</b>
<b>4.4</b>	<b>Microrganismos envolvidos no sistema de lodos ativados</b>	<b>61</b>
<b>4.5</b>	<b>Características dos flocos em sistema de lodos ativados</b>	<b>65</b>
<b>4.5.1</b>	<b>Formação dos Flocos</b>	<b>65</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Classificação dos Flocos</b>	<b>66</b>



<b>4.6</b>	<b>Relação entre microorganismos e desempenho do sistema de lodos ativados</b>	<b>67</b>
<b>4.7</b>	<b>Relações entre os Microrganismos e os Nutrientes.</b>	<b>69</b>
<b>4.7.1</b>	<b>Requisitos de nutrientes</b>	<b>69</b>
<b>4.7.2</b>	<b>Remoção Biológica de Nitrogênio</b>	<b>70</b>
<b>4.8</b>	<b>Influência da temperatura no processo de oxidação da matéria orgânica</b>	<b>74</b>
<b>4.9</b>	<b>Monitoramento e controle operacional de sistema de lodos ativados</b>	<b>75</b>
<b>4.9.1</b>	<b>Controle operacional, monitoramento e qualificação da mão-de-obra envolvida</b>	<b>75</b>
<b>4.9.2</b>	<b>Parâmetros de monitoramento e controle operacional</b>	<b>77</b>
<b>4.9.2.1</b>	<b>Variáveis de controle operacional</b>	<b>78</b>
<b>4.9.2.2</b>	<b>Variáveis manipuladas</b>	<b>80</b>
<b>4.9.3</b>	<b>Freqüência de monitoramento</b>	<b>82</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO DO USO DA RELAÇÃO A/M E IDADE DO LODO (<math>\theta_c</math>) NA OPERAÇÃO DE ETES DE LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL EM REGIME CONTÍNUO</b>	<b>83</b>
<b>5.1</b>	<b>Discussão das atividades operacionais relativas à relação A/M e idade do lodo (<math>\theta_c</math>)</b>	<b>83</b>
<b>5.2</b>	<b>Sistematização dos parâmetros envolvidos, públicos alvo, locais e momentos relativos aos procedimentos operacionais</b>	<b>89</b>

<b>5.3</b>	<b>Diretrizes de capacitação para operação baseadas na relação A/M e idade do lodo (<math>\theta_c</math>)</b>	<b>96</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>102</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>104</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Os déficits do saneamento ambiental e a degradação dos recursos hídricos

O Brasil é um país privilegiado, possuindo cerca de 12% das reservas mundiais de água doce, no entanto, a distribuição desse recurso no país não é uniforme. Aproximadamente 80% das águas brasileiras estão na Bacia Amazônica, e 1,6% no Estado de São Paulo (CETESB, 2004b), onde a demanda por esse recurso é alta já que o Estado de São Paulo é o mais populoso do país. E, como vem acontecendo em outras partes do mundo, as interferências no ciclo de renovação, principalmente das águas superficiais, têm diminuído a quantidade e a qualidade de água disponível para consumo. As interferências podem ser de naturezas mais variadas possíveis como: extração excessiva das águas subterrâneas e superficiais, uso inadequado, lançamento de efluentes domésticos e industriais nos corpos de água, ausência de controle de erosão, ausência de matas ciliares, que, alteram as condições climáticas, etc. Esse conjunto de fatores colabora para que, cada vez mais, ocorra um crescente aumento de custo no tratamento das águas para abastecimento (CETESB, 2004b).

Este mesmo panorama é apresentado por Setti *et al.* (2002). Os autores indicam que o Brasil encontra-se em uma posição privilegiada perante a maioria dos países quanto ao seu volume de recursos hídricos (disponibilidade hídrica de 5.745 km<sup>3</sup>/ano). Esta idéia de abundância serviu, por muito tempo, como suporte à cultura do desperdício de água disponível, à não realização dos investimentos necessários para seu uso e proteção mais eficientes e à sua pequena valorização econômica.

Entre os serviços de saneamento básico, o esgotamento sanitário é o que tem menor presença nos municípios brasileiros. Dos 5.507 municípios, existentes em 2000, apenas 52,2% destes eram servidos por rede coletora de esgoto. No período compreendido entre 1989 e 2000, houve um aumento de 77,4% no tratamento do esgoto coletado pelas empresas, passando de 19,9% para 35,3%. Os municípios com população entre 45.001 e 100.000 habitantes apresentaram crescimento relativo de 169,4% no volume de esgoto tratado. Os municípios de maior porte apresentaram crescimento, também significativo, de 84,6%, embora estes municípios não cheguem a tratar nem a metade do esgoto coletado (IBGE, 2000).

Estes números chamam a atenção para o fato de que se a cobertura do serviço de esgotamento sanitário é reduzida e o tratamento do esgoto coletado não é abrangente, o destino final do esgoto sanitário contribui ainda mais para a degradação ambiental. O esgoto é despejado *in natura* nos corpos de água ou no solo, comprometendo a qualidade da água utilizada para o abastecimento, irrigação e recreação.

Os problemas de escassez hídrica no Brasil decorrem, fundamentalmente, da combinação do crescimento exagerado das demandas localizadas e da degradação da qualidade das águas. Este contexto apresenta-se como uma consequência do aumento desordenado dos processos de urbanização, industrialização e expansão agrícola.

O crescimento demográfico brasileiro associado às transformações pelas quais passou o perfil da economia do país refletiu-se de maneira considerável no uso de seus recursos hídricos na segunda metade do século XX (SETTI *et al.*, 2002).

O aumento do número de municípios, acompanhado de um crescimento populacional, sem um adequado planejamento ambiental que possibilite o correto desenvolvimento de infra-estrutura de saneamento básico, acaba por provocar alterações bruscas na natureza, alterações estas que se refletem em poluição, contaminação, adaptação ou, até mesmo, em morte dos seres envolvidos. Conseqüentemente, a saúde, o bem estar público e o meio ambiente são comprometidos e a qualidade de vida resultante passa a ser questionável.

Embasada em visitas às estações de tratamento de esgotos por lodos ativados convencional e variantes - ETE Piracicamirim do município de Piracicaba, ETE Flores do município de Rio Claro e ETE Santa Mônica do município de Campinas, todas no estado de São Paulo e, em entrevistas realizadas junto aos responsáveis pela operação, bem como os próprios operadores das estações de tratamento de esgotos citadas, foi possível constatar que há necessidade de se elaborar diretrizes e procedimentos operacionais para a capacitação de mão-de-obra, uma vez que o bom desempenho operacional do sistema está intimamente ligado ao conhecimento do operador sobre o processo de tratamento em questão e como agir frente às situações críticas que um processo de tratamento de esgoto está sujeito.

Foi possível observar que as plantas das ETEs retratam que os projetos executivos muitas vezes não apresentam claramente os pontos, instrumentos, equipamentos e frequência de leitura de muitos parâmetros de controle operacional que devem ser monitorados, e também que, o serviço público de saneamento e as empresas de consultoria devem incorporar ao projeto executivo os procedimentos de monitoramento e controle operacional.

Porém, antes de tudo, é imprescindível valorizar os profissionais envolvidos na operação do sistema de tratamento de esgoto, investindo em treinamento justamente para que fique claro quão importantes são suas ações.

A proposta deste trabalho visa à elaboração de diretrizes para capacitação de mão-de-obra responsável pela operação de sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados convencional em regime contínuo, no qual **os parâmetros: relação alimento / microorganismos e idade do lodo** foram selecionados e isolados parcialmente dos demais parâmetros intervenientes, de forma a privilegiar sua análise particularizada.

Corresponde à situação ideal, simplificadora, onde os demais parâmetros podem ser considerados constantes e cujos valores encontram-se dentro de faixas adequadas para o bom funcionamento do sistema, ou seja, os parâmetros escolhidos para análise serão, supostamente, suficientes e flexíveis o suficiente para permitir os ajustes necessários ao bom desempenho.

Estes procedimentos visam, antes de tudo, provocar um engajamento do operador para que este trabalhe consciente, confiante e satisfeito e que, por isso, procure sempre melhorar o seu desempenho e, conseqüentemente, melhorar o desempenho operacional da ETE onde trabalha.

## 1.2 O sistema de lodos ativados

O sistema de lodos ativados foi desenvolvido na Inglaterra, em 1914 (METCALF e EDDY,1991) e, no Brasil este sistema tem adquirido grande importância, especialmente, em grandes municípios, como, por exemplo, São Paulo.

Campos (1994) afirma que, dentre os processos biológicos aeróbios, o sistema de lodos ativados é o mais utilizado no tratamento de águas residuárias, apresentando-se como alternativa adotada em mais de 90% das estações de tratamento de esgotos de médio e grande porte nos países desenvolvidos.

## 1.3 A importância da correta operação de Estações de Tratamento de Esgoto

Chernicharo *et al.* (1999) ressaltam que os benefícios de qualquer sistema de tratamento de esgoto seja ele anaeróbio ou aeróbio, só serão alcançados se o projeto for bem concebido, bem detalhado, bem implantado e, finalmente, corretamente operado, sendo esta última ação, de importância fundamental, pois permitirá, também, a detecção de problemas que podem levar à implementação de adaptações no sistema de tratamento.

Geralmente em países como o Brasil, com restrita tradição no tratamento de esgotos, os projetos das novas estações de tratamento são baseados em parâmetros nem sempre muito confiáveis.

É durante a fase de operação do sistema que estes parâmetros podem ser verificados e, se avaliados corretamente, através da implementação de um programa de monitoramento, poderão ser comparados aos valores assumidos em projeto possibilitando, posteriormente, a revisão ou adaptação das estratégias operacionais inicialmente previstas para o sistema, além de fundamentar de maneira concreta o procedimento de tomada de decisão, tendo em vista eventuais planos de expansão do sistema (CHERNICHARO *et al.*, 1999).

O Brasil está aumentando gradativamente sua taxa de tratamento de esgoto, e, juntamente, a necessidade de treinamento para operação e capacitação para projeto de sistemas de tratamento. Torna-se imprescindível, então, trazer as experiências bem sucedidas à luz de todos para não só tratar esgoto, e sim tratar bem, através de mão-de-obra treinada, capacitada e, principalmente, valorizada para cumprir esta tarefa.

De modo a incentivar a implantação de estações de tratamento de esgotos, com a finalidade de reduzir os níveis de poluição dos recursos hídricos no país, e ao mesmo tempo induzir à implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, definido pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, mediante a organização dos Comitês de Bacia e a instituição da cobrança pelo direito de uso da água, a ANA – Agência Nacional de Águas criou, em março de 2001, o Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas (PRODES).

O Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas consiste em uma concessão financeira dada pela União, aos prestadores de serviço de saneamento que investirem na implantação e operação de Estações de Tratamento de Esgotos, desde que sejam efetivamente cumpridas as metas de abatimento de cargas poluidoras, e demais compromissos contratuais (PRODES, 2005) e fiscalizadas na prática.

Como se faz necessário uma correta operação das estações de tratamento de esgoto espera-se ao final deste trabalho, como conteúdo fundamental, a proposição de diretrizes para capacitação de mão-de-obra para operação do sistema de tratamento de esgotos por lodos ativados convencional visando, o cumprimento dos requisitos necessários para o bom desempenho do sistema.

## **2 OBJETIVOS**

Os objetivos do presente trabalho estão divididos em Geral e Específicos.

### **2.1 Objetivo geral**

Esta pesquisa tem como objetivo geral, analisar e descrever os aspectos técnicos e operacionais relativos ao tratamento aeróbio da fase líquida, de estações de tratamento de esgoto do sistema de lodos ativados convencional em regime contínuo de escoamento, visando elaborar as diretrizes necessárias à capacitação da mão-de-obra responsável pela operação do sistema, focando a relação alimento/microorganismo e idade do lodo como parâmetros, idealmente, de maior importância para o bom desempenho do sistema.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Descrever os principais parâmetros e procedimentos operacionais do sistema de tratamento por lodos ativados com destaque para a relação alimento/microorganismo e idade de lodo como parâmetros operacionais de importância no controle do processo;
- Elaborar diretrizes e recomendações para a formação e o treinamento de mão-de-obra para a operação do sistema de lodos ativados focando a relação alimento/microorganismo e idade de lodo como parâmetros idealmente de maior importância para o bom desempenho do sistema.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Objeto de estudo**

O objeto de estudo do presente trabalho é a operação de um sistema de tratamento por lodos ativados convencional em regime contínuo de escoamento adotando idealmente a relação alimento/microorganismo e idade de lodo como parâmetros de desempenho de maior importância para o bom funcionamento do sistema, tendo em vista o objetivo de estabelecer diretrizes para a capacitação da mão-de-obra envolvida na operação do sistema.

A partir da identificação dos processos que ocorrem neste sistema de tratamento, foram analisados os parâmetros que contribuem para o atendimento de desempenho esperado para o sistema estudado.

A despeito do conhecimento sobre os níveis usuais de eficiência do sistema de lodos ativados, considerando os atributos da boa técnica, foi razoável supor que o funcionamento adequado estava explícito ou, pelo menos, subjacente, ao projeto executivo que definiu as características de uma particular ETE nesse sistema. No entanto, é sabido que durante esta fase de projeto, os dados relativos ao desempenho são adotados com base em conhecimentos teóricos nem sempre correspondentes à realidade local.

Foram identificados os parâmetros que descrevem o desempenho adequado do sistema através de análise integrada da literatura técnica. Subsidiariamente foram consideradas as informações decorrentes da experiência dos técnicos responsáveis pela operação dos sistemas de tratamento de esgotos existentes na cidade de Campinas, sob responsabilidade da SANASA - Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A. Destacou-se a importância dessa experiência dada a vivência cotidiana da empresa com diversos sistemas de tratamento de esgoto, numa escala de expansão de cobertura de tratamento que tem representado um enorme desafio para a equipe responsável pela operação. Partiu-se do princípio de que os requisitos de desempenho implícitos, ou decorrentes de uma apreciação de resultados apresentados pela literatura em termos gerais, poderiam ser atingidos mediante atividades operacionais previstas ou subentendidas no projeto executivo. Em termos simplificados, a metodologia buscou estabelecer a condição operacional necessária e o parâmetro de controle associado para que o requisito de desempenho seja atendido.



### 3.2 Seqüência de atividades desenvolvidas

A consecução do objetivo proposto foi atendida com base na realização dos itens de atividades a seguir:

- Revisão bibliográfica referente a sistemas de tratamento de esgoto com destaque para o sistema de lodos ativados convencional em regime contínuo de escoamento;
- Revisão bibliográfica referente à operação de sistemas de tratamento por lodos ativados para possibilitar o conhecimento de experiências práticas, bem como permitir a identificação de condições críticas da operação;
- Entrevista com operador de ETE que empregue o sistema de lodos ativados;
- Organização, sistematização e análise dos dados obtidos nas fases anteriores;
- Com base nessa análise, procedeu-se a sistematização dos conhecimentos associados à obtenção dos valores de parâmetros, privilegiando a relação alimento/microorganismo e idade do lodo, que permitem ao operador controlar o sistema visando o bom desempenho;
- Estabelecidos os parâmetros de controle para o bom desempenho e o resultado da análise do tópico anterior, foram descritas as diretrizes de capacitação objeto deste trabalho.

Cabe comentar que se trata de uma metodologia que visou simplificar o processo de análise integrada do sistema, pela redução de variáveis analisadas. Embora, como ficou patente na revisão bibliográfica, não foi possível a escolha de forma inequívoca dos parâmetros centrais a serem analisados individualmente ou em pequenos grupos, na busca do bom desempenho do sistema de lodos ativados.

Desta maneira, adotou-se com base na relevância que ocupam na literatura, focar dois parâmetros: a relação A/M e a idade do lodo ( $\theta_c$ ), tratando-se, portanto, de uma hipótese simplificadora.

Nessa metodologia os dois parâmetros eleitos puderam assumir valores variáveis enquanto os demais assumiram valores segundo faixas adequadas ao bom funcionamento do tratamento sem, no entanto, tornarem-se objeto de análise neste trabalho.

Descritas as possibilidades de variação de valores dos parâmetros escolhidos, viabilizou-se o estabelecimento de diretrizes de capacitação para mão-de-obra responsável pela operação de sistemas por lodos ativados convencional, circunscrita, obviamente, ao campo de possibilidades proporcionado pela variação dos referidos parâmetros.

Ficou implícito nessa metodologia, que apenas uma parte do processo necessário de capacitação foi abordado, implicando que as diretrizes aqui estabelecidas, deverão constituir parte de um conjunto maior a ser alcançado a partir de trabalhos subseqüentes.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com base na seqüência de atividades previstas na metodologia, neste capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica.

### 4.1 Sistemas de tratamento de esgotos

#### 4.1.1 Processos de tratamento

Os processos de tratamento podem ser classificados em (JORDÃO; PESSOA, 1975):

- Processos físicos: assim definidos devido à predominância dos fenômenos físicos adotados por um sistema ou dispositivo de tratamento dos esgotos, fenômenos estes característicos, principalmente, dos processos de remoção das substâncias fisicamente separáveis dos líquidos ou que não se encontram dissolvidas. Basicamente têm como finalidade separar as substâncias em suspensão no esgoto, como por exemplo, sólidos grosseiros, sólidos decantáveis e sólidos flutuantes.
- Processos químicos: há utilização de produtos químicos para remoção ou conversão de substâncias diversas. Raramente são adotados isoladamente. Geralmente, é utilizado em situações onde processos físicos e biológicos não atendem ou não atuam eficientemente nas características que se deseja remover ou reduzir. A remoção de sólidos por simples sedimentação, por exemplo, poderá atingir níveis mais elevados se houver auxílio de precipitação química. Outro exemplo é a remoção da umidade do lodo por centrifugação ou por filtração que apresentará resultados nitidamente superiores com a aplicação de polieletrólitos. Os processos químicos comumente utilizados em tratamento de esgotos são: floculação, precipitação química, oxidação química, cloração e neutralização ou correção do pH.
- Processos biológicos: dependem da ação de microrganismos associados à degradação dos esgotos. Os fenômenos inerentes ao metabolismo dos organismos envolvidos são predominantes na transformação dos componentes complexos em compostos simples, como, por exemplo, sais minerais, água, gás carbônico e metano, entre outros. Estes processos procuram reproduzir, em dispositivos racionalmente projetados, os fenômenos observados na natureza, condicionando-os em área e tempo economicamente justificáveis.

#### 4.1.2 Classificação dos processos de tratamento

Segundo Jordão e Pessoa (1975), é comum classificar as instalações de tratamento em função do grau de redução dos sólidos em suspensão e do grau de redução da demanda bioquímica de oxigênio proveniente da eficiência de uma ou mais unidades de tratamento:

- Tratamento preliminar: destina-se, principalmente, à remoção de sólidos grosseiros, areia e gorduras, através de mecanismos básicos de remoção de ordem física, como peneiramento, sedimentação e flotação (VON SPERLING, 1996a).
- Tratamento primário: destina-se à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes. Esta remoção por processos simples como a sedimentação traz como consequência a redução da carga de DBO dirigida ao tratamento secundário, onde sua remoção é, de certa maneira, mais onerosa. As fossas sépticas e suas variantes, como por exemplo, os tanques Imhoff, são também uma forma de tratamento primário (VON SPERLING, 1996a).
- Tratamento secundário: visa à remoção da matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel) e de matéria orgânica em suspensão (DBO suspensa ou particulada). Os processos de tratamento secundário são concebidos de maneira a acelerar os mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente nos corpos d'água naturais, receptores de efluentes tratados. Assim, a decomposição dos poluentes orgânicos degradáveis é atingida, sob condições controladas, em intervalos de tempo menores do que ocorre na natureza. A idéia principal do tratamento secundário de esgotos domésticos é a inclusão de uma etapa biológica, onde a remoção da matéria orgânica é efetuada por reações bioquímicas, realizadas por microrganismos. Os métodos mais comuns de tratamento secundário são as lagoas de estabilização e variantes, lodos ativados e variantes, tratamento anaeróbio e disposição controlada sobre o solo (VON SPERLING, 1996a).
- Tratamento terciário: segundo Metcalf e Eddy (1991), este tratamento é definido como um adicional necessário para remover tanto substâncias suspensas como dissolvidas remanescentes do tratamento secundário convencional e, em especial, de nutrientes (N e P). Estas substâncias podem ser orgânicas ou inorgânicas, como por exemplo, íons cálcio, potássio, sulfato, nitrato e fosfato. Jordão e Pessoa (1975) apresentam como exemplos de métodos de tratamento terciário as lagoas de maturação, a desinfecção, a remoção de nutrientes e a remoção de complexos orgânicos.

Dependendo do processo a ser utilizado, vários mecanismos podem atuar separados ou simultaneamente na remoção de poluentes. Os principais mecanismos estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Principais mecanismos de remoção de poluentes no tratamento de esgotos

Poluente	Dimensões	Mecanismos de remoção	
Sólidos	Sólidos grosseiros (> ~ 1cm)	Gradeamento	Retenção de sólidos com dimensões superiores ao espaçamento entre barras.
	Sólidos em suspensão (> ~ 1 $\mu$ m)	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior à do esgoto.
	Sólidos dissolvidos (< ~ 1 $\mu$ m)	Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa.
Matéria Orgânica	DBO em suspensão (> ~ 1 $\mu$ m)	Sedimentação	Separação de partículas com densidade superior à do esgoto.
		Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa.
		Hidrólise	Conversão da DBO suspensa em DBO solúvel, através de enzimas, possibilitando sua estabilização.
		Estabilização	Utilização pelas bactérias como alimento, com conversão a gases, água e outros compostos inertes.
	DBO solúvel (< ~ 1 $\mu$ m)	Adsorção	Retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa
		Estabilização	Utilização pelas bactérias como alimento, com conversão a gases, água e outros compostos inertes.
Patogênicos		Radiação ultravioleta	Radiação do sol ou artificial.
		Condições ambientais adversas	Temperatura, pH, falta de alimento, competição entre outras espécies.
		Desinfecção	Adição de algum agente desinfetante, como o cloro.

Fonte: VON SPERLING, 1996a.

### 4.1.3 Características do esgoto doméstico

As águas doces, salobras e salinas do território brasileiro estiveram amparadas pela legislação brasileira através da Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986 substituída recentemente pela Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005 e, no âmbito estadual, através do Decreto Estadual Nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 - São Paulo. A legislação classifica os corpos d'água superficiais naturais e estabelece padrões de emissão e critérios para disposição final de efluentes nos corpos naturais. É importante destacar que a Resolução e o Decreto citados acima, além de estabelecer os padrões de emissão dos efluentes de sistemas de tratamento, prevêem critérios para manutenção e recuperação dos corpos d'água superficiais de forma harmoniosa com os planos de bacias hidrográficas.

Assim, para atender às exigências legislativas, as fontes poluidoras devem dispor de sistemas de tratamento de efluentes líquidos, e forma de tratamento estará relacionada intimamente às características dos efluentes e da classificação do corpo receptor.

No caso dos esgotos domésticos, estes possuem 99,9% de água e 0,1% de sólidos orgânicos e inorgânicos suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. A necessidade de tratamento deve-se, justamente, a esta fração de 0,1% (VON SPERLING, 1996a).

A característica dos esgotos varia em função da utilização à qual a água foi submetida que, por sua vez, é reflexo do clima, da situação social e econômica e dos hábitos da população. Assim, no projeto de uma estação de tratamento, são utilizados parâmetros indiretos que representem o caráter ou o potencial poluidor do despejo em questão. Estes parâmetros definem a qualidade do esgoto, sendo divididos em físicos, químicos e biológicos.

De acordo com Von Sperling (1996a), os principais parâmetros físicos para caracterização dos esgotos domésticos são:

- Temperatura: apresenta-se ligeiramente superior à da água de abastecimento, variando conforme as estações do ano. Possui influência sobre a atividade microbiana, a solubilidade dos gases e sobre a viscosidade do líquido.
- Cor: varia em função do tempo decorrido após sua produção, sendo ligeiramente cinza quando fresco e cinza escuro ou preto quando séptico.
- Odor: varia devido à presença de gás sulfídrico e a outros produtos da decomposição.
- Turbidez: causada pela grande variedade de sólidos em suspensão, sendo diretamente proporcional à quantidade destes sólidos.

Segundo Metcalf e Eddy (1991) e Von Sperling (1996a), os principais parâmetros químicos para caracterização dos esgotos domésticos são:

- **Matéria orgânica:** compostos carbonáceos, ou seja, contendo carbono (C); pode ser determinada indiretamente através da medição do consumo de oxigênio (DBO<sub>5</sub>, DQO e DBO última) ou diretamente (COT).
- **Nitrogênio total:** composto por nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato.
- **Fósforo:** dividido em orgânico e inorgânico.
- **pH:** indica as características ácidas ou básicas do esgoto.
- **Alcalinidade:** indica a capacidade tampão do meio, ou seja, a resistência às variações do pH.
- **Cloretos:** provenientes das águas de abastecimento e dos dejetos humanos.
- **Óleos e graxas:** nos esgotos domésticos, as fontes são óleos e gorduras utilizados no preparo de alimentos, principalmente.

Os sólidos em suspensão podem ser divididos nas seguintes frações de interesse no controle operacional:

- **Sólidos suspensos totais (SST):**

$$\text{SST (mg/L)} = ((P_1 - P_0) \cdot 1000) / \text{Vol}$$

$P_1$  = peso do conjunto suporte-filtro mais sólidos, em gramas (g)

$P_0$  = peso do conjunto suporte-filtro vazio, em gramas (g)

Vol = volume da amostra em litros (L)

- **Sólidos suspensos fixos (SSF):**

$$\text{SSF (mg/L)} = ((P_2 - P_0) \cdot 1000) / \text{Vol.}$$

$P_2$  = peso do conjunto suporte-filtro mais sólidos, após ignição, em gramas (g)

$P_0$  = peso do conjunto suporte-filtro vazio, em gramas (g)

Vol = volume da amostra em litros (L)

- **Sólidos suspensos voláteis (SSV):**

$$\text{SSV (mg/L)} = \text{SST} - \text{SSF}$$

Observa-se que a concentração de SSV pode ser calculada a partir do conhecimento dos sólidos suspensos totais e da parcela fixa.

Com relação a microfauna, os referidos autores apontam os principais organismos presentes nos esgotos:

- Bactérias: são os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. No entanto, algumas bactérias são patogênicas, causando principalmente doenças intestinais.
- Fungos: são organismos de grande importância na decomposição da matéria orgânica e que podem crescer em condições de baixo pH.
- Protozoários: de maioria aeróbia ou facultativa. Alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos, sendo, portanto, essenciais ao tratamento biológico para a manutenção do equilíbrio entre os diversos grupos. Alguns protozoários são patogênicos.
- Vírus: causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento da água ou do esgoto.
- Helmintos: seus ovos presentes nos esgotos podem causar doenças.

## 4.2 Processos biológicos no tratamento de esgoto - doméstico

Segundo Metcalf e Eddy (1991), os objetivos do tratamento biológico de águas residuárias são a remoção de sólidos não sedimentáveis e a estabilização da matéria orgânica. No caso do esgoto doméstico, o principal objetivo é a redução da quantidade de matéria orgânica e, em muitos casos, de nutrientes como nitrogênio e fósforo.

O mecanismo mais importante para a remoção de matéria orgânica em sistemas biológicos de tratamento é o metabolismo bacteriano, ou seja, as bactérias utilizam o material orgânico como fonte de energia e para síntese celular. No processo de oxidação biológica há a conversão microbiana de compostos orgânicos a formas inorgânicas. Na oxidação aeróbia, as bactérias utilizam o oxigênio molecular como aceptor final de elétrons, enquanto que na oxidação anaeróbia componentes como gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) e sulfatos ( $\text{SO}_4^-$ ) são utilizados como aceptores finais de elétrons (MENDONÇA, 2002).

Nas ETEs onde se emprega processo biológico de tratamento, os microrganismos são “confinados” para efetuar a degradação da matéria orgânica em unidades concebidas especificamente para este fim. Estas unidades são denominadas de reatores biológicos ou bioreatores, que são projetados de maneira a tentar otimizar os processos e minimizar os custos para que se obtenha a maior eficiência possível, respeitando os padrões de lançamento impostos pela legislação ambiental e as limitações de recursos disponíveis. Assim, a degradação ocorre de forma mais controlada e mais rápida quando comparada à observada em ambiente natural, nos corpos receptores (CAMPOS, 1994).

Segundo Campos (1994) *apud* Mendonça (2002), dentre os processos biológicos aeróbios, o sistema de lodos ativados é o mais utilizado no tratamento de águas residuárias, sendo a alternativa empregada em 90% das ETEs de médio e

grande portes, nos países desenvolvidos. Porém, em processos aeróbios, há a formação de cerca de 0,4 a 0,7 Kg de lodo seco para cada Kg de DBO removida, enquanto que em processos anaeróbios, a quantidade formada é de 0,02 a 0,2 Kg de lodo seco, aproximadamente, para cada Kg de DBO removida.

De modo a propiciar condições adequadas a microbiota envolvida no tratamento de esgoto, devem ser observados fatores ambientais e parâmetros de projetos.

Fatores ambientais como pH, temperatura, requerimentos nutricionais e concentração de substrato têm grande influência no desenvolvimento de microrganismos, mas parâmetros como tempo de retenção celular, tempo de detenção hidráulica, relação alimento/microrganismos (A/M), assim como a configuração do sistema tem grande importância na concepção da ETE.

#### **4.2.1 Microbiologia dos Processos Aeróbios**

No processo biológico aeróbio, os microorganismos, mediante processos oxidativos, degradam através da respiração celular as substâncias orgânicas, que são assimiladas como "alimento" e fonte de energia, tendo como produtos finais o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e a água. (H<sub>2</sub>O). A degradação da matéria orgânica permite a obtenção de energia pelos microrganismos para manutenção dos processos vitais e produção de novas células.

A biomassa envolvida nos processos aeróbios é constituída, basicamente, por bactérias, protozoários e metazoários, possuindo um crescimento disperso no meio líquido, sem nenhuma estrutura de sustentação. Tais microrganismos são os mesmos encontrados na natureza, só que em quantidades muito maiores, devido às condições favoráveis para seu desenvolvimento, pois a matéria orgânica é abundante (MENDONÇA, 2002).

#### **4.3 Sistemas de lodos ativados**

O sistema de lodos ativados foi desenvolvido em 1914 na Inglaterra por Ardeen e Lockett (METCALF e EDDY, 1991).

Este sistema provavelmente foi utilizado pela primeira vez há cerca de 90 anos e constituiu uma verdadeira revolução tecnológica para tratamento de águas residuárias. Ele se baseia em processo biológico aeróbio e fundamenta-se no princípio de redução da perda descontrolada de bactérias ativas (lodo ativo) produzidas no sistema e que, portanto, deve-se recirculá-las de modo a se manter a maior concentração possível de microorganismos ativos no reator aerado, a fim de acelerar a remoção do material orgânico das águas residuárias (CAMPOS, 1994 *apud* MENDONÇA, 2002). Esses microorganismos formam flocos que podem ser removidos por sedimentação em decantador secundário (ou flotor por ar dissolvido). Parte do lodo é recirculada ao reator aeróbio e parte é descartada para tratamento.



A boa qualidade do efluente final é a principal característica positiva do sistema de lodos ativados e a razão da sua ampla utilização no tratamento de esgoto sanitário.

Todavia, do ponto de vista econômico, esse sistema é objeto de limitações, pois os custos de implantação, operação e manutenção são altos, além disso, há elevada produção de lodo (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999; VON SPERLING *et al.*, 2001).

Na caracterização da DQO residual de efluentes de tratamento de águas residuárias, (BARKER *et al.*, 1999 *apud* MENDONÇA, 2002) concluíram que a degradação aeróbia mostrou-se mais eficiente que a degradação anaeróbia quando o efluente possuía compostos de alto peso molecular, enquanto compostos de baixo peso molecular eram mais facilmente tratados, sob degradação anaeróbia.

A Figura 4.1 ilustra através de um fluxograma o sistema de lodos ativados convencional em regime contínuo dotado de decantador primário.

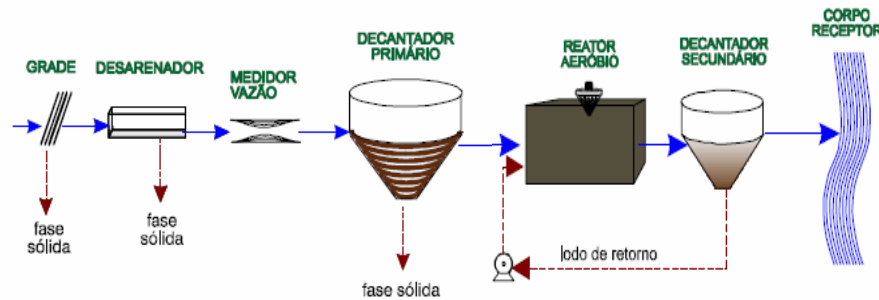


Figura 4.1 - Fluxograma simplificado de um sistema de lodos ativados convencional em regime contínuo dotado de decantador primário

Fonte: VON SPERLING, 2000.

As unidades componentes de um sistema de lodos ativados convencional na sua forma mais tradicional são:

- Gradeamento grosso
- Gradeamento fino
- Desarenador
- Medidor de vazão – calha Parshall
- Decantador primário
- **Tanque de aeração** (reator aeróbio), ocorrem às reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada. O processo de degradação da matéria orgânica consome oxigênio, portanto, o tanque de aeração deverá ser integrado por um equipamento de aeração que deve fornecer a quantidade de oxigênio necessária ao desenvolvimento adequado das reações biológicas. A quantidade de oxigênio requerida será função da idade do lodo e da carga de matéria orgânica.

Devido à entrada contínua de alimento, na forma de DBO dos esgotos, os microrganismos se reproduzem continuamente. O tempo de detenção do líquido é bem baixo, da ordem de 6 a 8 horas, implicando em uma redução no volume do tanque de aeração.

- **Decantador secundário**, local onde ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado. A biomassa é separada no decantador secundário devido à sua propriedade de flocular. Os sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário, são recirculados para o tanque de aeração, aumentando a concentração de biomassa ativa no interior do tanque de aeração, elevando a eficiência do sistema. (VON SPERLING, 2002).

- **Elevatória de recirculação de lodo**, devido à recirculação de sólidos, estes acabam por permanecer no sistema por um tempo superior ao do líquido. O tempo médio que o sólido permanece no interior do sistema é denominado idade do lodo, sendo da ordem de 4 a 10 dias. É a maior permanência dos sólidos no sistema que garante a elevada eficiência dos lodos ativados, já que a biomassa tem tempo suficiente para metabolizar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos.

Para manter o sistema em equilíbrio, é necessária a retirada de aproximadamente a mesma quantidade de biomassa desenvolvida pela reprodução, ou seja, o lodo biológico excedente e, extração pode ser feita diretamente do tanque de aeração ou da linha de recirculação. Este lodo excedente deve passar por tratamento adicional, na linha de tratamento de lodo, geralmente compreendendo adensamento, estabilização e desidratação.

O oxigênio consumido no tanque de aeração é na maioria dos casos, fornecido pelo ar atmosférico, introduzido por meio de equipamentos de diversos tipos. A transferência de oxigênio à massa líquida normalmente é realizada por equipamentos mecânicos que promovem a aeração artificial do líquido sob tratamento, sendo duas as maneiras mais utilizadas:

- introduzindo ar ou oxigênio no líquido (aeração por ar difuso);
- causando um grande turbilhonamento, expondo o líquido, na forma de gotículas, ao ar, e ocasionando a entrada do ar atmosférico no meio líquido (aeração superficial ou mecânica).

É característica própria do sistema de lodos ativados que o tanque de decantação contenha uma grande quantidade de bactérias, ainda ativas e ávidas. A concentração de bactérias nesta unidade será aumentada consideravelmente caso estas bactérias retornem à unidade de aeração onde prossegue em fluxo contínuo a entrada de esgoto. Este é o princípio básico do sistema de lodos ativados, em que os sólidos, mais adequadamente designados por biomassa, são recirculados do fundo da unidade de decantação por meio de bombeamento para a unidade de aeração. É a maior permanência dos sólidos no sistema que garante a elevada eficiência dos lodos ativados, já que a biomassa tem tempo suficiente para metabolizar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos.

Caso se permitisse uma contínua e indefinida reprodução dos microrganismos, tenderia a concentrações excessivas dos mesmos no tanque de aeração, dificultando a transferência de oxigênio a todas as células. Além disso, haveria uma sobrecarga do decantador secundário, a ponto de os sólidos não decantarem de maneira satisfatória, vindo a sair junto ao efluente final, deteriorando sua qualidade (VON SPERLING, 2002).

### 4.3.1 Variantes do processo de lodos ativados

Existem diversas variantes do sistema de lodos ativados, classificadas:

- Quanto à idade do lodo
  - Lodos ativados convencional
  - Aeração prolongada
  
- Quanto ao fluxo
  - Fluxo contínuo
  - Fluxo intermitente (batelada)
  
- Quanto ao afluente à etapa biológica do sistema de lodos ativados
  - Esgoto bruto
  - Efluente de decantador primário
  - Efluente de tanque de aeração anaeróbio
  - Efluente de outro processo de tratamento de esgotos

O sistema de lodos ativados pode, além de ser utilizado como unidade principal de uma estação de tratamento de esgotos, ser empregado como unidade de polimento de sistema anaeróbio de tratamento.

### 4.3.2 Parâmetros de maior importância no sistema de lodos ativados

#### 4.3.2.1 Tempo de detenção hidráulica, idade do lodo e tempo de varrimento celular.

A definição do tempo de detenção hidráulica (t) é dada pela equação (4.1), sendo baixo o tempo de detenção hidráulica, da ordem de 6 a 8 horas, enquanto os sólidos permanecem no sistema por um tempo superior devido à recirculação (VON SPERLING, 2002).

$$\text{tempo de detenção hidráulica} = \frac{\text{volume de líquido no sistema}}{\text{volume de líquido retirado do sistema por unidade de tempo}}$$

(Eq. 4.1)

O tempo de retenção celular, ou idade do lodo ( $\theta_c$ ) indica o tempo médio que uma partícula de lodo permanece no sistema, e pode ser estimada grosseiramente dividindo-se a quantidade de lodo (seco) contida no tanque de aeração pela quantidade diária de lodo (seco) retirada do sistema como lodo em excesso; pode ser definido por:

$$\text{idade do lodo} = \frac{\text{massa de sólidos no sistema}}{\text{massa de sólidos retirada do sistema por unidade de tempo}} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

De acordo com Van Haandel e Marais (1999), a idade do lodo é o parâmetro operacional mais importante no sistema de lodos ativados. Um aspecto relacionado à condição de baixa idade do lodo é o não desenvolvimento de predadores de bactérias livres (não agregadas aos flocos). Conseqüentemente, o efluente é de baixa qualidade, possuindo DBO e turbidez elevada. Mas, se ao contrário, a idade do lodo obedecer a limites mínimos, estes predadores se desenvolverão bem e, caso o decantador secundário tenha um razoável funcionamento, o efluente será de melhor qualidade, pois terá DBO e turbidez muito baixa.

O tempo que uma célula bacteriana permanece no sistema de tratamento ( $\theta_c$ ) deve ser maior que o tempo necessário para a sua duplicação. Se esta condição não ocorrer, a célula será varrida do sistema antes de ter se multiplicado, causando a progressiva redução da concentração de biomassa no tanque de aeração, até o colapso do sistema (VON SPERLING, 2002).

Von Sperling (1997) observa que no estado estacionário, a quantidade de sólidos retirados do sistema é igual à quantidade de sólidos produzida. Essa consideração permite que a equação 4.2 também possa ser escrita como:

$$\text{idade do lodo} = \frac{\text{massa de sólidos no sistema}}{\text{massa de sólidos produzida por unidade de tempo}} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

Considerando a retirada de lodo excedente da linha de recirculação, deve-se subtrair essa parcela para o cálculo de  $\theta_c$ :

$$\theta_c = \frac{X_v \cdot V}{(Q - Q_{ex}) \cdot X_{ve} + Q_{ex} \cdot X_{vr}} \quad (\text{Eq. 4.4})$$

onde:

Q = vazão afluyente ( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$Q_{ex}$  = vazão de lodo excedente ( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$X_v$  = concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $\text{g}/\text{m}^3$ );

- $X_{vr}$  = concentração de sólidos em suspensão voláteis no lodo de retorno ( $\text{g/m}^3$ );  
 $V$  = volume do reator ( $\text{m}^3$ );  
 $X_{vr}$  = concentração de sólidos em suspensão no lodo de retorno ( $\text{g/m}^3$ );  
 $\theta_c$  = idade do lodo (dias).

Caso o lodo excedente seja retirado diretamente do reator, ou de seu efluente, a expressão da idade do lodo ( $\theta_c$ ) se torna:

$$\theta_c = \frac{V}{Q_{ex}} \quad (\text{Eq. 4.5})$$

onde:

- $Q_{ex}$  = vazão de lodo excedente ( $\text{m}^3/\text{d}$ );  
 $V$  = volume do reator ( $\text{m}^3$ );  
 $\theta_c$  = idade do lodo (dia).

Von Sperling (1997) observa que essas considerações relativas à idade do lodo e que levam em conta a concentração de sólidos suspensos voláteis, podem também ser feitas considerando a concentração dos sólidos suspensos totais (SS).

Tendo em vista parâmetros obtidos em laboratório as seguintes relações que exprimem a idade do lodo podem ser úteis:

$$\theta_c = \frac{X_v V}{\Delta X_v / \Delta t} = \frac{1}{\mu - K_d} \quad (\text{Eq. 4.6})$$

onde:

- $X_v$  = concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $\text{g/m}^3$ );  
 $V$  = volume do reator ( $\text{m}^3$ );  
 $\Delta X_v$  = variação da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $\text{g/m}^3$ );  
 $\Delta t$  = variação de tempo (dias);  
 $\mu$  = taxa de crescimento específica ( $\text{d}^{-1}$ )  
 $K_d$  = coeficiente de respiração endógena ( $\text{d}^{-1}$ )

Von Sperling (1997) explicita as hipóteses simplificadoras adotadas nas três últimas relações que exprimem a idade do lodo:

- Assume-se que a biomassa está apenas no reator, ou seja, desconsidera-se a biomassa no decantador secundário e na linha de recirculação. Trata-se de uma convenção. Caso sejam consideradas as

parcelas do decantador ou da linha de recirculação as expressões modificar-se-ão;

- As considerações dizem respeito ao estado estacionário situação praticamente não observada no cotidiano da operação de uma ETE onde diversos parâmetros variam ao longo do dia (Q, SS, SSV, etc). À condição de operação real, com as variações normais, dá-se o nome de estado dinâmico. Nesse estado, a massa de lodo produzido não é igual à massa descartada, o que altera a interpretação do conceito da idade do lodo. Assim, as considerações até aqui apresentadas sobre a idade do lodo não são aplicáveis ao cotidiano operacional, mas sim a análise de maior horizonte temporal onde as variações diárias passam a ter menor importância;
- Uma outra simplificação importante é que a parcela de sólidos do esgoto afluyente não foi considerada.

#### 4.3.2.2 Relação alimento / microrganismo

De acordo com Von Sperling (2002), a carga de lodo, relação A/M (alimento microrganismo), ou ainda, F/M (food to microorganism ratio), está baseada no conceito de que a quantidade de alimento ou substrato disponível por unidade de massa dos microrganismos está relacionada à eficiência do sistema.

O efluente do tanque de aeração é submetido à decantação no decantador secundário e a biomassa ativa nele presente é separada com base nesse fenômeno. O retorno parcial da biomassa ao tanque de aeração é necessário para supri-lo com uma quantidade suficiente de microrganismos e manter uma relação alimento/microrganismo capaz de decompor com maior eficiência o material orgânico

Duas condições de referências orientam o entendimento do processo:

- Alta carga de DBO fornecida a um valor unitário de biomassa (elevada relação A/M): menor será a eficiência na assimilação do substrato e menor será o volume requerido para o tanque de aeração;
- Baixa carga de DBO fornecida a um valor unitário de biomassa (baixa relação A/M): maior avides pelo alimento, portanto, maior eficiência na remoção do substrato e maior o volume requerido para o tanque de aeração. Nesta condição, prevalece o mecanismo de respiração endógena.

Cálculo da massa de microorganismos (M):

$$M = V \cdot X_v$$

(Eq. 4.7)

onde:

- M = massa de microorganismos (g);  
 V = volume do reator (m<sup>3</sup>);  
 X<sub>v</sub> = concentração de sólidos em suspensão voláteis (g/m<sup>3</sup>);

Assim, a relação A/M é expressa como:

$$A/M = (Q.S_0) / (V.X_v)$$

(Eq. 4.8)

onde:

- A/M = carga de lodo (g DBO<sub>5, 20</sub> fornecidos por dia / g SSV);  
 Q = vazão afluyente (m<sup>3</sup>/d);  
 S<sub>0</sub> = concentração de DBO<sub>5, 20</sub> afluyente (g/m<sup>3</sup>);  
 V = volume do reator (m<sup>3</sup>);  
 X<sub>v</sub> = concentração de sólidos em suspensão voláteis (g/m<sup>3</sup>).

A relação A/M pode também ser expressa em termos de sólidos em suspensão totais (SST), ao invés de sólidos em suspensão voláteis (SSV). Existe uma relação entre sólidos em suspensão voláteis (SSV) e sólidos em suspensão (SS), a qual é em função da idade do lodo. Elevadas idades de lodo implicam em altas remoções de frações orgânicas, representadas pelos sólidos em suspensão voláteis, fazendo com que a relação SSV/SS seja menor.

A influência do tratamento preliminar na relação A/M é decorrente do tipo e concepção adotada no tratamento preliminar e no primário, especificamente, em relação à eficiência de remoção de sólidos no esgoto bruto.

A concentração de sólidos em suspensão no reator pode ser estimada, na fase de projeto, pela relação (VON SPERLING, 1997):

$$X_v = \frac{Y.(S_0 - S)}{1 + K_d . f_b . \theta_c} . \left( \frac{\theta_c}{t} \right)$$

(Eq. 4.9)

onde:

- X<sub>v</sub> = concentração de sólidos em suspensão voláteis (g/m<sup>3</sup>);  
 Y = coeficiente de produção celular (massa de sólidos em suspensão voláteis produzidos por unidade de massa de DBO removida) (g SSV/g DBO<sub>5,20</sub> removida) ;  
 S<sub>0</sub> = concentração de DBO<sub>5, 20</sub> afluyente (g/m<sup>3</sup>)  
 S = concentração de DBO<sub>5,20</sub> efluyente (g/m<sup>3</sup>)  
 K<sub>d</sub> = coeficiente de respiração endógena (d<sup>-1</sup>);

- $f_b$  = fração biodegradável dos SSV gerados no sistema a uma idade do lodo  $\theta_c$ ;
- $\theta_c$  = idade do lodo (dia);
- $t$  = tempo de detenção hidráulica (dia).

O coeficiente  $Y$  aparece na expressão que define a variação do substrato ao longo do tempo:

$$\frac{dX_v}{dt} = Y \cdot \frac{d(S_0 - S)}{dt} \quad (\text{Eq. 4.10})$$

onde:

- $dX_v$  = variação da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $\text{g}/\text{m}^3$ );
- $dt$  = variação do tempo de detenção hidráulica (dia).
- $Y$  = coeficiente de produção celular (massa de sólidos em suspensão voláteis produzidos por unidade de massa de DBO removida) ( $\text{g SSV}/\text{g DBO}_{5,20}$  removida);
- $d(S_0 - S)$  = variação de concentração de  $\text{DBO}_{5,20}$  afluente pela concentração de  $\text{DBO}_{5,20}$  efluente ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).

A obtenção do valor de  $Y$  é feita em laboratório, segundo uma composição de terminada de esgoto e condições intervenientes na degradação de matéria orgânica e crescimento bacteriano. No caso do esgoto doméstico, o valor de  $Y$  para as bactérias heterotróficas responsáveis pela remoção dos compostos orgânicos, varia de 0,4 a 0,8  $\text{g SSV} / \text{g DBO}_{5,20}$  removida, sendo a faixa mais comum de 0,5 a 0,7  $\text{g SSV} / \text{g DBO}_{5,20}$  (VON SPERLING, 1997).

O decaimento bacteriano que ocorre no sistema de lodos ativados pode ser representado pela taxa de decréscimo. Considerando-se que o fenômeno se dá como uma reação de primeira ordem, o decaimento no tempo pode ser expresso por:

$$\frac{dX_b}{dt} = -K_d \cdot X_b \quad (\text{Eq. 4.11})$$

onde:

- $dX_b$  = variação da concentração de sólidos suspensos voláteis biodegradável ( $\text{mg}/\text{L}$ )
- $dt$  = variação do tempo de detenção hidráulica (dia).
- $K_d$  = coeficiente de respiração endógena ( $\text{d}^{-1}$ )



$X_b$  = concentração de SSV biodegradável (mg/L)

Observe-se que nessa última equação, apresentada por Von Sperling (1997), a concentração de biomassa considerada ( $X_b$ ) é constituída apenas pela parcela biodegradável.

Segundo o mesmo autor, no tratamento aeróbio de esgotos domésticos típicos o valor de  $K_d$  varia no intervalo 0,06 a 0,10 mg SSV /mg SSV d.

A produção líquida de sólidos no sistema de lodos ativados pode ser calculada subtraindo-se da equação 4.10 ( $dx/dt = Y$ ) a parcela do decaimento bacteriano dada pela equação 4.11 ( $DX_b/dt = K_d$ )

$$\frac{dX_v}{dt} = Y \cdot \frac{d(S_o - S)}{dt} - K_d \cdot X_b \quad (\text{Eq. 4.12})$$

onde:

$dX_v$  = variação da concentração de SSV ( $\text{g}/\text{m}^3$ );

$dt$  = variação do tempo de detenção hidráulica (dia);

$Y$  = coeficiente de produção celular (massa de sólidos em suspensão voláteis produzidos por unidade de massa de DBO removida) ( $\text{g SSV}/\text{g DBO}_{5,20}$  removida);

$d(S_o - S)$  = variação de concentração de  $\text{DBO}_{5,20}$  afluente pela concentração de  $\text{DBO}_{5,20}$  efluente ( $\text{g}/\text{m}^3$ );

$K_d$  = coeficiente de respiração endógena ( $\text{d}^{-1}$ );

$X_b$  = concentração de SSV biodegradável (mg/L).

A solução numérica dessa última equação diferencial total considerando intervalos finitos de tempo resulta em:

$$\frac{\Delta X_v}{\Delta t} = Y \cdot \frac{\Delta(S_o - S)}{\Delta t} - K_d \cdot X_b \quad (\text{Eq. 4.13})$$

onde:

$\Delta X_v$  = variação da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $\text{g}/\text{m}^3$ );

$\Delta t$  = variação do tempo de detenção hidráulica (dia);

$Y$  = coeficiente de produção celular (massa de sólidos em suspensão voláteis produzidos por unidade de massa de DBO removida) ( $\text{g SSV}/\text{g DBO}_{5,20}$  removida);

- $\Delta(S_0-S)$  = variação da diferença de concentração de  $DBO_{5,20}$  afluente pela concentração de  $DBO_{5,20}$  efluente ( $g/m^3$ );
- $K_d$  = coeficiente de respiração endógena ( $d^{-1}$ );
- $X_b$  = concentração de SSV biodegradável ( $mg/L$ ).

Na última equação fica claro que a variação da concentração de sólidos voláteis totais no sistema sofre o abatimento devido à destruição dos sólidos voláteis passíveis de serem biodegradados ( $X_b$ ).

Eckenfelder (1989) *apud* Von Sperling (1997) comenta que cerca de 20% dos sólidos voláteis, logo após serem produzidos, são inertes e o restante biodegradável. A equação estabelecida pelo autor referido é apresentada a seguir, onde a fração biodegradável dos SSV ( $f_b$ ) é função da idade do lodo. Assim, a relação entre a concentração de sólidos voláteis e a concentração de sólidos voláteis biodegradáveis é dada por:

$$f_b = \frac{X_b}{X_v} = \frac{f' b}{1 + (1 - f' b) \cdot K_d \cdot \theta_c} \quad (\text{Eq. 4.14})$$

onde:

- $f_b$  = fração biodegradável dos sólidos em suspensão voláteis gerados no sistema submetidos a uma idade do lodo  $\theta_c$ ;
- $X_b$  = concentração de SSV biodegradável ( $mg/L$ ).
- $X_v$  = concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $g/m^3$ );
- $f' b$  = fração biodegradável dos sólidos em suspensão voláteis imediatamente após sua geração no sistema ( $g\ SS_b/g\ SSV$ ), ou seja, com  $\theta_c = 0$  (Esse valor é tipicamente igual a 0.80);
- $K_d$  = coeficiente de respiração endógena ( $d^{-1}$ );
- $\theta_c$  = idade do lodo (dia);

Uma vez mais há que lembrar que o esgoto bruto também contribui com sólidos fixos e voláteis. A equação 4.13 diz respeito somente aos sólidos biológicos produzidos no reator. As seguintes relações entre sólidos no esgoto bruto são verificadas (VON WEF / ASCE, 1992; METCALF e EDDY, 1991 *apud* VON SPERLING, 1997):

- $SSV/SST = 0,70 - 0,85$
- $SS_i/SST = 0,15 - 0,30$
- $SS_b/SSV = 0,6$
- $SS_{nb}/SSV = 0,4$

onde:

SSV = sólidos em suspensão voláteis do esgoto bruto;

SST = sólidos em suspensão totais do esgoto bruto;

SS<sub>i</sub> = sólidos em suspensão inorgânico do esgoto bruto;

SS<sub>b</sub> = sólidos em suspensão biodegradáveis do esgoto bruto;

SS<sub>nb</sub> = sólidos em suspensão não biodegradáveis do esgoto bruto.

A carga do esgoto bruto afluente ao reator deve ser considerada, principalmente no que concerne às suas parcelas inorgânicas e não biodegradável. A carga de sólidos biodegradáveis não deve ser considerada, de uma vez que os sólidos correspondentes serão adsorvidos nos flocos biológicos no reator, sendo hidrolisados posteriormente degradados, levando à formação de novos sólidos biológicos. Tal contribuição já está incluída nos sólidos biológicos gerados devidos a DBO afluente.

Deve, ainda, se considerada a fração ativa dos sólidos voláteis que é a efetivamente responsável pela degradação da matéria orgânica carbonácea.

A equação (4.15) relaciona essa fração com  $f_b$ ,  $f'_b$  e com a idade do lodo (IAWPRC, 1987; WPCF / ASCE, 1992 *apud* VON SPERLING, 1997):

$$f_a = -\frac{f_b}{f'_b} = \frac{1}{1 + (1 - f'_b) \cdot K_d \cdot \theta_c}$$

(Eq. 4.15)

onde:

$f_a$  = fração ativa dos sólidos em suspensão voláteis;

$f_b$  = fração biodegradável dos sólidos em suspensão voláteis gerados no sistema submetidos a uma idade do lodo  $\theta_c$ ;

$f'_b$  = fração biodegradável dos sólidos em suspensão voláteis imediatamente após a sua geração no sistema (g SS<sub>b</sub> / g SSV), ou seja, com  $\theta_c = 0$  (Esse valor é tipicamente igual a 0.80);

$K_d$  = coeficiente de respiração endógena ( $d^{-1}$ );

$\theta_c$  = idade do lodo (dia).

Tendo em vista os objetivos do presente trabalho, no que concerne aos procedimentos operacionais imediatos, isto é, à aqueles que dizem respeito as atividades dos operadores em tempo real de operação cabe explicitar por inteiro as possibilidades oferecidas pelo arcabouço teórico em associação com investigações laboratoriais, de forma que, os elementos de controle não imediatamente disponíveis no cotidiano em termos de obtenção de valores de parâmetros sejam previamente estabelecidos em laboratório.

Das últimas equações enunciadas se depreende que os parâmetros: coeficiente de produção celular ( $Y$ ), coeficiente de respiração endógena ( $K_d$ ) e taxa de crescimento específica ( $\mu$ ), por exemplo, se fazem necessários. Trabalha-se com a perspectiva de que os estudos laboratoriais, sob dados obtidos na condição real de operação, possam disponibilizar resultados úteis ao procedimento de natureza imediata.

Considerando as possibilidades de estudos no ambiente laboratorial, a equação (4.16) a seguir apresentada, mostra possibilidades de avaliação e de interferência do quadro operacional do sistema de lodo ativado, senão em tempo real, mas em intervalos de poucas horas entre o tempo presente e a tomada de decisão e acionamento dos procedimentos previamente recomendados. A abordagem apresentada por Von Sperling (1997), permite depreender procedimentos operacionais passíveis de tomada de decisão no prazo de 2 a 3 horas, consoante as considerações anteriores.

Os valores dos sólidos suspensos voláteis e totais se prestam ao controle operacional aplicável ao procedimento de tomada de decisão compatível com estudos laboratoriais prévios.

A relação entre sólidos em suspensão voláteis e sólidos em suspensão totais pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\frac{SSV}{SST} = \frac{P_{xv\text{líquida}}}{P_{xl\text{íquida}}} \quad (\text{Eq. 4.16})$$

onde:

$P_{xl\text{íquida}}$  = produção líquida de sólidos totais (Kg SST / d);

$P_{xv\text{líquida}}$  = produção líquida de sólidos em suspensão voláteis (Kg SSV / d)

A  $P_{xv\text{líquida}}$  é a produção líquida de sólidos voláteis e pode ser obtida através da utilização do conceito da produção específica observada ( $Y_{\text{obs}}$ ) que já leva em conta a destruição dos sólidos biodegradáveis. As equações a seguir permitem determinar tais produções.

A  $P_{xl\text{íquida}}$  é dada por:

$$P_{xl\text{íquida}} = P_{xv\text{líquida}} + P_{xi} \quad (\text{Eq. 4.17})$$

onde:

$P_{xl\text{íquida}}$  = produção líquida de sólidos totais (Kg SST / d);

$P_{xv\text{líquida}}$  = produção líquida de sólidos em suspensão voláteis (Kg SSV / d);

$P_{xi}$  = produção de sólidos inorgânicos (fixos) (Kg SS<sub>i</sub> / d).

A  $P_{xv, líquida}$ , por sua vez, é dada por:

$$P_{xv, líquida} = Y_{obs} \cdot Q (S_0 - S) \quad (\text{Eq. 4.18})$$

onde:

$P_{xv, líquida}$  = produção líquida de sólidos em suspensão voláteis (Kg SSV / d);

$Y_{obs}$  = produção específica observada;

$Q$  = vazão afluente ( $m^3/d$ );

$S_0$  = concentração de  $DBO_{5, 20}$  afluente ( $g/m^3$ );

$S$  = concentração de  $DBO_{5,20}$  efluente ( $g/m^3$ )

A produção específica observada ( $Y_{obs}$ ) já leva em conta a destruição de sólidos biodegradáveis e é expressa por:

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + f_b \cdot K_d \cdot \theta_c} \quad (\text{Eq. 4.19})$$

onde:

$Y_{obs}$  = produção específica observada;

$Y$  = coeficiente de produção celular (massa de sólidos em suspensão voláteis produzidos por unidade de massa de  $DBO$  removida) ( $g$  SSV/ $g$   $DBO_{5,20}$  removida);

$f_b$  = fração biodegradável dos sólidos em suspensão voláteis gerados no sistema submetidos a uma idade do lodo  $\theta_c$ ;

$K_d$  = coeficiente de respiração endógena ( $d^{-1}$ );

$\theta_c$  = idade do lodo (dia).

O valor de  $Y_{obs}$  também será determinado em laboratório sob condições estabelecidas previamente.

A carga de inertes (sólidos fixos) é dada por:

$$P_{xi} = P_{xbruta} - P_{xvbruta} \quad (\text{Eq. 4.20})$$

onde:

$P_{xi}$  = produção de sólidos inorgânicos (fixos) (Kg  $SS_i$  / d);

$P_{xbruta}$  = produção bruta de sólidos totais (Kg SST / d);

$P_{xvbruta}$  = produção bruta de sólidos em suspensão voláteis (Kg SSV / d);

e, as cargas de  $P_{xbruta}$  e  $P_{xvbruta}$  são dadas, respectivamente por:

$$P_{xbruta} = \frac{P_{xv}}{0,9}$$

(Eq. 4.21)

onde:

$P_{xbruta}$  = produção bruta de sólidos totais (Kg SST / d];

$P_{xv}$  = produção de sólidos suspensos voláteis (Kg SSV / d);

$$P_{xvbruta} = Y \cdot Q \cdot (S_0 - S)$$

(Eq. 4.22)

onde:

$P_{xvbruta}$  = produção bruta de sólidos em suspensão voláteis (Kg SSV / d);

$Y$  = coeficiente de produção celular (massa de sólidos em suspensão voláteis produzidos por unidade de massa de DBO removida) (g SSV/g DBO<sub>5,20</sub> removida);

$Q$  = vazão afluyente (m<sup>3</sup>/d);

$S_0$  = concentração de DBO<sub>5,20</sub> afluyente (g/m<sup>3</sup>);

$S$  = concentração de DBO<sub>5,20</sub> efluyente (g/m<sup>3</sup>)

Como na operação em tempo real será necessário considerar os sólidos presentes nos esgotos afluentes, será necessário acrescentar a cada uma das cargas de sólidos biológicos produzidos a carga dos sólidos afluentes (inorgânicos e não biodegradáveis).

Reitera-se que a parcela biodegradável já está computada através da DBO afluyente.

#### 4.3.2.3 Taxa de utilização do substrato (U)

Segundo Von Sperling (1997), a relação A/M não tem correspondência com a remoção da matéria orgânica que realmente ocorre no tanque de aeração, uma vez que se constitui na representação da carga orgânica aplicada ou disponível. A expressão que relaciona o substrato disponível e o removido é denominada taxa de utilização do substrato (U), representada pela equação (4.23):

$$U = Q \cdot (S_0 - S) / (V \cdot X_v)$$

(Eq. 4.23)

onde:

- U = taxa de utilização do substrato (g DBO<sub>5</sub> / g SSV d);  
 Q = vazão afluyente (m<sup>3</sup>/d);  
 S<sub>0</sub> = concentração de DBO<sub>5,20</sub> afluyente (g/m<sup>3</sup>);  
 S = concentração de DBO<sub>5,20</sub> efluente (g/m<sup>3</sup>);  
 V = volume do reator (m<sup>3</sup>);  
 X<sub>v</sub> = concentração de sólidos em suspensão voláteis (g/m<sup>3</sup>).

E, a equação (4.24) relaciona a taxa de utilização do substrato com a eficiência do sistema.

$$U = (A/M) \cdot E$$

(Eq. 4.24)

onde:

- U = taxa de utilização do substrato (g DBO<sub>5</sub> / g SSV d);  
 A/M = relação alimento/microorganismo (g DBO<sub>5,20</sub> fornecido / g SSV d);  
 E = eficiência do sistema na remoção de substrato =  $(S_0 - S) / S_0$

Num sistema de lodos ativados convencional, a relação A/M assume os seguintes valores:

$$A/M = 0,3 \text{ a } 0,8 \text{ Kg DBO}_{5,20} / \text{Kg SSV.d}$$

#### 4.3.2.4 Concentração de sólidos no tanque de aeração

A recirculação do lodo exerce significativa influência na concentração de sólidos em suspensão voláteis (SSV) no tanque de aeração. Concentrações muito altas demandam unidades de decantação secundária com maiores dimensões e podem, também, prejudicar a transferência de oxigênio a toda a biomassa (VON SPERLING, 2002).

#### 4.3.2.5 Recirculação do lodo

De acordo com Von Sperling (2002), a quantidade de lodo recirculado depende, fundamentalmente, da qualidade do lodo decantado no decantador secundário.

De maneira geral vale a regra de que quanto maior a concentração de lodo no decantador secundário, menor poderá ser a vazão de recirculação. A razão de

recirculação, por sua vez, interfere no balanço de sólidos entre o tanque de aeração e o decantador secundário.

A concentração de sólidos em suspensão no lodo de retorno depende das características de decantabilidade e adensabilidade do lodo, da concentração de sólidos em suspensão totais no tanque de aeração (SSTA) e da vazão de saída do fundo do decantador.

#### **4.3.2.6 Produção e retirada do lodo excedente**

De acordo com Van Haandel e Marais (1999), uma vez escolhida a idade do lodo, esta deve ser mantida no sistema através da descarga adequada de lodo em excesso. Esta descarga pode ser feita diretamente do tanque de aeração (controle hidráulico da idade do lodo) ou da vazão de lodo de retorno, sendo este um procedimento muito utilizado, pois a concentração do lodo de retorno é sempre maior se comparada à do tanque de aeração, o que demanda um volume menor de lodo de retorno do que do líquido efluente do tanque de aeração para se ter a mesma massa de sólidos no lodo de excesso.

No entanto, não se pode esquecer que devido à variação da vazão afluenta, também ocorrerão significativas variações da massa e concentração de lodo no decantador e, conseqüentemente, no lodo de retorno.

Assim, a concentração do lodo de retorno dependerá muito da hora em que a descarga for efetuada, dificultando a estimativa da massa de lodo descarregada e, conseqüentemente, dificultando a manutenção da idade do lodo dentro da faixa estabelecida.

O decantador secundário exerce um papel fundamental no processo de lodos ativados, sendo responsável pela separação dos sólidos em suspensão presentes no tanque de aeração, permitindo a saída de um efluente clarificado, e pela decantação da biomassa floculada, permitindo o retorno do lodo em concentração mais elevada.

#### **4.3.2.7 Sistemas de aeração**

Segundo Van Haandel e Marais (1999), a aeração no sistema de lodos ativados é aplicada, primeiramente, para promover a transferência de oxigênio atmosférico para o licor misto, onde é consumido para a oxidação do material orgânico e, eventualmente, de amônia. Simultaneamente, a agitação causada pela aeração deve provocar turbulência suficiente para manter o lodo ativado em suspensão.

As Tabelas 4.2 e 4.3 apresentam algumas características dos grupos de aeradores:



Tabela 4.2 – Características dos principais sistemas de aeração mecânica

Tipo de aerador	Características	Vantagens	Desvantagens
Baixa rotação fluxo radial	Similar a uma bomba de elevada vazão e baixa carga. O fluxo do líquido no tanque é radial, em relação ao eixo do motor. A maior parte da absorção de oxigênio ocorre devido ao ressalto hidráulico criado.	-Elevada transferência de oxigênio. -Boa capacidade de mistura. -Flexibilidade no projeto do tanque. -Elevada capacidade de bombeamento. -Fácil acesso para manutenção.	-Custos iniciais elevados. -Necessidade de manutenção cuidadosa nos redutores.
Alta rotação fluxo axial	Similar a uma bomba de elevada vazão e baixa carga. O fluxo do líquido bombeado é ascensional segundo o eixo do motor, passando pela voluta, e atingindo um difusor, de onde é disperso perpendicularmente ao eixo do motor, na forma de aspersão. A maior parte da absorção de oxigênio ocorre parte da absorção de oxigênio ocorre devido à aspersão e à turbulência.	-Custos iniciais mais reduzidos. -Facilmente ajustável a variações do nível d'água. -Operação flexível.	-Difícil acesso para manutenção. -Menor capacidade de mistura. -Transferência de oxigênio não muito elevada.
Rotor de eixo horizontal	A rotação é em torno de um eixo horizontal. Ao rodar, o rotor, com um grande número de aletas perpendiculares ao eixo, causa a aeração por aspersão e incorporação do ar, além de proporcionar o movimento circulatório do líquido no tanque de aeração.	-Custo inicial moderado. -Fácil de fabricar localmente. -Fácil acesso para manutenção.	-Geometria do tanque limitada. -Requisito de baixas profundidades. -Possíveis problemas em rotores com eixos longos. -Transferência de oxigênio não muito elevada.

Fonte: Adaptado de VON SPERLING *et al.*, 2001.

Tabela 4.3 – Características dos principais sistemas de aeração por ar difuso

Tipo de aerador	Características	Vantagens	Desvantagens
Bolhas finas	As bolhas são geradas através de membranas, pratos, discos, tubos ou domos, feitos de um meio cerâmico, vítreo ou de resinas.	-Elevada transferência de oxigênio. -Boa capacidade de mistura. -Elevada flexibilidade operacional, por meio da variação da vazão e ar.	-Custos de implantação e manutenção elevados. -Possibilidades de colmatção dos difusores. -Necessidade de filtros de ar.
Bolhas médias	As bolhas são geradas através de membranas perfuradas ou tubos (aço inoxidável coberto ou de plástico) perfurados.	-Boa capacidade de mistura. -Reduzidos custos de manutenção.	-Custos de implantação elevados. -Filtros de ar podem ser necessários.
Bolhas grossas	As bolhas são geradas através de orifícios, bocais ou injetores.	-Não colmatção. -Baixos custos de manutenção. -Custos de implantação competitivos. -Filtros de ar não são necessários.	-Baixa transferência de oxigênio. -Elevados requisitos de energia.
Aeradores por aspiração	As bolhas são geradas por meio de uma hélice, rodando em alta velocidade na extremidade de um tubo vazado, a qual succiona o ar atmosférico de um orifício situado na extremidade superior do tubo.	-Não colmatção. -Filtros de ar não são necessários. -Manutenção relativamente simples.	-Eficiência de oxigenação inferior aos sistemas de aeração mecânica ou bolhas finas.

Fonte: Adaptado de VON SPERLING *et al.*, 2001.

#### 4.3.2.8 Decantador secundário

Van Haandel e Marais (1999) lembram que, na prática, o decantador secundário não é um separador de fases ideal, pois há perda de algum material sólido em suspensão junto com o efluente e, também, a quantidade de lodo nesta unidade pode constituir uma fração considerável da massa total de lodo no sistema, principalmente quando a carga hidráulica sobre o sistema é máxima.

No entanto, para Von Sperling (2002), este é um item que merece grande atenção, pois os decantadores secundários exercem um papel fundamental no processo de lodos ativados, sendo responsável pelos seguintes fenômenos:

- Separação dos sólidos em suspensão presentes no tanque de aeração, permitindo a saída de um efluente clarificado;
- Adensamento dos sólidos em suspensão no fundo do decantador, permitindo o retorno de lodo com concentração mais elevada;
- Armazenamento dos sólidos em suspensão no decantador, complementando o armazenamento realizado no tanque de aeração. No entanto, em países tropicais, a elevada permanência dos sólidos no decantador é prejudicial, por permitir a desnitrificação no decantador, liberando gás nitrogênio, com conseqüente arraste dos sólidos pelo gás para a superfície e deterioração da qualidade do efluente final.

O autor alerta, ainda, para o fato de que a etapa de sedimentação é fundamental para o processo de lodos ativados: o sucesso da estação como um todo depende da sua adequada operação. Os decantadores secundários são, geralmente, a última unidade do sistema, impondo a qualidade do efluente final em termos de sólidos em suspensão, DBO e mesmo nutrientes. Como a  $DBO_{\text{solúvel}}$  efluente do tanque de aeração é baixa podendo ser considerada desprezível no computo geral, a maior parcela da DBO efluente de um sistema de lodos ativados no caso de esgotos domésticos, é constituída pela DBO particulada, associada aos sólidos em suspensão que escapam com o efluente do decantador secundário. Portanto, o conhecimento dos princípios básicos que regem a sedimentação e o adensamento de sólidos no decantador secundário é imprescindível.

Desta forma, as características de sedimentabilidade e adensabilidade do lodo estão intimamente associadas à estrutura do floco formado no tanque de aeração. Por esta razão, o projeto e o controle operacional dos decantadores secundários deve ser analisado conjuntamente com o tanque de aeração.

#### • O fenômeno da decantação

Jordão e Pessoa (1975) definem a sedimentação como sendo a operação unitária pela qual a capacidade de carreamento e de erosão da água é diminuída, até que as partículas em suspensão decantem pela ação da gravidade e não possam mais ser re-levantadas pela ação erosiva.

## • Principais tipos de partículas intervenientes na decantação

Jordão e Pessoa (1975) citam os seguintes tipos:

- Partículas individuais: não floculam nem se aglomeram umas às outras;
- Partículas floculadoras de pequena concentração: aglomeram-se durante a sedimentação, por isso, o grau de sedimentação é modificado;
- Partículas em suspensão em alta concentração: decantam como uma massa única, formando uma face de sedimentação entre o líquido e o material em sedimentação. À medida que ocorre a sedimentação, ocorre também uma compactação do lodo já decantado.

## • Tipos de decantação

As características de sedimentação das partículas em suspensão dependem da natureza das partículas, de sua concentração e das condições na unidade de sedimentação.

Von Sperling (2002) apresenta quatro tipos distintos de sedimentação: discreta, floculenta, zonal e por compressão. No entanto, o autor destaca a sedimentação zonal como o principal tipo que ocorre no decantador secundário.

### ○ Decantação discreta

As partículas ditas individuais, sedimentam-se mantendo a sua identidade, ou seja, não floculam nem se aglomeram umas às outras. Assim, são conservadas as suas propriedades físicas, tais como forma, tamanho e densidade (Figura 4.2). A remoção de partículas granulares pesadas na caixa de areia é um exemplo de aplicação deste tipo.

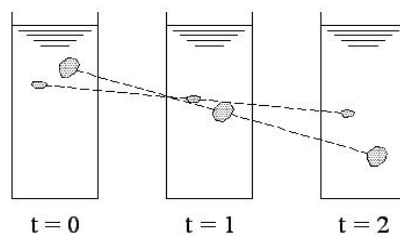


Figura 4.2 - Esquema de sedimentação discreta  
Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2002.

### ○ Decantação flocculenta

As partículas aglomeram-se à medida que sedimentam. As características são alteradas, com o aumento do tamanho, por causa da formação dos flocos e, conseqüentemente, a velocidade de sedimentação aumenta com o tempo (Figura 4.3). Este fenômeno ocorre freqüentemente nos decantadores primários, na parte superior dos decantadores secundários e no tratamento físico-químico, onde ocorre a formação de flocos químicos.

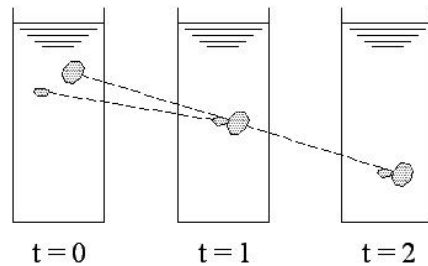


Figura 4.3 – Esquema de sedimentação flocculenta  
Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2002.

### ○ Decantação zonal

Quando se tem uma elevada concentração de sólidos, forma-se um manto que sedimenta como uma massa única de partículas que, por sua vez, tendem a permanecer numa posição fixa com relação às partículas mais próximas. Observa-se uma nítida interface de separação entre a fase sólida e a fase líquida, e o nível da interface se move para baixo como resultado da sedimentação da manta de lodo. Neste caso, é a velocidade de sedimentação da interface que é utilizada no dimensionamento dos decantadores (Figura 4.4). Os decantadores secundários geralmente trabalham neste regime.

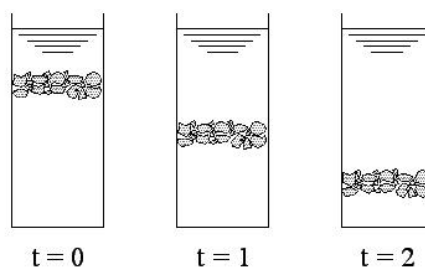


Figura 4.4 – Esquema de sedimentação zonal  
Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2002.

### ○ Decantação por compressão

Caso a concentração de sólidos seja ainda mais elevada, a sedimentação pode ocorrer apenas por compressão das partículas. A compressão ocorre devido ao peso das partículas constantemente adicionadas como resultado da sedimentação das partículas situadas no líquido sobrenadante.

Com a compressão, parte da água é removida da matriz do floco, reduzindo seu volume (Figura 4.5). Este fenômeno ocorre freqüentemente fundo de decantadores primários e em adensadores por gravidade.

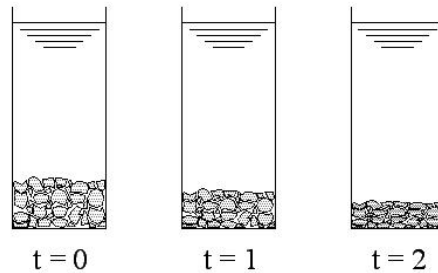


Figura 4.5 – Esquema de sedimentação por compressão  
Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2002.

### ○ Decantação zonal em uma coluna

De acordo com Von Sperling (2002), para que a manta se mova para baixo, o líquido inferior tem que se mover para cima. Na sedimentação zonal, a velocidade de sedimentação da interface é utilizada no dimensionamento dos decantadores.

Em uma coluna de sedimentação totalmente homogeneizada com uma suspensão de elevada concentração de sólidos, forma-se, após um pequeno intervalo de tempo e em condições de repouso, uma nítida interface. À medida que a interface se move para baixo, o líquido sobrenadante torna-se clarificado, ao mesmo tempo em que se estabelece uma camada no fundo da coluna, de concentração mais elevada.

A face superior desta camada se move para cima, devido ao sucessivo acréscimo de material acumulado no fundo, sem ter condições de sair por baixo da coluna. Em um tanque de sedimentação com retirada contínua do lodo sedimentado pelo fundo (Figura 4.6), esta camada mais concentrada não se propaga para cima.

A razão é a velocidade de descarga pelo fundo (para baixo), que se contrapõe à velocidade de expansão (para cima). Esta situação é a que ocorre em tanques com remoção contínua de lodo pelo fundo, como os decantadores secundários no processo de lodos ativados.

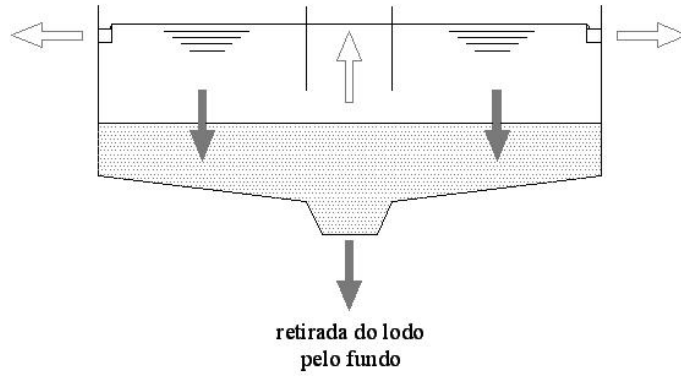


Figura 4.6 – Retirada do lodo pelo fundo em decantadores secundários  
Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2002.

A seguir, através da Figura 4.7, mostra-se a representação esquemática do comportamento das camadas de lodo diluído e concentrado na sedimentação zonal para tanque sem retirada de fundo (a) e para tanque com retirada de fundo (b).

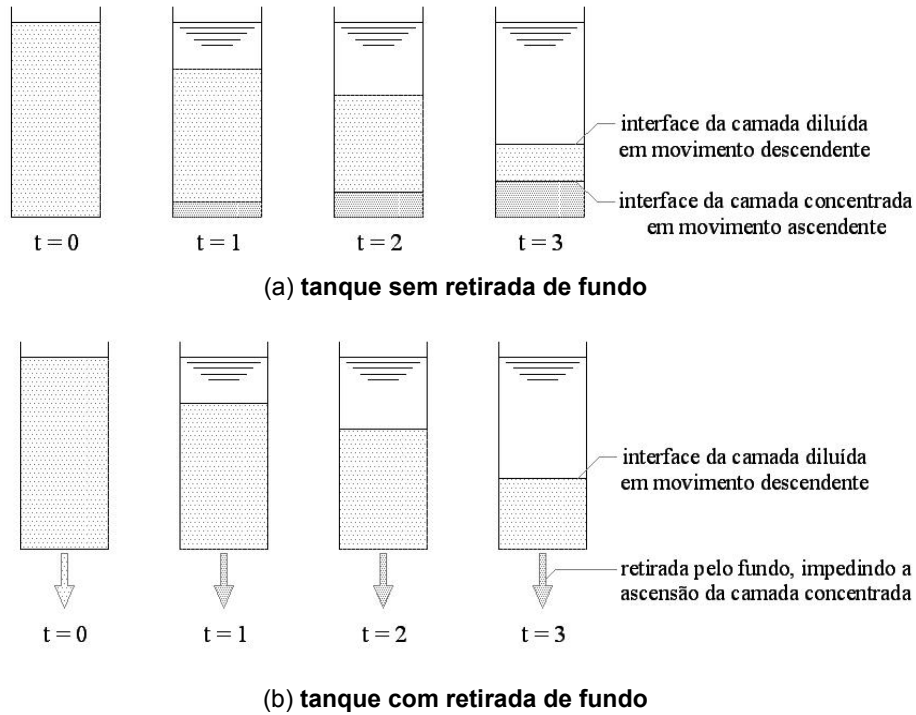


Figura 4.7– Comportamento das camadas de lodo diluído e concentrado na sedimentação zonal  
Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002).

### 4.3.3 A teoria do fluxo limite de sólidos

A teoria do fluxo limite de sólidos tem aplicação tanto para projeto quanto para o controle operacional. Von Sperling (2002) explica que esta teoria descreve o fenômeno da sedimentação zonal que tem ocorre nos decantadores secundários e adensadores por gravidade, uma vez que os sólidos tendem a ir para o fundo devido à atuação simultânea de dois fluxos: fluxo por gravidade ( $G_g$ ) e fluxo pela retirada de fundo ( $G_u$ ), onde :

- Fluxo por gravidade ( $G_g$ ): é causado pela sedimentação gravitacional do lodo; e,

- Fluxo pela retirada de fundo ( $G_u$ ): é causado pelo movimento do lodo originado pela retirada do lodo de recirculação pelo fundo do decantador (secundários em uma estação de lodos ativados).

Entende-se por fluxo como sendo a carga de sólidos por unidade de área e por taxa de aplicação de sólidos, a razão entre a carga de sólidos aplicada sobre a área superficial do decantador, portanto, há equivalência entre taxa e fluxo.

O fluxo total ( $G_t$ ) deslocando-se para o fundo do decantador corresponde à soma destes dois componentes:

$$G_g = C \cdot v \quad (\text{Eq. 4.25})$$

$$G_u = C \cdot \frac{Q_u}{A} \quad (\text{Eq. 4.26})$$

$$G_t = (C \cdot v) + \left( C \cdot \frac{Q_u}{A} \right) \quad (\text{Eq. 4.27})$$

onde:

$G_g$  = Fluxo por gravidade (Kg/m<sup>2</sup>h);

$G_u$  = Fluxo pela retirada de fundo (Kg/m<sup>2</sup>h);

$G_t$  = Fluxo total (Kg/m<sup>2</sup>h);

C = concentração de sólidos em suspensão no lodo (kg/m<sup>3</sup>);

v = velocidade de sedimentação da interface na concentração C (m/h);

$Q_u$  = vazão de retirada do fundo (m<sup>3</sup>/h);

A = área superficial do decantador (m<sup>2</sup>).

A velocidade de sedimentação  $v$  é, por outro lado, função da própria concentração  $C$ , decrescendo com o aumento deste parâmetro. A relação empírica mais utilizada para expressar esta dependência é dada por:

$$v = v_0 \cdot e^{-K \cdot C}$$

(Eq. 4.28)

onde:

- $v$  = velocidade de sedimentação da interface na concentração  $C$  (m/h);
- $v_0$  = coeficiente, expressando a velocidade de sedimentação da interface numa concentração hipotética  $C = 0$  (m/h);
- $K$  = coeficiente de sedimentação ( $m^3/kg$ ).
- $C$  = concentração de sólidos em suspensão no lodo ( $kg/m^3$ );

O fluxo de sólidos transmitido para o fundo do decantador depende da concentração de  $C$ , conforme as condições:

- **Baixa concentração de  $C$ :** a velocidade de sedimentação da interface  $v$  é elevada, mas o produto  $C \cdot v$  é baixo, resultando num baixo valor de fluxo gravitacional dos sólidos;
- **Concentração intermediária de  $C$ :** à medida que  $C$  aumenta, mesmo com a diminuição de  $v$ , o produto  $C \cdot v$  aumenta, ou seja, o fluxo gravitacional se eleva; e,
- **Concentração elevada de  $C$ :** após um determinado valor de  $C$ , a redução na velocidade de sedimentação  $v$  é tal, que o produto  $C \cdot v$  passa a diminuir.

A Figura 4.8 caracteriza matematicamente o fluxo limite ( $G_L$ ) através de duas curvas ( $G_g$  e  $G_r$ ) posicionadas em gráficos cujos eixos x são representados pela concentração de SS e os eixos y, pelo fluxo de sólidos, conforme mostrado abaixo:



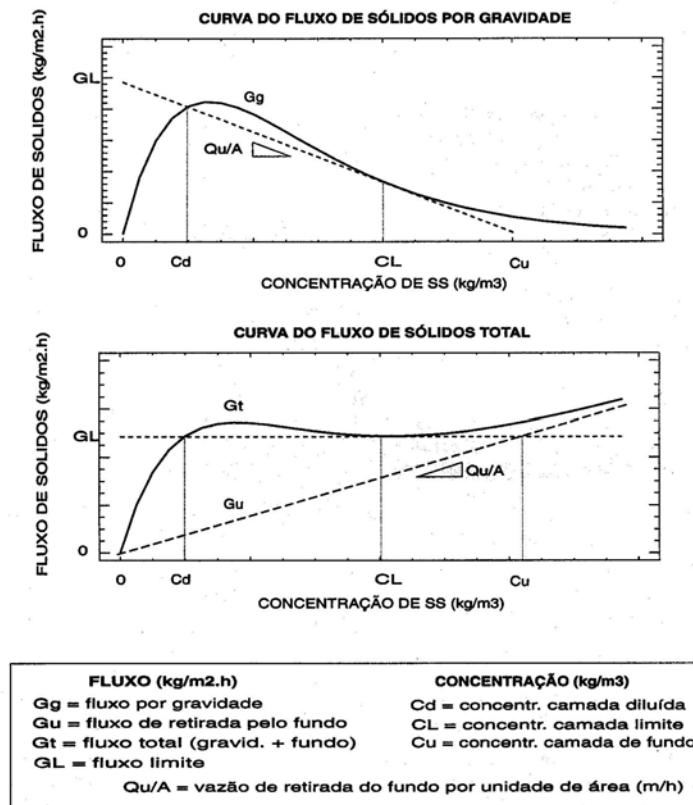


Figura 4.8 – Curvas do fluxo limite de sólidos

Fonte: VON SPERLING, 1996b.

De acordo com Von Sperling (2002), a seguinte análise pode ser feita pelas curvas:

- No primeiro caso, nota-se que, à medida que aumenta a concentração de SS, o fluxo de sólidos aumenta até o ponto de concentração da camada diluída (Cd). A partir deste ponto, aumentando a concentração de SS, o fluxo de sólidos aumenta mais um pouco para, em seguida, diminuir. Ou seja, neste caso, o fluxo limite ( $G_L$ ) pode ser entendido como o fluxo máximo que pode ser transportado para o fundo do decantador, nas respectivas condições de sedimentabilidade, concentração do lodo e vazão de fundo; e,
- No segundo caso, nota-se que, à medida que aumenta a concentração de SS, o fluxo de sólidos aumenta sofrendo uma pequena queda, atingindo em seguida um patamar mínimo no ponto de concentração da camada limite (CL), ou seja, este ponto de mínimo indica que, à medida que a concentração de sólidos aumenta no decantador, haverá uma concentração (CL) que ocasionará o menor fluxo (limite). Neste caso, o decantador está limitado, não conseguindo transmitir para o fundo uma quantidade de sólidos superior ao valor limite.

O autor conclui, então, que, para o decantador não acumular sólidos que, eventualmente, poderiam chegar a uma quantidade tal que causaria a sua perda no sobrenadante do decantador, deteriorando a qualidade do efluente final, deve-se ter um fluxo aplicado (carga de sólidos afluente ao decantador por unidade de área) menor ou igual ao fluxo limite. E ressalta, ainda, que o sucesso do projeto e da operação dos decantadores secundários depende desta relação entre o fluxo aplicado e o fluxo limite, havendo quatro condições possíveis:

- Decantador com folga: fluxo aplicado inferior ao fluxo limite;
- Decantador com carga crítica: fluxo aplicado igual ao fluxo limite;
- Decantador com sobrecarga no adensamento: fluxo aplicado superior ao fluxo limite;
- Decantador com sobrecarga no adensamento e na clarificação: fluxo aplicado superior ao fluxo limite e taxa de aplicação hidráulica ( $Q_i/A$ ) superior à velocidade de sedimentação do lodo  $v$ .

#### 4.3.4 Índice volumétrico de lodo

De acordo com Van Haandel e Marais (1999) e Von Sperling (2002), geralmente, em estações de tratamento de esgotos, são necessários procedimentos adequados à utilização rotineira para avaliar e quantificar a sedimentabilidade do lodo. O teste do Índice Volumétrico do Lodo (IVL) apresenta-se, nestes casos, como uma boa opção.

Mendonça (2002) defende que o IVL apresenta-se como de fundamental importância na avaliação de desempenho do sistema.

O IVL é definido como o volume ocupado por 1 g de lodo após uma decantação de 30 minutos e calculado a partir da equação (4.29):

$$IVL = \frac{H_{30} \cdot 10^6}{H_0 \cdot SS} \quad (\text{Eq. 4.29})$$

onde:

IVL = índice volumétrico de lodo (mL/g);

$H_{30}$  = altura da interface após 30 minutos (m);

$H_0$  = altura da interface no instante 0 (altura da lâmina d'água no cilindro de decantação) (m);

SS = concentração de sólidos em suspensão da amostra (mg/L);

$10^6$  = conversão de mg em g, e de L em mL.

A representação esquemática do teste está apresentada na Figura 4.9.

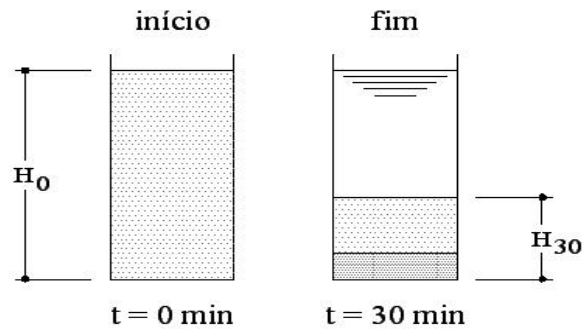


Figura 4.9 – Esquema da realização do teste de IVL  
 Fonte: VON SPERLING, 2002.

Van Haandel e Marais (1999) e Von Sperling (2002) apresentam algumas padronizações efetuadas no teste do IVL, as quais resultaram nas seguintes variações mais comuns do teste:

- Teste sem agitação durante o período de sedimentação (IVL).
- Teste sem agitação e com diluição da amostra (IVDL): a amostra original é diluída com o efluente final da estação em razões de 2, como por exemplo,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ , etc. Escolhe-se para este cálculo a amostra diluída que conduziu a uma altura de interface após 30 minutos ( $H_{30}$ ) de menos de 20% da altura inicial (e o mais próximo possível de 20%, com uma tolerância de, aproximadamente, 4%). O IVLD é calculado pela equação 4.9 multiplicada pelo inverso da razão de diluição.
- Teste com agitação durante o período de sedimentação (IVLA): a agitação é suave, com o objetivo de simular a agitação que ocorre em um decantador em escala real. A agitação na coluna é causada por uma fina barra vertical periférica, numa rotação de 1 a 2 rpm.
- Teste com agitação e representação dos resultados na concentração padronizada de 3,5 g/L (3.500 mg/L) (IVLA<sub>3,5</sub>): esta concentração é definida por representar um valor usual da concentração de SS em tanques de aeração do processo de lodos ativados. Efetua-se o teste para diferentes concentrações iniciais (obtidas através de diluições e concentrações da amostra), interpolando-se o resultado, posteriormente, para a concentração de 3,5 g/L.

Quanto maior o valor do Índice Volumétrico de Lodo, pior é a sedimentabilidade do lodo, ou seja, o lodo ocupa um volume maior no decantador secundário. Os valores estão apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Interpretação aproximada do resultado do Índice Volumétrico de Lodo

Faixa de valores do Índice Volumétrico de Lodo (mL/g)				
Sedimentação	IVL	IVLD	IVLA	IVLA <sub>3,5</sub>
Ótima	0 – 50	0 – 45	0 – 50	0 – 40
Boa	50 – 100	45 – 95	50 – 80	40 – 80
Média	100 – 200	95 – 165	80 – 140	80 – 100
Ruim	200 – 300	165 – 215	140 – 200	100 – 120
Péssima	> 300	> 215	> 200	> 120

Fonte: VON SPERLING, 2002.

Von Sperling (2002) salienta que o IVLA<sub>3,5</sub> é o mais representativo e menos sujeito a distorções e que o IVL tradicional possui como limitação a dependência da concentração inicial de sólidos.

Na Figura 4.10 está representado o máximo valor de IVL (sem sedimentação) possível para lodos de diferentes concentrações.

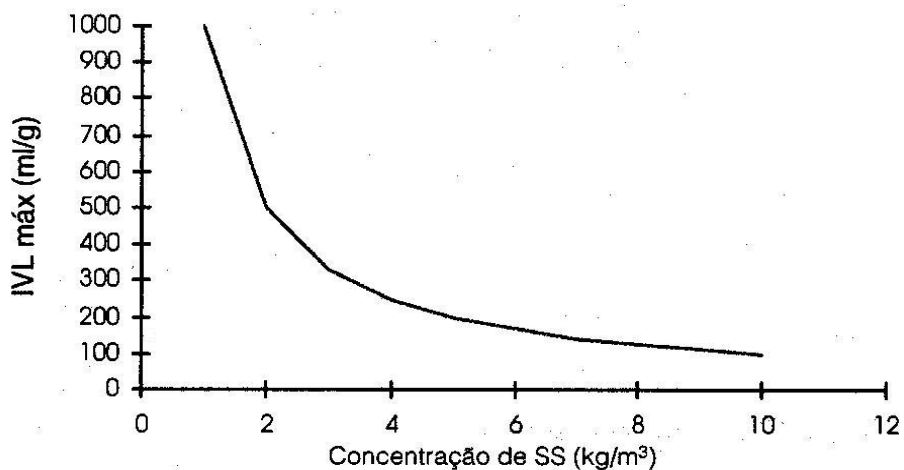


Figura 4.10 – Valor de IVL máximo atingível, na condição de não sedimentação no cilindro, em função da concentração de SS.

Fonte: VON SPERLING, 2002.

A Figura 4.11 mostra que dois lodos, de mesmo IVL, podem ter velocidades de sedimentação diferentes.

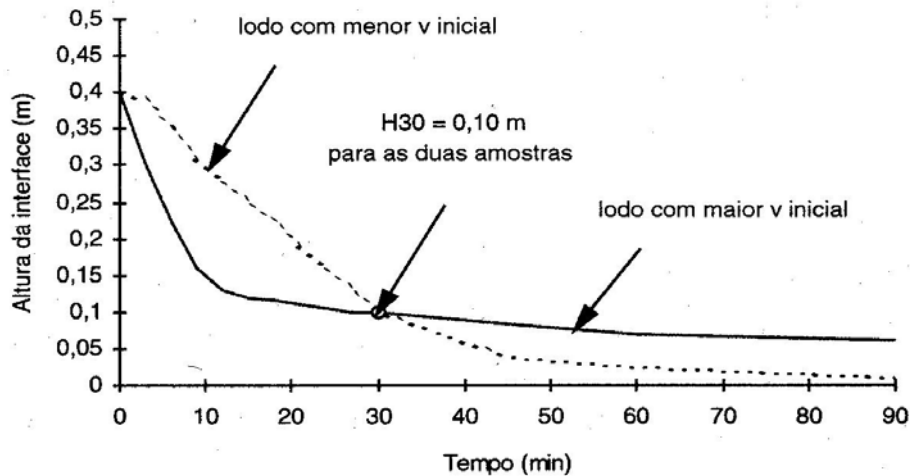


Figura 4.11 – Representação de duas amostras de lodo, de mesmo IVL, porém com diferentes velocidades de sedimentação.

Fonte: Adaptado de WANNER, 1994 *apud* VON SPERLING, 2002.

#### 4.3.5 Parâmetros usuais no projeto de sistemas de lodos ativados

A literatura técnica apresenta faixas de variação diversas para os principais parâmetros e relações entre os mesmos. A Tabela 4.5 apresenta valores de parâmetros e relações mais de perto atinentes aos objetivos deste trabalho.

Tabela 4.5 – Parâmetros de projeto do sistema de lodos ativados (esgotos domésticos)

Parâmetro	Unidade	Valor
Idade do lodo	D	4 – 10
Relação A/M	Kg DBO / kg SSVTA d	0,3 – 0,80
Tempo de detenção hidráulica no tanque aeração	h	6 – 8
Concentração de SSVTA	(mg/L)	1500 – 3500
Razão de recirculação ( $Q_r/Q$ )	-	0,7 – 1,2
Taxa de aplicação hidráulica no decantador secundário	( $m^3/m^2 \cdot h$ )	0,67 – 1,33
Produção de lodo aeróbio excedente	Kg SS / kg DBO	0,50 – 0,70
Concentração de SS no lodo de retorno	mg/L	8.000 – 12.000

Fonte: Adaptado de VON SPERLING *et al.*, (2001).

#### 4.4 Microrganismos envolvidos no sistema de lodos ativados

Segundo Figueiredo *et al.* (1992) o sistema de lodos ativados possui uma população de microrganismos característica e composta freqüentemente por bactérias, fungos, protozoários e metazoários

##### • Bactérias

Segundo Braile e Cavalcanti (1993) *apud* Mendonça (2002), as bactérias são os microorganismos mais importantes do sistema de lodos ativados, pois são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica presente no esgoto e pela formação do floco. No tanque de aeração, as bactérias aeróbias e facultativas oxidam a matéria orgânica a compostos de baixa energia, como nitritos, sulfatos e gás carbônico, e sintetizam o material orgânico remanescente em novas células.

As bactérias são organismos procarióticos unicelulares muito pequenos, que geralmente se reproduzem por fissão binária. As formas mais comuns desses organismos são bacilos, cocos e espirilos (TORTORA *et al.*, 1998). A maioria desses organismos não tolera pH acima de 9,5 ou abaixo de 4,0; sendo a faixa de pH ótimo entre 6,5 e 7,5 para o crescimento bacteriano (METCALF e EDDY, 1991). Quanto à nutrição, podem ser autótrofas (fotossintetizantes ou quimiossintetizantes) ou heterótrofas.

No processo de lodos ativados elas se dividem em bactérias não filamentosas e filamentosas (MENDONÇA *et al.*, 2002):

##### ○ bactérias não filamentosas

Os principais gêneros são: *Bacillus*, *Aerobacter*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Citromonas* e *Zooglea*. A bactéria *Zooglea ramigera*, em particular, tem especial importância devido a formação de uma cápsula amorfa de muco que envolve as suas células. O crescimento excessivo desta bactéria leva à formação de flocos volumosos e de consistência gelatinosa que sedimentam mal. Esse fenômeno é conhecido como intumescimento não filamentoso ou *bulking zooglear*.

##### ○ bactérias filamentosas

São bactérias que se apresentam unidas entre si, formando filamentos, estão presentes no processo de lodos ativados no interior dos flocos formando a macroestrutura. Sua presença contribui para uma boa eficiência do processo, já que possui alta capacidade de consumir matéria orgânica e, conseqüentemente produzir um efluente final de boa qualidade. Os microrganismos filamentosos mais freqüentes em lodos ativados são: *Sphaerotilus natans*, *Thiothrix*, *Beggiatoa*, *Microthrix parvicella*, *Nocardia*, entre outras.

O crescimento excessivo de bactérias filamentosas, com aumento dos filamentos de forma que se estendam para fora do floco causam problemas na sedimentação. Esse fenômeno é conhecido como *intumescimento filamentoso do lodo*.

Dentre as principais bactérias heterótrofas freqüentemente presentes em sistemas de lodos ativados, são citadas as dos gêneros *Achromobacterium*, *Chromobacterium* e *Pseudomonas*, e como formadoras de flocos, a *Zooglea* é freqüentemente observada (JENKINS *et al.*, 1993 *apud* MENDONÇA, 2002).

Com relação aos microorganismos filamentosos, o mais comumente encontrado é o do gênero *Sphaerotilus*, mas também se observam os dos gêneros *Thiothrix*, *Beggiatoa* e *Nocardia* (CETESB, 1989). Segundo Tomei *et al.* (1999) *apud* Mendonça (2002), a ocorrência de *Thiothrix* sp em sistemas de lodos ativados pode estar relacionada com a presença de ácidos orgânicos de cadeia curta e de sulfetos. *Thiothrix* sp tem a capacidade de crescer autotrófica, heterotrófica ou mixotroficamente, sugerindo que essa bactéria tem vantagem importante na competição bacteriana.

Em sistemas de lodos ativados, quando organismos filamentosos dominam a competição entre as espécies, é formada uma microestrutura filamentosa, reduzindo a sedimentabilidade dos flocos. Este fenômeno, conhecido como intumescimento ou *bulking* do lodo, é o problema complexo que atinge de 20 a 40% das estações de tratamento (PUJOL e CANLER, 1992 *apud* MENDONÇA, 2002). Os microorganismos filamentosos também podem causar formação de espuma em sistemas biológicos. Dentre esses filamentos, os mais comumente observados são *Nocardia spp*, *Microthrix parvicella* e raramente o *Tipo 1863* (RICHARD, 1989 *apud* MENDONÇA, 2002).

Os principais efeitos do bulking e formação de espuma em ETEs italianas, investigadas por Madoni *et al.*, (2000) *apud* Mendonça, (2002) foram: deterioração na qualidade do efluente, devido à perda de lodo; dificuldade de recirculação do lodo por causa do aumento do volume do lodo; dificuldade de manter adequada concentração de lodo no tanque de aeração.

Wanner *et al.* (1998), *apud* Mendonça, (2002), estudando problemas associados ao crescimento excessivo de filamentos em sistemas de lodos ativados concluíram que, flocos de melhor qualidade eram mais importantes para a sedimentação que ausência de filamentos.

Formatado: Português

Os principais motivos para o aparecimento de filamentos em sistemas aeróbios são escassez de nutrientes, baixa concentração de OD, baixa carga orgânica, elevada concentração de compostos de baixo peso molecular, presença de compostos reduzidos de enxofre, dentre outros (JENKINS *et al.*, 1993; EIKELBOOM, 2000 *apud* MENDONÇA, 2002).

## • Fungos

Os fungos são organismos eucariontes unicelulares ou multicelulares, não-fotossintéticos e heterótrofos, sendo sua maioria aeróbios estritos. A sua reprodução pode ser sexuada ou assexuada, sendo realizada normalmente pela formação de esporos ou de conídios. Muitas espécies podem crescer em ambientes extremos de baixo pH ou elevada temperatura (BRANCO, 1986; TORTORA *et al.*, 1998; MADIGAN *et al.*, 2000). O pH ótimo para a maioria das espécies é 5,6, tendo intervalo de variação entre 2 e 9 (METCALF e EDDY, 1991).

Os fungos não são muito comuns em lodos ativados, podendo predominar quando há acentuada queda de pH e deficiência de nitrogênio, sendo tão eficazes

quanto as bactérias na estabilização da matéria orgânica mas, por serem filamentosos, podem levar o sistema ao *bulking* quando presentes em grande número. Dentre os mais encontrados, destacam-se *Geotrichum*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Cladosporium*.

### ● Protozoários

Os protozoários são protistas microscópicos móveis, geralmente unicelulares e aeróbios heterótrofos, embora poucos sejam anaeróbios. Geralmente são maiores que as bactérias e atuam como organismos indesejáveis nos efluentes dos processos biológicos de tratamento de águas residuárias, pois consomem bactérias e matéria orgânica particulada (METCALF e EDDY, 1991).

A forma das células é bastante variada, sendo as mais comuns: a esférica, a oval, a alongada ou a achatada. São tipicamente translúcidos (transparentes), mas algumas espécies podem apresentar coloração devido a ingestão de alimento, material de reserva ou pigmento (clorofila). Alimentam-se de bactérias, outros protozoários e de matéria orgânica dissolvida e particulada.

Os protozoários podem ser subdivididos em grupos de acordo com o tipo de organela utilizada para a locomoção e captura de alimentos:

#### ○ Ciliados

Possuem cílios que são organelas curtas e numerosas em forma de fio, que se projetam da parede da célula. Os cílios encontram-se arranjados em sentido longitudinal, diagonal e oblíquo, apresentando movimentos ondulatórios e coordenados ao longo da célula. (corpo), utilizados tanto para locomoção como para obtenção de alimento.

Podem ser agrupados em:

- **livres nadantes:** são os ciliados que possuem cílios distribuídos regularmente por toda a célula e nadam livremente entre os flocos presentes .
- **predadores de flocos:** são microrganismos cuja célula é achatada dorso ventralmente. Seus cílios são modificados e agrupados na parte que fica em contato com o substrato. Retiram seu alimento dos flocos pelo batimento dos cílios ventrais sobre o sedimento.
- **fixos ou pedunculados: podem ser isolados ou coloniais.** Estão ligados ao substrato por um pedúnculo e, seus cílios encontram-se concentrados na região anterior próxima a *boca*. O batimento destes cílios cria uma corrente de água que capta o alimento do meio circundante.

Possuem uma fase larval livre nadante. Algumas espécies possuem estruturas semelhantes a *espinhos* no lugar dos cílios. Estas estruturas são responsáveis pela captura passiva de presas que, por descuido, as tocam. Alguns gêneros são providos de uma organela contrátil conhecida por mionema, que se localiza no interior do pedúnculo. Esta organela permite ao ciliado “fugir” de predadores através de sua rápida e eficiente contração.



No lodo ativado, encontram-se dois grupos principais: os ciliados livres, que se locomovem livremente pelo lodo e alimentam-se de matéria orgânica, e os ciliados fixos, que ficam aderidos ao floco por uma haste (pedúnculo), alimentando-se de partículas em suspensão contribuindo para a remoção da turbidez do efluente final (MENDONÇA, 2002).

#### ○ Flagelados

Os flagelados são dotados de estrutura semelhante a um chicote, chamado flagelo, que são organelas em forma de filamento alongado pouco numerosos, que se projetam de pontos específicos da célula (geralmente na parte anterior). Executam movimento ondulatório na água, propelindo a célula para o próprio lado ou para o lado oposto da inserção do flagelo - utilizado para locomoção. Alimentam-se de matéria orgânica particulada e dissolvida.

Sob condições adversas, o flagelo pode se perder, mas sua regeneração ocorre prontamente. São subdivididos em dois grupos: *fitoflagelados* e *zooflagelados*.

Os protozoários freqüentemente encontrados nos sistemas de lodos ativados são dos gêneros *Paramecium*, *Vorticella*, *Aspidisca*, *Bodo*, *Amoeba*, dentre outros (CETESB, 1986). Segundo WEF (1990) *apud* Mendonça, (2002), aproximadamente 5% da biomassa de sistemas de lodos ativados é constituída por protozoários e metazoários, que representam cerca de 50.000 organismos/mL.

A caracterização da comunidade de protozoários presentes no tanque de aeração do sistema de lodos ativados é uma ferramenta bastante útil para o monitoramento do tratamento biológico de esgoto (NICOLAU *et al.*, 2001) sendo que, a predominância de ciliados pedunculados (fixos) e ciliados livres, indica boas condições de depuração do sistema, operação estável e formação de flocos com boas características de sedimentabilidade (CETESB, 1989 e JENKINS *et al.*, 1993).

#### ● Amebas

As amebas, assim como os ciliados, alimentam-se de partículas e bactérias. De acordo com a espécie, as amebas indicam a qualidade do efluente final e se está ou não ocorrendo nitrificação (conversão da amônia em nitrato).

Locomovem-se através de organelas transitórias, os pseudópodes, que são simplesmente prolongamentos do protoplasma, formados em qualquer ponto da célula. Geralmente são transparentes e não possuem forma bem definida.

Nas espécies que apresentam carapaça, a forma varia de arredondada a globosa e podem apresentar coloração parda quando ocorre impregnação por sais de ferro. A carapaça pode ser secretada pela própria ameba ou ser formada de partículas retiradas do meio. Podem ser de natureza calcária, silicosa ou orgânica.

As amebas são microrganismos lentos e sua visualização muitas vezes fica comprometida, pois podem ser confundidas com os flocos aos quais se ligam. A forma estrelada adotada por muitas espécies está relacionada com o *stress* sofrido quando da manipulação da amostra em que se encontra (MENDONÇA, 2002).

- **Algas**

Embora não seja o ambiente propício para o crescimento devido à ausência de luz provocada pela turbidez do meio, algumas algas podem estar presentes em sistemas de lodos ativados.

Apesar de desempenharem um papel significativo em lagoas de estabilização, pouco se sabe da sua contribuição em processos de lodos ativados. Muitas vezes sua presença está associada a uma diminuição na quantidade de sólidos no meio ou a existência de um pré-tratamento do qual se desprende. As algas presentes em esgotos são as mesmas que comumente habitam águas poluídas (MENDONÇA, 2002).

- **Metazoários**

Em contraste com as bactérias e os protozoários, os metazoários (*rotíferos*, *nematóides* e *anelídeos*) são organismos pluricelulares. O tipo de sua reprodução depende das condições do ambiente em que estão presentes, podendo ser sexuada, assexuada ou alternância (WEF, 1990 *apud* MENDONÇA, 2002).

Os *rotíferos* são o tipo de metazoários mais freqüentes no processo de lodos ativados. São organismos aeróbios, heterótrofos e multicelulares, muito eficientes no consumo de bactérias dispersas e aderidas a flocos e de pequenas partículas de matéria orgânica. Sua presença no efluente final indica processo aeróbio de purificação biológica muito eficiente (METCALF e EDDY, 1991).

Os *nematóides* são vermes alongados, aeróbios, heterótrofos, multicelulares, não apresentam segmentação ao longo do corpo e geralmente possuem reprodução sexuada (BRANCO, 1986). Segundo Eikelboom (2000), ainda não se sabe se esses metazoários podem ser utilizados como indicadores das condições do processo e são regularmente encontrados em sistemas de lodos ativados com baixa carga orgânica.

Os *anelídeos* são vermes alongados, aeróbios, multicelulares e de reprodução geralmente sexuada. Podem ser observados segmentos ou anéis articulados em toda sua extensão. São os metazoários menos freqüentes em lodos ativados (BRANCO, 1986 *apud* MENDONÇA, 2002).

## 4.5 Características dos flocos em sistema de lodos ativados

### 4.5.1 Formação dos Flocos

Particularmente no processo de tratamento por lodos ativados, inclusive variantes, microrganismos heterótrofos<sup>1</sup> além de estabilizarem a matéria orgânica, também têm a facilidade de se organizarem em uma unidade estrutural mais ampla,

---

<sup>1</sup> Organismos Heterótrofos são organismos que utilizam como fonte de carbono a matéria orgânica.

conhecida como floco. O aspecto morfológico do floco depende da estrutura das populações microbianas e das condições nutricionais do meio, cuja distribuição espacial e temporal influenciará a tendência, por parte dos microrganismos, de se aderirem uns às interfaces dos outros ou permanecerem livres e dispersos (Gaspar, 2003).

Para Von Sperling (1996b), o floco apresenta uma estrutura heterogênea que contém material orgânico adsorvido, material inerte dos esgotos, material microbiano produzido para a matriz, células vivas e mortas. Seu tamanho é regulado pelo balanço entre as forças de coesão e as tensões de cisalhamento causadas pela aeração artificial e agitação. Dentre os microrganismos componentes do floco podem ser encontrados bactérias, protozoários, fungos, rotíferos, nematóides e, ocasionalmente, larvas de insetos. Especificamente, o floco do lodo ativado é constituído por fragmentos orgânicos não digeridos, fração inorgânica (grão de areia), células mortas e, principalmente, uma grande variedade de bactérias do gênero: *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Citromonas*, *Zooglea*, além de várias bactérias filamentosas, como por exemplo, *Nocardia sp*, *Sphaerothilus natans*, *Biggiatoa*, *Microthrix*, *Thiothrix*, entre outras (Figueiredo (1995) *apud* Gaspar (2003)).

A formação dos flocos em tratamento com lodos ativados permite que haja a separação deste do meio líquido por simples mecanismos físicos de decantação. Tal aspecto propicia a clarificação do efluente final devido ao papel fundamental desempenhado por esses microrganismos no processo de remoção da matéria orgânica (VON SPERLING, 1996b). Segundo Mendonça (2002), flocos robustos e compactos são preferíveis em tratamento por lodos ativados, pois sedimentam rapidamente e, conseqüentemente, acarretam melhor qualidade ao efluente.

#### 4.5.2 Classificação dos Flocos

Para o bom desempenho de um sistema de lodos ativados é fundamental que a separação entre o lodo e a fase líquida que ocorre no decantador secundário, seja rápida e eficiente. Os lodos mais freqüentemente encontrados em sistemas de lodos ativados podem ser classificados como:

- *lodos onde predominam flocos com características adequadas:* caracterizadas pela presença de bactérias formadoras de flocos (microestrutura) e bactérias filamentosas (macroestrutura) em equilíbrio, propiciando a formação de flocos grandes e com boa resistência mecânica;

- *lodos onde predominam flocos com características inadequadas:* caracterizados pela presença excessiva ou pela quase ausência de macroestrutura (filamentos).

No primeiro caso, há excesso de bactérias filamentosas que ultrapassam os limites dos flocos, prejudicando a sedimentação e compactação dos mesmos, levando ao intumescimento do lodo (*bulking* filamentoso); no segundo caso, não há quantidade suficiente de bactérias filamentosas formando a macroestrutura dos flocos, resultando em flocos de dimensões muito pequenas que ficam dispersos na fase líquida (*pin-point*). (MELCHIOR, *et. al*, 2003).

## 4.6 Relação entre os microrganismos e o desempenho do sistema de lodos ativados

Segundo Mendonça (2002), alguns microrganismos são considerados indicadores das condições de depuração do sistema de tratamento de esgoto sanitário pelo processo de lodos ativados, sendo que a identificação do grupo dominante, da diversidade e da densidade microbiana da biota do lodo permite diagnosticar o estado de funcionamento do processo (MADONI, 1994; CETESB, 1989 *apud* MENDONÇA, 2002). Estudos de comunidades microbianas complexas com aplicação de técnicas moleculares *in situ*, têm mostrado que a diversidade microbiana em sistemas de lodos ativados é bastante elevada (Amann *et al.* (1995) *apud* Mendonça (2002)).

Para Nelson e Lawrence (1980) *apud* Mendonça, (2002), a percentagem de microrganismos viáveis influencia na determinação de valores dos coeficientes cinéticos e é dependente do tempo de retenção celular ( $\theta_c$ ) do processo, em culturas de crescimento lento, como, por exemplo, em sistemas de lodos ativados. Também exames microscópicos do lodo de sistemas de lodos ativados podem ajudar a avaliar a condição da biomassa e da sedimentabilidade do lodo do tanque de aeração, colaborando para a identificação de bactérias filamentosas que podem causar problemas na estação de tratamento (WISCONSIN, 1997 *apud* MENDONÇA, 2002).

Na Tabela 4.6, estão apresentados os principais microrganismos indicadores das condições de depuração presentes no lodo, correlacionando-se com as características do processo e, na Tabela 4.7, a relação entre a presença de grupos dominantes na microbiota do processo de lodos ativados e o desempenho do sistema de lodos ativados do esgoto sanitário.

**Tabela 4.6 – Microrganismos indicadores das condições de depuração**

Microorganismo	Característica do processo
Predominância de flagelados e rizópodes	Lodo jovem, característico de início de operação ou idade de lodo baixa.
Predominância de flagelados	Deficiência de aeração, má depuração e sobrecarga de matéria orgânica.
Predominância de ciliados pedunculares e livres	Boas condições de depuração
Predominância de <i>Arcella</i> (rizópode com teça)	Boa depuração
Predominância de <i>Arpdisca costata</i> (ciliado livre)	Nitrificação
Presença de <i>Trachelophyllum</i> (ciliado livre)	Idade de lodo elevada
Presença de <i>Vorticella micróstoma</i> (ciliado peduncular) e baixa concentração de ciliados livres	Efluente de má qualidade
Predominância de anelídeos do gênero <i>Aelosoma</i>	Excesso de oxigênio dissolvido
Predominância de filamentos	Intumescimento do lodo ou <i>bulking</i> filamentoso*

\*Para caracterizar o intumescimento do lodo é necessário avaliar os flocos

Fonte: CETESB (1998); Adaptado da CETESB - Microbiologia dos Lodos Ativados, 1992

Tabela 4.7 – Relação entre a presença de grupos dominantes na microbiota do processo de lodos ativados e o desempenho do sistema

Grupo dominante	Desempenho	Possíveis causas
Flagelados pequenos	Baixo	Deficiência na aeração do lodo; sobrecarga; presença de substâncias fermentativas.
Ciliados nadantes pequenos	Mediano	Baixo tempo de retenção celular; deficiência na aeração do lodo.
Ciliados nadantes grandes	Mediano	Sobrecarga; deficiência na aeração do lodo.
Ciliados rastejantes (livres)	Bom	
Ciliados pedunculares e rastejantes (livres)	Bom	
Ciliados pedunculares	Decrescendo	Fenômeno transiente (carga descontínua, descarte recente de lodo).
Amebas pequenas e flagelados	Pobre	Alta carga de composto de difícil degradação
Tecameba	Ruim	

Fonte: MANDONI (1986; 1988 modificado) *apud* MENDONÇA, (2002)

Segundo Madoni (1994) *apud* Mendonça, (2002), análises rotineiras da microbiota como indicadores do desempenho de sistemas de lodos ativados têm-se tornado comuns. Essas análises fornecem informações úteis sobre a atividade biológica do lodo, baseada nos microorganismos presentes, podendo avaliar a qualidade do efluente e o desempenho da estação. Segundo esses autores há escassez de dados que associam mudanças na microbiota com alterações nas condições de operação do sistema de tratamento, em particular a idade do lodo, nitrificação, relação A/M e oxigênio dissolvido.

Além das condições de operação, outros fatores podem influenciar na distribuição da microbiota no tanque de aeração, como as relações entre os organismos, incidência sazonal e composição do esgoto afluente.

Von Sperling (1996b) atenta para o fato de que boa parte do sucesso operacional do tratamento por lodos ativados depende do equilíbrio entre os organismos filamentosos e formadores de flocos. Outro aspecto importante, segundo o autor, é a taxa de remoção de substrato através da atividade da biomassa dispersa. Como esta possui uma densidade próxima à do esgoto, ambos se movem praticamente na mesma direção e velocidade dentro do tanque de aeração, a biomassa permanece exposta à mesma alíquota de líquido por um maior período de tempo, fazendo com que a concentração de substrato nos arredores da célula seja baixa, conseqüentemente, a atividade bacteriana e a taxa de remoção de substrato são mais baixas. Considerando-se, então, esta dependência entre a concentração

do substrato e a atividade microbiana, evidencia a importância do nível de mistura do tanque de aeração.

A Tabela 4.8 indica a análise microbiana típica de um sistema por lodos ativado com esgoto doméstico.

Tabela 4.8 – Análise microbiana típica para um sistema de lodo ativado operando com esgoto doméstico.

<b>Grupo</b>	<b>Ordem de grandeza (org. /ml)</b>
Ciliados livres	$10^3$ a $10^4$
Ciliados pedunculados	$10^3$ a $10^4$
Rizópodes	$10^2$ a $10^4$
Flagelados	$10^2$ a $10^3$
Rotíferos	$10^2$ a $10^3$
Nematóides	$10^1$ a $10^2$
Anelídeos	$10^1$ a $10^2$

Fonte: Adaptado de CETESB - Microbiologia dos Lodos Ativados, 1992.

## 4.7 Relações entre os Microrganismos e os Nutrientes

### 4.7.1 Requisitos de nutrientes

Além do carbono, os microorganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica precisam de outros nutrientes para as suas atividades metabólicas, sendo os principais, o nitrogênio (N) e o fósforo (P), além de outros elementos em concentrações menores. Assim, para haver remoção do carbono orgânico pelo sistema de tratamento é necessário que este seja o nutriente limitante no meio e, os demais estejam presentes em concentrações superiores, às mínimas requeridas pelos microorganismos. Esta condição é geralmente satisfeita nos esgotos domésticos (VON SPERLING, 2002).

Segundo Metcalf e Eddy (1991), a quantidade de N e P requerida depende da composição da biomassa. Esta composição contém aproximadamente 12,3% de nitrogênio e 2,6% de fósforo.

O nitrogênio, para que seja utilizado pelos microorganismos, deve estar presente numa forma assimilável por estes, como amônia e nitrato. O nitrogênio

orgânico deve, primeiramente, sofrer hidrólise para tornar-se disponível para a biomassa (VON SPERLING, 2002).

#### 4.7.2 Remoção Biológica de Nitrogênio

Segundo Sedlak (1991) e Rusten *et al.* (1995), a remoção biológica do nitrogênio da água residuária envolve três processos básicos: assimilação, nitrificação e desnitrificação.

##### ■ Nitrificação

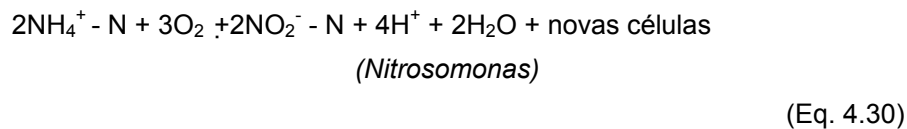
Nitrificação é a conversão da amônia a nitrato por meio de ação bacteriana, na presença de oxigênio dissolvido, sendo realizada em duas etapas: nitratação (oxidação da amônia a nitrito), seguido pela nitratação (oxidação do nitrito a nitrato). A energia é obtida através da oxidação de um substrato inorgânico, como amônia, e formas mineralizadas.

As bactérias nitrificantes são autótrofas quimiossintetizantes (ou quimioautótrofos), para as quais o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) é a principal fonte de carbono e a fonte de energia é obtida através da oxidação de compostos nitrogenados.

A nitrificação é efetuada por dois grupos de bactérias: o primeiro responsável pela oxidação de amônia a nitrito e o segundo responsável pela oxidação do nitrito a nitrato.

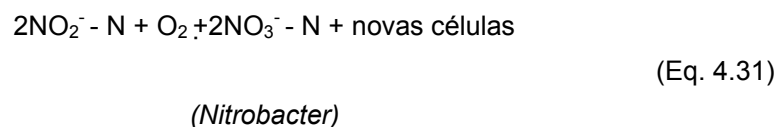
As mais conhecidas as do gênero *Nitrosomonas*, porém Abreu (1994) *apud* Mendonça, (2002) apresenta outros gêneros como as *Nitrosocystis*, *Nitrospira*, *Nitrosogloea*, *Nitrosovibrio*, *Nitrosococcus* e *Nitrosolobus*.

A transformação da amônia em nitritos se dá, de acordo com a seguinte reação:



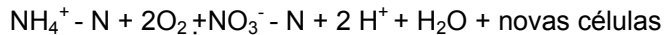
As bactérias mais conhecidas envolvidas na nitratação são as *Nitrobacter*, mas Abreu (1994) *apud* Mendonça, (2002) apresenta ainda as *Nitrocystis*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus*, *Bactoderma* e *Microderma*.

A oxidação de nitritos a nitratos pode ser expressa por:



A predominância de uma ou outra bactéria dependerá das condições ambientais e nutricionais disponíveis no meio.

A reação global da nitrificação é a soma das equações:



(Eq. 4.32)

Nas reações, devem ser observados os seguintes pontos:

- Consumo de oxigênio livre. Este consumo é geralmente referido como demanda nitrogenada;
- Liberação de  $\text{H}^+$ , consumindo a alcalinidade do meio e possivelmente reduzindo o pH.

Segundo Mendonça (2002), diversos são os fatores que influenciam a nitrificação, dentre os quais podem ser citados:

- **Relação C/N (carbono/nitrogênio)**: a fração de organismos nitrificantes decresce à medida que a relação C/N cresce (ABREU,1994; METCALF e EDDY,1991).

A Tabela 4.9 apresenta a relação entre a fração de organismos nitrificantes e a razão DBO/NTK. Em processos combinados de remoção de carbono e nitrogênio essa relação é maior que 5 e, em processos de nitrificação em estágios separados essa relação é menor que 3.

Tabela 4.9- Relação entre a fração de organismos nitrificantes e a razão DBO/NTK

DBO/NTK	Fração Nitrificante	DBO/NTK	Fração Nitrificante
0,5	0,35	5	0,054
1	0,21	6	0,043
2	0,12	7	0,037
3	0,083	8	0,033
4	0,064	9	0,029

Fonte: METCALF e EDDY (1991)

A influência da relação C/N na fração nitrificante foi confirmada por Urbain *et al.* (1998), concluindo que, devido a elevadas razões de DBO/NTK no afluente do sistema de lodos ativados, o percentual de bactérias nitrificantes foi bastante reduzido. Os autores observaram relação entre idade do lodo ( $\theta_c$ ), a razão DBO/NTK e a porcentagem entre bactérias nitrificantes e heterótrofas, como pode ser verificada na Tabela 4.10. Entretanto, a fração nitrificante foi superior ao valor apresentado por Metcalf e Eddy (1991).



Tabela 4.10- Relação entre  $\theta_c$ , DQO/NTK e bactérias nitrificantes/heterótrofas.

Relações	Idade do Lodo		
	$\theta_c = 5$ dias	$\theta_c = 10$ dias	$\theta_c = 20$ dias
DQO/NTK	7,2	7,5	7,8
Nitrificantes/heterótrofas (%)	5,3	6,6	12,1

Fonte: URBAIN *et al.* (1998) *apud* MENDONÇA, (2002)

- **pH e concentração de amônia:** Os valores ótimos de pH para as *Nitrossomas* e *Nitrobacter* se encontram na faixa de 7 a 9. O valor de pH influencia na concentração do íon amônio, afetando a nitrificação. O íon amônio e ácido nitroso não dissociado são tóxicos para bactérias nitrificantes, a partir de certos valores (Abreu, 1994 *apud* MENDONÇA, 2002);
- **Oxigênio dissolvido (OD):** O oxigênio dissolvido é utilizado pelas bactérias nitrificantes nas reações de oxidação. De acordo com Von Sperling (2002), no tratamento biológico aeróbio, o oxigênio deve ser fornecido para atender às seguintes demandas:
  - Oxidação da matéria orgânica carbonácea;
  - Oxidação do carbono orgânico para fornecer energia para a síntese bacteriana;
  - Respiração endógena das células bacterianas;
  - Nitrificação: processo que corresponde à oxidação da amônia a nitrito e, de nitrito a nitrato.

Com relação, à demanda de oxigênio para a nitrificação, o referido autor cita que o nitrogênio orgânico, também presente no esgoto bruto, não sofre nitrificação diretamente, sendo convertido, inicialmente, a amônia para, posterior nitrificação. Desta maneira, considera-se que o nitrogênio orgânico e o amoniacal consomem oxigênio no processo de nitrificação.

O NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl) é definido pela soma do nitrogênio orgânico e do nitrogênio amoniacal. Estequiometricamente tem-se que 1 g NTK requer 4,57 g O<sub>2</sub> para a conversão a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

O processo de desnitrificação, através do qual os nitratos são reduzidos a nitrogênio gasoso, requer como condição fundamental para sua ocorrência, a presença de condições anóxicas.

Na Tabela 4.11, estão apresentados os valores dos parâmetros referentes ao sistema de aeração para o sistema de lodos.

Tabela 4.11 – Parâmetros relacionados ao sistema de aeração para o sistema de lodos ativados

Parâmetro	Unidade	Valor
Requisitos médios de O <sub>2</sub> – demanda carbonácea	Kg O <sub>2</sub> / kg DQO	0,35 – 0,45
Requisitos médios de O <sub>2</sub> – demanda carbonácea	Kg O <sub>2</sub> / kg DBO	0,9 – 1,20
Requisitos médios de O <sub>2</sub> – demanda nitrogenada	Kg O <sub>2</sub> / kg NTK	3,8 – 4,3
Requisitos médios de O <sub>2</sub> – demanda nitrogenada	Kg O <sub>2</sub> / kg N (disponível)	4,6
Fator de correção: $\frac{\text{consumo O}_2 \text{ padrão}}{\text{consumo O}_2 \text{ campo}}$	-	1,5 – 1,8

Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2002.

- **Alcalinidade:** Para cada mg/l de N<sub>amon</sub> removido (nitrogênio amoniacal), são consumidos 7,14 mg/l de alcalinidade a CaCO<sub>3</sub> (METCALF e EDDY, 1991). Deve-se, portanto, manter a alcalinidade no sistema em valores que assegure pH estável, de modo a favorecer a nitrificação.
- **Substâncias inibidoras:** Hagopian e Riley (1998) *apud* Mendonça, (2002) apresentam diversas substâncias que podem causar inibição à atividade e crescimento de bactérias nitrificantes, podendo-se citar: acetileno, gás amoníaco, ácido nitroso, cloreto de sódio, dentre outros. Em sua maioria, as bactérias nitrificantes autótrofas apresentam baixa velocidade de crescimento e baixo rendimento celular (ABREU, 1994 *apud* MENDONÇA, 2002).

Segundo Mendonça (2002), há ainda diferença na velocidade de crescimento entre os gêneros *Nitrossomas* e *Nitrobacter*, por exemplo. As *Nitrobacter* têm crescimento mais lento que as *Nitrossomas*. Sob condições ideais, o tempo de geração das bactérias do gênero *Nitrossomas* é de 8h, enquanto que o das bactérias *Nitrobacter* é de 10h (MADIGAN *et al.*, 2000).

Assim, no dimensionamento de reatores que removem nitrogênio, devem ser dadas as condições mais favoráveis ao desenvolvimento dos organismos de crescimento mais lento, garantindo a eficiência do processo de nitratação.

O sistema de lodos ativados é capaz de produzir, sem alterações de processo, conversão de amônia para nitrato (nitrificação). Neste caso, há a remoção de amônia, mas não do nitrogênio, pois há apenas uma conversão da forma de nitrogênio. Em regiões de clima quente, a nitrificação ocorre quase que sistematicamente, a menos que haja algum problema ambiental no tanque de aeração, como falta de oxigênio dissolvido, baixo pH, pouca biomassa ou a presença de substâncias tóxicas ou inibidoras.

Em processos de lodos ativados em que ocorre a nitrificação, é interessante que ocorra a desnitrificação no tanque de aeração do sistema.

## ■ Desnitrificação

A desnitrificação é o processo de remoção de nitrogênio por meio da redução do nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ), realizada biologicamente sob *condições anóxicas*, ou seja, em condições de ausência de oxigênio dissolvido na forma molecular, mas com a presença de nitratos. Nestas condições, um grupo de bactérias utiliza nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) no seu processo respiratório, convertendo-os a nitrogênio gasoso ( $\text{N}_2$ ), que escapa para a atmosfera (MENDONÇA, 2002).

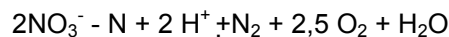
Por ser regido pela atuação de organismos heterótrofos, o processo de desnitrificação necessita de matéria orgânica, como fonte de carbono, para sua síntese celular. Essa fonte de carbono pode ser fornecida por fontes internas (esgoto ou material celular) ou externas (metanol, por exemplo) (METCALF e EDDY, 1991).

Para ocorrer a desnitrificação no processo de lodos ativados, são necessárias modificações no processo, incluindo a criação de zonas anóxicas e, possíveis recirculações internas.

A desnitrificação é uma reação importante nos tratamentos de esgotos, pois a remoção biológica do nitrogênio melhora a qualidade do efluente dos sistemas de tratamentos das águas residuárias, eliminando um agente causador de eutrofização dos corpos receptores (MENDONÇA, 2002)

### ○ *Reação de Desnitrificação*

A reação de desnitrificação, ou de redução de nitratos, ocorre em condições anóxicas, através da atuação das bactérias *Pseudomonas sp.*



*Pseudomonas sp.*

(Eq. 4.33)

## 4.8 Influência da temperatura no processo de oxidação da matéria orgânica

As taxas de oxidação das matérias carbonácea e nitrogenada são afetadas pela temperatura que tem uma grande influência no metabolismo microbiano.

Segundo Von Sperling (2002), geralmente, a maioria das reações químicas e biológicas aumentam com a temperatura. Já as taxas de reações biológicas tendem a aumentar até uma certa temperatura ótima que, se ultrapassada, provoca decréscimos nestas taxas, devido provavelmente, à destruição de enzimas em temperaturas mais elevadas. Assim, a faixa de temperatura apresenta-se como um importante fator seletivo da biomassa (Tabela 4.12).

Tabela 4.12 – Faixas de temperatura para o desenvolvimento ótimo das bactérias

Tipo	Temperatura (°C)	
	Faixa	Ótimo
Psicrofílicas	-10 a 30	12 a 18
Mesofílicas	20 a 50	25 a 40
Termofílicas	35 a 75	55 a 65

Fonte: METCALF e EDDY (1991).

## 4.9 Monitoramento e controle operacional de sistema de lodos ativados

### 4.9.1 Controle operacional, monitoramento e qualificação da mão-de-obra envolvida.

A operação cotidiana de uma estação de tratamento de esgotos deve incluir atividades orientadas no sentido de atender aos requisitos de desempenho esperados para o sistema de tratamento.

Além das atividades relativas à operação de equipamentos mecânicos, elétricos e eletrônicos, o controle dos parâmetros relativos ao processo de tratamento tem importância central por levarem a uma melhoria das condições operacionais da estação de tratamento, objetivando a redução dos custos operacionais e o atendimento aos padrões de lançamento do efluente conforme definido pela legislação ambiental.

A determinação de melhores rotinas para descarte e desaguamento de lodo excedente, operação de limpeza das unidades de gradeamento e desarenação, identificação dos pontos com ocorrência de maus odores (pré-tratamento, elevatória e leitos de secagem) são alguns aspectos que se destacam para que, o controle operacional apresente-se como uma ferramenta útil na identificação de boas técnicas e rotinas, favorecendo a melhoria da saúde e segurança dos trabalhadores, uma vez que, os riscos à saúde são motivos de preocupação nas estações de tratamento de esgotos, pois, doenças ocupacionais redundam no sofrimento e perda de recursos humanos que, por sua vez, causam um efeito negativo na eficiência do tratamento, na moral dos empregados, nas relações públicas e nos custos (CHERNICHARO *et al.*, 1999).

Três elementos principais devem ser incorporados em um bom programa de saúde e segurança dos trabalhadores (USEPA, 1982; WEF, 1992 *apud* CHERNICHARO *et al.*, 1999):

- Política definida de saúde e segurança: incorpora as bases do programa em si. Deve existir apoio por parte das instâncias superiores, através de ações visíveis e recursos financeiros;

- Comissão de saúde e segurança do trabalho: representantes da gerência, supervisões e trabalhadores devem compor a comissão cujas tarefas específicas a serem desempenhadas são:
  - Condução do programa de saúde e segurança dos trabalhadores;
  - Realização de inspeções;
  - Sugestão e fornecimento de treinamento;
  - Comando de investigações sobre acidentes;
  - Manutenção dos registros; e,
  - Desenvolvimento de um manual de saúde e segurança.
- Treinamento de saúde e de segurança: é necessário, inicialmente, o engajamento dos supervisores, através de seu interesse e suas atitudes que possibilitem conhecer e entender as formas de prevenção de acidentes e doenças operacionais. Novos empregados devem ser inseridos no programa de saúde e segurança assim como os empregados devem receber treinamento sempre que novos equipamentos ou processo forem incorporados a ETE.

Chernicharo *et al.* (1999) citam, além da operação e da manutenção, a informação como uma das principais atividades de controle de sistemas de tratamento. É através desta que ocorrerá a comunicação, preferencialmente por escrito, entre as diferentes pessoas envolvidas, criando-se, simultaneamente, um arquivo referente à operação e à manutenção do sistema de tratamento.

Os autores sugerem que o programa de monitoramento do sistema deve abranger os aspectos pertinentes à operação do sistema de tratamento contemplando, no entanto, a realidade local e a disponibilidade de recursos humanos e materiais.

Neste contexto, destacam-se como importantes o desenvolvimento de análises microbiológicas e físico-químicas e o levantamento de informações referentes ao funcionamento do sistema.

De acordo com Von Sperling (2002), os principais problemas operacionais relativos ao sistema de lodos ativados referem-se à elevação da concentração de sólidos em suspensão, DBO e amônia no efluente final.

É necessário o treinamento em microbiologia dos lodos ativados destinado à formação e capacitação dos técnicos responsáveis pela manutenção das estações de tratamento de esgotos por lodos ativados. Paralelamente devem ser desenvolvidas pesquisas nas próprias estações para auxiliar na resolução de problemas operacionais do tratamento (CUTOLO *et al.*, 2000).

De acordo com Silva, *et al.*, (2004) levando-se em consideração a análise de parâmetros operacionais do tanque de aeração, tais como oxigênio dissolvido, pH, temperatura, índice volumétrico, idade do lodo, relação alimento/microorganismo, constituição da microfauna do lodo do tanque de aeração, é possível sugerir alterações em parâmetros operacionais, garantindo um efluente de qualidade.

O conceito de monitoramento de esgotos pode ser ampliado e não se limitar apenas em verificar se os padrões legais estão sendo obedecidos.

#### 4.9.2 Parâmetros de monitoramento e controle operacional

Segundo Mendonça (2002), para proporcionar condições adequadas à microbiologia envolvida no tratamento de esgoto sanitário, devem ser observados fatores ambientais, como pH, temperatura, demanda nutricional, concentração de substrato e parâmetros de projeto como idade do lodo, tempo de detenção hidráulica e relação A/M. A autora complementa que as características morfológicas dos flocos são afetadas pelas condições operacionais do sistema de lodos ativados. Estas características, por sua vez, estão relacionadas à decantação do efluente e, portanto, à qualidade do efluente.

Dentre os vários fatores que influenciam o tamanho e a estrutura dos flocos de lodos ativados, destacam-se:

- Idade do lodo: quanto mais elevada a idade, maiores e mais densos serão os flocos;
- Concentração de nutrientes: esgoto rico em nitrogênio acarreta floco mais denso;
- Mistura no tanque de aeração: elevada intensidade de mistura pode causar a quebra da estrutura dos flocos e, conseqüentemente má decantabilidade;
- Concentração de oxigênio dissolvido: em baixas concentrações, induz à proliferação de microrganismos filamentosos e, conseqüentemente, má decantabilidade; e,
- Tempo de detenção hidráulica: quanto maior, melhores são as características dos flocos.

Von Sperling (2002) distingue quatro tipos de variáveis envolvidas no processo de tratamento:

- Variáveis de entrada: são as que forçam o sistema e que não podem ser diretamente controladas na maioria das ETEs, como por exemplo, as características do afluente (vazão, DBO, etc);
- Variáveis de controle: são as que precisam ser controladas, como por exemplo, OD, SSTA e nível da manta de lodo;
- Variáveis medidas: são as variáveis de entrada, controle ou outras que, por sua vez, fornecem parâmetros que definirão a ação de controle;
- Variáveis manipuladas: são alteradas visando manter as variáveis de controle no nível desejado, sendo as principais, em sistemas de lodos

ativados o nível de aeração, a vazão de recirculação ( $Q_r$ ) e a vazão de lodo excedente ( $Q_{ex}$ ).

#### 4.9.2.1 Variáveis de controle operacional

- **Oxigênio dissolvido (OD)**

A demanda de oxigênio varia ao longo do dia, seguindo um certo padrão, mas sob o efeito, também, de componentes aleatórios. Se o oxigênio for fornecido a uma taxa constante, relativa à demanda média, em alguns períodos haverá sub ou super aeração.

Para evitar a condição de subaeração, geralmente, a taxa de transferência de oxigênio corresponde à demanda de pico o que, obviamente, conduz a períodos de superaeração durante o dia. A condição ideal é, então, que o fornecimento de oxigênio seja próximo de sua demanda (VON SPERLING, 2002).

As soluções convencionais para controlar o oxigênio dissolvido são:

- Variação em função da hora do dia: esta é uma solução simples, mas possui como limitação o fato de assumir que, as variações diurnas são as mesmas todos os dias;
- Variação em função da vazão afluente: há possibilidade de algumas distorções, pois a concentração de DBO não necessariamente varia proporcionalmente com a vazão;
- Variação por controle *feedback* do OD: neste caso, varia-se o coeficiente conforme a necessidade de aumento ou diminuição de OD. Como a dinâmica de OD é rápida, o mecanismo de feedback é uma forma adequada para o controle.

- **Sólidos suspensos no tanque de aeração (SSTA)**

O objetivo deste controle é manter sólidos suspensos no tanque de aeração (SSTA) constante. Em termos de DBO solúvel, no estado estacionário, o controle da concentração de SSTA através da retirada de lodo excedente equivale ao controle da relação A/M e da idade do lodo.

Todavia, o sistema opera quase sempre no estado dinâmico, graças à contínua variação das vazões e concentrações afluentes. A seleção do nível desejado de SSTA é fundamental para o sucesso do controle, existindo alguns aspectos críticos, a saber, (VON SPERLING, 2002):

- Se a concentração de sólidos em suspensão totais for mantida constante, o decantador secundário receberá uma carga variável de sólidos e, dependendo do nível de SSTA, esta oscilação pode prejudicar o desempenho do sistema em termos de sólidos em suspensão no efluente.
  - Se a concentração de sólidos em suspensão totais for muito elevada, a eficiência de remoção de DBO também pode aumentar, mas, por outro lado, pode causar um maior consumo de oxigênio dissolvido, diminuindo, conseqüentemente, sua concentração no tanque de aeração, a ponto de prejudicar a nitrificação.
- **Carga de lodo (relação A/M)**

O objetivo deste controle é manter a relação A/M constante visando garantir uma remoção de substrato uniforme. Embora este seja um parâmetro inicialmente adotado em projeto, é, freqüentemente ajustado durante a operação. No entanto, o controle da carga de lodo apresenta alguns problemas, descrito a seguir (VON SPERLING, 2002):

- A  $DBO_{5,20}$  não pode ser utilizada no controle como indicador do substrato, pelo tempo de 5 dias necessários para que os resultados de laboratório fiquem prontos;
- A unidade  $\text{dia}^{-1}$  é confusa para os operadores;
- A relação A/M é um parâmetro válido para condições estacionárias e são as condições dinâmicas que prevalecem em uma ETE;
- As possibilidades de controle instantâneo de A/M através da vazão de recirculação para alterar os níveis de SSTA são limitadas, graças à elevada massa de sólidos no tanque de aeração. Os efeitos seriam, portanto, em médio prazo.

A relação A/M está ligada à qualidade do efluente final apenas em termos de DBO solúvel. Portanto, um aumento no nível de SSTA visando manter A/M constante poderia causar uma sobrecarga de sólidos no decantador secundário, com perda de DBO particulada junto com o efluente que, teria, conseqüentemente, sua qualidade deteriorada.

- **Idade do lodo**

As maneiras clássicas para o controle da idade do lodo são o descarte da linha de recirculação de lodo e o descarte dos sólidos do tanque de aeração ou do seu afluente.

Existem problemas para o controle da idade do lodo, sendo um deles relacionado às condições dinâmicas que ocorrem em uma ETE, causando um desequilíbrio entre a massa de sólidos produzida diariamente e a massa de sólidos



descartada diariamente. Von Sperling (2002), descreve os demais problemas que envolvem este controle, a saber:

- O conceito de idade do lodo contempla apenas o substrato solúvel no tanque de aeração, não enfocando a DBO particulada efluente do sistema.
- A concepção do conceito de idade do lodo abrange a remoção da matéria carbonácea. No entanto, a idade do lodo das bactérias nitrificantes, cuja taxa de crescimento é bem lenta, é diferente da idade do lodo referente às bactérias heterotróficas responsáveis pela remoção da DBO.
- Este controle não considera a contribuição dos SS afluentes à etapa biológica que, por sua vez, podem alterar o balanço entre produção e descarte de sólidos.
- Este controle enfoca, apenas, o tanque de aeração, desconsiderando a etapa de decantação final e as suas implicações na qualidade do efluente final em termos de sólidos em suspensão e DBO particulada.

As principais limitações destes métodos de controle estão relacionadas ao fato de não integrarem o controle simultâneo do tanque de aeração e do decantador secundário além de não enfocarem, também de maneira simultânea, os objetivos de remoção da matéria carbonácea e nitrogenada.

A escolha do valor de SSTA,  $\theta_c$  ou A/M a ser mantido também enfrenta dificuldades, pois um determinado valor pode satisfazer certas condições e prejudicar outras (VON SPERLING, 2002).

#### 4.9.2.2 Variáveis manipuladas

- **Vazão de recirculação de lodo ( $Q_r$ )**

Esta variável controla o balanço entre a massa de SS no tanque de aeração e nos decantadores secundários, mantendo-a em uma relação especificada. Normalmente, é manipulada das seguintes maneiras (VON SPERLING, 2002):

- $Q_r$  constante: na verdade, esta é uma estratégia de não controle, mas exige que a vazão de recirculação seja alta o suficiente para compensar as oscilações na carga de sólidos que vai para os decantadores secundários, tanto em termos de SSTA, quanto de vazão.
- $Q_r$  proporcional à vazão afluente  $Q$ : esta estratégia, através da definição de uma relação  $Q_r/Q$  fixa, reduz a quantidade total de lodo a ser bombeado e proporciona um melhor balanceamento das cargas nos decantadores.

- $Q_r$  em função de IVL: um elevado valor deste parâmetro indica baixa decantabilidade do lodo e, eventualmente, a necessidade de aumentar a vazão de recirculação.
- $Q_r$  em função do nível da manta de lodo nos decantadores secundários: este método é o mais garantido para evitar a perda de sólidos no efluente. A sua adoção pode apresentar algumas dificuldades, mas aumentar ou diminuir a vazão de recirculação de acordo com a altura da manta de lodo é uma solução prática.

Por exemplo, se a manta atinge uma determinada altura elevada, a válvula de saída do lodo nos decantadores secundários é aberta, aumentando sua vazão. Este controle pode ser automatizado, através de um sensor que envia um comando para a válvula ou, manualmente, pelo operador.

- **Vazão de lodo excedente ( $Q_{ex}$ )**

Esta variável controla a massa total de sólidos em suspensão (SS) no sistema, mantendo-a em um valor determinado. Normalmente, esta manipulação é feita através do controle de sólidos em suspensão no tanque de aeração (SSTA), do controle da carga de lodo e do controle da idade do lodo (VON SPERLING, 2002).

### 4.9.3 Freqüência de monitoramento

Na Tabela 4.13 está apresentado um programa de monitoramento para sistema de lodos ativados, de acordo com a proposta de Von Sperling (2002), para estações típicas do sistema de lodos ativados em regime contínuo.

Tabela 4.13 – Programa de monitoramento para sistema de lodos ativados

Amostra			
Local	Parâmetro	Utilidade	Freqüência
Afluente ao tanque de aeração	DBO	AD	Semanal
	DQO	AD	Semanal
	SS	AD	Semanal
	SSV	AD	Semanal
	NTK	AD	Semanal
	PH	CP	Diária
	Alcalinidade	CP	Semanal
	Coliformes fecais	AD	Semanal
Efluente Primário	DBO	AD	Semanal
	DQO	AD	Semanal
	SS	AD	Semanal
Tanque de Aeração	Temperatura	CP	Diária
	OD	CP	Diária ou contínua
	SS	CP	Diária ou contínua
	SSV	CP	Semanal
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CP	Semanal
	IVL	CP	Diária
Lodo de retorno	SS	CP	Diária
Efluente final	DBO	AD	Semanal
	DQO	AD	Semanal
	SS	AD	Semanal
	SSV	AD	Semanal
	NTK	AD	Semanal
	NH <sub>3</sub>	AD	Semanal
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	AD	Semanal
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	AD	Semanal
	pH	AD	Diária
	Coliformes fecais	AD	Semanal

AD = avaliação do desempenho; CP = controle do processo.

Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2002.

## 5 DISCUSSÃO DO USO DA RELAÇÃO A/M E IDADE DO LODO ( $\theta_c$ ) NA OPERAÇÃO DE ETES DE LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL EM REGIME CONTÍNUO

Reiterando a metodologia adotada neste trabalho, cabe lembrar que a revisão bibliográfica mostra o grande número de parâmetros intervenientes no sistema de tratamento por lodos ativados em regime contínuo. Fica patente também o alto grau de complexidade envolvido para a consideração integrada de variáveis, bem como as limitações impostas objetivamente no cotidiano da operação.

Dessa forma, consoante os objetivos deste trabalho e sua metodologia, decidiu-se isolar, para análise, dois parâmetros de importância para o desempenho do sistema: a relação A/M e a idade do lodo ( $\theta_c$ ).

Considerados esses parâmetros, fez-se uma discussão das repercussões que a variação dos respectivos valores causaria no sistema e em seguida, foram considerados os procedimentos operacionais associados ao seu controle ou monitoramento. Trata-se, de uma hipótese simplificadora pela qual os dois parâmetros eleitos puderam assumir valores variáveis enquanto os demais assumiram valores segundo faixas adequadas ao bom funcionamento do tratamento, sem que, no entanto, tornassem objeto de análise neste texto.

Cabe ressaltar que a hipótese simplificadora visou diminuir a complexidade da análise pela redução das variáveis consideradas, tornando possível descrever em detalhes as atividades operacionais associadas à variação dos parâmetros escolhidos. A partir daí viabilizou-se o estabelecimento de diretrizes de capacitação para mão-de-obra responsável pela operação de sistemas por lodos ativados convencional circunscrita, obviamente, ao campo de possibilidades proporcionado pela variação dos referidos parâmetros.

Fica implícito nessa metodologia que apenas uma parte do processo necessário de capacitação foi abordado o que implica, logicamente, que as diretrizes estabelecidas se constituirão em parte de um conjunto maior a ser alcançado a partir de trabalhos subseqüentes.

### 5.1 Discussão das atividades operacionais relativas à relação A/M e idade do lodo ( $\theta_c$ )

O controle da relação A/M tem como objetivo garantir uma remoção de substrato uniforme. A forma de manutenção da faixa ótima da relação A/M é obtida através do controle do teor de SSV.

A relação A/M foi definida pela equação 5.1, segundo a qual:

$$A/M = (Q \cdot S_0) / (V \cdot X_v)$$

(Eq. 5.1)

onde:

$A/M$  = carga de lodo (g  $DBO_{5,20}$  fornecidos por dia / g SSV);

$Q$  = vazão afluyente ( $m^3/d$ );

$S_0$  = concentração de  $DBO_{5,20}$  afluyente ( $g/m^3$ );

$V$  = volume do reator ( $m^3$ );

$X_v$  = concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $g/m^3$ ).

Von Sperling (1997) mostra que a quantidade de microorganismos pode ser calculada com base na concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ), mas que a relação  $A/M$  pode também ser expressa em termos de sólidos em suspensão totais (SST) ao invés dos sólidos em suspensão voláteis (SSV).

Mostra também o autor que a relação SSV/SST é variável com a idade do lodo, quanto maior a idade do lodo menor o valor dessa última relação de uma vez que maior será a fração orgânica degradada.

Em termos gerais pode-se considerar que nos sistemas de lodo ativado convencional a seguinte faixa da relação é válida:

$$\text{SSV/SST} = 0,70 \text{ a } 0,85$$

Formatado: Português

onde:

SSV = sólidos em suspensão voláteis do esgoto bruto;

SST = sólidos em suspensão totais do esgoto bruto;

Finalmente Von Sperling (1997) fornece a faixa de variação da relação  $A/M$  usual em sistemas de tratamento por lodo ativado convencional em regime permanente:

$$A/M = 0,3 \text{ a } 0,8 \text{ Kg } DBO_{5,20} / \text{ Kg SSV.d}$$

Dadas essas relações cabe analisar as possibilidades operacionais associadas às eventuais variações dos parâmetros definidores e limitadores da relação  $A/M$ .

A relação  $A/M$  não é adequada para a tomada de decisão sobre problemas operacionais que exijam alterações de procedimentos em tempo real, uma vez que o tempo de análise do parâmetro  $DBO_{5,20}$  é de 5 dias, bastante demorado. Embora a  $DBO$  possa estar bem correlacionada com a  $DQO$ , o que implicaria em tempo de análise de aproximadamente 3 horas, as considerações relativas à relação  $A/M$  e à idade do lodo mostram-se aplicáveis aos procedimentos operacionais derivados de estudos realizados em laboratório sobre pesquisa dirigida especificamente a ETE em questão. A análise a seguir adota essas premissas.

Na situação de tratamento por lodo ativado convencional a vazão de entrada ( $Q$ ) e a concentração de  $DBO_{5,20}$  afluyente ( $S_0$ ) são variáveis de entrada que não podem ser controladas pelos operadores. O volume do reator ( $V$ ), por sua vez,

tem um valor constante dado pelas dimensões e instalações associadas. Resta, portanto, analisar as possibilidades de variação da concentração de sólidos suspensos voláteis ( $X_v$ ) no reator. Entretanto, os valores de vazão de entrada ( $Q$ ), concentração de  $DBO_{5,20}$  afluente ( $S_0$ ) e do volume do reator ( $V$ ) devem ser conhecidos – por medição, cálculo ou de outra forma - o que demanda o estabelecimento de diretrizes para capacitar operadores a tomarem conhecimento dos mesmos através de procedimentos adequados.

Segundo Von Sperling (1997), para fins de projeto, a concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração (SSVTA) é adotada dentro do intervalo [1500 – 3000 g/m<sup>3</sup>], conforme consta da Tabela 4.5.

Considerando-se que a relação A/M é um dos parâmetros de projeto que tem seu valor previamente estabelecido, pode-se ajustar a concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ) por meio de controle operacional de forma a manter constante a relação A/M. Uma outra possibilidade surge da eventual necessidade de variar o valor da relação A/M requerendo, em consequência, o ajuste da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ).

Nesta primeira abordagem a variação do parâmetro idade do lodo não será considerada em conjunto com a relação A/M. Ou seja, a exemplo dos demais parâmetros não contemplados na hipótese simplificadora, considera-se nessa abordagem inicial sobre a concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ) que a idade do lodo situar-se-á em valor adequado ao bom funcionamento do sistema.

Deve-se, entretanto, analisar a factibilidade do ajuste da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ) indagando, inicialmente, se, apesar de ser um parâmetro de medição relativamente fácil e confiável, qual o tempo necessário para fazê-la e, qual a forma objetiva de alterar seu valor numa situação de regime de funcionamento da ETE.

Para o cálculo, uma amostra pontual (instantânea) do sobrenadante (profundidade de pelo menos 50 cm) do tanque de aeração deve ser colhida. Proceder-se a análise laboratorial de sólidos suspensos totais, fixos e voláteis.

Considerando que a ETE foi projetada para operar com uma relação A/M igual à  $\lambda$ , tem-se pela equação (5.2) que:

$$\lambda = (Q.S_0) / (V.X_v) \quad (\text{Eq. 5.2})$$

onde:

- $\lambda$  = carga de lodo prevista em projeto (g  $DBO_{5,20}$  fornecidos/g SSV.d);
- $Q$  = vazão afluente (m<sup>3</sup>/d);
- $S_0$  = concentração de  $DBO_{5,20}$  afluente (g/m<sup>3</sup>);
- $V$  = volume do reator (m<sup>3</sup>);
- $X_v$  = concentração de sólidos em suspensão voláteis (g/m<sup>3</sup>).

Equação, a partir da qual, torna-se possível calcular o valor da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ) que implica na obtenção da

relação A/M de projeto, desde que, consoante as hipóteses adotadas, os valores de Q, S<sub>o</sub> e V estejam dentro das faixas previstas no projeto da estação.

$$X_v = (Q \cdot S_0) / (V \cdot \lambda)$$

(Eq. 5.3)

onde:

- X<sub>v</sub> = concentração de sólidos em suspensão voláteis (g/m<sup>3</sup>);
- Q = vazão afluyente (m<sup>3</sup>/d);
- S<sub>0</sub> = concentração de DBO<sub>5,20</sub> afluyente (g/m<sup>3</sup>);
- λ = carga de lodo prevista em projeto (g DBO<sub>5,20</sub> fornecidos / g SSV.d);
- V = volume do reator (m<sup>3</sup>).

A magnitude da concentração de sólidos em suspensão voláteis (X<sub>v</sub>) deve obedecer à faixa de variação recomendada por Von Sperling (1997): SSV/SS = 0,70 a 0,85, pois em princípio, os valores compreendidos nessa faixa teriam sido adotados no projeto de forma que os valores dos demais parâmetros aqui não considerados diretamente, pudessem integrar as faixas respectivas.

Uma forma de ajustar o valor da concentração de sólidos em suspensão voláteis (X<sub>v</sub>) no tanque de aeração é obtida pela variação da taxa de recirculação de lodo do decantador secundário. O aumento da vazão de recirculação (Q<sub>r</sub>) provoca o aumento da concentração de SSV no tanque de aeração e, inversamente, sua diminuição provoca o decréscimo de sólidos em suspensão voláteis (SSV).

A variação da vazão de recirculação (Q<sub>r</sub>) pode ser feita sob caráter empírico, segundo ajustes sucessivos até que se alcance o valor da concentração de sólidos em suspensão voláteis (X<sub>v</sub>) necessária ou pode ser estimada pela equação (5.4) a seguir reapresentada:

$$X_v = \frac{Y \cdot (S_0 - S)}{1 + K_d \cdot f_b \cdot \theta_c} \cdot \left( \frac{\theta_c}{t} \right)$$

(Eq. 5.4)

onde:

- X<sub>v</sub> = concentração de sólidos em suspensão voláteis (g/m<sup>3</sup>);
- Y = coeficiente de produção celular (massa de sólidos em suspensão voláteis produzidos por unidade de massa de DBO removida) (g SSV/g DBO<sub>5,20</sub> removida) ;
- S<sub>0</sub> = concentração de DBO<sub>5,20</sub> afluyente (g/m<sup>3</sup>)
- S = concentração de DBO<sub>5,20</sub> efluyente (g/m<sup>3</sup>)
- K<sub>d</sub> = coeficiente de respiração endógena (d<sup>-1</sup>);
- f<sub>b</sub> = fração biodegradável dos SSV gerados no sistema a uma idade do lodo θ<sub>c</sub>;

- $\theta_c$  = idade do lodo (dia);  
 $t$  = tempo de detenção hidráulica (dia).

Nessa última equação o valor do coeficiente de produção celular ( $Y$ ) deve ser obtido em laboratório previamente, considerando-se a composição do esgoto e as condições que intervêm na biodegradação da matéria orgânica.

Conforme se apresentou no capítulo 4, a faixa usual de variação do valor de  $Y$  para as bactérias heterotróficas responsáveis pela remoção dos compostos orgânicos varia no intervalo 0,5 a 0,7 g SSV/g DBO<sub>5,20</sub> (VON SPERLING, 1997).

O valor de coeficiente de respiração endógena ( $K_d$ ) pode igualmente ser determinado em laboratório sobre condições definidas de composição do esgoto e demais condições intrínsecas à biodegradação. Conforme apresentado no capítulo 4 no tratamento aeróbio de esgotos domésticos típicos o valor de  $K_d$  varia no intervalo 0,06 a 0,10 mgSSV/mgSSV.d .

A fração biodegradável dos SSV à idade do lodo ( $f_b$ ) é dada pela equação (5.5) a seguir rerepresentada:

$$f_b = \frac{X_b}{X_v} = \frac{f' b}{1 + (1 - f' b) \cdot K_d \cdot \theta_c} \quad (\text{Eq. 5.5})$$

onde:

- $f_b$  = fração biodegradável dos sólidos em suspensão voláteis gerados no sistema submetidos a uma idade do lodo  $\theta_c$ ;
- $X_b$  = concentração de SSV biodegradável (mg/L).
- $X_v$  = concentração de sólidos em suspensão voláteis (g/m<sup>3</sup>);
- $f' b$  = fração biodegradável dos sólidos em suspensão voláteis imediatamente após sua geração no sistema (g SS<sub>b</sub>/g SSV), ou seja, com  $\theta_c = 0$  (Esse valor é tipicamente igual a 0.80);
- $K_d$  = coeficiente de respiração;
- $\theta_c$  = idade do lodo (dia).

Finalmente, para o cálculo da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ) será necessário conhecer os valores da idade do lodo e do tempo de retenção hidráulica.

A variável idade do lodo ( $\theta_c$ ) pode ser levada em conta na operação do sistema de tratamento através de duas equações apresentadas no capítulo 4. As equações (5.6) e (5.7) são rerepresentadas a seguir:

$$\theta_c = \frac{X_v V}{(Q - Q_{ex}) X_v + Q_{ex} X_{vr}} \quad (\text{Eq. 5.6})$$



onde:

- $\theta_c$  = idade do lodo (dia);  
 $X_v$  = concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $\text{g}/\text{m}^3$ );  
 $V$  = volume do reator ( $\text{m}^3$ );  
 $Q$  = vazão afluyente ( $\text{m}^3/\text{d}$ );  
 $Q_{\text{ex}}$  = vazão de lodo excedente ( $\text{m}^3/\text{d}$ );  
 $X_{\text{ve}}$  = concentração de SSV no efluente ( $\text{g}/\text{m}^3$ );  
 $X_{\text{vr}}$  = concentração de SSV no lodo de retorno ( $\text{g}/\text{m}^3$ ).

$$\theta_c = \frac{X_v V}{\Delta X_v / \Delta t} = \frac{1}{\mu - K_d}$$

(Eq. 5.7)

onde:

- $\theta_c$  = idade do lodo (dia);  
 $X_v$  = concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $\text{g}/\text{m}^3$ );  
 $V$  = volume do reator ( $\text{m}^3$ );  
 $\Delta X_v$  = variação da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $\text{g}/\text{m}^3$ );  
 $\Delta t$  = variação do tempo de detenção hidráulica (dia);  
 $\mu$  = taxa de crescimento específica ( $\text{d}^{-1}$ );  
 $K_d$  = coeficiente de respiração endógena ( $\text{d}^{-1}$ ).

Em conjunto com as duas últimas equações devem ser consideradas as hipóteses simplificadoras a elas relativas, explicitadas por Von Sperling (1997) e apresentadas no capítulo 4.

A consideração conjunta das equações que permitem o cálculo de  $X_v$  e de  $\theta_c$  mostra uma interdependência entre essas variáveis. Essa interdependência já havia se explicitado, sob outra abordagem, no procedimento de ajuste da vazão de recirculação que permitisse atingir o valor da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ).

Tendo em conta os trabalhos laboratoriais associados às equações de  $X_v$  e  $\theta_c$  depreende-se que será necessária uma metodologia laboratorial iterativa para a consideração conjunta de  $X_v$  e de  $\theta_c$ . Essa metodologia, no entanto, foge ao escopo deste trabalho, conforme estabelecido nos objetivos propostos.

Analogamente ao caso dos parâmetros associados à variável da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ) a idade do lodo ( $\theta_c$ ) é associada a valores objeto de controle operacional imediato ( $Q_{\text{ex}}$ ), associada a parâmetros não prontamente medidos: concentração de SSV no efluente ( $X_{\text{ve}}$ ) e concentração de SSV no lodo de retorno ( $X_{\text{vr}}$ ) e àqueles objetos de medições em ensaios em bancada taxa de crescimento específica ( $\mu$ ) e coeficiente de respiração endógena ( $K_d$ ).

## 5.2 Sistematização dos parâmetros envolvidos, públicos alvo, locais e momentos relativos aos procedimentos operacionais.

Tendo em vista os objetivos do presente trabalho, no que concerne aos procedimentos operacionais imediatos, isto é, aqueles que dizem respeito às atividades dos operadores em tempo real de operação, a discussão apresentada em 5.1, buscou explicitar por inteiro as possibilidades oferecidas pelo arcabouço teórico em associação com investigações laboratoriais de forma que elementos de controle não imediatamente disponíveis no cotidiano em termos de obtenção de valores de parâmetros sejam previamente estabelecidos em laboratório. Trabalha-se com a perspectiva de que os estudos laboratoriais, sob dados obtidos na condição real de operação, possam disponibilizar resultados úteis ao procedimento de natureza imediata.

Inferre-se da discussão realizada em 5.1 que os parâmetros escolhidos para a operação da ETE de lodos ativados: relação alimento/microorganismos ( $A/M$ ) e idade do lodo ( $\theta_c$ ), requerem profissionais de diferente nível de escolaridade e treinamento operacional. Tal afirmação decorre, inicialmente, do fato de que as atividades envolvem trabalhos laboratoriais preliminares e paralelos ao cotidiano operacional que darão suporte aos procedimentos em tempo real mais simples.

Além da diferenciação de público-alvo de capacitação, as atividades se diferenciam pelo momento em que ocorrem e pelas possibilidades concretas de intervenção no sistema de tratamento em tempo real, função dos equipamentos instalados, bem como das previsões feitas em projeto e efetivamente implantadas.

A seguir são tecidas considerações sobre as possibilidades de obtenção dos valores dos parâmetros de interesse discutidos no item 5.1.

A determinação do valor da relação  $A/M$  (equação 5.1) requer o conhecimento da vazão ( $Q$ ), da concentração de matéria orgânica afluyente ( $S_0$  em  $DBO_{5,20}$ ), do volume do tanque de aeração e da concentração de sólidos suspensos voláteis ( $X_v$ ).

Com relação ao parâmetro vazão afluyente ( $Q$ ) há alternativas tecnológicas tanto para a medição e registro da vazão instantânea como para a variação de seu valor mediante comando eletro-eletrônico de bombas. O mesmo não ocorre com a medição e a possibilidade de controle da concentração de matéria orgânica afluyente, de vez que se trata de característica intrínseca às águas residuárias coletadas e que chegam à ETE, já que não se considera a alternativa de tanques de equalização, por exemplo.

A concentração de sólidos suspensos voláteis no reator, por sua vez é uma variável da operação do sistema, já que seu valor é função da magnitude dos parâmetros de controle adotados. Como exemplo cita-se que a concentração de sólidos em suspensão ( $X_v$ ) variará com a vazão de recirculação ( $Q_r$ ) e/ou com a quantidade de lodo descartado.

A possibilidade de variação da vazão de recirculação ( $Q_r$ ) pode ser considerada como alternativa para se alcançar um valor determinado dentro de uma faixa pré-estabelecida da relação  $A/M$ . Na ausência de outras informações, o operador pode tentar alcançar o valor da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ) necessário no reator (conhecidos e invariáveis os valores da vazão

afluente ( $Q$ ), concentração de  $\text{DBO}_{5,20}$  afluente ( $S_o$ ) e volume do tanque de aeração ( $V$ ), mediante o aumento ou diminuição da vazão de recirculação ( $Q_r$ ) de forma combinada com o descarte de lodo excedente ( $Q_{ex}$ ).

Na ausência de um procedimento ou regra operacional previamente estudada, tais intervenções teriam caráter empírico e provavelmente dar-se-iam por tentativa e erro. Tais atividades supõem também que, o operador tenha conhecimento ou acesso aos valores de  $A/M$  a serem estabelecidos no reator à medida que varia a vazão de recirculação ( $Q_r$ ), além de conhecer os procedimentos necessários à medição da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ), vazão afluente ( $Q$ ) e concentração de  $\text{DBO}_{5,20}$  afluente ( $S_o$ ).

Trata-se, no entanto, de cogitação de caráter teórico, dado que entre as variáveis envolvidas, somente  $Q$  e  $Q_r$  podem ser medidas e variadas em tempo real, sendo o volume do tanque de aeração ( $V$ ), um dado constante correspondente ao tanque e instalações associadas.

Na melhor das hipóteses, conhecido o valor de  $A/M$  de projeto ou como meta estabelecida para operação, pode-se imaginar um procedimento de medição e de intervenção operacional correspondente ao tempo necessário para se medir o valor da concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ) em laboratório para em seguida alterar o valor da vazão de recirculação ( $Q_r$ ), para mais ou para menos e, em seguida repetir esse ciclo até alcançar o valor da concentração desejado.

Novamente esse raciocínio mostra-se abstrato na medida em que, na realidade, a concentração de matéria orgânica varia durante o dia, de sorte que ao término de um ciclo buscando o ajuste, o valor da concentração de  $\text{DBO}_{5,20}$  afluente ( $S_o$ ) teria se alterado, invalidando o procedimento operacional.

No decorrer da discussão, observou-se que certas variáveis não poderiam ser objetos de consideração imediata, isto é, não poderiam ser conhecidas instantaneamente. Primeiro, porque exigem medição que demanda tempo e, em segundo lugar, porque tais parâmetros variam ao longo do dia, durante os dias da semana e durante a época do ano. É o caso da concentração de  $\text{DBO}_{5,20}$  afluente ( $S_o$ ), da temperatura ( $T$ ), dos sólidos suspensos totais ( $SS$ ), entre outros parâmetros intrínsecos ao esgoto coletado e que chega à estação. Assim, o ajuste operacional deverá contar com a prévia medição desses parâmetros, de sorte que valores médios possam ser adotados nos ajustes em tempo real de operação do sistema.

Com base nessa hipótese de desenvolvimento operacional, a meta de um determinado valor da relação  $A/M$  poderia ser atingida, conhecendo-se a vazão afluente ( $Q$ ) por medição em tempo real, o volume do tanque de aeração ( $V$ ) como uma constante e, a concentração de  $\text{DBO}_{5,20}$  afluente ( $S_o$ ) e a concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $X_v$ ) como valores previamente medidos e tabelados, segundo a hora do dia, o dia da semana e o dia na época do ano.

O uso da equação (5.4), permite a inclusão de outras variáveis de importância para o controle operacional.

$$X_v = \frac{Y.(S_o - S)}{1 + K_d.fb.\theta c} \cdot \left(\frac{\theta c}{t}\right)$$

(Eq. 5.4)

onde:

- $X_v$  = concentração de sólidos em suspensão voláteis ( $\text{g}/\text{m}^3$ );  
 $Y$  = coeficiente de produção celular;  
 $S_0$  = concentração de  $\text{DBO}_{5,20}$  afluente ( $\text{g}/\text{m}^3$ )  
 $S$  = concentração de  $\text{DBO}_{5,20}$  efluente ( $\text{g}/\text{m}^3$ )  
 $K_d$  = coeficiente de respiração endógena ( $\text{d}^{-1}$ );  
 $f_b$  = fração biodegradável dos SSV gerados no sistema a uma idade do lodo  $\theta_c$ ;  
 $\theta_c$  = idade do lodo (dia);  
 $t$  = tempo de detenção hidráulica (dia).

Além dos parâmetros relativos a relação A/M, entram em jogo a idade do lodo ( $\theta_c$ ), o coeficiente de respiração endógena ( $K_d$ ), ( $f_b$ ) fração biodegradável dos sólidos em suspensão voláteis gerados no sistema a uma idade do lodo  $\theta_c$  e o tempo de detenção hidráulica do sistema ( $t$ ).

Essa equação (5.4) permite maior eficácia na obtenção do funcionamento desejado, na medida em que usa valores de parâmetros previamente determinados em laboratório e que, provavelmente, retratam de maneira mais próxima à realidade os fenômenos envolvidos, especialmente os processos biológicos.

Considerada a hipótese metodológica estabelecida nesse trabalho, não serão consideradas aqui as possibilidades de combinação de variações dos parâmetros envolvidos no cálculo da concentração de sólidos suspensos voláteis ( $X_v$ ) no caso da última equação referida (equação 5.4).

Tão somente admite-se que estarão disponíveis os valores necessariamente determinados previamente em laboratório e que os parâmetros passíveis de ajustes operacionais contém com recursos para tanto. É o caso da idade do lodo e do tempo de detenção celular que podem ser ajustados por manobras de bombas e válvulas.

A análise conjunta dos requisitos decorrentes do conhecimento dos valores dos parâmetros apresentados no capítulo 5.1 recomenda a sistematização sobre a forma como eles poderão ser obtidos tendo como referência o momento, ou seja, a escala temporal e o local em que tal conhecimento se torna exeqüível.

A Tabela 5.1 sistematiza os parâmetros segundo o momento e local de sua obtenção, e adicionalmente assinala se o parâmetro é passível de controle em tempo real, ou seja, no momento em que se fizer necessário no cotidiano da operação.

Esse controle é considerado na sua forma direta, ou seja, quando a ação do operador permite a variação do valor sob comando direto, ou sob forma indireta. Tem-se, por exemplo, que a vazão de recirculação ( $Q_r$ ) é sujeita à variação direta sob comando do operador e, em conseqüência, de forma indireta ocorrerá a variação da concentração de sólidos em suspensão voláteis na recirculação ou no reator.

Tabela 5.1 – Sistematização de parâmetros, momento e local para sua obtenção.

<b>Parâmetro</b>	<b>Momento</b>	<b>Local</b>	<b>Controle</b>
Q : vazão afluente à ETE	Imediato <sup>(1)</sup>	ETE	Não
S <sub>o</sub> : concentração de DBO <sub>5,20</sub> afluente à ETE	Longo prazo <sup>(2)</sup>	Laboratório	Não
S <sub>o</sub> : concentração de DBO <sub>5,20</sub> afluente à ETE	Médio prazo <sup>(3)</sup>	Laboratório	Não
S <sub>o</sub> : concentração de DBO <sub>5,20</sub> afluente à ETE	Imediato	Laboratório/ ETE <sup>(4)</sup>	Não
V : volume do reator	Permanente <sup>(5)</sup>	Escritório de projeto	Não
X <sub>v</sub> : concentração de sólidos suspensos voláteis	Curto prazo <sup>(6)</sup>	Laboratório	Sim
X <sub>v</sub> : concentração de sólidos suspensos voláteis	Imediato	Laboratório/ ETE	Sim
X <sub>v</sub> : concentração de sólidos suspensos voláteis	Permanente	Escritório de projeto <sup>(7)</sup>	Sim
Q <sub>r</sub> : vazão de recirculação	Imediato	ETE	Sim
Y : coeficiente de produção celular	Imediato	Laboratório/ ETE <sup>(4)</sup>	Não
Y : coeficiente de produção celular	Longo prazo	Laboratório	Não
Y : coeficiente de produção celular	Permanente	Escritório de projeto <sup>(7)</sup>	Não
K <sub>d</sub> : coeficiente de respiração endógena	Imediato	Laboratório/ ETE <sup>(4)</sup>	Não
K <sub>d</sub> : coeficiente de respiração endógena	Longo prazo	Laboratório	Não
K <sub>d</sub> : coeficiente de respiração endógena	Permanente	Escritório de projeto <sup>(7)</sup>	Não
S : concentração de DBO <sub>5,20</sub> efluente ao reator	Longo prazo <sup>(2)</sup>	Laboratório	Sim
S : concentração de DBO <sub>5,20</sub> efluente ao reator	Médio prazo <sup>(3)</sup>	Laboratório	Sim
S : concentração de DBO <sub>5,20</sub> efluente ao reator	Permanente	Escritório de projeto <sup>(7)</sup>	Sim

Tabela 5.1 – Sistematização de parâmetros, momento e local para sua obtenção (continuação).

Parâmetro	Momento	Local	Controle
$f_b$ : fração biodegradável dos SSV gerados a $\theta_c$	Imediato	Laboratório/ETE <sup>(4)</sup>	Não
$f_b$ : fração biodegradável dos SSV gerados a $\theta_c$	Longo prazo	Laboratório	Não
$f_b$ : fração biodegradável dos SSV gerados a $\theta_c$	Permanente	Escritório de projeto <sup>(7)</sup>	Não
$f'_b$ : fração biodegradável dos SSV gerados a $\theta_c = 0$	Imediato	Laboratório/ETE <sup>(4)</sup>	Não
$f'_b$ : fração biodegradável dos SSV gerados a $\theta_c = 0$	Longo prazo	Laboratório	Não
$f'_b$ : fração biodegradável dos SSV gerados a $\theta_c = 0$	Permanente	Escritório de projeto <sup>(7)</sup>	Não
$Q_{ex}$ : vazão de lodo excedente	Imediato	ETE	Sim
$X_{ve}$ : concentração de SSV no efluente (recirculação)	Curto prazo	Laboratório	Sim
$X_{ve}$ : concentração de SSV no efluente (recirculação)	Imediato	Laboratório/ETE	Sim
$X_{ve}$ : concentração de SSV no efluente (recirculação)	Permanente	Escritório de projeto <sup>(7)</sup>	Sim
$X_{vr}$ : concentração de SSV no lodo de retorno	Curto prazo	Laboratório	Sim
$X_{vr}$ : concentração de SSV no lodo de retorno	Imediato	Laboratório/ETE	Sim
$X_{vr}$ : concentração de SSV no lodo de retorno	Permanente	Escritório de projeto <sup>(7)</sup>	Sim
$t$ : tempo de retenção hidráulica	Curto Prazo	ETE	Sim
$t$ : tempo de retenção hidráulica	Permanente	Escritório de projeto <sup>(7)</sup>	Sim
$\mu$ : taxa de crescimento específica	Imediato	Laboratório/ETE <sup>(4)</sup>	Não
$\mu$ : taxa de crescimento específica	Longo prazo	Laboratório	Não
$\mu$ : taxa de crescimento específica	Permanente	Escritório de projeto <sup>(7)</sup>	Não

(1) Imediato tem o significado de obtenção do valor necessário em qualquer instante determinado pelo operador. Está, obviamente, associado à possibilidade concreta de sua obtenção por meio de instrumentos, equipamentos e demais condições;

(2) Longo prazo tem o significado de obtenção do valor necessário em prazo maior que 3 horas;

- (3) Médio prazo tem o significado de obtenção do valor necessário em prazo entre 1 hora até 3 horas. No caso específico da  $DBO_{5,20}$  pressupõe-se a disponibilidade de uma relação bem estabelecida entre DBO e DQO;
- (4) Trata-se de valor obtido em laboratório anteriormente e que permite o uso imediato na operação da ETE mediante consulta a certas condições. No caso de  $S_0$  seriam dados medidos ao longo de grandes períodos de tempo e que considerassem a hora do dia, o dia da semana, o mês e época do ano, constituindo um histórico com um certo grau de confiabilidade estatística. No caso de  $X_v$  estaria associado a um conjunto de valores de controle anteriormente praticados e registrados de forma a constituir histórico confiável;
- (5) Trata-se de valor obtido anteriormente e que não pode ser modificado, sendo constante ao longo do tempo;
- (6) Curto prazo tem o significado de obtenção do valor necessário em prazo de até 1 hora;
- (7) Tratam-se de valores adotados em projeto com base em conhecimento estabelecido anteriormente em ETEs ou em laboratório e que se constituem em referência confiável para o projetista;

Observa-se na Tabela 5.1 que poucos são os parâmetros cujos valores podem ser variados de forma imediata. A maioria dos parâmetros passíveis de controle deverá ser previamente calculada com base em valores determinados em laboratório ou adotados com base na prática de operação consagrada na literatura.

Esta última opção, no entanto, mostra-se freqüentemente ineficaz para cada situação particular.

A sistematização do público alvo pode ser feita de forma análoga associando-se perfis básicos de escolaridade e formação técnica às medições ou operações relativas aos parâmetros destacados.

A Tabela 5.2 apresenta tais perfis considerando o nível de escolaridade pré-requerida, as áreas de conhecimento associadas e a designação profissional provável.

Tabela 5.2 – Sistematização de público alvo em função do local para ações operacionais diretas ou medições associadas.

Parâmetro	Local	Público alvo		
		Nível de escolaridade	Áreas de conhecimento	Designação profissional
$Q; Q_r; Q_{ex}; V$	ETE	Fundamental II	Operação de instrumentos de medição e de computadores	Auxiliar de operação de ETE
		Nível médio	Hidráulica, eletricidade, eletrônica, informática, biologia, química e bioquímica	Técnico de operação de ETE
		Nível superior	Tecnologia ou engenharia civil, sanitária ou ambiental	Responsável pela operação de ETE
Tecnologia ou engenharia mecânica, elétrica e eletrônica	Responsável por sistemas de manutenção, controle operacional e aquisição de dados em ETE			
$S_o; X_v; Y; K_d; S; f_b; f'_b; X_{ve}; X_{vr}; \mu, \theta$	ETE	Fundamental II	Operação de instrumentos de medição e de computadores	Auxiliar de operação de ETE
		Nível médio	Hidráulica, eletricidade, eletrônica, informática, biologia, química e bioquímica	Técnico de operação de ETE
		Nível superior	Tecnologia ou engenharia civil, sanitária ou ambiental	Responsável pela operação de ETE
Tecnologia ou engenharia mecânica, elétrica e eletrônica	Responsável por sistemas de manutenção, controle operacional e aquisição de dados em ETE e laboratório			
$S_o; X_v; Y; K_d; S; f_b; f'_b; X_{ve}; X_{vr}; \mu, \theta$	Laboratório	Fundamental II	Operação de instrumentos de medição, equipamentos e materiais de laboratório de química e de biologia e de computadores	Auxiliar de laboratório de química, biologia, bioquímica ou de saneamento
		Nível médio	Biologia, química e bioquímica	Técnico de laboratório de química, biologia, bioquímica e de saneamento
		Nível superior	Biologia, química e bioquímica	Responsável por laboratório de química, biologia, bioquímica ou de saneamento
			Tecnologia ou engenharia mecânica, elétrica e eletrônica	Responsável por sistemas de manutenção, controle operacional e aquisição de dados em ETE e laboratório
$Q; Q_r; Q_{ex}; t; V$	Escritório de projeto	Nível médio	Hidráulica, eletricidade, eletrônica, informática, biologia, química e bioquímica	Técnico de projeto de ETE
		Nível superior	Tecnologia ou engenharia civil, sanitária ou ambiental	Projetista de ETE
Tecnologia ou engenharia mecânica, elétrica e eletrônica	Projetista de sistemas de manutenção, controle operacional e aquisição de dados em ETE			
$S_o; X_v; Y; K_d; S; f_b; f'_b; X_{ve}; X_{vr}; \mu, \theta$	Escritório de projeto	Nível médio	Hidráulica, eletricidade, eletrônica, informática, biologia, química e bioquímica	Técnico de projeto de ETE
		Nível superior	Tecnologia ou engenharia civil, sanitária, ambiental, biologia, química e bioquímica	Projetista de ETE
			Tecnologia ou engenharia mecânica, elétrica e eletrônica	Projetista de sistemas de manutenção, controle operacional e aquisição de dados em ETE



### 5.3 Diretrizes de capacitação para operação baseadas na relação A/M e na idade do lodo ( $\theta_c$ )

As diretrizes para capacitação de pessoal derivam do conjunto de atividades associadas à medição de grandezas e, de alternativas operacionais em tempo real, discutidas em 5.1 e, sistematizadas em 5.2.

Tendo como referência as designações profissionais associadas aos parâmetros envolvidos no controle operacional baseado na relação A/M e idade do lodo, procede-se o estabelecimento de diretrizes de capacitação, entendidas como aquelas necessárias à formação e treinamento do público alvo identificado.

As Tabelas 5.3 e 5.4 apresentam as diretrizes de conhecimento e habilidades necessárias à operação que decorrem da medição de parâmetros e demais atividades que permitem o controle operacional.

Tabela 5.3 – Diretrizes de capacitação segundo a designação profissional e os parâmetros e demais condições subjacentes à operação baseada na relação A/M e na idade do lodo.

Parâmetro	Designação profissional	Diretrizes para capacitação
Q Q <sub>r</sub> Q <sub>ex</sub> V	Auxiliar de operação de ETE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compreender o que é o sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados;</li> <li>• Interpretar e dominar o fluxograma simplificado da ETE;</li> <li>• Identificar no projeto executivo as dimensões do tanque de aeração (reator) e efetuar o cálculo de volume;</li> <li>• Identificar os pontos de medição de vazão afluente;</li> <li>• Conhecer e saber ler mostradores de instrumentos de medição de vazão;</li> <li>• Saber registrar os dados de leituras (com respectivas unidades de medidas) em planilhas manuais – boletins operacionais de campo;</li> <li>• Saber identificar valores não conformes às faixas pré-determinadas para as leituras realizadas e conhecer os procedimentos decorrentes.</li> </ul>
Q Q <sub>r</sub> Q <sub>ex</sub> V	Técnico de operação de ETE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deter o conhecimento e habilidades requeridas do Auxiliar de operação de ETE;</li> <li>• Dominar conhecimentos em Word e Excel para que, após o registro em boletim operacional (de campo) dos valores de vazão medida, possa posteriormente convertê-los em arquivo eletrônico, interpretando e compilando os dados, quando os instrumentos de medição não efetuarem os registros através de CLP's;</li> <li>• Conhecer os princípios básicos de operação adotando a relação A/M e idade do lodo como referência;</li> <li>• Conhecer os valores limite (máximo e mínimo) dos parâmetros Q, Q<sub>r</sub> e Q<sub>ex</sub> que uma determinada ETE pode operar em função das características dos equipamentos instalados;</li> <li>• Conhecer os sistemas de controle operacional e de aquisição de dados, suas possibilidades de manejo e principais problemas mais freqüentes e soluções possíveis;</li> <li>• Treinar o auxiliar de operação em condições reais de operação da ETE.</li> </ul>
Q Q <sub>r</sub> Q <sub>ex</sub> V	Responsável pela operação de ETE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deter o conhecimento e habilidades requeridas do Técnico de operação de ETE;</li> <li>• Conhecer o projeto da ETE, em detalhes;</li> <li>• Conhecer os princípios, parâmetros e formas de controle do sistema de lodos ativados;</li> <li>• Conhecer as possibilidades de operação associadas ao controle da relação A/M e idade do lodo;</li> </ul>

Tabela 5.3 – Diretrizes de capacitação segundo a designação profissional e os parâmetros e demais condições subjacentes à operação baseada na relação A/M e na idade do lodo (continuação).

Parâmetro	Designação profissional	Diretrizes para capacitação
Q Q <sub>r</sub> Q <sub>ex</sub> V	Responsável pela operação de ETE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecer o conjunto de atividades necessárias ao ajuste operacional da ETE com base na relação A/M e idade do lodo, segundo diversos cenários operacionais;</li> <li>• Saber planejar procedimentos operacionais imediatos, de curto, médio e longo prazo com base na relação A/M e idade do lodo;</li> <li>• Identificar, caracterizar e propor sistemas de aquisição e controle de dados a serem elaborados e projetados;</li> <li>• Saber elaborar planos de capacitação no seu campo de atribuições.</li> </ul>
	Responsável por sistemas de manutenção, controle operacional e aquisição de dados em ETE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deter o conhecimento e habilidades requeridas do Responsável pela operação de ETE;</li> <li>• Conceber e projetar sistemas que atendam a procedimentos operacionais imediatos, de curto, médio e longo prazo com base na relação A/M e idade do lodo;</li> <li>• Identificar e propor planos de manutenção associados aos sistemas de controle, manutenção e aquisição de dados;</li> <li>• Saber elaborar planos de manutenção (dos equipamentos e unidades), para o bom desempenho do sistema;</li> <li>• Saber elaborar planos de capacitação no seu campo de atribuições.</li> </ul>
S <sub>o</sub> ; X <sub>v</sub> ; Y; K <sub>d</sub> ; S; f <sub>b</sub> ; f' <sub>b</sub> ; X <sub>ve</sub> ; X <sub>vr</sub> ; μ; t; A; M; U; θc	Auxiliar de operação de ETE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar a composição dos esgotos, focando o esgoto objeto de tratamento;</li> <li>• Conhecer o significado de matéria orgânica, sua origem e forma em que se apresenta no esgoto;</li> <li>• Conhecer os métodos de coletas de amostras para análises laboratoriais de DBO, DQO, COT, SS, SSV;</li> <li>• Conhecer os pontos de para efetuar coleta de amostras através do fluxograma da ETE;</li> <li>• Reconhecer a necessidade ou não de adição de substâncias fixadoras da amostra, até que as mesmas cheguem ao laboratório.</li> </ul>
S <sub>o</sub> ; X <sub>v</sub> ; Y; K <sub>d</sub> ; S; f <sub>b</sub> ; f' <sub>b</sub> ; X <sub>ve</sub> ; X <sub>vr</sub> ; μ; t; A; M; U; θc	Técnico de operação de ETE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deter o conhecimento e habilidades requeridas do Auxiliar de operação ETE;</li> <li>• Adotar como critério a idade do lodo, e estabelecer a relação A/M para o bom desempenho da ETE;</li> <li>• Treinar o auxiliar de operação no procedimento seguro de coleta de amostra para análises bioquímicas que quantificam a presença de matéria orgânica.</li> <li>• Estabelecer frequências de monitoramento para os parâmetros envolvidos no sistema de lodos ativados;</li> <li>• Conhecer os princípios básicos de operação adotando a relação A/M e idade do lodo como referência;</li> <li>• Conhecer os sistemas de controle operacional e de aquisição de dados, suas possibilidades de manejo e principais problemas e soluções possíveis;</li> <li>• Saber calcular o valor de "t" com base nos procedimentos de medição de vazão afluente (Q) e demais dados do projeto da ETE;</li> <li>• Conhecer os principais tipos de microorganismos existentes nos lodos ativados, sua ordem de grandeza e os microorganismos indicadores das condições de depuração;</li> <li>• Conhecer fórmula para o cálculo da quantidade de alimento (A), com base na concentração de matéria orgânica ou na concentração de nitrogênio.</li> <li>• Conhecer fórmula para o cálculo da quantidade de microorganismos(M) com base na concentração de sólidos suspensos voláteis;</li> <li>• Conhecer fórmula para cálculo da taxa de utilização de substrato (U);</li> <li>• Conhecer fórmula para cálculo da eficiência do sistema em função de (U), otimizando o processo, com base na concentração de DBO;</li> <li>• Saber calcular o valor de A/M e da idade do lodo com base em dados laboratoriais previamente desenvolvidos ou com base em valores consagrados na literatura;</li> <li>• Demonstrar a correlação da idade do lodo com (U) e (A/M);</li> </ul>

Tabela 5.3 – Diretrizes de capacitação segundo a designação profissional e os parâmetros e demais condições subjacentes à operação baseada na relação A/M e na idade do lodo (continuação).

Parâmetro	Designação profissional	Diretrizes para capacitação
$S_o$ ; $X_v$ ; $Y$ ; $K_d$ ; $S$ ; $f_b$ ; $f_b$ ; $X_{ve}$ ; $X_{vr}$ ; $\mu$ ; $t$ ; $A$ ; $M$ ; $U$ ; $\theta_c$	Técnico de operação de ETE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecer as relações operacionais dos parâmetros envolvidos: A/M, SSV/SS;</li> <li>• Conceituar a idade do lodo, demonstrar seu cálculo ou determinação com base na concentração de SSV (SST) ou com base no descarte de lodo;</li> <li>• Conhecer faixa de valor usual de A/M (0,3 a 0,8 Kg DBO<sub>5,20</sub> / Kg SSV.d);</li> <li>• Conhecer fórmula para cálculo de <math>X_v</math> e a faixa de valor usual - 1500 a 3500mg/l;</li> <li>• Conceituar S: concentração de DBO<sub>5,20</sub> efluente ao tanque de aeração;</li> <li>• Conhecer faixa de valores limites para a concentração de SSVTA (4500 – 5000mg/l);</li> <li>• Conhecer a faixa da relação SSV/SS - Faixa SSV/SS = 0,70 a 0,85 e saber que varia com a idade do lodo;</li> <li>• Saber que coeficiente de produção celular (Y) é obtido em laboratório e, conhecer faixa de Y: 0,4 a 0,8 gSSV / gDBO5 removida, sendo a faixa mais comum de 0,5 a 0,7 g/g;</li> <li>• Conhecer valores típicos de <math>K_d = 0,06</math> a 0,10 mgSSV/mgSSV.g.d para esgotos domésticos;</li> <li>• Conceituar <math>f_b</math> – fração biodegradável nos SSV gerados a <math>\theta_c</math>;</li> <li>• Conhecer fórmula para o cálculo de <math>f_b</math>;</li> </ul>
$S_o$ ; $X_v$ ; $Y$ ; $K_d$ ; $S$ ; $f_b$ ; $f_b$ ; $X_{ve}$ ; $X_{vr}$ ; $\mu$ ; $t$ ; $A$ ; $M$ ; $U$ ; $\theta_c$	Técnico de operação de ETE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conceituar <math>X_{ve}</math> - concentração de sólidos em suspensão voláteis no efluente (recirculação);</li> <li>• Conceituar <math>X_{vr}</math> – concentração de sólidos em suspensão voláteis no lodo de retorno;</li> <li>• Conceituar tempo de retenção hidráulica (t) e, conhecer a variação típica de (t) para lodo ativado convencional que é de 6 a 8 horas;</li> <li>• Demonstrar as variações da idade do lodo e como ela é utilizada para determinar a eficiência do sistema de tratamento;</li> <li>• Conhecer valores típicos da idade de lodo para lodos ativados convencional - 4 a 10 dias.</li> </ul>
$S_o$ ; $X_v$ ; $Y$ ; $K_d$ ; $S$ ; $f_b$ ; $f_b$ ; $X_{ve}$ ; $X_{vr}$ ; $\mu$ ; $t$ ; $A$ ; $M$ ; $U$ ; $\theta$	Responsável pela operação de ETE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deter o conhecimento e habilidades requeridas do Técnico de operação de ETE;</li> <li>• Conhecer os princípios, parâmetros e formas de controle do sistema de lodos ativados para o parâmetro envolvido;</li> <li>• Conhecer as possibilidades de operação associadas ao controle da relação A/M e idade do lodo;</li> <li>• Conhecer o conjunto de atividades necessárias ao ajuste operacional da ETE com base na relação A/M e idade do lodo, segundo diversos cenários operacionais;</li> <li>• Saber planejar procedimentos operacionais imediatos, de curto, médio e longo prazo com base na relação A/M e idade do lodo;</li> <li>• Saber calcular o valor de A/M e da idade do lodo com base nos trabalhos laboratoriais previamente desenvolvidos e com base em valores consagrados na literatura; definir procedimentos operacionais com base nos trabalhos realizados;</li> <li>• Identificar, caracterizar e propor sistemas de aquisição e controle de dados a serem elaborados e projetados;</li> <li>• Saber elaborar planos de capacitação no seu campo de atribuições.</li> </ul>
$S_o$ ; $X_v$ ; $Y$ ; $K_d$ ; $S$ ; $f_b$ ; $f_b$ ; $X_{ve}$ ; $X_{vr}$ ; $\mu$ ; $t$ ; $A$ ; $M$ ; $U$ ; $\theta$	Responsável por sistemas de manutenção, controle operacional e aquisição de dados em ETE e laboratório.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deter o conhecimento e habilidades requeridas do Responsável pela operação de ETE;</li> <li>• Conhecer o projeto da ETE;</li> <li>• Conceber e projetar sistemas que atendam a procedimentos operacionais imediatos, de curto, médio e longo prazo com base na relação A/M e idade do lodo;</li> <li>• Identificar e propor planos de manutenção associados aos sistemas de controle, manutenção e aquisição de dados;</li> <li>• Saber elaborar planos de capacitação no seu campo de atribuições.</li> </ul>

Tabela 5.3 – Diretrizes de capacitação segundo a designação profissional e os parâmetros e demais condições subjacentes à operação baseada na relação A/M e na idade do lodo (continuação).

Parâmetro	Designação profissional	Diretrizes para capacitação
Trabalho seguro	Auxiliar de operação de ETE Técnico de operação de ETE Responsável pela operação de ETE Responsável por sistemas de manutenção, controle operacional e aquisição de dados em ETE e laboratório.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treinar o funcionário em condições reais de operação na ETE, empregando o uso adequado e correto dos EPI's e orientações recebidas para prática correta da atividade, com higiene e segurança no trabalho, uma vez que as atividades operacionais expõem o funcionário ao contato direto e/ou indireto com o esgoto;</li> <li>• Conhecer os princípios básicos de biosegurança.</li> </ul>

Tabela 5.4 – Sistematização de públicos alvos em função do local para ações operacionais diretas ou medições associadas.

Parâmetro	Designação profissional	Diretrizes para capacitação
$Q, Q_r, Q_{ex}, V; t; S_o; X_{vr}, Y; K_d; S; f_b; f'_b; X_{ve}; X_{vr}, \mu$	Auxiliar de laboratório de química, biologia, bioquímica ou de saneamento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecer e saber ler mostradores de instrumentos de medição em laboratório segundo diferentes princípios de funcionamento;</li> <li>• Conhecer os procedimentos de leituras de instrumentos, saber registrar dados de leituras em planilhas manuais e em planilhas eletrônicas no computador;</li> <li>• Conhecer os procedimentos operacionais e de segurança da operação de laboratórios de biologia e de química.</li> <li>• Reconhecer os processos de biodegradação da matéria orgânica;</li> <li>• Conhecer o significado de matéria orgânica, sua origem e forma em que se apresenta no esgoto;</li> <li>• Conhecer os métodos de coletas de amostras para análises laboratoriais de DBO, DQO, COT, SS, SSV;</li> <li>• Conhecer os pontos de para efetuar coleta de amostras através do fluxograma da ETE;</li> <li>• Reconhecer a necessidade ou não de adição de substâncias fixadoras da amostra, até que as mesmas cheguem ao laboratório;</li> <li>• Conhecer e saber ler mostradores de instrumentos de medição em laboratório segundo diferentes princípios de funcionamento;</li> <li>• Conhecer os procedimentos de leituras de instrumentos, saber registrar dados de leituras em planilhas manuais e em planilhas eletrônicas no computador;</li> <li>• Conhecer os procedimentos operacionais e de segurança da operação de laboratórios de biologia e de química.</li> <li>• Reconhecer os processos de biodegradação da matéria orgânica;</li> <li>• Conhecer o significado de matéria orgânica, sua origem e forma em que se apresenta no esgoto;</li> <li>• Conhecer os métodos de coletas de amostras para análises laboratoriais de DBO, DQO, COT, SS, SSV;</li> <li>• Conhecer os pontos de para efetuar coleta de amostras através do fluxograma da ETE;</li> <li>• Reconhecer a necessidade ou não de adição de substâncias fixadoras da amostra, até que as mesmas cheguem ao laboratório.</li> </ul>

Tabela 5.4 – Sistematização de públicos alvos em função do local para ações operacionais diretas ou medições associadas (continuação).

Parâmetro	Designação profissional	Diretrizes para capacitação
<p>Q, Q<sub>r</sub>, Q<sub>ex</sub>, V; t; S<sub>o</sub>; X<sub>v</sub>; Y; K<sub>d</sub>; S; f<sub>b</sub>; f<sub>b</sub>; X<sub>ve</sub>; X<sub>vr</sub>; μ</p>	<p>Técnico de laboratório de química, biologia, bioquímica ou de saneamento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deter o conhecimento e habilidades requeridas do auxiliar de laboratório;</li> <li>• Conhecer os princípios, parâmetros e formas de controle do sistema de lodos ativados;</li> <li>• Conhecer os princípios de operação adotando a relação A/M e idade do lodo como referência;</li> <li>• Conhecer conceitos e teorias relativas ao processo aeróbio no sistema de lodos ativados;</li> <li>• Conhecer os procedimentos necessários ao cálculo dos parâmetros que permitem calcular a relação A/M e a idade do lodo, segundo método iterativo;</li> <li>• Evidenciar e conceituar os parâmetros de maior relevância que quantificam a presença de matéria orgânica no esgoto (S<sub>o</sub>; X<sub>v</sub>; Y; K<sub>d</sub>; S; f<sub>b</sub>; f<sub>b</sub>; X<sub>ve</sub>; X<sub>vr</sub>; μ; t; A; M; U; θc);</li> <li>• Conhecer as maneiras de quantificar a presença de matéria orgânica no esgoto (S<sub>o</sub>; X<sub>v</sub>; Y; K<sub>d</sub>; S; f<sub>b</sub>; f<sub>b</sub>; X<sub>ve</sub>; X<sub>vr</sub>; μ, t., A; M; U;θ) através do fluxograma da ETE;</li> <li>• Estabelecer as faixas de valores dos parâmetros (S<sub>o</sub>; X<sub>v</sub>; Y; K<sub>d</sub>; S; f<sub>b</sub>; f<sub>b</sub>; X<sub>ve</sub>; X<sub>vr</sub>; μ; t; A; M; U;θ) que permitam a operação da ETE de lodos ativados em diferentes condições de vazão, concentração de matéria orgânica, temperatura e outras variáveis necessárias;</li> <li>• Conhecer os sistemas de controle operacional e de aquisição de dados, suas possibilidades de manejo e principais problemas mais frequentes e soluções possíveis; Identificar a composição dos esgotos, focando o esgoto objeto de tratamento;</li> <li>• Conceituar coeficiente de produção celular (Y);</li> <li>• Conhecer faixa de Y: 0,4 a 0,8 gSSV / gDBO5 removida (bactérias heterotróficas), sendo a faixa mais comum de 0,5 a 0,7 g/g;</li> <li>• Conhecer procedimentos laboratoriais de culturas dos microorganismos envolvidos no processo aeróbio e a partir deles determinar o valor de (Y);</li> <li>• Conceituar K<sub>d</sub> : coeficiente de respiração endógena;</li> <li>• Saber proceder a determinação do coeficiente de respiração endógena (K<sub>d</sub>);</li> <li>• Conhecer valores típicos de K<sub>d</sub> = 0,06 a 0,10 mgSSV/mgSSV.g.d para esgotos domésticos;</li> <li>• Saber proceder a determinação do coeficiente de produção celular (Y);</li> <li>• Compreender e conceituar o significado de alimento (A) relacionado com a atividade microbiana;</li> <li>• Conhecer os principais tipos de microorganismos envolvidos no sistema de lodo ativado;</li> <li>• Interpretar a curva típica de crescimento bacteriano;</li> <li>• Conceituar o significado de microorganismos (M);</li> <li>• Conceituar o significado da taxa de utilização de substrato (U);</li> <li>• Calcular U, relacionando substrato disponível e removível;</li> <li>• Calcular a eficiência do sistema em função de U, otimizando o processo, com base na concentração de DBO;</li> <li>• Saber que a taxa de crescimento específico (μ) é igual ao coeficiente de produção celular (Y) multiplicado pela taxa de remoção de substrato;</li> <li>• Conhecer as relações operacionais dos parâmetros envolvidos (A/M; SSV/SS);</li> <li>• Compreender a ordem de grandeza dos microorganismos existentes nos lodos ativados e os microorganismos indicadores das condições de depuração;</li> <li>• Conceituar a idade do lodo;</li> <li>• Demonstrar o cálculo ou determinação da idade do lodo com base na concentração de SSV (SST) e com base no descarte de lodo, K<sub>d</sub> e μ;</li> <li>• Demonstrar a correlação da idade do lodo com U e A/M;</li> <li>• Demonstrar as variações da idade do lodo e como ela é utilizada para determinar a eficiência do sistema de tratamento.</li> </ul>

Tabela 5.4 – Sistematização de públicos alvos em função do local para ações operacionais diretas ou medições associadas (continuação).

Parâmetro	Designação profissional	Diretrizes para capacitação
$Q, Q_r,$ $Q_{ex}, V; t;$ $S_o; X_v; Y;$ $K_d; S; f_b;$ $f'_b; X_{ve}; X_{vr};$ $\mu$	Responsável por laboratório de química, biologia, bioquímica ou de saneamento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deter o conhecimento e habilidades requeridas do técnico de laboratório;</li> <li>• Conhecer o projeto da ETE;</li> <li>• Conhecer os princípios, parâmetros e formas de controle do sistema de lodos ativados;</li> <li>• Conhecer as possibilidades de operação associadas ao controle da relação A/M e idade do lodo;</li> <li>• Conhecer o conjunto de atividades necessárias ao ajuste operacional da ETE com base na relação A/M e idade do lodo, segundo diversos cenários operacionais;</li> <li>• Identificar, caracterizar e propor sistemas de aquisição e controle de dados a serem elaborados e projetados.</li> </ul>
	Responsável por sistemas de manutenção, controle operacional e aquisição de dados em ETE e laboratório.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deter o conhecimento e habilidades requeridas do Técnico de laboratório;</li> <li>• Conhecer o projeto da ETE;</li> <li>• Conhecer as possibilidades de trabalhos laboratoriais para o controle operacional baseadas na relação A/M e idade do lodo;</li> <li>• Conhecer o conjunto de atividades necessárias ao desenvolvimento dos trabalhos laboratoriais visando estabelecer valores de referência para o controle operacional de ETEs;</li> <li>• Conceber e projetar sistemas que atendam às necessidades derivadas dos trabalhos laboratoriais propostos;</li> <li>• Identificar e propor planos de manutenção associados aos sistemas de controle, manutenção e aquisição de dados em laboratório;</li> <li>• Saber elaborar planos de capacitação no seu campo de atribuições.</li> </ul>
Trabalho seguro	Auxiliar e Técnico de laboratório de química, biologia, bioquímica ou de saneamento; Responsável por laboratório de química, biologia, bioquímica ou de saneamento e Responsável por sistemas de manutenção, controle operacional e aquisição de dados em ETE e laboratório.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treinar o funcionário em condições reais de operação na ETE, empregando o uso adequado e correto dos EPI's e orientações recebidas para prática correta da atividade, com higiene e segurança no trabalho, uma vez que as atividades operacionais expõem o funcionário ao contato direto e/ou indireto com o esgoto;</li> <li>• Conhecer os princípios básicos de biosegurança.</li> </ul>

## 6 CONCLUSÕES

A operação de sistemas de tratamento de esgoto tem sido feita no Brasil com pessoal de baixa qualificação, não somente pela falta de mão-de-obra capacitada para operar os diversos sistemas de tratamento de esgoto, como pela complexidade dos parâmetros técnicos envolvidos no processo de tratamento e pela inexistência na maioria das cidades, de cursos técnicos pertinentes à área.

Atualmente os sistemas de tratamento de esgotos são dotados de numerosas etapas de processo e, o número de funcionários para a operação do sistema está diretamente ligado ao porte, à concepção adotada, ao grau de automação da ETE, entre outros.

A manutenção da rotina operacional e bom desempenho da estação está diretamente ligada às corretas manobras, leituras de dados dos equipamentos, coletas de amostras conforme o parâmetro de análise, interpretação dos resultados laboratoriais, para possibilitar adequadas tomadas decisões.

Profissionais de laboratório também têm importante função, no bom desempenho do sistema, uma vez que, os resultados laboratoriais obtidos auxiliam os responsáveis pela operação, na avaliação e solução dos problemas que venham a ocorrer no processo de tratamento.

A questão da segurança do trabalho também deve ser levada em conta, uma vez que as atividades operacionais de uma ETE expõem o funcionário ao contato direto e/ou indireto com o esgoto, sendo necessário na operação de um sistema de tratamento, sólidos conhecimentos em higiene e segurança do trabalho.

Assim, resolver os problemas operacionais das ETEs exige mais que uma mão-de-obra (operador) com escolaridade primária ou segundo grau, pois os problemas que ocorrem na ETE, normalmente fogem à sua capacidade de entendimento e efetiva possibilidade de intervenção "in loco" e em tempo real.

O processo de tratamento de esgoto é complexo e demanda referências laboratoriais e experiências operacionais acumuladas, por isso, não se pode pensar isoladamente no operador de ETE resolvendo tudo.

Diante das considerações expostas nos capítulos anteriores, pôde-se estabelecer um conjunto de diretrizes que devem orientar a capacitação de pessoal para operação de uma ETE do sistema de lodos ativados convencional.

Considerando a hipótese de que a ETE tem como critério central a idade do lodo na avaliação de seu desempenho e, considerando as relações entre a idade do lodo e a relação A/M, foram apontadas no capítulo 5 uma série de atividades operacionais associadas aos parâmetros e fatores envolvidos.

Decorre das discussões do capítulo 5 que, o público alvo a ser considerado na capacitação é variado em função das atividades associadas aos procedimentos operacionais requeridos no sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados.

Observa-se também que, há necessidade de suporte para definição de procedimentos operacionais em tempo real que somente serão obtidos através de trabalhos realizados em laboratório por profissionais capacitados. Tem-se dessa forma, um conjunto de atividades que ocupa espaços temporais diferentes e requer pré-requisitos de formação profissional igualmente diferenciados.

A revisão bibliográfica e a discussão dos aspectos operacionais tentam mostrar que o sistema de lodos ativados tem caráter de um processo industrial amplo e complexo sob comando permanente e que, atualmente as companhias de saneamento vêm operando seus sistemas de tratamento e, resolvendo os problemas operacionais com as ferramentas disponíveis nas unidades de tratamento, que muitas vezes, se resumem às possibilidades de operação de bombas hidráulicas e válvulas, sem o suporte de análises laboratoriais e sem avaliações de profissionais com embasamento técnico e experiência acumulada no sistema de tratamento de esgoto.

A diversidade profissional requerida para a operação de uma Estação de Tratamento de Esgoto de Lodos Ativados implica em uma concepção integrada de conhecimentos e habilidades que, atualmente não está sendo abordada no cenário dos serviços públicos de saneamento. Desta forma, as diretrizes de capacitação de mão-de-obra não foram estritas aos operadores, e sim ao conjunto de profissionais envolvidos no processo de operação do sistema de tratamento de esgoto.

Vale ressaltar que, existe a necessidade de continuidade deste trabalho, estabelecendo uma grade disciplinar orientada pelas diretrizes aqui descritas, e estabelecer novas diretrizes baseadas em outras variáveis do processo para a capacitação e melhoria contínua da mão-de-obra que opera o sistema de tratamento por lodos ativados.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALÉM SOBRINHO, P.; KATO, M.T. Análise crítica do uso do processo anaeróbio para o tratamento de esgotos sanitários. In: CAMPOS, J.R. (Org.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. p. 301-320.

BARKER, J.D. MANNUCCHI, G.A.; SALVI, S.M.L. & STUCKEY, D.C. (1999). Characterization of Soluble Residual Chemical Oxygen Demand (COD) in Anaerobic Wastewater Treatment Effluents, *Water Research*, **34** (14), p.3487-3489.

BICH, H. **Ciliated Protozoa – An illustrated guide to the species used as biological indicators in freshwater biology**. Genebra, OMS, 1972, 198p.

CAMPOS, J. R. **Alternativas para tratamento de esgotos – pré-tratamento de águas para abastecimento**. Publicação nº 09, Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari. Americana, 1994.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 246 p. v. 5.

CHERNICHARO, C.A.L.; VAN HAANDEL, A.; CAVALCANTI, P. F. F. Controle operacional de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J.R. (Org.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. p. 221-247.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo – 2003**. São Paulo: CETESB, 2004a. p. 1-97.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo – 2001 - 2003**. São Paulo: CETESB, 2004b. p. 1-18.

CYBIS, L.F.; PICKBRENNER, K. Uso de reator seqüencial em batelada para pós-tratamento de efluentes de reator anaeróbio. In: CHERNICHARO, C.A.L.(Org.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Coletânea de trabalhos técnicos. v. 1. PROSAB, 2000. p. 157-164.

CUTOLO, S. A.; ROCHA, A. A. **Correlação entre a microfauna e as condições operacionais de um processo de lodos ativados.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES – Associação de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, 2000.

FIGUEIREDO, M. G. **Microbiologia de lodos ativados.** In: Curso Internacional sobre Controle da Poluição das Águas. CETESB, 1995.

FIGUEIREDO, M. G.; DOMINGUES, V. B. R.; Boas, D. M. F. V.; PEREIRA, P. C. G. **Apostila de Microbiologia de lodos ativados.** CETESB, São Paulo, 2003.

GASPAR, P. M. F. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB em sistema de lodos ativados visando a remoção biológica do nitrogênio associada à remoção físico-química do fósforo.** 2003. 242 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, São Paulo, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.** Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Concepções clássicas de tratamento de esgotos.** São Paulo: BNH / ABES / CETESB, 1975. 544 p. v.1.

KATO, M. T. ; ANDRADE NETO, C. O.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; CYBIS, L. F. Configurações de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, José R. (org.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** PROSAB, 1999. p. 53-99.

MADONI, P. **Protozoa in Waste Treatment Systems, in: “Perspectives in Microbial Ecology”**, Edited by Megusar F. & Gantar M, Slovene Society Microbiologists. Ljubljana, 1986, p.86-90.

MADONI, P. **Protozoi Ciliati nel Contollo di Efficienza dei Fanghi Attivi.** C.I.S.B.A., Reggio Emilia, 1988, p.1-82.

MARCHETTO, M.; CAMPOS, J. R.; REALI, M. A. P. Remoção de nutrientes de efluentes de reator anaeróbio utilizando reatores microaerado e com aeração intermitente seguidos de flotação por ar dissolvido. In: CHERNICHARO, Carlos A. L. (Org.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** Coletânea de trabalhos técnicos. PROSAB, 2000. p. 165-172, v. 1

MELCHIOR, S. C.; CAMARGO, M. L.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; LOPES, T. A.; BARROS, R. M.; SOBRINHO, G. D.; TONSO, S.; PELEGRINE, R.

**Tratamento de Efluentes por Lodos Ativados.** III Fórum de Estudos Contábeis, Faculdades Integradas Claretinas. Rio Claro, São Paulo, 2003.

MENDONÇA, L.C. **Microbiologia e cinética de sistemas de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido.** 2002. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

METCALF & EDDY, Co. **Wastewater Engineering:** treatment, disposal and reuse. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

PRODES - PROGRAMA Despoluição de Bacias Hidrográficas. O que é o PRODES. Disponível em <<http://www.ana.gov.br/prodes/prodes.asp>>. Acesso em: 17 jun. 2005.

SABESP- Sabesp ensina. Disponível em [http://www.sabesp.com.br/sabesp\\_ensina/intermediario/lodos\\_ativados/default.htm](http://www.sabesp.com.br/sabesp_ensina/intermediario/lodos_ativados/default.htm)< Acesso em 29/06/2006 – 8:00 hs – 2006.

SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A. **Indicadores – Sanasa.** Disponível em <<http://www.sanasa.com.br/institucional/indicad.asp>>. Acesso em 18/03/2005 - 2005a.

SANASA – Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A. **Sanasa hoje.** Disponível em <[http://www.sanasa.com.br/institucional/san\\_atual.asp](http://www.sanasa.com.br/institucional/san_atual.asp)>. Acesso em 18/03/2005 - 2005b.

SETTI, A.A.; LIMA, J.E.F.W.; CHAVES, A.G.M.; PEREIRA I.C. **Introdução ao gerenciamento dos recursos hídricos.** 3. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 2002, p. 77.

SILVA, S. V.; PEREIRA, R. A.; Piveli, R. P.; Criscuolo, H. J.. **Monitoramento das características dos esgotos como instrumento de otimização do processo de lodos ativados e suas implicações.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais. Dezembro,2004. p. 46 –59.

Tortora, G.J.; FUNKE, B. R. & CASE, C. L. (1998). Microbiology – An Introduction , 6<sup>th</sup> ed, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 832 p., Estados Unidos.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Chemicals in your community, a guide to the Emergency Planning and Community Right-to-Know Act.** EPA-516/002-80246, Washington, D.C., 1982.

VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado. Teoria e aplicações para projetos e operação.** Campina Grande: EPGRAF, 1999. 488 p.

VAZOLLÉR, R. F.; GARCIA, M. A. R.; GARCIA, A. D.; NETO, J. C. **Microbiologia dos Lodos Ativados.** São Paulo: CETESB, 1989.

VON SPERLING, M. **Introdução de tratamento biológico de águas residuárias – Lodos ativados.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v.4.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996a. 243 p. v.2.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996b. 211 p. v.2.

VON SPERLING, M.; VAN HAANDEL, A. C.; JORDÃO, E. P.; CAMPOS, J. R.; CYBIS, L. F.; AISSE, M. M.; ALEM SOBRINHO, P. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lodos ativados. In: CHERNICHARO, Carlos A. L. (Org.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** PROSAB, 2001. p. 279-331.

VON SPERLING, M. **Lodos ativados.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. 428 p. v.4.

WANNER, J. **Activated sludge bulking and foaming control.** Technomic Publishing Company, 1994. 327 p.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Design of municipal wastewater treatment plants. **Manual of Practice.** n. 8, Alexandria, Va. **ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice.** n. 76, New York, N.Y., 1992.