

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**Estudo de Tratabilidade de Efluentes de
Indústria de Catalisadores Químicos por
Lodos Ativados por Batelada (LAB): Degussa,
Americana, SP**

Márcia Fernanda Higa

Campinas

2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

Estudo de Tratabilidade de Efluentes de Indústria de
Catalisadores Químicos por Lodos Ativados por
Batelada (LAB): Degussa, Americana, SP

Márcia Fernanda Higa

Orientador: Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente

Campinas

2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

H533e Higa, Márcia Fernanda
Estudo de tratabilidade de efluentes de indústria de catalisadores químicos por lodos ativados por batelada (LAB): Degussa, Americana, SP. / Márcia Fernanda Higa.-- Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Carlos Gomes da Nave Mendes
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Águas residuais – Purificação – Processo de lodo ativado. 2. Processo com reator por batelada – Purificação – Lodo. 3. Águas residuais – Purificação – tratamento biológico. 4. Resíduos industriais. I. Mendes, Carlos Gomes da Nave. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

RMS

Título em Inglês: Treatment study of effluents from chemical catalyst industry by activated sludge using sequencing batch reactor: Degussa Americana-SP.

Palavras-chave em Inglês: Sewage – Purification - Water purification – Activated sludge process, Sewage – Purification – Sequencing batch reactor process, Sewage Biological treatment e Industrial wastewater.

Área de concentração: Saneamento e Ambiente.

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: José Roberto Guimarães e Nemésio Neves Batista Salvador

Data da defesa: 23/02/2005

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Estudo de Tratabilidade de Efluentes de Indústria de Catalisadores
Químicos por Lodos Ativados por Batelada (LAB): Degussa,
Americana, SP**

Márcia Fernanda Higa

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes
Presidente e Orientador / Unicamp

Prof. Dr. José Roberto Guimarães
Unicamp

Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador
UFSCar

Campinas, 23 de Fevereiro de 2005.

Dedicatória

Aos que me incentivaram e tornaram possível a realização deste trabalho: meus pais Takessi e Keiko, minhas irmãs Juliana e Paula, e o querido Rodrigo.

Agradecimentos

Ao orientador Prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes, pela atenção, paciência e dedicação durante a elaboração desta dissertação. A ele, minha admiração e amizade.

À Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp pelas instalações e recursos disponíveis.

À Indústria de Catalisadores Químicos Degussa, Americana, SP pelo fornecimento de suas águas residuárias. Também a Cláudia Barea pelo transporte dos efluentes e auxílio nas análises de COT.

Ao Prof. Dr. Edson Abdul Nour, pela paciência e auxílio durante a fase experimental e elaboração da dissertação.

Ao Departamento de Saneamento e Ambiente da FEC, em especial aos Prof. Drs. José Roberto Guimarães e Ruben Bresaola Junior, pelo apoio, incentivo e assistência.

Aos funcionários e estagiários do laboratório de saneamento da FEC, em especial à Mary Andrezza Marques, Enelton Fagnani e Camila São Pedro, por toda assistência durante a fase experimental.

Às secretárias e funcionários da pós-graduação da FEC pelo auxílio concedido.

Aos membros da comissão examinadora deste trabalho, pela atenção e contribuição.

Aos amigos e colegas da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, que profissional ou emocionalmente, me apoiaram durante o curso de pós-graduação.

À minha família pelo imenso amor e constante apoio.

Ao querido Rodrigo, pelo companheirismo, atenção, conselhos, auxílio, carinho e incalculável amizade.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVO	05
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
3.1. Caracterização e Princípios do Tratamento de Esgotos.....	07
3.2. Princípios do Tratamento Biológico de Esgotos	08
3.2.1. Introdução.....	08
3.2.2. Papel dos microrganismos	10
3.2.3. Princípios da microbiologia do tratamento de esgotos.....	10
3.2.3.1. Microrganismos importantes no tratamento biológico.....	10
3.2.4. Tratamento Biológico Aeróbio.....	13
3.3. Sistema de Lodos Ativados	16
3.3.1. Introdução.....	16
3.3.2. Principais componentes do sistema de lodos ativados do tipo convencional.....	17
3.3.2.1. Tanque de aeração (reator biológico de fluxo contínuo)	18
3.3.2.2. Aeração	19
3.3.2.3. Tanque de decantação (decantador secundário)	21
3.3.2.4. Recirculação de lodo	23
3.3.3. Variantes do processo de lodos ativados	25
3.3.4. Tratamento do lodo.....	31
3.3.5. Comparação entre as variantes do processo de lodos ativados	32

3.3.6. Sistemas de operação intermitente (batelada)	35
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
4.1. Descrição dos efluentes a serem tratados	41
4.2. Descrição e operação das instalações utilizadas nos estudos de tratabilidade desenvolvidos em laboratório.....	47
4.3. Análises realizadas e materiais utilizados	59
4.3.1. Caracterização das amostras compostas brutas e das amostras dos reatores (efluente tratado).....	59
4.3.2. Análises realizadas nas amostras compostas brutas e nas amostras dos reatores (efluente tratado).....	60
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1. Caracterização qualitativa do substrato utilizado	64
5.2. Ensaio de tratabilidade dos reatores de bancada.....	69
5.2.1. Série de Sólidos	69
5.2.2. Condutividade.....	77
5.2.3. Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT).	79
5.2.4. Produção de lodo.	90
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXO.....	101

Lista de Figuras

Figura 3.1: Curva típica de crescimento bacteriano.....	15
Figura 3.2: Esquema da etapa biológica do sistema de lodos ativados de fluxo contínuo.....	18
Figura 3.3: Fluxograma do sistema de lodos ativados convencional.....	27
Figura 3.4: Fluxograma do sistema de lodos ativados aeração prolongada.....	28
Figura 3.5: Fluxograma do sistema de lodos ativados com operação intermitente.....	30
Figura 3.6: Ciclo operacional típico do processo de operação intermitente.....	37
Figura 4.1: Fluxograma atual do tratamento dos efluentes gerados na Degussa, Americana – SP.....	42
Figura 4.2: Processo de produção responsável pela geração do efluente Plating.....	43
Figura 4.3: Processo de produção responsável pela geração do efluente Precursor.....	44
Figura 4.4: Processo de produção responsável pela geração do efluente KT.....	44
Figura 4.5: Processo de produção responsável pela geração do efluente Quab.....	45
Figura 4.6: Reator de 4L e volumes característicos operacionais.....	48
Figura 4.7: Aspecto da aeração promovida pelos difusores instalados no fundo.....	48
Figura 4.8: Amostras dos efluentes.....	48
Figura 4.9: Bancada de reatores de Lodos Ativados por Batelada (LAB).....	48
Figura 4.10: Aspecto do lodo biológico após a sedimentação.....	49
Figura 4.11: Aspecto dos reatores após o descarte de lodo e sedimentação.....	49
Figura 5.1: DQO (mg/L) relativa às amostras compostas A, B, C e D.....	66
Figura 5.2: COT (mg/L) relativo às amostras compostas A, B, C e D.....	66
Figura 5.3: Série de sólidos relativa à amostra composta A.....	67
Figura 5.4: Série de sólidos relativa à amostra composta B.....	67
Figura 5.5: Série de sólidos relativa à amostra composta C.....	68
Figura 5.6: Série de sólidos relativa à amostra composta D.....	68
Figura 5.7: Série de sólidos do reator 1 homogeneizado no final do período de aeração.....	71
Figura 5.8: Série de sólidos do reator 2 homogeneizado no final do período de aeração.....	71
Figura 5.9: Série de sólidos do reator 3 homogeneizado no final do período de aeração.....	72
Figura 5.10: Série de sólidos do reator 4 homogeneizado no final do período de aeração.....	72

Figura 5.11: Série de sólidos do reator 5 homogeneizado no final do período de aeração.....	73
Figura 5.12: Série de sólidos do reator 6 homogeneizado no final do período de aeração.....	73
Figura 5.13: Série de sólidos do reator 7 homogeneizado no final do período de aeração.....	74
Figura 5.14: Série de sólidos do reator 8 homogeneizado no final do período de aeração.....	74
Figura 5.15: Sólidos em suspensão voláteis dos reatores 1 e 2 homogeneizados no final do período de aeração, que tiveram como afluente a amostra composta A.....	75
Figura 5.16: Sólidos em suspensão voláteis dos reatores 3 e 4 homogeneizados no final do período de aeração, que tiveram como afluente a amostra composta B.....	75
Figura 5.17: Sólidos em suspensão voláteis dos reatores 5 e 6 homogeneizados no final do período de aeração, que tiveram como afluente a amostra composta C.....	76
Figura 5.18: Sólidos em suspensão voláteis dos reatores 7 e 8 homogeneizados no final do período de aeração, que tiveram como afluente a amostra composta D.....	76
Figura 5.19: DQO filtrada efluente (mg/L) relativa aos reatores biológicos 1 a 4.....	82
Figura 5.20: DQO filtrada efluente (mg/L) relativa aos reatores biológicos 5 a 8.....	82
Figura 5.21: DQO filtrada (mg/L) afluente e efluente relativa aos reatores 1 e 2.....	83
Figura 5.22: DQO filtrada (mg/L) afluente e efluente relativa aos reatores 3 e 4.....	83
Figura 5.23: DQO filtrada (mg/L) afluente e efluente relativa aos reatores 5 e 6.....	84
Figura 5.24: DQO filtrada (mg/L) afluente e efluente relativa aos reatores 7 e 8.....	84
Figura 5.25: COT filtrado efluente (mg/L) relativo aos reatores biológicos 1 a 4.....	86
Figura 5.26: COT filtrado efluente (mg/L) relativo aos reatores biológicos 5 a 8.....	86
Figura 5.27: COT filtrado (mg/L) afluente e efluente relativo aos reatores 1 e 2.....	87
Figura 5.28: COT filtrado (mg/L) afluente e efluente relativo aos reatores 3 e 4.....	87
Figura 5.29: COT filtrado (mg/L) afluente e efluente relativo aos reatores 5 e 6.....	88
Figura 5.30: COT filtrado (mg/L) afluente e efluente relativo aos reatores 7 e 8.....	88
Figura 5.31: Eficiência na redução dos valores de DQO (%) nos reatores biológicos estudados.....	89
Figura 5.32: Eficiência na redução dos valores de COT (%) nos reatores biológicos estudados.....	89

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Classificação dos sistemas de lodos ativados em função da idade do lodo.....	25
Tabela 3.2: Vantagens e desvantagens das variantes operacionais mais comuns dos sistemas de lodos ativados.....	33
Tabela 3.3: Comparação entre variantes dos sistemas de lodos ativados.....	34
Tabela 3.4: Duração de cada etapa do ciclo do processo de operação intermitente, segundo diferentes objetivos de redução, propostos por EPA.....	39
Tabela 4.1: Dados de vazão e características qualitativas dos efluentes gerados na Degussa, Americana – SP.....	46
Tabela 4.2: Condições operacionais gerais dos reatores de bancada na fase de aclimação da biomassa aos efluentes da Degussa.....	52
Tabela 4.3: Composição das amostras afluentes aos reatores em quatro cenários possíveis.....	53
Tabela 4.4: Volumes necessários para a composição das amostras afluentes a cada reator de 4L em quatro cenários possíveis.....	54
Tabela 4.5: Volumes de amostras de cada linha geradora de efluentes necessários para cada semana de investigação experimental.....	55
Tabela 4.6: Condições operacionais gerais dos reatores de bancada.....	58
Tabela 5.1: Valores de condutividade do sobrenadante dos reatores biológicos estudados e das amostras compostas.....	78
Tabela 5.2: Valores de DQO filtrada (mg/L) do sobrenadante dos reatores biológicos estudados e das amostras compostas.....	81
Tabela 5.3: Valores de COT filtrado (mg/L) do sobrenadante dos reatores biológicos estudados e das amostras compostas.....	85
Tabela 5.4: Volume de lodo gerado no tratamento conjunto das águas residuárias geradas pela indústria.....	90

Lista de Abreviaturas e Símbolos

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

A / M : Razão Alimento / Microrganismo

C : Carbono

CO₂: Dióxido de Carbono

COD : Carbono Orgânico Dissolvido

COT: Carbono Orgânico Total

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CITRAE: Centro Integrado de Tratamento e Reuso de Água e Esgotos

Cu : Cobre

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxigênio, após 5 dias de incubação, à uma temperatura de
20°C (mg/L)

DQO: Demanda Química de Oxigênio (mg/L)

EDTA: Ácido Etilenodiaminotetraacético

EPA : United States Environmental Protection Agency

ETE: Estação de Tratamento de Esgotos

FEAGRI: Faculdade de Engenharia Agrícola

FEC : Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

g : grama

h : hora

H : Hidrogênio

HCl: Ácido Clorídrico

θ_c : Tempo de detenção celular ou Idade do lodo (d)

IQ : Instituto de Química da Unicamp

kg : quilograma

L : Litros

LAB: Lodos Ativados por Batelada

Labpro: Laboratório de Protótipos de Tratamento de Água e Efluentes

m^3 : Metro cúbico

Mn: Manganês

mg : Miligrama

mL : Mililitros

N: Nitrogrênio

NaOH : Hidróxido de Sódio

NBR : Norma Brasileira

O : Oxigênio

OD : Oxigênio Dissolvido

$^{\circ}\text{C}$: Graus Celsius

P : Fósforo

pH : Potencial Hidrogeniônico

POA : Processo Oxidativo Avançado

S : Enxofre

SDF: Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)

SDT: Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)

SDV: Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)

SSF: Sólidos em Suspensão Fixos (mg/L)

SST: Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)

SSV: Sólidos em Suspensão Voláteis (mg/L)

ST: Sólidos Totais (mg/L)

STF: Sólidos Totais Fixos (mg/L)

STV: Sólidos Totais Voláteis (mg/L)

t : Tempo de detenção hidráulico (h)

UFSCar: Universidade Federal de São Carlos

UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas

% : Porcento

RESUMO

HIGA, Márcia Fernanda. *Estudo de Tratabilidade de Efluentes de Indústria de Catalisadores Químicos por Lodos Ativados por Batelada (LAB): Degussa, Americana – SP.* Campinas, 2005. 105p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

O presente trabalho teve como objetivo principal a investigação do potencial de utilização de reatores de lodos ativados intermitentes para o tratamento conjunto de diversos tipos de águas residuárias geradas na indústria de catalisadores químicos Degussa, localizada no município de Americana - SP, incluindo-se os esgotos sanitários. Foram utilizados reatores de bancada e estudadas duas idades de lodo, simulando-se a aeração convencional e aeração prolongada. Foram investigados também quatro cenários possíveis, ou seja, quatro amostras compostas distintas de efluentes, de serem implantados em escala real. Os resultados obtidos mostraram que o sistema de aeração prolongada foi preferível em todas as situações estudadas, e que três dos cenários foram adequados ao tratamento biológico de lodos ativados por batelada, uma vez que apresentaram eficiências de redução dos valores de DQO superiores à 80%. No caso do tratamento conjunto de todas as águas residuárias da indústria, essa eficiência foi de 85,7 e 92,1% para as idades de lodo de 7 e 20 dias, respectivamente, indicando que o uso de reatores biológicos de lodos ativados por batelada constituiu-se em alternativa viável para a Degussa.

Palavras-chave: lodos ativados por batelada, estudo de tratabilidade em laboratório, águas residuárias industriais.

ABSTRACT

HIGA, Márcia Fernanda. *Treatment study of effluents from Chemical Catalyst Industry by Activated Sludge using Sequencing Batch Reactor: Degussa, Americana – SP. Campinas, 2005. 105p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.*

The present work had as main objective the investigation of the utilization potential of activated sludge sequencing batch reactors on the combined treatment of several kinds of wastewaters originated in the chemical catalyst industry Degussa, located in Americana – SP, including the domestic sewage. Workbench reactors were used and two sludge ages were studied, simulating the conventional and the prolonged aerations. Four possible sceneries, or four different effluent compound samples, possible of being full-scale introduced, were also investigated. The results showed that the system of prolonged aeration was preferable in all the studied situations, and that three of the sceneries were suitable for the biological treatment by activated sludge using sequencing batch reactors, once they achieved efficiencies of reduction in the COD values greater than 80%. In the treatment including the total reunion of the industry effluents, this efficiency was 85,7 and 92,1%, to the sludge age of 7 and 20 days, respectively, indicating that the use of activated sludge sequencing batch biological reactors is a feasible alternative for Degussa.

Keywords: activated sludge using sequencing batch reactors, treatment study in laboratory, industrial wastewater treatment

1. INTRODUÇÃO

Dentre os serviços de saneamento, o tratamento de esgotos destaca-se pela sua importância, pois a disposição adequada dos esgotos é essencial para a proteção da saúde pública, e a preservação do meio ambiente. A carga orgânica dos esgotos sanitários brutos pode contaminar a água, o alimento, o solo, entre outros, tornando insalubre o ambiente. As substâncias presentes nos esgotos são prejudiciais aos mananciais: a matéria orgânica pode ocasionar o esgotamento do oxigênio dissolvido, com morte de peixes e outros organismos aquáticos, escurecimento da água e provocar maus odores. Portanto, os efluentes tratados devem ter qualidade compatível com a do corpo receptor obedecendo aos padrões de emissão.

Os sistemas de tratamento de esgotos são definidos como o conjunto de operações e processos unitários empregados com a finalidade de permitir o lançamento do efluente, ou seu reuso, sem prejuízo à saúde pública ou ao meio ambiente. Em estações de tratamento de esgotos (ETE) procura-se otimizar os processos e reduzir os custos, para que se obtenha a maior eficiência possível, respeitando as restrições impostas para a proteção do corpo receptor e pelas limitações dos recursos disponíveis. A escolha dos processos a serem utilizados no tratamento de esgotos depende das características das águas residuárias, da qualidade necessária do efluente tratado, dos custos de implantação e operação, e disponibilidade de área.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, os efluentes provenientes de indústrias vêm sofrendo constantes alterações em suas composições, por meio da inclusão de grande

número de compostos químicos utilizados ou gerados na linha de processamento industrial. Portanto, dependendo da natureza da indústria, vários constituintes devem ser removidos do seu despejo, antes de ser lançado no corpo receptor. Alguns desses constituintes são os orgânicos solúveis; os sólidos em suspensão; os metais potencialmente tóxicos, cianetos e compostos orgânicos tóxicos; cor e turbidez; nitrogênio e fósforo; substâncias refratárias resistentes à biodegradação e materiais voláteis.

Os rios são capazes de promover a sua autodepuração, por meio da estabilização biológica da matéria orgânica contida nos esgotos lançados, possível devido à respiração celular das bactérias que oxidam os compostos orgânicos. Em rios poluídos, existe uma deficiência de oxigênio, destruindo a vida aquática e impossibilitando o uso direto ou indireto dessas águas. Assim, é importante a realização de um tratamento de qualquer tipo de esgoto antes do seu lançamento em corpos d'água receptores. O tratamento biológico realizado em estações de tratamento de esgotos simula esse princípio de autodepuração.

O sistema de lodos ativados é um processo biológico aeróbio de tratamento de esgotos, onde a massa microbiana promove o tratamento, permitindo uma elevada eficiência de remoção da carga orgânica. Constitui-se numa das formas mais empregadas de tratamento, podendo ser incluídas as etapas de remoção de matéria orgânica e também de nutrientes (nitrogênio e fósforo), com a adequação do sistema convencional em diversas variantes. O reator é o local onde ocorre a recirculação de sólidos, sendo de fundamental importância para o sistema. Em um sistema de tratamento biológico de esgotos, a remoção de substrato e crescimento da biomassa relaciona-se com o consumo de oxigênio, o que constitui um fator comum na avaliação dos processos e pode ser obtido como medida da utilização de oxigênio pelos microrganismos. Esse ponto em comum fornece ao consumo biológico de oxigênio um importante papel na avaliação de processos de lodos ativados. O sistema de lodo ativado normalmente envolve uma operação mais complexa do que as lagoas de estabilização e os filtros biológicos, desta forma são empregados como solução para cidades de médio e grande porte.

Embora possua custos elevados quando comparado a outros sistemas de tratamento de esgotos (por exemplo as lagoas de estabilização), devido a sua maior mecanização e operação, o

sistema de lodos ativados requer áreas pequenas para ser implantado e proporciona altas eficiências de redução da matéria orgânica presente, tornando-se dessa forma uma das alternativas de tratamento para indústrias onde normalmente os efluentes gerados são mais complexos e há uma pequena disponibilidade de área. Pode-se citar também uma tendência das grandes indústrias, que além de adequarem-se com as normas vigentes, tem um grande compromisso social, uma vez que os corpos receptores dos efluentes são também os mananciais de água que abastecem as populações dos grandes centros urbanos. Esses argumentos justificariam quaisquer esforços visando o controle dos efluentes gerados, motivo pelo qual existe o interesse da indústria de catalisadores químicos DEGUSSA, situada no município de Americana – SP, em encontrar uma alternativa mais eficiente para tratar seus efluentes (tema do presente trabalho), otimizando o reator biológico existente, com a inclusão de duas outras águas residuárias geradas nessa indústria, hoje tratadas em local externo e terceirizado, analisando a eficiência do tratamento pelo processo de lodos ativados por batelada.

Os efluentes industriais estudados são provenientes de quatro linhas de produção, em conjunto com os esgotos sanitários da própria indústria. O processo de tratamento implantado atualmente dispõe de dois reatores biológicos operados como lodos ativados, sendo que um deles, de forma intermitente, encontra-se nas instalações da própria indústria e é incumbido de receber 3 linhas de geração de efluentes. O segundo reator biológico é operado com fluxo contínuo, parte do sistema de tratamento da Estação de Americana, localizada fora das instalações da indústria, e é incumbido de receber efluentes de várias indústrias, incluindo 1 linha de efluente industrial e os esgotos sanitários da Degussa. Dentre os objetivos da empresa estão (a) independência total dos serviços adquiridos no Site Americana e verificação da adequação do sistema de tratamento biológico existente na indústria para o recebimento de todos os seus efluentes; (b) caracterização qualitativa dos efluentes e (c) investigação da possibilidade de tratamento conjunto dos diferentes efluentes. O presente estudo propõe, a fim de atender as necessidades da empresa, uma investigação do potencial de utilização de reatores de lodos ativados por batelada para o tratamento conjunto das águas residuárias geradas nessa indústria, por meio de reatores de bancada. Para isso, foram estudados duas idades de lodo (simulando a aeração convencional e a aeração prolongada) e quatro cenários possíveis de serem implantados em escala real.

2. OBJETIVO

O objetivo principal da presente proposta de pesquisa consiste em investigar o potencial de utilização de reatores de lodos ativados intermitentes para o tratamento conjunto de diversos tipos de águas residuárias geradas numa indústria de fabricação de catalisadores químicos, incluindo-se os esgotos sanitários.

Como objetivos específicos, serão, também, estudados os seguintes parâmetros operacionais:

- Influência da imposição de duas idades de lodo, aos reatores biológicos sobre as eficiências de remoção de DQO e TOC: 7 dias, simulando a aeração convencional e 20 dias, simulando a aeração prolongada;
- Investigação de quatro cenários possíveis para o tratamento em escala real a ser implantado no futuro, considerando diferentes combinações entre as águas residuárias geradas na indústria, utilizadas como substrato afluente ao sistema de lodos ativados por batelada;
- Determinação dos volumes de lodo gerados nos reatores biológicos submetidos aos diferentes cenários de composição dos afluentes e idades de lodo investigadas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. *Caracterização e Princípios do Tratamento de Esgotos*

As águas residuárias são caracterizadas pela sua composição *física* (cor, odor, sólidos e temperatura), *química* (componentes orgânicos, como carboidratos, gorduras, óleos, pesticidas, fenóis, proteínas, surfactantes e compostos orgânicos voláteis; componentes inorgânicos, como alcalinidade, cloretos, metais potencialmente tóxicos, nitrogênio, pH, fósforo e enxofre; e gases, como gás sulfídrico, metano e oxigênio) e *biológica* (microrganismos tais como algas, bactérias, fungos, protozoários, vírus etc).

O *tratamento primário* é composto de operações físicas (como gradeamento e sedimentação) e tem como objetivo a remoção de sólidos flutuantes e sedimentáveis presentes no esgoto. No *tratamento secundário*, processos biológicos e químicos são utilizados para remover a maior parte da matéria orgânica. No *tratamento terciário (avançado)*, combinações adicionais de operações e processos unitários são utilizadas na remoção de outros compostos, como nitrogênio e fósforo, que não são reduzidos significativamente pelo tratamento secundário.

Os contaminantes de interesse no tratamento de esgotos são *sólidos em suspensão, matéria orgânica biodegradável, patógenos; nutrientes; compostos orgânicos e inorgânicos com*

suspeitas de provocar carcinogenicidade, mutagenicidade e toxicidade; matérias orgânicas refratárias (como surfactantes, fenóis e pesticidas agrícolas); metais potencialmente tóxicos e compostos inorgânicos dissolvidos (como cálcio, sódio e sulfato).

3.2. Princípios do Tratamento Biológico de Esgotos

3.2.1. Introdução

De acordo com METCALF & EDDY (1991), quase todos os efluentes podem ser tratados via processos biológicos, desde que sejam submetidos a um levantamento apropriado de suas características qualitativas e quantitativas e, em alguns casos, desenvolvidos estudos de tratabilidade laboratoriais ou em instalações piloto, que subsidiem a escolha da alternativa mais apropriada. Os processos biológicos são utilizados para converter a matéria orgânica dissolvida em sólidos inorgânicos e biológicos capazes de flocular e sedimentar, que podem ser removidos em tanques de sedimentação. Em muitos casos, esses processos (também chamados de secundários) são empregados juntamente com os processos físicos e químicos que são utilizados nos tratamentos preliminar e primário de efluentes. A sedimentação primária é mais eficiente na remoção de sólidos sedimentáveis, enquanto que os processos biológicos são mais eficientes na remoção de substâncias orgânicas tanto coloidais como solúveis.

Os objetivos do tratamento biológico de esgotos são, portanto, coagular e remover os sólidos coloidais não sedimentáveis e estabilizar a matéria orgânica. Para esgotos domésticos, o principal objetivo é a redução de compostos orgânicos e, em muitos casos, de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Em muitas situações, a remoção de vestígios de compostos orgânicos que podem ser tóxicos também é um importante objetivo do tratamento. Para esgotos industriais, o objetivo é a remoção ou redução da concentração de compostos orgânicos e inorgânicos. Processos combinados podem ser necessários, uma vez que muitos desses compostos são tóxicos para os microrganismos.

Muitos efluentes industriais se mostram resistentes aos processos biológicos de tratamento comumente utilizados no tratamento de esgotos domésticos. O desempenho é bastante variável, mas tipicamente de 85 a 95% de redução de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) é esperada no tratamento por lodos ativados de efluentes domésticos, enquanto que em tratamento de efluentes industriais a redução esperada é de 75 a 95% de DBO e de 80 a 85% de DQO – Demanda Química de Oxigênio (BURGESS, QUARMBY E STEPHENSON, 1999).

Teoricamente, os microrganismos são capazes de degradar qualquer material oxidável, desde que condições ambientais adequadas prevaleçam, mas vários processos industriais resultam no lançamento de compostos sintéticos não familiares às células microbianas, e, portanto resistentes à biodegradação. Além disso, muitos efluentes industriais são deficientes em nutrientes necessários para o crescimento microbiano. Os macronutrientes essenciais são carbono (C), oxigênio (O), hidrogênio (H), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S). Em tratamento de efluentes industriais pode ser necessário adicionar nutrientes, principalmente N e P ao afluente, pois a indisponibilidade dos mesmos pode limitar a degradação da matéria orgânica. Os micronutrientes necessários em lodos ativados são vários, entre eles cobre (Cu), manganês (Mn) e vitaminas B.

Os processos biológicos de tratamento reproduzem o que ocorre na natureza. No corpo d'água, a matéria orgânica é convertida em produtos mineralizados inertes por mecanismos puramente naturais, fenômeno conhecido como autodepuração. Em uma estação de tratamento de esgotos a diferença é que, em paralelo a esses fenômenos básicos de autodepuração, o uso de equipamentos diversos e o conhecimento da cinética de degradação da matéria orgânica e hidrodinâmica dos reatores biológicos utilizados em condições controladas, permitem acelerar o processo, obtendo-se elevadas eficiências de redução dos poluentes em tempos de detenção muito menores.

3.2.2. Papel dos microrganismos

Segundo METCALF & EDDY (1991), a redução de valores de DBO, a coagulação de sólidos coloidais não sedimentáveis e a estabilização da matéria orgânica, são realizadas biologicamente utilizando uma variedade de microrganismos, principalmente as bactérias. Os microrganismos são utilizados para converter a matéria orgânica carbonácea dissolvida e coloidal em vários gases e em tecidos celulares, que possuem um peso específico levemente maior que a água e podem, portanto, ser removidos através da sedimentação.

É importante notar que, a menos que o tecido celular produzido a partir da estabilização da matéria orgânica seja removido da fase líquida, o tratamento não terá o sucesso desejado, pois, constituindo-se na sua maior parte de matéria orgânica, proporcionará considerável carga de DBO nos esgotos tratados.

3.2.3. Princípios da microbiologia do tratamento de esgotos

A compreensão da microbiologia do tratamento de esgotos é, portanto, essencial para a otimização do projeto e operação dos sistemas de tratamento biológico. Os principais microrganismos envolvidos são as bactérias, protozoários, fungos, algas e vermes. Destes, as bactérias são os mais importantes na estabilização da matéria orgânica.

3.2.3.1. Microrganismos importantes no tratamento biológico

Baseado na estrutura celular e função, os microrganismos são comumente classificados em eucariotos e procariotos. Os procariotos (eubactérias e arqueobactérias) são de fundamental importância em tratamentos biológicos e são geralmente referidos simplesmente como bactérias. Os grupos eucarióticos incluem plantas, animais e protistas; e aqueles que são considerados

microrganismos e que são importantes no tratamento biológico incluem fungos, protozoários, rotíferos e algas.

(a) **Bactérias**

As bactérias são organismos procarióticos unicelulares cujo modo de reprodução usual é por meio da fissão binária, apesar de algumas espécies se reproduzirem sexuadamente ou através de germinação. Apesar de existirem milhares de diferentes espécies de bactérias, elas geralmente apresentam uma das três formas básicas: *esféricas (cocos)*, *cilíndricas (bacilos)* ou *espiralada (helicoidais ou espirilos)*. Elas variam em tamanho dependendo da espécie, e alguns tamanhos representativos são (METCALF & EDDY, 1991): 0,5 A 1,0 μm de diâmetro em formas esféricas; 0,5 a 1,0 μm de largura por 1,5 a 3,0 de comprimento em formas cilíndricas; e 0,5 a 5,0 μm de largura por 6,0 a 15,0 μm de comprimento em formas espiraladas.

As condições ambientais de *temperatura* e *pH* têm um efeito importante na sobrevivência e crescimento das bactérias. Em geral, um crescimento ótimo ocorre dentro de faixa estreita de temperatura e pH, apesar das bactérias serem capazes de sobreviver dentro de limites muito mais amplos. Temperaturas abaixo da ótima têm um efeito mais significativo nas taxas de crescimento do que aquelas acima da ótima. Tem sido observado que as taxas de crescimento duplicam aproximadamente a cada aumento de 10°C até que a temperatura ótima seja atingida. De acordo com a faixa de temperatura em que as bactérias funcionam melhor, elas podem ser classificadas em *psicrófilas* (15 a 20°C), *mesófilas* (25 a 40°C) e *termófilas* (40 a 85°C).

O pH do ambiente também é um fator fundamental no crescimento dos microrganismos. A maioria das bactérias não consegue tolerar níveis de pH acima de 9,5 ou abaixo de 4,0; sendo que geralmente o pH ótimo para o crescimento situa-se entre 6,5 e 7,5.

(b) Fungos

Os fungos importantes na engenharia ambiental são protistas multicelulares, não fotossintéticos e heterotróficos. Eles são geralmente classificados pelo seu modo de reprodução, que pode ser sexuada ou assexuada; por fissão, germinação ou formação de esporos. Os bolores, ou fungos verdadeiros, produzem unidades microscópicas (hifas) que em grande quantidade forma uma massa filamentosa visível a olho nu, chamada micélio. As leveduras são fungos que não são capazes de formar micélio e são portanto unicelulares.

A maioria dos fungos é estritamente aeróbia e possui a habilidade de crescer sob condições de baixa umidade. O pH ótimo para a maioria das espécies é 5,6, sendo que a faixa situa-se entre 2 e 9. Os fungos também apresentam um requisito de nitrogênio baixo (metade da necessidade das bactérias). A habilidade dos fungos de sobreviver sob baixas condições de pH e nitrogênio, associada a sua capacidade de degradar a celulose os tornam muito importantes no tratamento biológico de alguns resíduos industriais e na compostagem de resíduos orgânicos sólidos.

(c) Protozoários e Rotíferos

Os protozoários são protistas móveis, microscópicos e usualmente são células simples. A maioria dos protozoários é heterotrófica aeróbia, embora existam alguns anaeróbios. Os protozoários são geralmente maiores do que as bactérias e freqüentemente as consomem como fonte de energia. Eles atuam como “polidores” dos efluentes de processos de tratamento biológico de águas residuárias por consumirem bactérias e matéria orgânica particulada.

Os rotíferos são microrganismos aeróbios, heterotróficos e multicelulares. São muito eficientes no consumo de bactérias dispersas e de pequenas partículas de matéria orgânica. A sua presença no efluente indica um processo de purificação biológica aeróbia altamente eficiente.

(d) Algas

As algas são protistas unicelulares ou multicelulares, autotróficas e fotossintéticas. Elas são capazes de armazenar energia na forma de gorduras, óleos e carboidratos; e movimentam-se por meio de flagelos, que variam em estrutura, número e ponto de fixação. São importantes nos processos de tratamento biológico uma vez que sua capacidade de produzir oxigênio através da fotossíntese é vital para a ecologia do ambiente aquático. Para uma lagoa ou tanque de oxidação aeróbia ou facultativa operar efetivamente, as algas são necessárias para fornecer oxigênio para as bactérias aeróbias heterotróficas.

METCALF & EDDY (1991) citam que alguns cientistas recomendam a utilização das algas na remoção de nitrogênio dos efluentes de estações de tratamento, outros, na remoção de fósforo, e há ainda outros que as recomendam na remoção de ambos. A definição dos objetivos do tratamento influencia na seleção do tipo de processo biológico a ser adotado.

3.2.4. Tratamento Biológico Aeróbio

O método de tratamento biológico é baseado na biodegradação de substâncias orgânicas através da atividade de vários microrganismos, e pode ocorrer aerobiamente ou anaerobiamente.

ILYIN (2004) aponta como vantagens do tratamento biológico a diminuição do volume de resíduos orgânicos, o controle de risco biológico dos resíduos e a compatibilidade desse sistema com outros.

No processo aeróbio procura-se intensificar a proliferação de certos microrganismos, principalmente as bactérias, que são capazes de oxidar aerobiamente a matéria orgânica e de formar massas capazes de adsorver partículas em suspensão (dando origem aos flocos, de maior tamanho e densidade, e conseqüentemente de sedimentação mais rápida).

Os principais elementos químicos necessários para o crescimento das células dos microrganismos são carbono, nitrogênio, hidrogênio, oxigênio, enxofre e fósforo. Em geral, os nutrientes necessários aos microrganismos estão presentes nos esgotos domésticos e industriais. Apenas os compostos de nitrogênio e fósforo podem ocorrer em concentrações insuficientes (especialmente nos despejos industriais) havendo, nesse caso, a necessidade de complementá-las artificialmente.

Quando os microrganismos são semeados em um meio de cultura apropriado e incubados em condições ótimas para seu crescimento, um grande aumento no número de células ocorre em um período de tempo relativamente curto. O crescimento em uma cultura microbiana normalmente significa um aumento no número total de células devido à reprodução dos organismos individuais na cultura e pode ser descrito em: (a) *fase de adaptação*, representada pelo tempo necessário para os organismos se aclimatarem ao seu novo ambiente e começarem a se multiplicar; (b) *fase logarítmica de crescimento (exponencial)*, período no qual as células se dividem e ocorre uma taxa de crescimento que depende de sua habilidade de processar o substrato; (c) *fase estacionária*, na qual não há aumento da população, pois as células já consumiram o substrato ou nutrientes necessários para o seu crescimento e o crescimento de células novas é compensado pela morte de células velhas; (d) *fase de decaimento (declínio ou mortandade)*, na qual a taxa de mortalidade bacteriana (usualmente função da população viável e das características do ambiente) excede a taxa de produção de novas células, havendo, portanto, uma velocidade de crescimento negativa.

A curva típica do crescimento bacteriano pode ser vista na Figura 3.1.

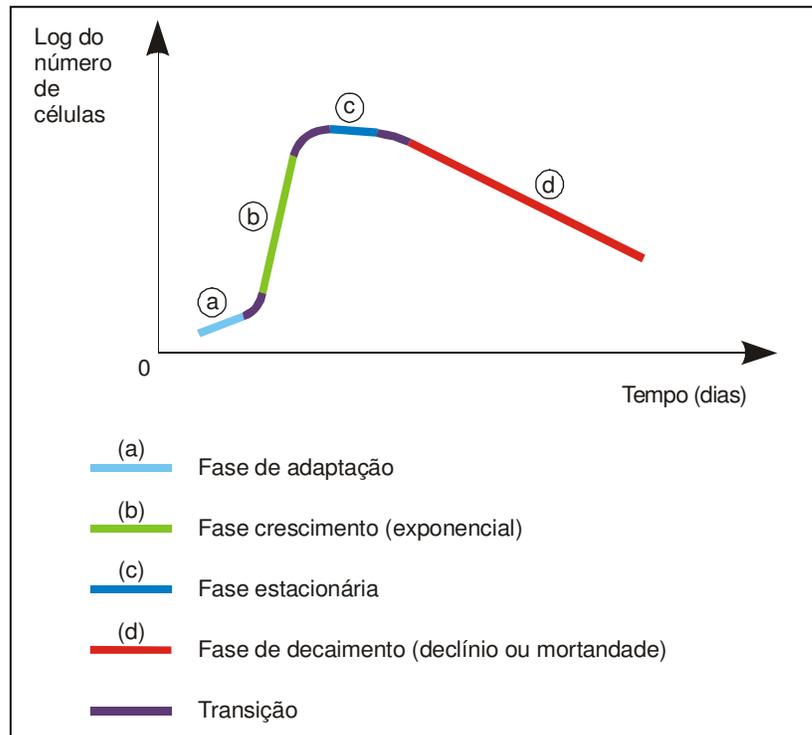


Figura 3.1: Curva típica de crescimento bacteriano.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996).

Através de respiração aeróbia os organismos que formam os flocos oxidam a matéria orgânica do esgoto. O oxigênio necessário para essa respiração deve estar no próprio esgoto (constituindo o oxigênio dissolvido, OD), podendo ser enriquecido pela atividade de microrganismos fotossintéticos, por contato direto com o ar ambiente ou por introdução mecânica.

3.3. Sistema de Lodos Ativados

3.3.1. Introdução

O tratamento primário de esgotos tem como objetivo principal a remoção de sólidos grosseiros e sedimentáveis, utilizando-se de técnicas de gradeamento e decantação simples. Porém, com a finalidade de aumentar a eficiência do tratamento de águas residuárias (devido aos sistemas de tratamento primário só depurarem parcialmente o esgoto, pois grande parte do material orgânico presente nas águas residuárias não é sedimentável), é necessária a introdução de tratamento complementar (secundário), em geral, caracterizado pelo uso de processos biológicos a fim de se obter uma remoção mais completa do material orgânico.

O sistema de lodos ativados surgiu nessa busca de um sistema eficiente de tratamento secundário, quando foi constatado que a aeração de águas residuárias resultava na remoção de material orgânico, enquanto que, simultaneamente, se formavam flocos de microrganismos que podiam ser separados da fase líquida por meio da decantação simples, obtendo-se assim o lodo biológico, que por sua vez, adicionado a uma outra batelada de água residuária resultava numa aceleração notável do processo de remoção do material orgânico, pois quanto maior a concentração de biomassa, mais substrato é utilizado, ou em outras palavras, mais DBO é reduzida. Desta forma, com o retorno do lodo sedimentado no decantador secundário (de maior concentração) ao reator biológico (para sistemas de fluxo contínuo), ou com a manutenção do lodo sedimentado no próprio tanque de aeração (para sistemas de fluxo intermitente), o processo poderá assimilar uma carga muito maior de DBO. Essa capacidade de acelerar a remoção do material orgânico de águas residuárias fez com que o lodo biológico fosse chamado de “lodo ativado”.

No sistema de lodos ativados, devido à recirculação dos sólidos o *tempo de detenção do líquido* é menor que o *tempo de detenção dos sólidos* (que é denominado idade do lodo). É esta maior permanência dos sólidos no sistema que garante a elevada eficiência no mesmo, já que a

biomassa presente em alta concentração pode metabolizar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos em um pequeno intervalo de tempo.

Utiliza-se o sistema de lodos ativados para o tratamento de despejos domésticos e industriais em situações em que são necessários reduzidos requisitos de área e elevada qualidade do efluente. No entanto, esse sistema exige um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando em maior complexidade operacional e em maiores consumos de energia elétrica.

De acordo com METCALF & EDDY (1991), as considerações que devem ser dadas ao projeto de lodos ativados são: (1) seleção do tipo de reator; (2) critério de carga, ou seja, relação alimento/microrganismo e idade do lodo; (3) produção de lodo; (4) necessidade e transferência de oxigênio; (5) necessidade de nutrientes; (6) controle de organismos filamentosos; e (7) características do efluente.

3.3.2. Principais componentes do sistema de lodos ativados do tipo convencional

A etapa biológica do sistema de lodos ativados é composta do tanque de aeração (reator), do tanque de decantação (decantador secundário) e da recirculação de lodo, conforme ilustrada na Figura 3.2.

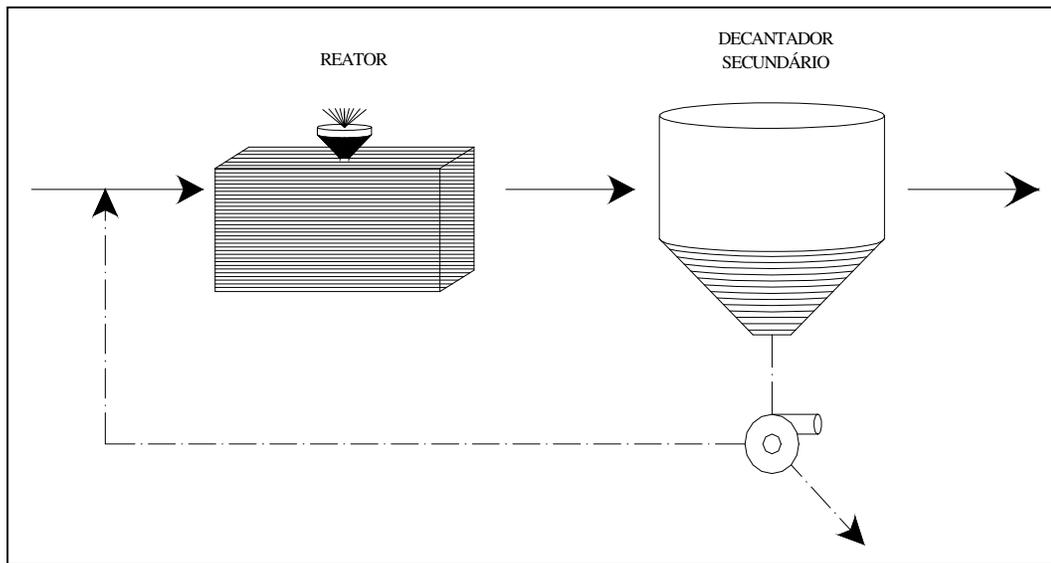


Figura 3.2: Esquema da etapa biológica do sistema de lodos ativados de fluxo contínuo.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002).

3.3.2.1. Tanque de aeração (reator biológico de fluxo contínuo)

Pode ser um tanque, uma lagoa ou um valo, onde o afluente é aerado e misturado adequadamente. Existem duas entradas no reator: a que permite o acesso do esgoto bruto, e, a que recebe o lodo recirculado contendo alta concentração de microrganismos ou biomassa (essa concentração é estimada por meio da avaliação do parâmetro sólidos suspensos voláteis (SSV), devido à dificuldade de medição da real população de microrganismos ativos). No tanque de aeração, ou reator, ocorrem as reações bioquímicas de degradação da matéria orgânica (e em determinadas condições, da matéria nitrogenada). A biomassa utiliza-se do substrato presente no esgoto bruto para seu metabolismo e reprodução.

Os fatores operacionais envolvidos na seleção do tipo de reator incluem a cinética das reações que regem o processo de tratamento, a necessidade de transferência de oxigênio, a natureza do esgoto a ser tratado, as condições ambientais do local (principalmente temperatura do reator, pH e alcalinidade do efluente), e os custos de construção, operação e manutenção (considerados juntamente com as instalações de decantação secundária). A escolha da idade do

lodo (θ_c) a ser mantida no sistema, também é de fundamental importância para a definição do fluxograma de processo a ser implantado, implicando, diretamente na necessidade ou não de unidades como decantação primária e de etapas posteriores para digestão do lodo biológico descartado em excesso dos tanques de aeração. Quanto à hidrodinâmica de escoamento da água nos tanques de aeração, estes podem comportar-se como reatores de mistura completa, ou tubular (fluxo pistão), mas, na grande maioria dos casos, o funcionamento se dá em condições intermediárias a esses dois extremos, dependendo da geometria, compartimentalização e condições de entrada, retorno de lodo e mistura adotadas.

3.3.2.2. Aeração

É uma operação de fundamental importância em processos aeróbios de tratamento de esgotos. Desde que um líquido esteja deficiente de um gás, há uma tendência natural do gás passar da fase gasosa, onde se encontra em quantidade satisfatória, para a fase líquida, onde está deficiente. O oxigênio é um gás que apresenta pouca solubilidade, e por esta razão, há a necessidade de se acelerar o processo natural, de uma forma em que o fornecimento de oxigênio possa se dar em taxa mais elevada, equivalente à taxa do seu consumo pelas bactérias.

As duas principais formas de se produzir a aeração artificial são por meio da *aeração por ar difuso*, onde há uma introdução de ar ou oxigênio no líquido, e por meio da *aeração superficial ou mecânica*, onde é causado um grande turbilhonamento, expondo o líquido, na forma de gotículas, ao ar, proporcionando a formação de grande superfície de contato e, desta forma, altas taxas de transferência de oxigênio à massa líquida.

A introdução constante de ar não só fornece o oxigênio indispensável à atividade respiratória dos microrganismos depuradores, como promove a agitação do meio, mantendo a homogeneização e contato da biomassa, do substrato e do oxigênio, além de evitar a presença de zonas mortas que diminuiriam o volume útil do tanque de aeração. Portanto, a aeração deve ser adequada para satisfazer a demanda carbonácea (e, na maioria dos casos a demanda nitrogenada)

do resíduo e a demanda para a respiração endógena dos microrganismos, proporcionando uma mistura adequada, e mantendo uma concentração mínima de oxigênio dissolvido.

A sedimentação depende principalmente da estrutura, tamanho e densidade dos flocos. Essas propriedades podem mudar rapidamente devido a variação nas condições da estação de tratamento de efluentes. Vários parâmetros são conhecidos por afetar o tamanho e estrutura dos flocos, entre eles o tempo de retenção dos sólidos, a carga orgânica, a turbulência e a concentração de oxigênio dissolvido (WILÉN e BALMÉR, 1999).

LI e GANCZARCZYK (1993), e STARKEY e KARR (1984) citados por WILÉN e BALMER (1999) estudaram a influência de diferentes parâmetros no tamanho e dispersão dos flocos em sistemas de lodos ativados, e concluíram, respectivamente que:

- a carga orgânica e a disponibilidade de oxigênio dissolvido (OD) são os dois fatores mais significantes que influenciam na distribuição do tamanho dos flocos;
- baixas concentrações de OD conduzem a um lodo ativado pobremente floculado e a um efluente mais turvo.

WILÉN e BALMÉR (1999) estudaram as variações na estrutura e tamanho dos flocos em lodos ativados para diferentes concentrações de OD utilizando reatores de mistura completa em escala piloto. Algumas de suas conclusões foram:

- baixas concentrações de OD produzem um lodo ativado com propriedades de adensamento e sedimentação pobres;
- não há uma correlação clara entre concentração de OD e diâmetro médio dos flocos. Somente pôde ser encontrada uma tendência de formação de flocos maiores em concentrações de OD mais altas;

- a turbidez do sobrenadante é geralmente maior em baixas concentrações de OD. Entretanto, lodos ativados com altos índices volumétricos de lodo geralmente levam a valores menores de turbidez, mesmo em baixas concentrações de OD;
- altas concentrações de OD produzem flocos com maior compacidade do que baixas concentrações.

3.3.2.3. Tanque de decantação (decantador secundário)

O decantador secundário é um componente vital do sistema de lodos ativados. Segundo FUCHS e STAUDINGER (1999), ele combina as seguintes funções:

- (1) adensamento: para produzir lodo adensado para retornar ao reator biológico;
- (2) clarificação: para produzir um efluente final bem clarificado;
- (3) tanque de armazenamento: para armazenar lodo durante fluxos de pico.

Se o decantador secundário falhar em qualquer uma dessas três funções, sólidos suspensos serão conduzidos ao efluente, deteriorando a qualidade do mesmo.

O tanque de decantação separa a biomassa microbiana do efluente tratado, ou seja, é nele que ocorre a sedimentação dos flocos biológicos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado. A biomassa consegue ser facilmente separada no decantador secundário devido à tendência apresentada pelas bactérias responsáveis pela estabilização da matéria orgânica de flocularem e sedimentarem. Além da separação dos sólidos em suspensão presentes no reator, o decantador secundário possui também o importante papel de armazenamento e adensamento dos sólidos sedimentados, permitindo assim o retorno de lodo ao tanque de aeração com concentração mais elevada.

A eficiência total do sistema é altamente dependente da atuação satisfatória do decantador secundário, que é crucial para toda a operação de lodos ativados (CAKICI e BAYRAMOGLU (1995)).

Os decantadores secundários são, geralmente, a última unidade do sistema, ditando a qualidade do efluente final em termos de sólidos em suspensão, DBO e mesmo, nutrientes.

O principal tipo de sedimentação a ocorrer no decantador secundário é a sedimentação zonal, caracterizada pela sedimentação de todos os flocos juntos, com uma velocidade única (como uma massa única de partículas, as quais tendem a permanecer numa posição fixa em relação às partículas vizinhas). Observa-se uma nítida interface de separação entre as fases sólida e líquida.

FUCHS e STAUDINGER (1999) analisaram o processo de clarificação do sobrenadante de um sistema de lodos ativados durante o processo de sedimentação, e concluíram que:

- os lodos que são similares na curva de sedimentação podem produzir sobrenadantes de qualidades extremamente diferentes;
- a remoção da biomassa do sobrenadante por sedimentação é determinada pela capacidade dos flocos do lodo ativado de formar uma cadeia entrelaçada. Essa cadeia atua como uma camada filtrante para a água que é pressionada para fora do lodo em sedimentação;
- dois tipos de regime de separação do lodo ativado existem, e eles são muito diferentes na qualidade do sobrenadante produzido durante a separação:
 - separação entrelaçada: o aumento na transparência do sobrenadante é devido somente a uma diluição do mesmo por uma água relativamente mais limpa que passa do lodo ao sobrenadante, através da interface;
 - separação dispersa: a transparência do sobrenadante ocorre por sedimentação. Os flocos que não são sedimentáveis permanecem no sobrenadante.

- com a separação entrelaçada até os flocos com densidade igual ou menor que da água podem ser removidos, uma vez que eles ficam presos na manta de lodo.

Os formatos mais comuns para os decantadores secundários são o *retangular de fluxo horizontal* e o *circular de alimentação central*.

3.3.2.4. Recirculação de lodo

Os sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário são recirculados para o tanque de aeração, aumentando a concentração de biomassa no mesmo, o que possibilita a elevada eficiência do sistema. Essa recirculação de lodo acelera o processo de depuração do esgoto devido à grande capacidade depuradora que este possui, pela aclimação prévia às características do esgoto em tratamento, assim como, pela alta concentração de microrganismos frente a disponibilidade de substrato.

Segundo CAKICI e BAYRAMOGLU (1995), os dois parâmetros mais significantes utilizados para controlar o processo de tratamento do efluente são a taxa de recirculação de lodo e a taxa de lodo descartado. O lodo recirculado deve produzir uma concentração suficiente de biomassa no reator para promover uma eficiência de tratamento exigida, apesar da carga orgânica e da vazão afluyente serem variáveis no tempo; e o descarte de lodo é necessário para manter a taxa alimento/microrganismo (A/M) ou a idade do lodo (θ_c), e para operar o decantador sob estabilidade dinâmica.

A quantidade de lodo a ser recirculado depende fundamentalmente da qualidade do lodo sedimentado no decantador secundário, pois quanto mais concentrado for este lodo, menor poderá ser a vazão de recirculação, para que se atinja uma determinada concentração de sólidos no reator.

Os fatores que influenciam na qualidade do lodo são relacionados a diversos parâmetros de projeto e operacionais e são citados por VON SPERLING (2002):

- Idades do lodo bem reduzidas podem implicar num crescimento bacteriano com tendência a ser disperso, ao invés de floculento;
- Idades do lodo bem elevadas podem resultar num floco constituído predominantemente de um resíduo da respiração endógena bastante mineralizado, com pequena capacidade de floculação;
- Determinadas condições ambientais no reator, como baixos teores de OD, podem conduzir à predominância de microrganismos do tipo filamentosos, pelo fato destes apresentarem uma área superficial por unidade de volume relativamente elevada. Estes microrganismos, no entanto, geram um floco com má sedimentabilidade, dando origem ao problema conhecido como intumescimento do lodo (“bulking sludge”);
- Um reator de fluxo em pistão é capaz de produzir um lodo com melhor sedimentabilidade (predominância das bactérias formadoras de floco sobre as filamentosas) que um reator de mistura completa.

No tanque de aeração, devido à entrada contínua de alimento, na forma de DBO dos esgotos, os microrganismos crescem e se reproduzem continuamente. Caso fosse permitido que a população dos mesmos crescesse indefinidamente, eles tenderiam a atingir concentrações excessivas no tanque de aeração, dificultando a transferência de oxigênio a todas as células. Além disso, o decantador secundário ficaria sobrecarregado, e os sólidos não teriam mais condições de sedimentar satisfatoriamente, vindo a sair com o efluente final, deteriorando a sua qualidade.

Para manter o sistema em equilíbrio, é necessário que se retire aproximadamente a mesma quantidade de biomassa que é gerada na reprodução. Este é, portanto, o *lodo biológico excedente*, que pode ser extraído diretamente do reator ou da linha de recirculação. O lodo excedente deve

sofrer tratamento adicional, usualmente compreendendo adensamento, estabilização e desidratação.

Devido aos reduzidos tempos de detenção nas unidades do sistema de lodos ativados, a eficiência na remoção de coliformes é baixa e usualmente insuficiente para atender aos requisitos de qualidade dos corpos receptores.

3.3.3. Variantes do processo de lodos ativados

Segundo METCALF & EDDY (1991), o processo de lodos ativados tem sido amplamente utilizado tanto em sua forma original quanto em formas modificadas, pois é muito flexível e pode ser adaptado a quase todos os tipos de situações específicas de tratamento de águas residuárias.

O processo de lodos ativados pode ser dividido quanto à idade do lodo (em lodos ativados convencional, aeração prolongada e aeração modificada); quanto ao fluxo (em fluxo contínuo e intermitente); ou quanto ao afluente à etapa biológica do sistema de lodos ativados (que pode ser o esgoto bruto, o efluente do decantador primário, o efluente do reator anaeróbio ou o efluente de outro processo de tratamento de esgotos).

A classificação do processo em função da idade do lodo pode ser vista na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Classificação dos sistemas de lodos ativados em função da idade do lodo.

Idade do lodo	Carga de DBO aplicada por unidade de volume	Idade do lodo	Denominação usual
Reduzidíssima	Altíssima	< 3 dias	Aeração modificada
Reduzida	Alta	4 – 10 dias	Lodos ativados convencional
Intermediária	Intermediária	11 – 17 dias	-
Elevada	Baixa	18 – 30 dias	Aeração prolongada

Essa classificação segundo a idade do lodo se aplica, tanto para os sistemas de *fluxo contínuo* (líquido entrando e saindo continuamente do reator), quanto para os sistemas de *fluxo intermitente* ou *batelada* (entrada do líquido descontínua em cada reator). No entanto, nos sistemas de fluxo intermitente, a aeração prolongada é mais freqüentemente utilizada; e nos sistemas de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, a opção mais conveniente é a idade do lodo reduzida ou convencional, pois, nesses casos, existe a possibilidade de retorno do lodo aos reatores anaeróbios para complementação da fase de digestão.

Os sistemas denominados *aeração prolongada* são menos utilizados. Em regiões de clima quente, os sistemas com *idade do lodo intermediária* não apresentam vantagens para sua utilização (pois não possibilitam um aumento expressivo na remoção de DBO, comparado à idade de lodo convencional; e não alcançam a estabilização aeróbia do lodo, característica da aeração prolongada). Em regiões de clima temperado, pode ser necessário o emprego de idades do lodo superiores a 10 dias para se alcançar uma nitrificação completa ao longo de todo o ano.

A idade do lodo (θ_c) é uma variável de operação e um parâmetro de projeto. Cada θ_c , entre os limites permitidos, exige um determinado volume dos tanques de aeração e uma área de decantação final mínima, determinada pelo teor de sólidos em suspensão presentes. A manutenção desses sólidos e do θ_c garante a estabilidade dinâmica de todo o processo (CAKICI e BAYRAMOGLU, 1995).

No **sistema convencional**, a fim de se economizar energia para a aeração e reduzir o volume do reator biológico, parte da matéria orgânica (em suspensão, sedimentável) dos esgotos é retirada antes do tanque de aeração, através da decantação primária. Nesse sistema a idade do lodo (θ_c) é usualmente da ordem de 4 a 10 dias e o tempo de detenção hidráulico (t) no reator, da ordem de 6 a 8 horas. Com este θ_c , a biomassa retirada do sistema no lodo excedente requer ainda uma etapa de estabilização no tratamento do lodo, pois ainda confere um teor elevado de matéria orgânica armazenada nas suas células. Esta estabilização ocorre nos digestores (primário e

secundário), após a etapa de adensamento (na qual é retirada parte da umidade, diminuindo assim o volume de lodo a ser tratado).

O fluxograma típico do sistema de lodos ativados convencional pode ser visto na Figura 3.3.

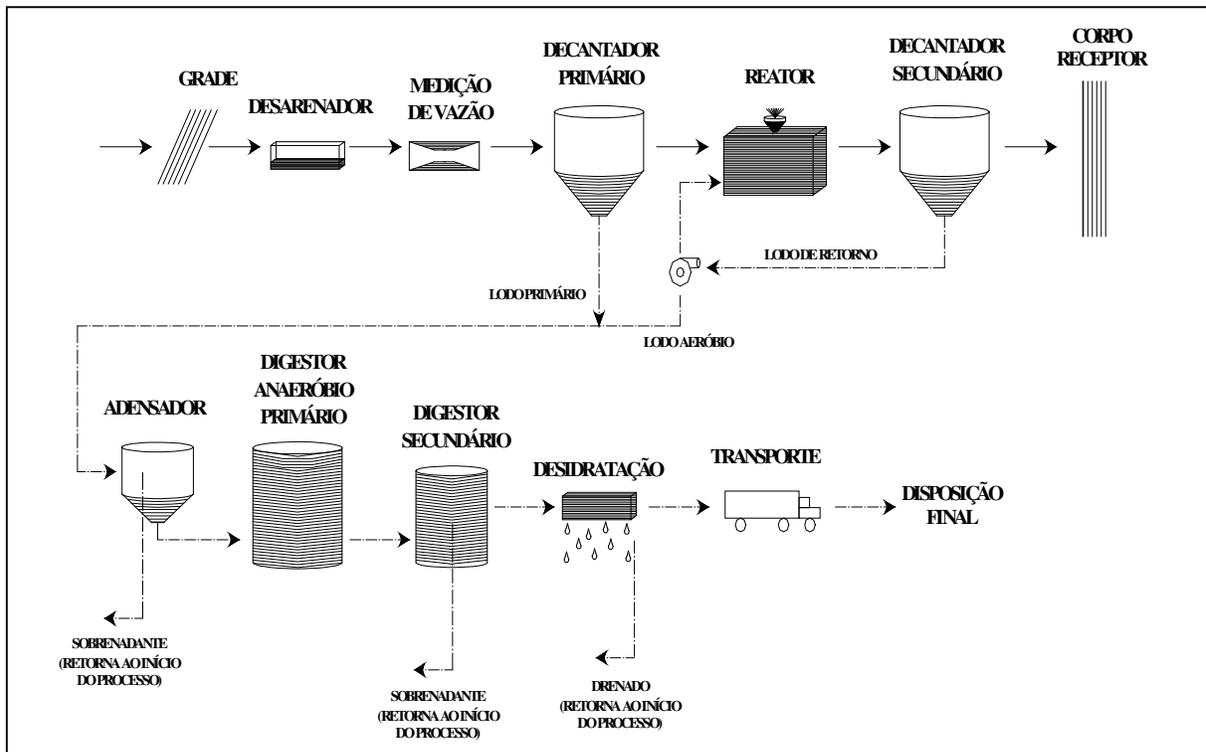


Figura 3.3: Fluxograma do sistema de lodos ativados convencional

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002).

No sistema de *aeração prolongada*, a biomassa permanece no sistema por um período mais longo (18 a 30 dias), e para uma mesma carga de DBO do esgoto bruto que o sistema convencional há menor disponibilidade de alimento para as bactérias. A quantidade de biomassa é maior que no sistema de lodos ativados convencional, o volume do reator aeróbio é também mais elevado, e o tempo de detenção do líquido é em torno de 16 a 24 horas. Portanto, há menos matéria orgânica por unidade de volume do tanque de aeração e também por unidade de biomassa do reator. Como consequência, as bactérias, para sobreviverem, passam a utilizar-se de forma mais intensa nos seus processos metabólicos, da própria matéria orgânica biodegradável

componente das suas células, que é convertida em gás carbônico e água através da respiração endógena. Isto corresponde a uma estabilização da biomassa, e, como ocorre no próprio tanque de aeração, não exige etapas de estabilização complementar do lodo biológico excedente. Exatamente por isso, procura-se evitar a geração de alguma outra forma de lodo que venha requerer posterior estabilização, eliminando-se, assim, a presença da decantação primária, com grande simplificação do fluxograma do processo, conforme pode ser observado na Figura 3.4.

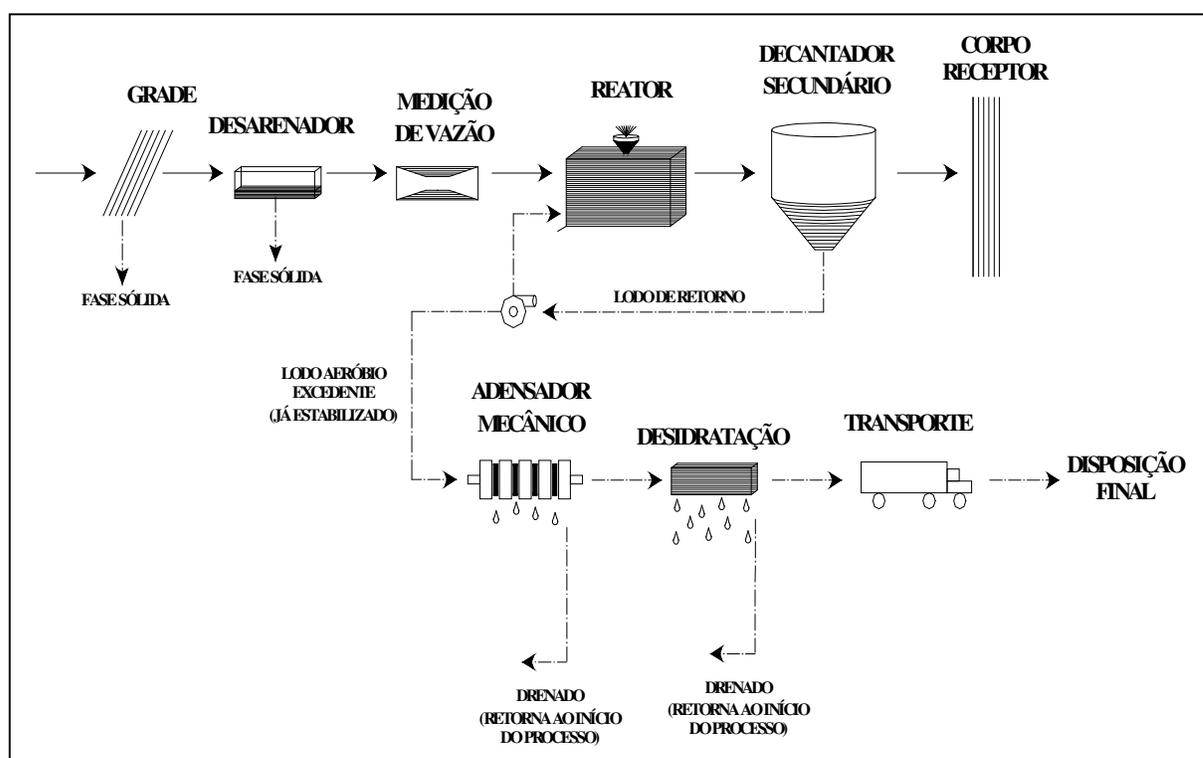


Figura 3.4: Fluxograma do sistema de lodos ativados aeração prolongada.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002).

Com essas simplificações, comparando-se os sistemas de lodos ativados, há um maior gasto com energia para a aeração, uma vez que todo lodo primário e secundário é estabilizado aerobiamente no próprio tanque de aeração, e uma maior eficiência na redução de DBO (devido à reduzida disponibilidade de alimento e sua praticamente total assimilação) na modalidade de aeração prolongada.

A etapa biológica do sistema de lodos ativados, constituída pelo reator biológico e pelo decantador secundário, pode receber *esgotos brutos* (usualmente na modalidade aeração prolongada); *efluentes de decantadores primários* (classicamente na modalidade lodos ativados convencional); *efluentes de reatores anaeróbios* (tendência recente); e *efluentes de outros de tratamento de esgotos* (tratamento físico-químico ou filtros biológicos, para polimento adicional do efluente, por exemplo).

É importante salientar que o decantador secundário desempenha um papel fundamental em qualquer variante do processo de lodos ativados, pois se houver perda de sólidos no efluente final, haverá uma grande deterioração na qualidade do efluente (independente do desempenho do tanque de aeração na redução de DBO) e uma conseqüente diminuição em sua eficiência.

Outra variante do sistema de lodos ativados é a ***operação em fluxo intermitente***, cujo princípio é a incorporação de todas as unidades, processos e operações (decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária) em um único tanque. Na modalidade de aeração prolongada, o tanque único passa a incorporar também a unidade de digestão aeróbia do lodo. O processo consiste de um ou mais reatores de mistura completa onde ocorrem todas as etapas do tratamento, através da determinação de ciclos de operação com durações definidas.

Os ciclos nessa modalidade geralmente são:

- **Enchimento**: entrada de esgoto bruto ou decantado no reator;
- **Reação**: aeração/mistura da massa líquida contida no reator;
- **Sedimentação**: sedimentação e separação dos sólidos em suspensão do esgoto tratado;
- **Descarte do efluente tratado**: retirada do esgoto tratado do reator;
- **Repouso**: ajuste de ciclos e remoção do lodo excedente.

A massa biológica permanece no reator durante todos os ciclos; e a duração de cada ciclo está associada à vazão afluente, às necessidades do tratamento e às características do esgoto e da biomassa no sistema. O fluxograma do processo é simplificado e pode ser visto na Figura 3.5.

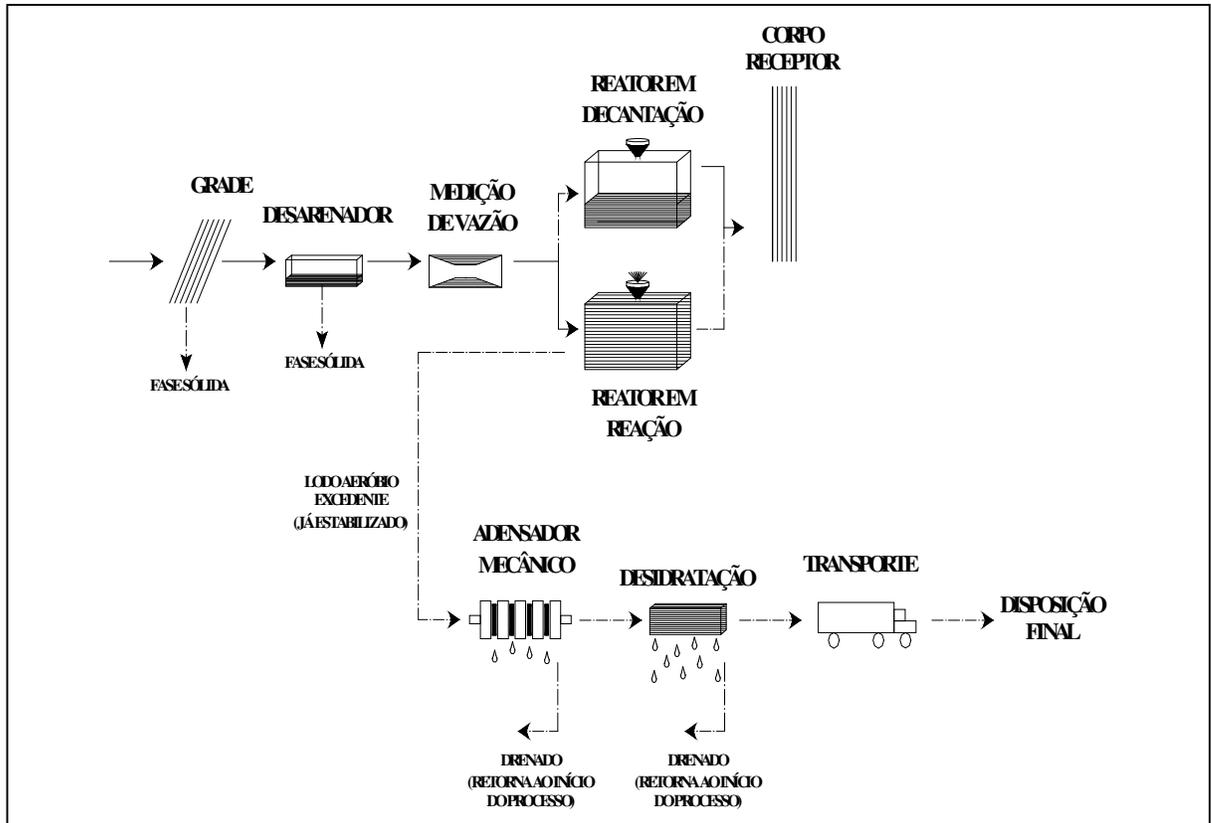


Figura 3.5: Fluxograma do sistema de lodos ativados com operação intermitente.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002).

O sistema de operação intermitente será discutido mais detalhadamente no item 3.3.6.

3.3.4. Tratamento do lodo

De maneira geral, os sub-produtos sólidos gerados no tratamento pelo processo de lodos ativados são compostos de *material gradeado, areia, espuma, lodo primário e secundário*. O principal deles em termos de volume e importância é representado pelo lodo, cujo tratamento é parte integrante do processo de lodos ativados. Há diversas possibilidades de combinações de operações e processos unitários, que são:

- Adensamento: remoção de umidade (redução de volume);
- Estabilização: remoção da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis);
- Condicionamento: preparação para a desidratação;
- Desidratação: remoção de umidade (redução de volume);
- Disposição final: destinação final dos subprodutos.

Os custos relacionados à etapa da desidratação, incluindo os agentes de condicionamento, representam usualmente 30 a 50% dos custos operacionais anuais de estações de tratamento de esgotos domésticos, segundo MIKKELSEN e KEIDING (2001).

Em seu estudo, esses autores investigaram os efeitos da concentração de sólidos do lodo na desidratação por filtração. O lodo ativado descartado é, usualmente, adensado e armazenado antes do processo de desidratação. Quando esta etapa é iniciada, o lodo é bombeado do tanque de armazenamento e condicionado com polímeros orgânicos antes de entrar no equipamento de desidratação (geralmente filtro prensa ou centrífuga). Neste procedimento, o lodo adensado é exposto a forças de cisalhamento na bomba e tubulações, podendo resultar em uma defloculação anterior à adição do polímero (podendo afetar a dosagem necessária do mesmo). A resistência da estrutura dos flocos ao cisalhamento foi, portanto, considerada importante na desidratação por filtração ou centrifugação. Uma das conclusões do trabalho desses pesquisadores refere-se à dosagem ótima de polímero para o condicionamento químico do lodo, considerada como diretamente relacionada à fração de finos presentes.

A disposição final do lodo de sistemas de tratamento de efluentes representa um desafio crescente nos processos de lodos ativados. ABBASSI, DULLSTEIN e RÄBIGER (1999) investigaram a capacidade de minimização da produção de lodo através da otimização de parâmetros do processo, principalmente a concentração de oxigênio nos flocos do lodo ativado.

Os resultados experimentais mostraram que a redução da produção de lodo pode ser alcançada com um aumento da concentração de OD no licor misto, com efeitos sobre a concentração de substrato nos flocos biológicos, e conseqüente diminuição da taxa de crescimento de células e, portanto, produção de lodo.

3.3.5. Comparação entre as variantes do processo de lodos ativados

As Tabelas 3.2. e 3.3. comparam as variantes do processo de lodos ativados segundo a *idade do lodo* e tipo de fluxo empregado, além da influência da presença de processos biológicos combinados (no caso, uso de reator anaeróbio para tratamento preliminar, tipo Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente – RAFA).

Tabela 3.2: Vantagens e desvantagens das variantes operacionais mais comuns dos sistemas de lodos ativados.

Sistema	Vantagens	Desvantagens
Lodos Ativados Convencional	<ul style="list-style-type: none"> - elevada eficiência na redução de DBO - nitrificação usualmente obtida - possibilidade de remoção biológica de N e P - baixos requisitos de área - processo confiável, desde que supervisionado - reduzidas possibilidades de maus odores, insetos e vermes - flexibilidade operacional 	<ul style="list-style-type: none"> - baixa eficiência na remoção de coliformes - elevado consumo de energia - elevados custos de implantação e operação - necessidade de operação sofisticada - necessidade do tratamento completo do lodo e da sua disposição final - possíveis problemas ambientais com ruídos e aerossóis - elevado índice de mecanização - relativamente sensível a descargas tóxicas
Aeração Prolongada	<ul style="list-style-type: none"> - maior eficiência na redução de DBO - nitrificação consistente - operação mais simples que lodos ativados convencional - menor geração de lodo que lodos ativados convencional - estabilização de lodo no reator - elevada resistência a variações de carga e a cargas tóxicas - satisfatória independência das condições climáticas 	<ul style="list-style-type: none"> - baixa eficiência na remoção de coliformes - elevados custos de implantação e operação - maior consumo de energia - elevado índice de mecanização (embora inferior a lodos ativados convencional) - necessidade de remoção da umidade do lodo e da sua disposição final (embora mais simples que lodos ativados convencional)
Sistemas de Fluxo Intermitente	<ul style="list-style-type: none"> - elevada eficiência na redução de DBO - satisfatória remoção de N e possivelmente de P - baixos requisitos de área - mais simples conceitualmente que os demais sistemas de lodos ativados - menos equipamentos que os demais sistemas de lodos ativados - flexibilidade operacional (através da variação dos ciclos) - decantador secundário e elevatória de recirculação não são necessários 	<ul style="list-style-type: none"> - baixa eficiência na remoção de coliformes - elevados custos de implantação e operação - maior potência instalada que os demais sistemas de lodos ativados - necessidade do tratamento e da disposição do lodo - usualmente mais competitivo economicamente para populações pequenas a médias

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002).

Tabela 3.3: Comparação entre variantes dos sistemas de lodos ativados.

Item	Lodos ativados convencional	Aeração prolongada	RAFA + lodos ativados
Idade do lodo	4 a 10 dias	18 a 30 dias	6 a 10 dias
Relação A/M	0,25 a 0,50 kgDBO/dia.kgSSVTA	0,07 a 0,15 kgDBO/dia.kgSSVTA	0,25 a 0,4 kgDBO/dia.kgSSVTA
Decantação primária	Presente	Ausente	Ausente
Nitrificação	- bastante provável, mas sujeita a instabilidade na faixa inferior da idade do lodo especialmente em temperaturas mais baixas - totalmente consistente na faixa superior, a menos que haja problemas ambientais específicos (tóxicos, falta de OD)	- totalmente consistente, a menos que haja problemas ambientais específicos (tóxicos, falta de OD)	- consistente, a menos que haja problemas ambientais específicos (tóxicos, falta de OD) - a toxicidade às bactérias nitrificantes pelo sulfeto efluente do reator UASB é um tópico que merece investigação
Volume do reator aeróbio	- reduzido (tempo de detenção hidráulico entre 6 e 8 h)	- elevado (tempo de detenção hidráulico entre 16 e 24 h)	- bastante reduzido (tempo de detenção hidráulico entre 3 e 5 h)
Área dos decantadores secundários	- reduzida	- elevada, devido à maior carga de sólidos e às características de sedimentabilidade do lodo	- mais reduzida, em função da menor carga de sólidos afluente
Requisitos de oxigênio	- reduzido, devido à menor respiração pela biomassa e à remoção de DBO na decantação primária	- elevado, por incluir o consumo de oxigênio pela respiração da grande quantidade de biomassa presente e pela inexistência de decantação primária	- mais reduzido, devido à menor respiração pela biomassa e à grande remoção de prévia de DBO no reator anaeróbio
Requisitos energéticos	- reduzido, devido ao baixo consumo de O ₂	- elevado, devido ao elevado consumo de O ₂	- mais reduzido, devido ao menor consumo de O ₂
Produção de lodo	- elevada, porém diminui com o uso da digestão anaeróbia, tornando-se razoável	- média	- baixa, devido ao reator anaeróbio produzir um lodo denso e em baixa quantidade, e ao lodo aeróbio sofrer digestão e adensamento no reator anaeróbio.
Estabilização do lodo no reator	- baixa e insuficiente para encaminhamento à secagem natural	- suficiente e comparável a processos de digestão separada	- suficiente e comparável a processos de digestão separada.
Adensamento do lodo	- necessário (principalmente para o lodo secundário)	- por gravidade não é efetivo, recomendável adensamento mecânico	- normalmente desnecessário
Digestão separada do lodo primário	- necessária	- desnecessária	- o lodo aeróbio é retornado ao RAFA, onde sofre digestão.
Desidratabilidade do lodo	- boa desidratabilidade	- desidratabilidade inferior	- ótima desidratabilidade
Estabilidade do processo	- maior susceptibilidade a descargas tóxicas que aeração prolongada	- elevada	- satisfatória, por se compor de duas etapas em série, uma anaeróbia e outra aeróbia.
Simplicidade operacional	- reduzida	- maior, por não incluir as unidades de decantação primária e digestão.	- intermediária (maior complexidade no tratamento da fase líquida, mas maior simplicidade no tratamento da fase sólida).

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002).

3.3.6. Sistemas de operação intermitente (batelada)

Segundo USEPA (1999), os sistemas de tratamento de esgotos com operação intermitente foram os primeiros a serem empregados. Entre 1914 e 1920 vários exemplos em escala real desse tipo de sistema encontravam-se em funcionamento, a seguir, desativados. O interesse nesse tipo de tratamento voltou no final dos anos 50 e início dos anos 60, impulsionados pelo desenvolvimento de novos equipamentos. Melhoras nos equipamentos de aeração e de controle automatizado das operações de enchimento e descarga dos tanques de aeração permitiram que os sistemas de operação intermitente competissem com êxito com os sistemas de lodos ativados de fluxo contínuo.

Segundo METCALF & EDDY (1991), os sistemas de operação intermitente apresentam uma eficiência na redução de DBO entre 85 e 90% e são utilizados em pequenas comunidades onde a área é limitada. Além disso, o processo é flexível e capaz de remover nitrogênio e fósforo.

O sistema de lodos ativados com operação intermitente possui versatilidade de operação, permitindo variações nas taxas de aplicação de carga orgânica e de aeração, pela simples mudança na duração dos períodos do ciclo, sem necessidade de instalação de mais equipamentos ou de execução de obras civis (DOURADO, SOBRINHO e MORITA, 1999).

O princípio do processo consiste na incorporação de todas as unidades de processos e operações normalmente associadas ao tratamento convencional (decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária) em um único tanque. Assim, esses processos e operações passam a ser simplesmente seqüências no tempo, e não unidades separadas como ocorre nos processos convencionais de fluxo contínuo. Na modalidade de aeração prolongada, o tanque único passa a incorporar também a unidade de digestão aeróbia do lodo.

Nesse sistema, o esgoto bruto é adicionado a um único reator batelada, tratado a fim de remover componentes indesejáveis, e então descarregado. A equalização, aeração e clarificação podem se alcançadas com a utilização de um único reator batelada. Para otimização de desempenho do sistema, dois ou mais reatores de fluxo intermitente podem ser utilizados em uma

seqüência pré-determinada de operações. Os sistemas de operação intermitente têm sido utilizados com êxito no tratamento de efluentes domésticos e industriais (USEPA, 1999).

Os processos unitários dos sistemas de lodos ativados convencional e de fluxo intermitente são os mesmos. A diferença entre as duas tecnologias é que a de operação intermitente efetua a equalização, o tratamento biológico e a clarificação em um único tanque, utilizando uma seqüência de controle no tempo. No sistema convencional, esses processos unitários são alcançados com a utilização de tanques separados (USEPA, 1999). A biomassa ativa permanece no reator durante todos os ciclos, eliminando assim a necessidade de decantadores separados e de elevatórias de recirculação de lodo. Como o reator opera em batelada, não há fluxo de entrada nem de saída durante a transformação biológica da matéria orgânica, a não ser, durante a operação de enchimento. Os ciclos usuais de tratamento são ilustrados na Figura 3.6.

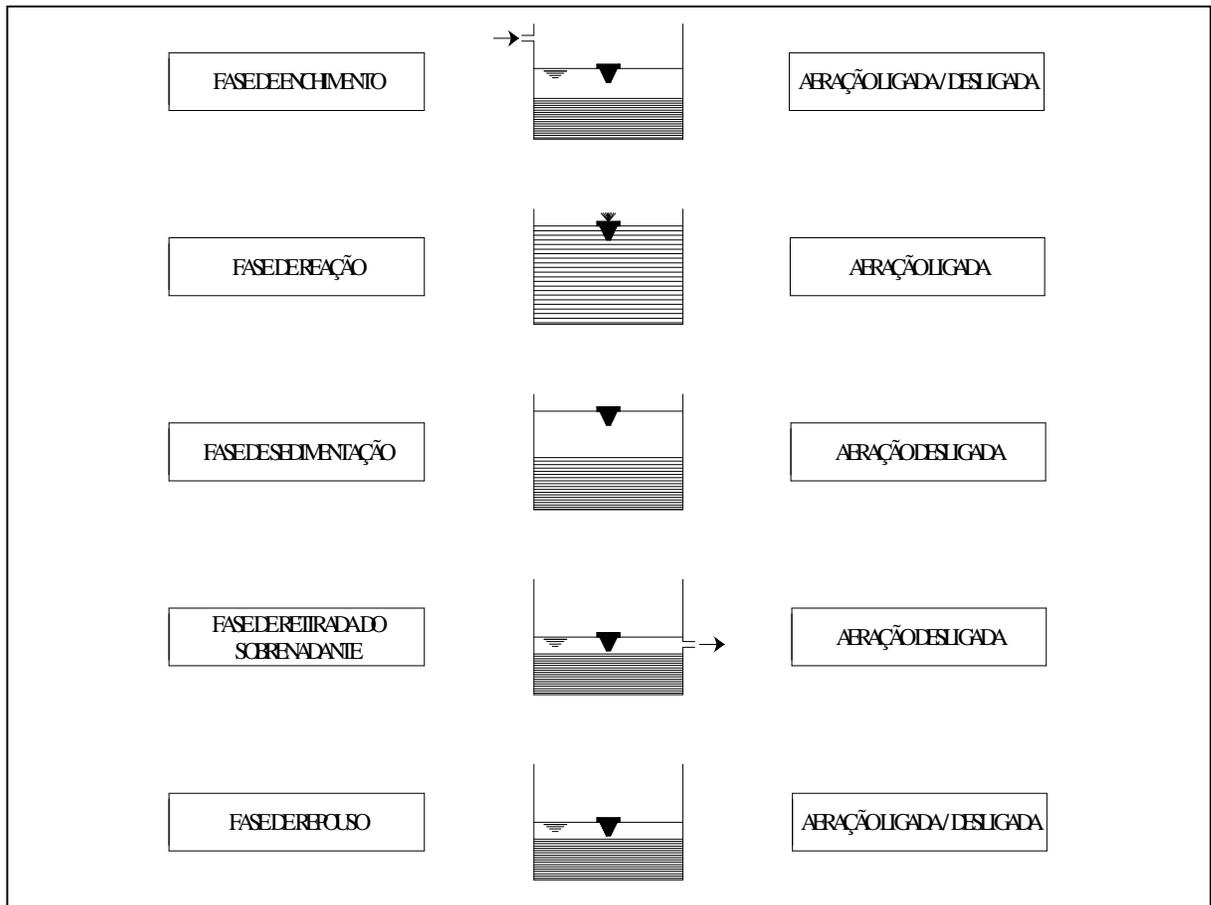


Figura 3.6: Ciclo operacional típico do processo de operação intermitente.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002).

(a) Enchimento

A operação de enchimento consiste na adição do esgoto e do substrato para a atividade microbiana. O ciclo de enchimento pode ser controlado por válvulas de bóia até um volume pré-estabelecido ou por temporizadores para sistemas com mais de um reator. Ao longo do ciclo operacional, o sistema pode alternar entre *enchimento estático* (introdução do esgoto sem mistura ou aeração), *enchimento com mistura* (onde os microrganismos são mantidos em contato com o substrato afluyente por meio de agitação mecanizada, podendo-se manter condições anóxicas ou anaeróbias) e *enchimento com reação* (onde tanto a mistura quanto a aeração são introduzidas ao mesmo tempo). Portanto, na fase de enchimento o sistema de aeração pode estar ligado ou desligado.

(b) Reação

O objetivo do estágio de reação é completar as reações iniciadas durante o enchimento. Neste período não há entrada de efluente no reator. Esta fase pode compreender a mistura, aeração, ou ambos, pois, como no caso da etapa de enchimento, os processos desejados podem requerer ciclos alternados de aeração. A duração da fase de reação pode ser controlada por temporizadores, pelo nível do líquido ou pelo grau de tratamento desejado, por meio de monitoramento do conteúdo do reator. Segundo YAMASSAKI (1996), ao final dessa fase, também pode ser executado o descarte de lodo em excesso, destinando-se uma porcentagem do volume contido no tanque de aeração a um tanque de recepção, exclusivo para essa finalidade, onde, em condições de repouso haverá a separação entre as fases sólida e líquida presentes, permitindo seu descarte de forma independente. Essa estratégia operacional facilita o controle da idade do lodo mantida no tanque de aeração, já que mantém sob controle a quantidade de sólidos descartados do sistema (equivalente à porcentagem do volume descartado).

(c) Sedimentação

A separação sólido-líquido ocorre durante a fase de repouso ou sedimentação, devido à paralisação da mistura e da aeração, deixando a água clarificada na parte superior do reator. Esta separação é análoga à operação de um decantador secundário em uma ETE de fluxo contínuo. A clarificação dos esgotos tratados em um sistema intermitente pode manifestar eficiência superior à de um decantador de fluxo contínuo, devido ao maior repouso do líquido, sem a interferência de entrada e saída de líquidos.

(d) Esvaziamento (retirada do sobrenadante)

O efluente clarificado é retirado do reator durante esta fase. As estruturas utilizadas no esvaziamento podem ser fixas ou flutuantes, mas as últimas são mais adequadas, pois podem

acompanhar o nível d'água, extraindo sempre a camada mais superficial e, portanto, mais clarificada.

(e) Repouso / Descarte de lodo

Nesta fase o lodo permanece em repouso, após a retirada do sobrenadante, antes de novo enchimento; e, na maioria dos casos, é quando se procede ao descarte do lodo ativado em excesso.

A duração de cada ciclo é determinada em função das variações da vazão afluyente, das necessidades do tratamento e das características do esgoto e da biomassa no sistema. A USEPA (1999) recomenda uma duração de ciclo operacional total de 4 a 6 horas para sistemas convencionais; e de 6 a 8 horas para sistemas com remoção biológica de nutrientes. A duração de cada etapa do ciclo também é recomendada pela USEPA segundo a Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Duração de cada etapa do ciclo, segundo diferentes objetivos de remoção, propostos por USEPA (1999).

Etapa	Aeração prolongada Redução de DBO		Aeração prolongada Redução de DBO e N	
	Duração (h)	% do total	Duração (h)	% do total
Enchimento	1,0	23,8	1,0	21,3
Enchimento com mistura	0,5	11,9	0,5	10,6
Enchimento com aeração	0,5	11,9	0,5	10,6
Reação aeróbia / anóxica	0,5	11,9	1,0	21,3
Sedimentação	0,7	16,7	0,7	14,8
Esvaziamento	0,5	11,9	0,5	10,6
Repouso	0,5	11,9	0,5	10,6
Total	4,2	100,0	4,7	100,0

Usualmente uma estação de tratamento de esgotos tem dois ou mais reatores de batelada operando em paralelo, cada um em diferentes etapas do ciclo operacional, principalmente em sistemas que recebem vazão ao longo de todas as horas do dia (como no caso de esgotos domésticos), já que um reator em sedimentação, por exemplo, não recebe afluente, sendo necessário direcioná-lo para outro reator. No caso de estações que geram despejos de forma intermitente (como ocorre em algumas indústrias), pode haver apenas um único tanque de aeração.

USEPA (1999) cita como vantagens do sistema de lodos ativados por batelada a utilização de um único tanque para realizar a equalização, o tratamento biológico e a clarificação; o controle e flexibilidade de operação; e baixos requisitos de área. Como desvantagens são citados maiores complexidades operacionais e de manutenção, quando comparado com sistemas de fluxo contínuo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição dos efluentes a serem tratados

O estudo proposto foi desenvolvido com águas residuárias provenientes do processo produtivo da indústria de catalisadores químicos Degussa, localizada no município de Americana, SP. Esses catalisadores são utilizados em diferentes setores industriais, tais como:

- (a) agroquímica (herbicidas, fungicidas, inseticidas);
- (b) fragrâncias (cosméticos, sabões);
- (c) aditivos alimentícios (adoçantes artificiais);
- (d) farmacêutica (antibióticos, antidepressivos); e
- (e) polímeros (nylon, poliuretano).

Os efluentes industriais utilizados são gerados em quatro linhas de produção, cujo estudo de tratabilidade foi feito em conjunto com o esgoto doméstico da própria indústria. O fluxograma do processo de tratamento implantado atualmente é mostrado na Figura 4.1.

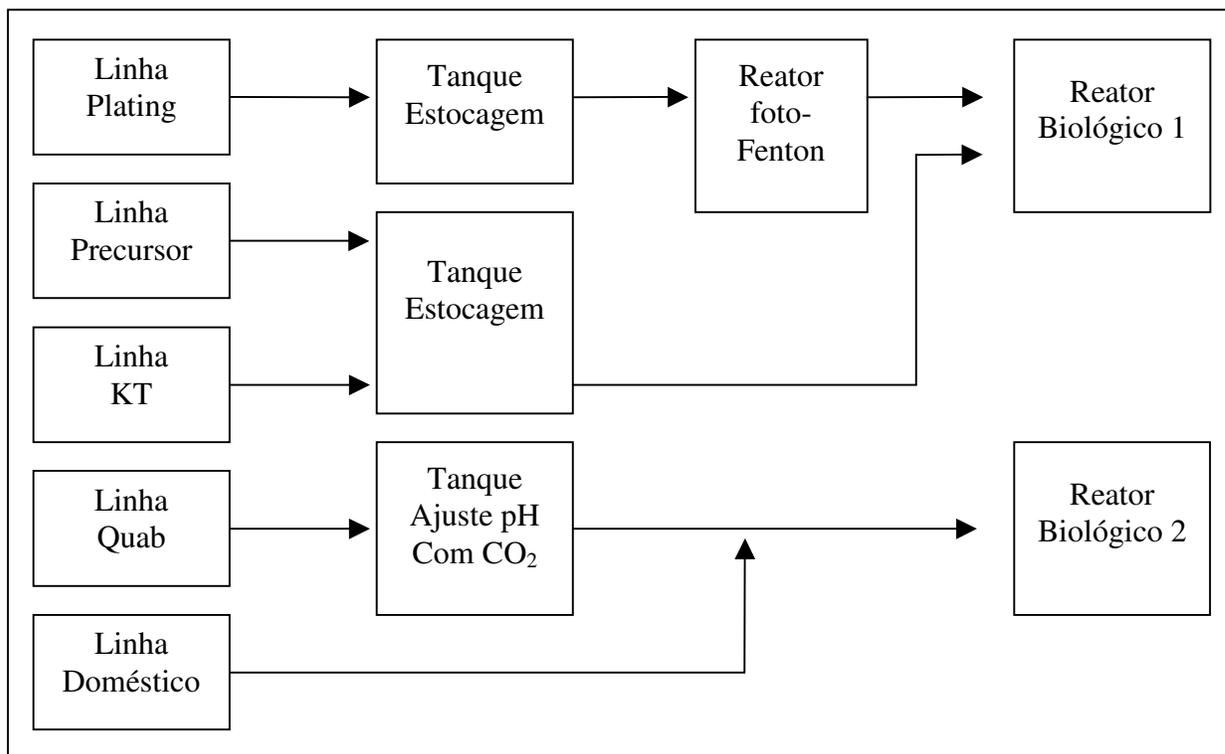


Figura 4.1 - Fluxograma atual do tratamento dos efluentes gerados na Degussa, Americana - SP.

Verifica-se a presença de dois reatores biológicos operados como lodos ativados, aqui chamados de Reator Biológico 1 e Reator Biológico 2.

O Reator Biológico 1 encontra-se nas instalações da própria indústria, e é incumbido de receber efluentes provenientes das linhas Plating, Precursor e KT. Esse reator é operado de forma intermitente, ou seja, como lodos ativados por batelada (LAB), e atualmente, encontra-se em situação operacional inadequada.

O Reator Biológico 2 é parte do sistema de tratamento da Estação de Tratamento de Americana, localizada fora das instalações da indústria, e é incumbida de receber efluentes de várias indústrias, incluindo as linhas do Quab e esgoto doméstico da Degussa. Esse reator é operado com fluxo contínuo.

Conforme pode ser observado na Figura 4.1, a linha do Plating é a única que incorpora um processo combinado de tratamento, desenvolvido pela própria indústria em parceria com o IQ / Unicamp, constituído de um processo oxidativo avançado (POA), tipo foto-Fenton, cujo procedimento operacional encontra-se em fase de testes para sua otimização quanto ao desempenho de redução de DQO, já atingindo, valores da ordem de 70% de remoção durante as fases iniciais do presente trabalho. É importante esclarecer que, este tratamento (POA – Foto Fenton) não fará parte do presente estudo, sendo, portanto, considerado como parte integrante do próprio processo produtivo gerador do efluente a ser tratado pelo processo biológico, objeto desta pesquisa.

O processo de geração de cada um dos efluentes industriais estudados é mostrado nas Figuras 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5.

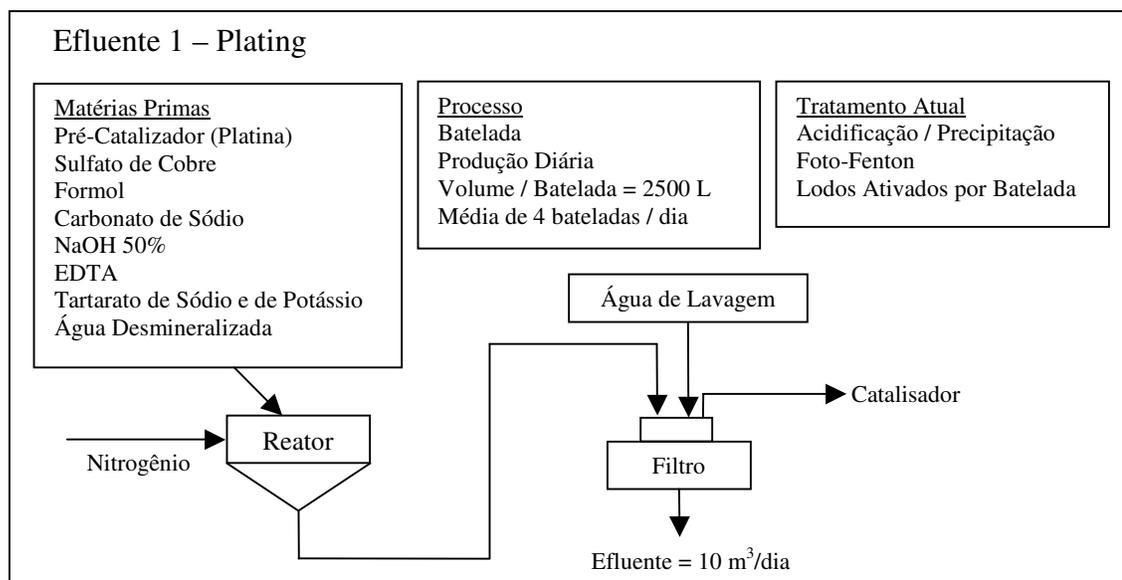


Figura 4.2 – Processo de produção responsável pela geração do efluente Plating.
(fornecido pela indústria)

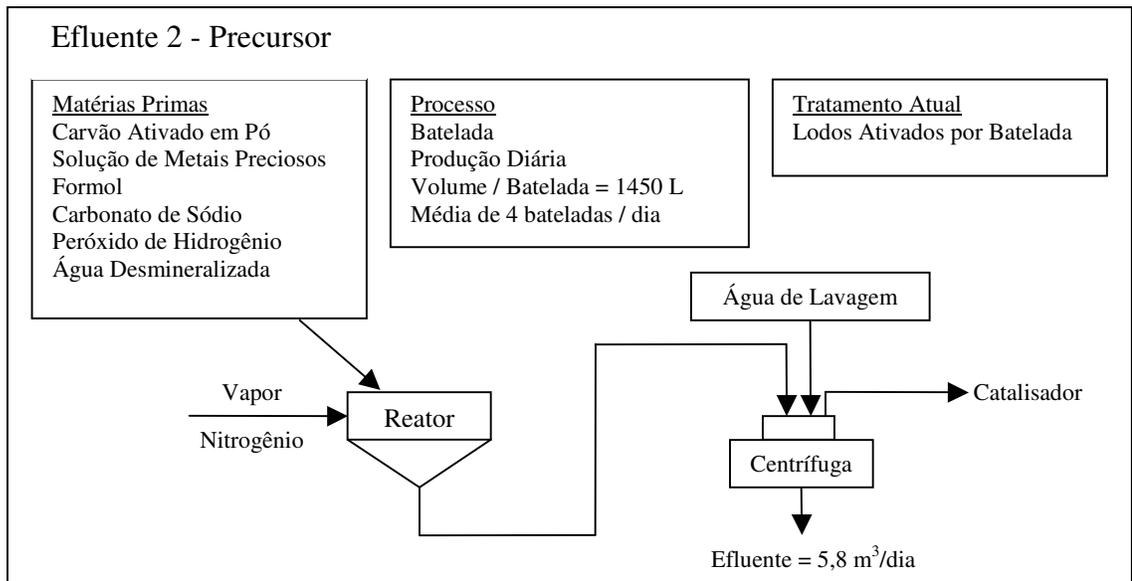


Figura 4.3 – Processo de produção responsável pela geração do efluente Precursor.
(fornecido pela indústria)

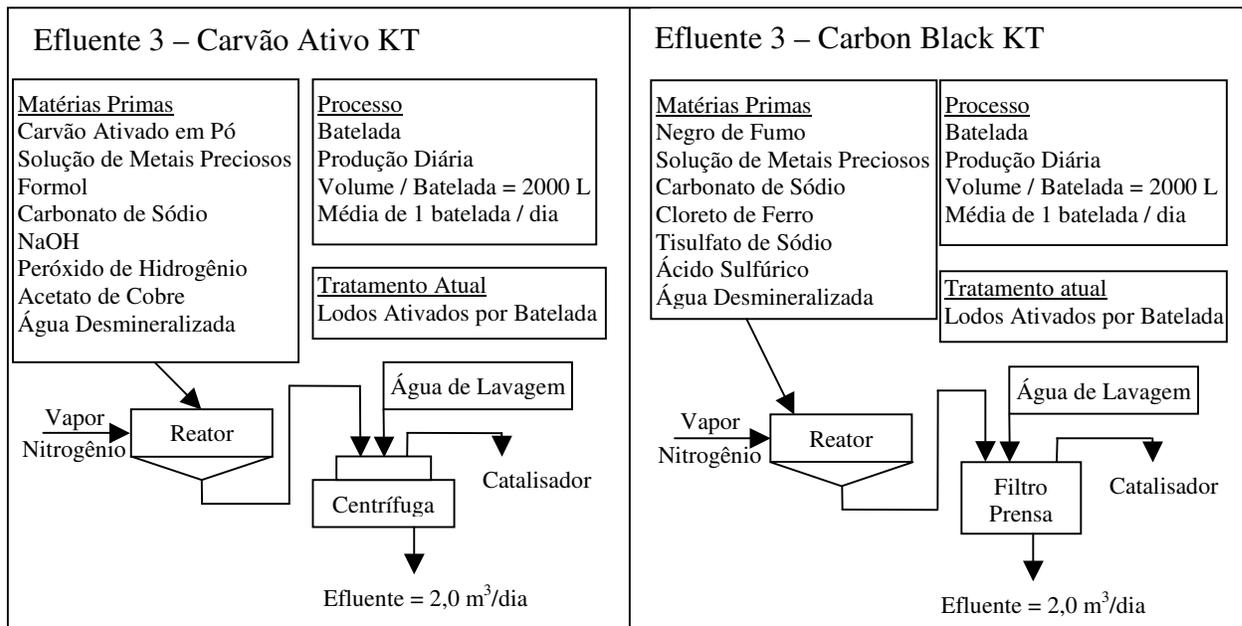


Figura 4.4 – Processo de produção responsável pela geração do efluente KT.
(fornecido pela indústria)

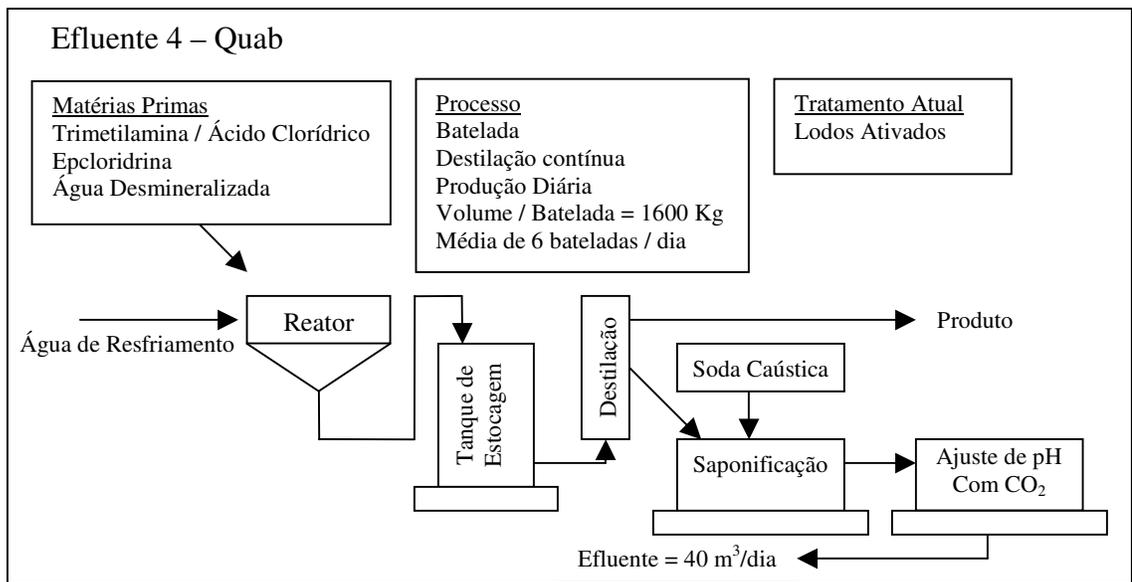


Figura 4.5 – Processo de produção responsável pela geração do efluente Quab.
(fornecido pela indústria)

Conforme pode ser observado na Figura 4.4, existem os processos de geração dos efluentes Carvão Ativo KT e Carbon Black KT. É importante esclarecer que, neste trabalho, esses dois efluentes foram considerados provenientes de um único processo de produção, aqui chamado de KT.

Na Tabela 4.1, são apresentados os dados da vazão média diária das águas residuárias geradas pela Degussa, além de alguns parâmetros referentes as suas características qualitativas principais.

Tabela 4.1 - Dados de vazão e características qualitativas dos efluentes gerados na Degussa, Americana - SP. (fornecidos pela indústria)

LINHA GERADORA	Vazão (m³/dia)	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	COT (mg/L)
Plating (*)	10	9,0 a 9,5	13.000 a 20.000	16.500 a 22.500	10.000 a 15.000
Precursor	5,8	6,0 a 7,5	20 a 40	100 a 150	20 a 40
KT	4,0	6,0 a 8,0	20 a 40	20 a 40	20 a 40
Quab (**)	40	6,8 a 7,2	2.500 a 3.000	-	-
Doméstico	8,5	-	250 a 300	-	-

(*) Os dados referem-se às características do efluente antes do processo de tratamento por foto-Fenton.

(**) Atualmente, a vazão diária da linha de produção do Quab corresponde a uma geração de 20 m³/dia. O estudo de tratabilidade planejado em conjunto com a indústria, já previu a ampliação em 100% nesse processo.

Dentre os objetivos da empresa estão:

- Independência total dos serviços adquiridos no Site Americana (tratamento das linhas Quab e Doméstico);
- Verificação da adequação do sistema de tratamento biológico existente na indústria para o recebimento dos efluentes tratados na Estação de Tratamento de Americana;
- Caracterização qualitativa dos efluentes;
- Investigação da possibilidade de tratamento conjunto dos diferentes efluentes.

A estratégia adotada para o atendimento das necessidades da empresa consistiu na proposição de um estudo experimental de tratabilidade em reatores biológicos de bancada, simulando o processo de lodos ativados por batelada, conforme descrito nos itens a seguir.

4.2. Descrição e operação das instalações utilizadas nos estudos de tratabilidade desenvolvidos em laboratório.

Os reatores biológicos de bancada foram montados no Labpro (Laboratório de Protótipos de Tratamento de Água e Efluentes), pertencente ao Departamento de Saneamento e Ambiente, da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC). O trabalho foi realizado em etapas, descritas a seguir.

(a) Fase 1 - Aclimação da Biomassa aos Efluentes

Partindo-se dos dados de vazão e características qualitativas dos efluentes gerados na Degussa, conforme apresentado na Tabela 4.1, verifica-se que, a vazão média total de efluentes corresponderá ao valor de 68,3 m³/dia, caso todas as linhas estejam sofrendo tratamento conjunto.

Num primeiro momento, partindo-se do princípio que não haverá necessidade de qualquer pré-tratamento dos diversos efluentes gerados pela indústria (a não ser a linha do "Plating", conforme já descrito anteriormente), foram montados cinco reatores biológicos de bancada, conforme mostrados nas Figuras 4.6 até 4.11, de forma a permitir que a biomassa gerada nos reatores biológicos, operados como lodos ativados por batelada, fosse aclimatada às características qualitativas médias dos efluentes.

Um reator biológico aeróbio pode ser proporcionado pelo uso de um tanque, lagoa ou valo, onde o afluente é lançado, em sistemas compactos, com tempos de detenção hidráulicos pequenos (<24h), e devem ser submetidos a aeração e mistura adequadas para que ocorram as reações bioquímicas de degradação da matéria orgânica. Neste estudo experimental, os reatores foram constituídos por béqueres graduados com volume útil de 4 litros, providos de sistema de aeração contínua, proporcionados por aeradores do tipo utilizado em aquários, e difusores de pedras porosas instalados no fundo de cada reator.



Figura 4.6: Reator de 4L e volumes característicos operacionais.



Figura 4.7: Aspecto da aeração promovida pelos difusores instalados no fundo.



Figura 4.8: Amostras dos efluentes.



Figura 4.9: Bancada de reatores de Lodos Ativados por Batelada (LAB).



Figura 4.10: Aspecto do lodo biológico após a sedimentação.



Figura 4.11: Aspecto dos reatores após o descarte de lodo e sedimentação.

Adotaram-se como premissas iniciais, a execução de uma batelada por dia por reator, a manutenção de uma fração de lodo igual a 60 % do volume total útil dos reatores, ou seja, 2.400 mL, e uma variação da idade do lodo nos valores de 5, 10, 15, 20 e 12,5 dias, para os reatores 1 a 5, respectivamente.

Os enchimentos dos reatores foram feitos de forma instantânea, utilizando-se como afluente a composição dos quatro efluentes industriais na proporção em que são gerados, diluídos com esgoto doméstico bruto, coletado, diariamente, na entrada do CITRAE (Centro Integrado de Tratamento e Reuso de Água e Esgotos) da FEAGRI / UNICAMP.

A operação para aclimatação da biomassa nos cinco reatores foi feita durante 4 semanas, utilizando-se uma proporção de águas residuárias industriais / esgoto doméstico, iguais a 3/7, na primeira semana; 1/1 (7/7), na segunda semana; 3/1 (21/7), na terceira semana e 7/1 (49/7), na quarta semana, esta última, correspondendo, aproximadamente ao valor proporcional gerado na indústria, ou seja, 59,8 m³/dia de efluentes industriais e 8,5 m³/dia de esgoto doméstico (59,8/8,5 = 7,04/1,0).

Os ciclos de funcionamento dos reatores obedeceram à seguinte seqüência de operações:

(a) Período de aeração (reação):

Duração de cerca de 22 horas com o sistema de aeração ligado.

(b) Descarte de lodo:

A manutenção de uma fração de lodo igual a 60 % do volume total útil dos reatores indica que 2.400mL do conteúdo de cada reator devam ser mantidos ao final de cada batelada nos reatores, preservando-se a biomassa para a batelada seguinte. Desta forma, 40% do volume total útil de cada reator (1.600mL) deve ser descartado. O volume a ser descartado inclui o descarte do lodo em excesso e do sobrenadante (efluente tratado).

Os descartes de lodo foram executados no final do período de aeração mantendo-se o conteúdo dos reatores em homogeneidade, de forma que fosse possível manter o controle do parâmetro idade do lodo, cujos valores fixados podem ser calculados como o inverso do volume descartado em relação ao volume total. Como exemplo: Para uma idade de lodo de 5 dias, seu inverso corresponde a 0,2, que pode ser calculado como $800 \text{ mL} / 4.000 \text{ mL}$, ou seja, a fixação de 5 dias como idade do lodo a ser mantida num reator pode ser feita com um descarte de 20 % do volume total homogeneizado, correspondentes a um descarte de 20% da biomassa presente, obrigando-a a renovar-se a cada 5 dias. Os volumes de lodo a serem descartados em cada um dos cinco reatores foram calculados, portanto, para cada idade de lodo adotada, e são mostrados na tabela 4.2.

(c) Período de sedimentação:

Duração de 1 hora com o sistema de aeração desligado, de forma a permitir a decantação do efluente e sedimentação da biomassa presente, na forma de flocos biológicos.

(d) Descarte de sobrenadante:

Para completar o volume do conteúdo dos reatores a ser descartado (1.600mL), os descartes de sobrenadante foram executados após 1 hora de sedimentação. O aspecto do lodo biológico e dos reatores após a sedimentação é apresentado nas figuras 4.6 e 4.7.

(e) Enchimento:

Reposição da mistura de efluentes, correspondente ao volume total descartado.

Nessa primeira fase, os cinco reatores foram operados conforme os dados apresentados na Tabela 4.2

Tabela 4.2 - Condições operacionais gerais dos reatores de bancada na fase de aclimatação da biomassa aos efluentes da Degussa.

Reator	Volume Útil (mL)	Fração de Lodo (%)	Volume de Enchimento (mL)	Idade do Lodo (θ_c - dias)	Reação (h)	Sedimentação (h)	Descarte do Lodo (mL)	Descarte de Sobrenadante (mL)
1	4000	60	1600	5	22	1	800	800
2	4000	60	1600	10	22	1	400	1200
3	4000	60	1600	15	22	1	267	1333
4	4000	60	1600	20	22	1	200	1400
5	4000	60	1600	12,5	22	1	320	1280

(b) Fase 2 - Estudo de Tratabilidade das quatro Alternativas de Combinações entre os Efluentes da Indústria

Na segunda fase, os estudos de tratabilidade foram realizados em oito reatores de bancada, idênticos aos já apresentados anteriormente, sendo que, em cada um deles, foi utilizado como afluente uma composição das águas residuárias pré-determinada que foi mantida ao longo de todo o período necessário à obtenção das condições de equilíbrio dinâmico de cada um dos sistemas simulados, manifestadas pela presença de uma concentração de SSV (sólidos suspensos voláteis) dentro de uma faixa em cada um dos reatores biológicos.

A composição do afluente desses reatores teve como objetivo avaliar o comportamento do sistema de lodos ativados por batelada em duas idades de lodo distintas (7 dias, simulando o sistema convencional e 20 dias, simulando o sistema de aeração prolongada) para 4 diferentes cenários possíveis de serem implantados em escala real, os quais são listados abaixo:

Composição A: KT + Precursor

Simulando a situação atual, com o Plating sendo lançado ao corpo receptor, apenas com o tratamento por FotoFenton, sem o processo biológico, mantendo-se a dependência da Estação de Tratamento de Americana;

Composição B: KT + Precursor + Plating

Simulando a situação atual, com o Plating sendo enviado ao tratamento biológico, mantendo-se a dependência da Estação de Tratamento de Americana;

Composição C: KT + Precursor+ Quab + Doméstico

Simulando uma situação possível futura, com total independência da Estação de Tratamento de Americana, com o Plating sendo lançado ao corpo receptor, apenas com o tratamento por FotoFenton, sem o processo biológico;

Composição D: KT+ Precursor + Quab + Doméstico + Plating

Simulando uma situação possível futura, com total independência da Estação de Tratamento de Americana e com o Plating sendo enviado ao tratamento biológico.

Os dados referentes à proporção de cada uma das linhas de efluentes nas quatro composições podem ser vistos nas Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5, cujos cálculos foram feitos com base na proporção de suas vazões diárias de geração, apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.3 - Composição das amostras afluentes aos reatores em quatro cenários possíveis(*).

Reator	Composição da Amostra Bruta de Enchimento dos Reatores (%)				
	KT	Precursor	Plating	Quab	Doméstico (**)
A	40,8	59,2	---	---	---
B	20,2	29,3	50,5	---	---
C	6,9	9,9	---	68,6	14,6
D	5,9	8,5	14,6	58,6	12,4

(*) Preparada com os efluentes brutos coletados semanalmente.

(**) Esgoto Doméstico gerado na Unicamp, coletado diariamente.

Nesta etapa do trabalho, as simulações executadas nos reatores de bancada consideraram que num cenário futuro, em escala real, existirão dois reatores biológicos idênticos trabalhando em conjunto, cada um com um volume útil total de 75 m³, dos quais, aproximadamente 50 % serão destinados à preservação do lodo de uma batelada para a outra. Desta forma, considerando-se que o volume diário total de águas residuárias geradas na indústria corresponde ao valor médio de 68,3 m³, cada um dos futuros reatores biológicos em escala real, será responsável pelo tratamento de 34,15 m³ (50% do volume total diário), perfazendo-se, portanto, uma única batelada por dia por reator.

Levando-se em conta que cada uma das composições de amostras foram utilizadas como afluentes de dois reatores de bancada e que o volume total de cada reator é de 4L, sendo que 50% foi utilizado para o enchimento, os volumes de águas residuárias necessários para cada batelada a ser realizada são apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Volumes necessários para a composição das amostras afluentes a cada reator de 4 L em quatro cenários possíveis.

Composição	Composição da Amostra Bruta de Enchimento dos Reatores (L)					
	KT	Precursor	Plating	Quab	Doméstico	Total (*)
A	1,632	2,368	---	---	---	4
B	0,808	1,172	2,02	---	---	4
C	0,276	0,396	---	2,744	0,584	4
D	0,236	0,34	0,584	2,344	0,496	4
Total	2,952	4,276	2,604	5,088	1,08	-

(*) Volume de amostra necessário para o enchimento de dois reatores por dia.

Na Tabela 4.5 são apresentados os valores de volumes semanais necessários para a composição das amostras afluentes aos oito reatores de bancada, excluindo-se os volumes de esgoto doméstico, cuja coleta foi feita de forma diária.

Tabela 4.5 – Volumes de amostras de cada linha geradora de efluentes necessários para cada semana de investigação experimental.

Linha geradora de efluente	Volume (L)
KT	20,7
Precursor	29,9
Plating (após pré-tratamento com Foto-Fenton)	18,2
Quab	35,6

(c) Estratégia Operacional dos Reatores Biológicos de Bancada

O objetivo dos ensaios utilizando o sistema LAB foi a verificação da degradabilidade de 4 composições de efluentes para duas idades de lodo, totalizando 8 reatores de 4L. Assim, diariamente esses reatores foram alimentados com as amostras compostas A, B, C e D, tendo-se, previamente, dividido igualmente entre todos os reatores, a biomassa produzida e aclimatada na fase experimental 1. Evidentemente, que, a biomassa inoculada em cada reator não corresponde ao valor decorrente da situação de equilíbrio a ser induzida em cada um dos reatores, frente à situação de carga de substrato diária e à idade do lodo mantida em cada reator. Desta forma, será necessário que a investigação experimental perdure por um período mínimo igual a 2 vezes o maior valor da idade do lodo adotada, obrigando-se o sistema a tender para essa situação de equilíbrio dinâmico, de forma a permitir avaliar a degradabilidade e eficiências de cada situação simulada.

A operação desses reatores foi feita de forma a manter a fração de lodo em 50%, o que pressupõe um volume de enchimento constante de 2L. Foram escolhidas duas diferentes idades de lodo, de 7 e 20 dias para cada composição dos efluentes.

A idade do lodo representa o período ao final do qual, em termos médios, toda a biomassa foi renovada. O cálculo é simples e se baseia no seguinte procedimento, como exemplo:

Idade do lodo = 7 dias \Rightarrow Volume de retirada diária de lodo = 1/7 do volume do reator

Para os reatores em questão, uma idade de lodo de 7 e 20 dias representa, respectivamente, a retirada diária de 570 e 200 mL de cada reator. Cabe acrescentar que este procedimento foi feito com o efluente em aeração (ou seja, teoricamente homogeneizado), permitindo uma maior segurança quanto ao volume real de lodo que está sendo descartado.

O ciclo de operação dos reatores foi similar àquele realizado na fase experimental 1:

(a) Período de aeração (reação):

Duração de cerca de 22 horas com o sistema de aeração ligado.

(b) Descarte de lodo:

A manutenção de uma fração de lodo igual a 50 % do volume total útil dos reatores indica que 2.000mL do conteúdo de cada reator devam ser mantidos ao final de cada batelada e o restante (2.000mL) deva ser descartado. O volume a ser descartado inclui o descarte do lodo em excesso e do sobrenadante (efluente tratado).

Conforme mencionado anteriormente, a retirada diária de lodo foi feita com o sistema de aeração ligado (efluente teoricamente homogeneizado), e os volumes diários de retirada foram de 570 e 200, para as idades de lodo de 7 e 20 dias, respectivamente.

(c) Período de sedimentação:

Duração de 1 hora com o sistema de aeração desligado, de forma a permitir a decantação do efluente. Ao final desse período foi determinada a altura da coluna de lodo interna em cada reator, de forma que fosse possível estimar a quantidade de lodo descartado por batelada.

(d) Descarte de sobrenadante:

Para completar o volume do conteúdo dos reatores a ser descartado (2.000mL), as retiradas adicionais de sobrenadante foram executadas após 1 hora de sedimentação. Os volumes diários de retirada de sobrenadante foram de 1.430 e 1.800 mL, para as idades de lodo de 7 e 20 dias, respectivamente.

(e) Enchimento:

Reposição da mistura de efluentes, correspondente ao volume total descartado.

Após o enchimento dos reatores, uma nova batelada era iniciada, com o religamento do sistema de aeração.

Os dados referentes às condições operacionais dos ensaios descritos são apresentados, resumidamente, na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Condições operacionais gerais dos reatores de bancada.

Reator	Volume Útil (mL)	Fração de Lodo (%)	Volume de Enchimento (mL)	Idade do Lodo θ_c (dias)	Amostra Afluente	Reação ou Aeração (h)	Sedimentação (h)	Descarte do Lodo (mL)	Descarte Sobrenadante (mL)
1	4000	50	2000	7	A	22	1	570	1430
2				20	A			200	1800
3				7	B			570	1430
4				20	B			200	1800
5				7	C			570	1430
6				20	C			200	1800
7				7	D			570	1430
8				20	D			200	1800

4.3. Análises realizadas e material utilizado

As amostras compostas dos efluentes provenientes da Degussa; as análises de condutividade, pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Série de Sólidos foram executadas no Laboratório de Saneamento (LABSAN) da FEC. As análises de Carbono Orgânico Total (COT) foram realizadas no laboratório do Instituto de Química (IQ).

As amostras compostas dos efluentes foram feitas semanalmente. As análises de condutividade e pH foram feitas diariamente, a série de sólidos semanalmente, e as análises de DQO e COT foram feitas em média 2 vezes por semana.

Todas as análises mencionadas acima foram realizadas segundo metodologia contida no American Public Health Association (2000).

4.3.1. Caracterização das amostras compostas brutas e das amostras dos reatores (efluente tratado)

Foram analisados os seguintes parâmetros das quatro amostras compostas brutas e das oito amostras dos reatores:

(a) Condutividade:

Método SM 2510 – Conductivity

- Equipamento: condutímetro Sension 5 – Hach

(b) pH:

Método SM4500 – pH value

- Equipamento: pHmetro Sension 1 - Hach

4.3.2. Análises realizadas nas amostras compostas brutas e nas amostras dos reatores (efluente tratado)

Foram realizadas as seguintes análises nas quatro amostras compostas brutas e nas oito amostras dos reatores:

(a) Série de Sólidos:

Método SM 2540 - Solids

- Sólidos Totais (ST);
- Sólidos Totais Fixos (STF) e Voláteis (STV);
- Sólidos Suspensos Totais (SST); Fixos (SSF) e Voláteis (SSV);
- Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Fixos (SDF) e Voláteis (SDV).

Para a execução dessas análises foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Cápsulas de porcelana;
- Provetas;
- Funil;
- Papel Alumínio;
- Papel de filtro Whatman 40;
- Desecador;
- Mufla (operação a 550° C) – modelo MELF;
- Banho-maria – modelo MA 156/8/A – Marconi;
- Estufa (operação a 103° C) – modelo 315SE – Fanem;
- Balança analítica – modelo Mettler H20T;
- Filtro a vácuo – Fanem.

(b) Demanda Química de Oxigênio (DQO):

Método SM 5220 – Chemical Oxygen Demand (COD)

- DQO total;
- DQO filtrada.

Para execução desta análise foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Tubos de digestão;
- Pipetas;
- Funil;
- Papel de filtro Whatman 40;
- Bloco digestor – reator DQO Hach;
- Espectrofotômetro – modelo DR 4000 – Hach;
- Filtro a vácuo – Fanem.

(c) Carbono Orgânico Total (COT):

Método SM 5310 – Total Organic Carbon (TOC)

Para a execução desta análise foi utilizado o equipamento:

- Analisador de TOC Shimadzu TOC 5000A (Total Organic Carbon Analyzer)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período do estudo experimental de tratabilidade em reatores biológicos de bancada simulando o processo de lodos ativados por batelada, cuja duração foi de, aproximadamente dois meses, foram monitorados os valores da Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Condutividade e pH das amostras brutas utilizadas para o enchimento dos reatores e das amostras do sobrenadante retiradas de cada reator. Os valores da Série de Sólidos foram monitorados para as amostras de lodo retiradas de cada reator. Com os dados obtidos, foram elaborados gráficos e tabelas, apresentados no presente capítulo e em Anexo, este último, com os valores da série de sólidos das quatro amostras compostas de águas residuárias semanais usadas como afluente aos reatores e de diversas amostras de lodo descartadas dos oito reatores biológicos estudados. Destaca-se aqui, mesmo sendo repetitiva, o esclarecimento de que, as amostras de lodo descartado de cada reator, sempre foram extraídas ao final do período de reação com o conteúdo dos reatores homogeneizado. Desta forma, as concentrações de sólidos suspensos voláteis detectadas nas análises, referem-se ao valor presente nos reatores ao final de uma batelada, ou melhor, ao final do período destinado à completa degradação da matéria orgânica afluente aos reatores.

As coletas dos quatro tipos de águas residuárias geradas nos processos produtivos da indústria e a composição das amostras foram feitas semanalmente, e mantidas à temperatura

ambiente. O efluente doméstico foi coletado diariamente na FEAGRI (UNICAMP), uma vez que as características do mesmo são similares qualitativamente ao gerado na indústria.

O pH do conteúdo de cada reator foi mantido entre os valores de 6,5 e 8,0 , fazendo-se, quando necessário, a correção do mesmo por meio da adição de ácido (HCl concentrado).

5.1. Caracterização qualitativa do substrato utilizado

As características qualitativas das amostras compostas A, B, C e D sofreram variações ao longo do período do presente estudo, as quais certamente influenciaram a estabilização das condições de equilíbrio dos reatores. Essas variações são apresentadas nas Figuras 5.1 a 5.6.

Observando-se os dados apresentados na Figura 5.1, referentes aos valores de DQO das amostras compostas utilizadas como afluentes aos reatores biológicos, destaca-se que entre os dias 22 e 27 / julho, os valores correspondem às amostras brutas. A partir desse dia, passou-se a determinar os valores da DQO das amostras após filtração em papel Whatman 40. A intenção dessa medida foi verificar a possibilidade de existência de proporcionalidade entre os dados de DQO e COD, ambas de amostras filtradas. Pela análise dos dados, apesar de certa similaridade, não foi possível estabelecer uma correlação entre os dois parâmetros de tal forma que fosse possível utilizar apenas dos valores de COD, cuja determinação é mais simples e barata.

Devido ao fato mencionado acima, verifica-se a discrepância entre os primeiros valores de DQO em relação aos demais, demonstrando que grande parcela da DQO está correlacionada aos sólidos suspensos totais presentes nas águas residuárias geradas pela indústria.

Outro fato que merece destaque refere-se aos valores de DQO e COD da amostra composta A, muito baixos, porém, já esperados em função dos valores individuais manifestados pelas águas residuárias que a geraram, quais sejam: KT e Precursor. Conforme pode ser visto na Tabela 4.1, esses efluentes não necessitam de tratamento biológico complementar, bastando,

apenas, remover seus sólidos suspensos e regularizar sua vazão de descarte juntamente com os demais efluentes. De qualquer forma, e, prevenindo-se qualquer possibilidade futura de flutuação em sua qualidade, os estudos desenvolvidos incluíram sua passagem pelo tratamento biológico.

Nas Figuras 5.3 a 5.6, verifica-se que em qualquer uma das quatro composições estudadas, a grande maioria dos sólidos presentes encontrava-se na forma dissolvida, principalmente na forma de Sólidos Dissolvidos Fixos, pouco ou nada afetados por qualquer processo de tratamento biológico.

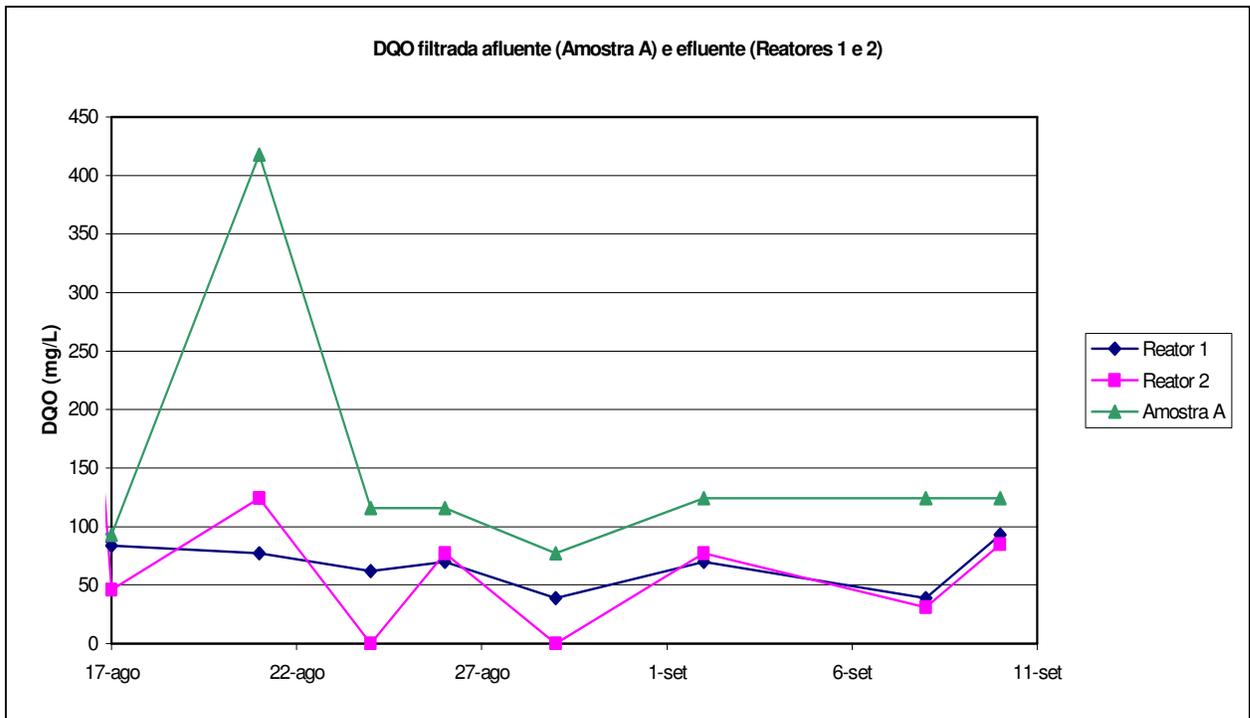


Figura 5.1: DQO (mg/L) relativa às amostras compostas A, B, C e D.

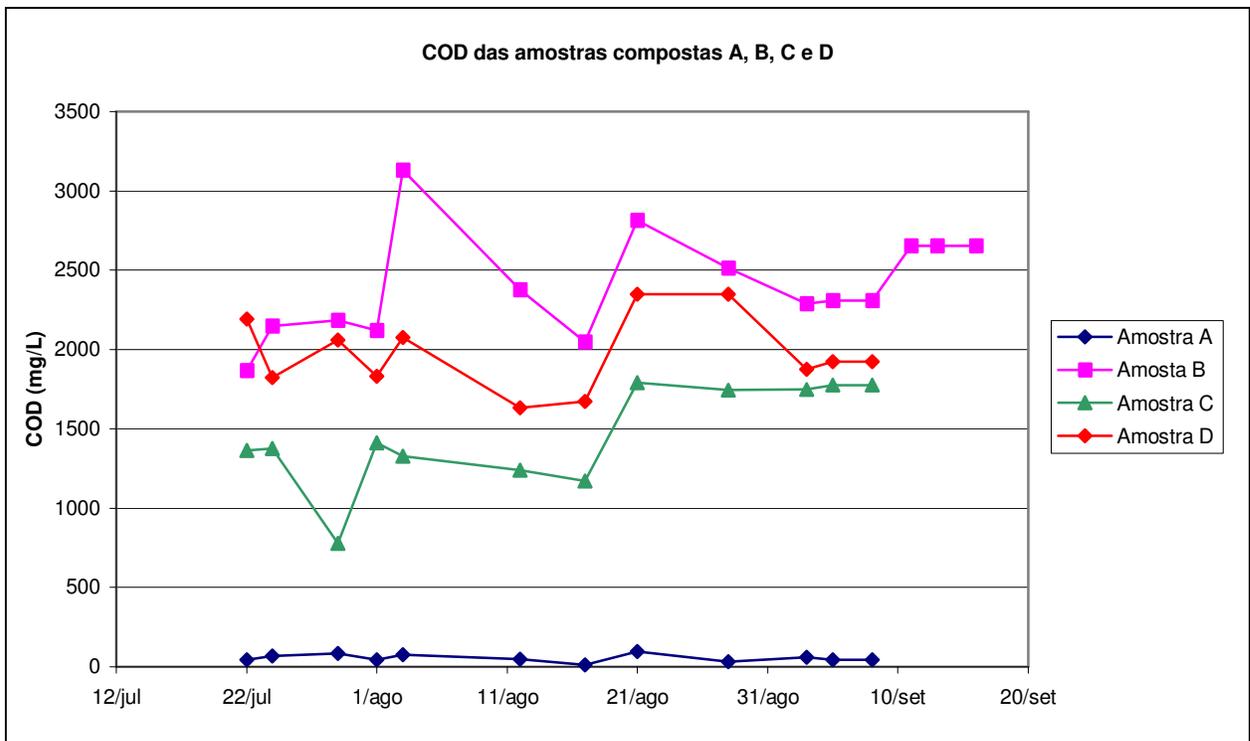


Figura 5.2: COD (mg/L) relativo às amostras compostas A, B, C e D.

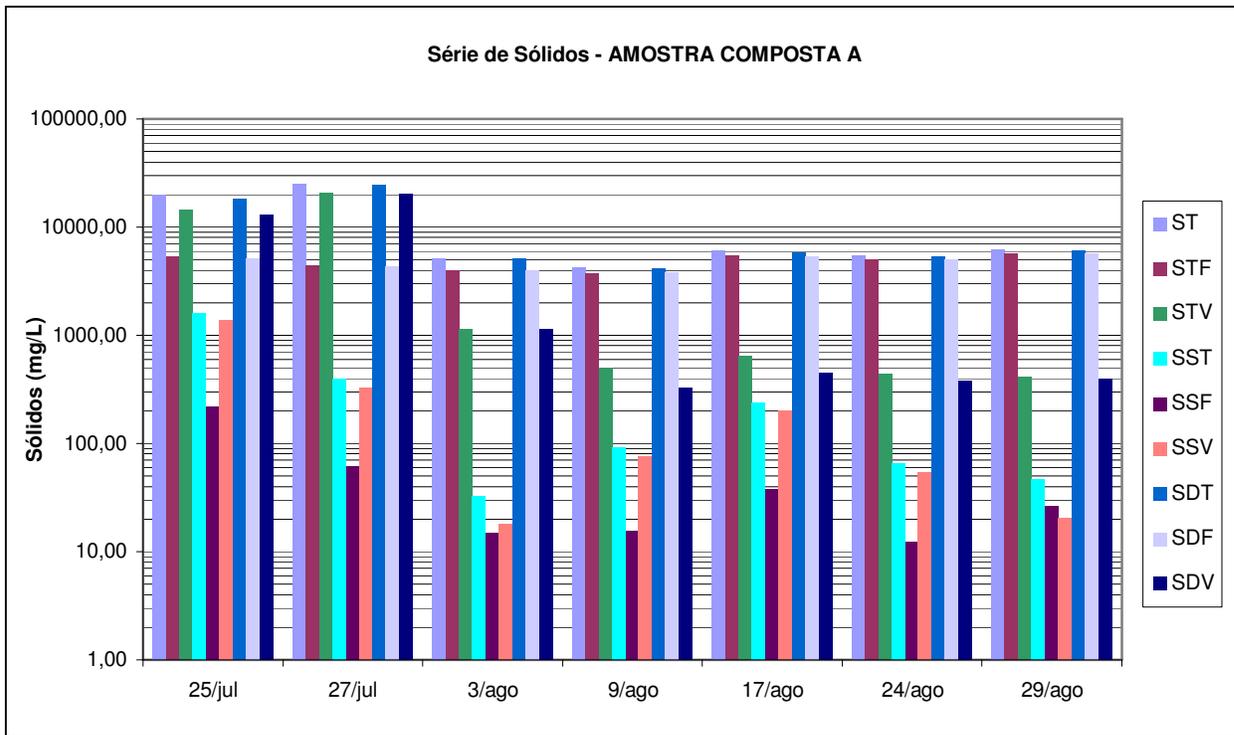


Figura 5.3: Série de sólidos relativa à amostra composta A.

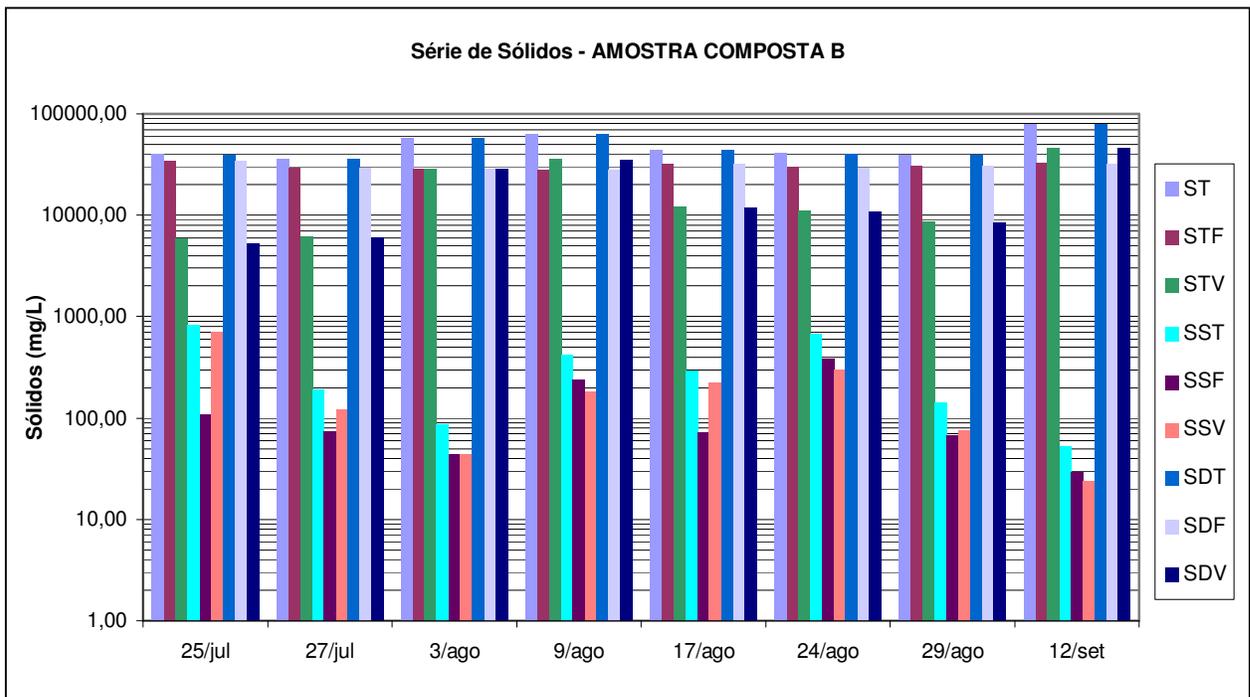


Figura 5.4: Série de sólidos relativa à amostra composta B.

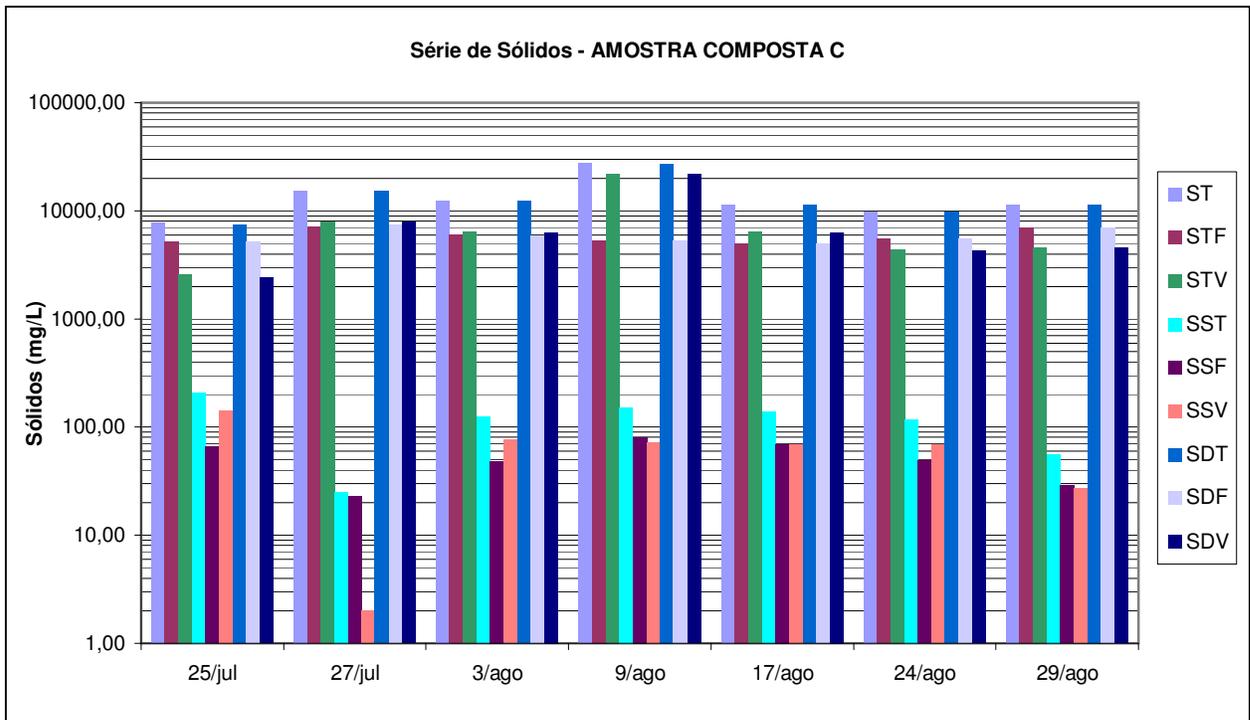


Figura 5.5: Série de sólidos relativa à amostra composta C.

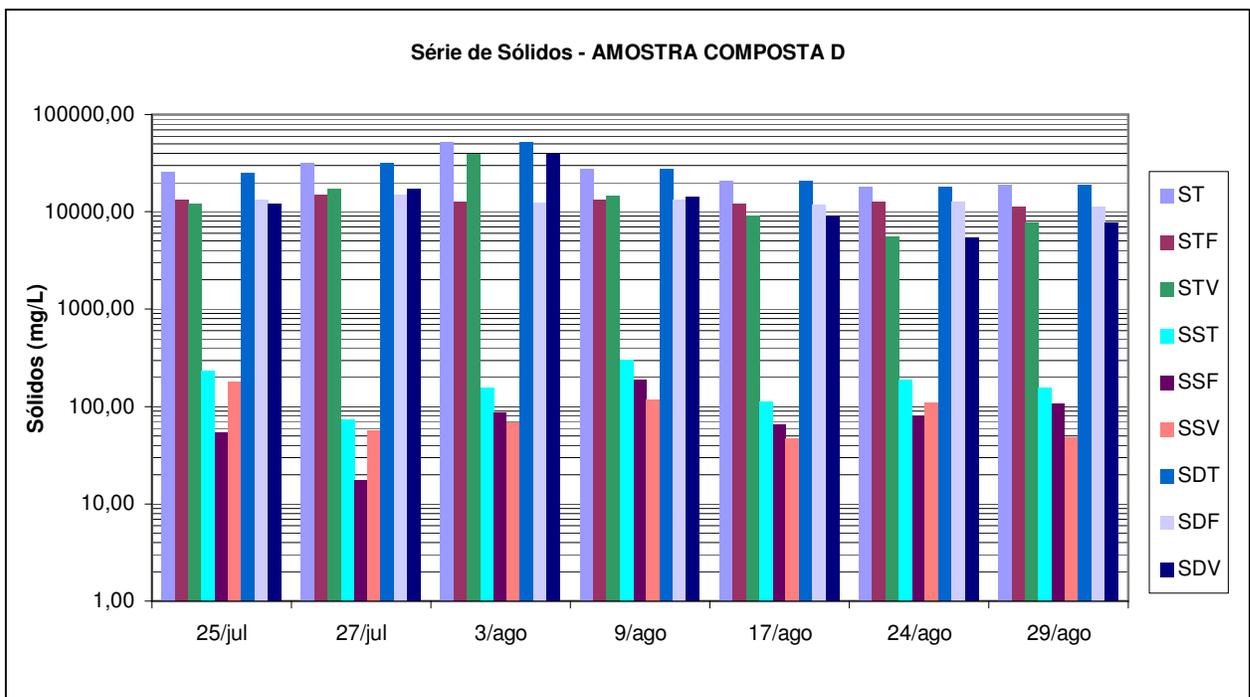


Figura 5.6: Série de sólidos relativa à amostra composta D.

5.2. Ensaio de tratabilidade dos reatores de bancada

5.2.1. Série de Sólidos

A série de sólidos de cada um dos reatores foi analisada semanalmente, e é apresentada nas Figuras 5.7 a 5.14. Em Anexo são apresentados os valores das séries de sólidos das quatro amostras compostas e dos oito reatores biológicos estudados. Em seqüência às séries de sólidos, são apresentadas, as Figuras 5.15 a 5.18, correspondentes às curvas de variação dos valores de Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) para cada reator estudado.

Da análise dos dados apresentados na Figuras 5.7 a 5.18, pode-se extrair algumas informações interessantes, dentre as quais, destacam-se:

- a) As operações diárias de carga e descarga dos oito reatores, após inoculação da semente adaptada às águas residuárias da indústria, demonstram a tendência, nos valores de Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), a uma concentração de equilíbrio dinâmico ao final do período de reação em cada uma das bateladas. Esse equilíbrio é proporcionado naturalmente pela disponibilidade de alimento presente no substrato, sendo função, também da idade do lodo estabelecida. Nessa linha de raciocínio, quatro outras observações podem ser formuladas, descritas a seguir;
- b) Quanto maior a carga orgânica presente no substrato afluente, maior será o valor dos SSV manifestados. Tal fato pode ser comprovado comparando-se, por exemplo, os valores registrados nos reatores 1 ou 2, considerados baixos, com os demais reatores, muito maiores, devido à maior carga de DQO afluente;
- c) Para idades de lodo maiores, o que ocorreu nos reatores de numeração par, verificou-se uma tendência de manifestação de maiores concentrações de SSV quando comparadas aos de idade de lodo menores (reatores de numeração ímpar).

Tal fato deve-se ao menor descarte diário de lodo, proporcionando a presença de maior número de microrganismos preservados no interior dos reatores para a batelada seguinte;

- d) Conforme podia ser esperado, o aumento da concentração de SSV provoca a diminuição da de SDV. Isso ocorre em função da assimilação da matéria orgânica biodegradável presente, tanto nos sólidos suspensos voláteis, quanto nos sólidos dissolvidos voláteis disponíveis nos substratos afluentes aos reatores. Essa assimilação pela biomassa presente, proporciona a formação de novas células, com conseqüente aumento dos sólidos suspensos, no caso, detectados como voláteis. Tendo em vista as dificuldades e problemas inerentes na coleta e manipulação das amostras para a realização de análises da série de sólidos, tal fato pode ser observado, apesar das flutuações diárias ocorridas;

- e) No caso dos reatores 1, 2, 5, 6, 7 e 8, as amostras coletadas após a data de 29 / agosto, não puderam ter seus valores detectados em função de problemas ocorridos durante as análises. Desta forma, e, principalmente para os reatores 6 e 8, cuja idade de lodo de 20 dias exigia um período de operação mais prolongado para atingir as condições de equilíbrio dinâmico da biomassa, infelizmente, não pode ser observada a tendência desse equilíbrio.

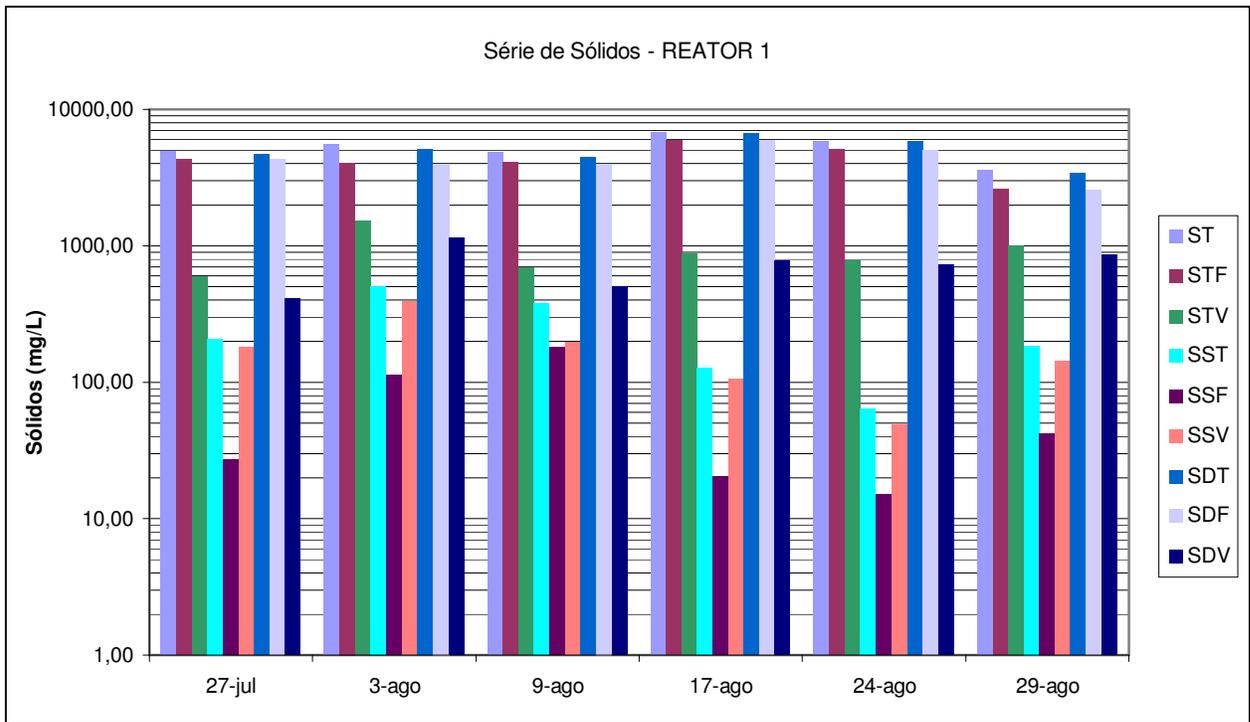


Figura 5.7: Série de sólidos do reator 1 homogeneizado no final do período de aeração.

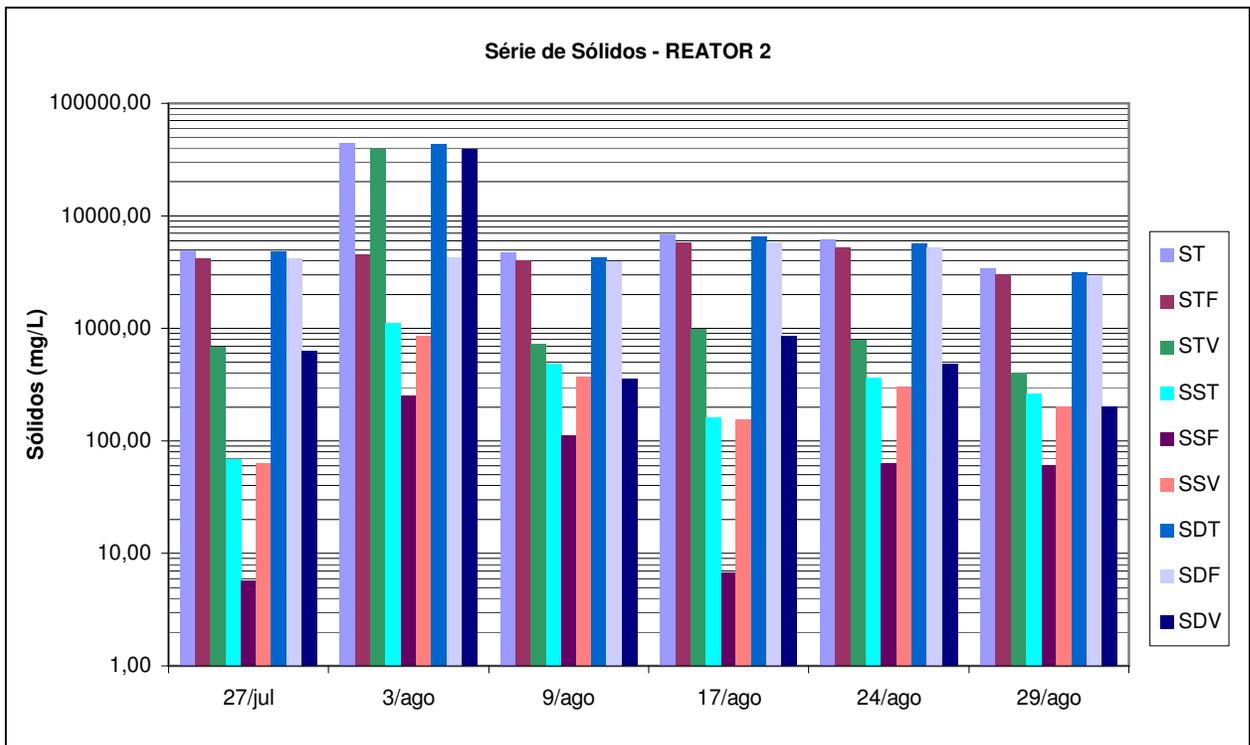


Figura 5.8: Série de sólidos do reator 2 homogeneizado no final do período de aeração.

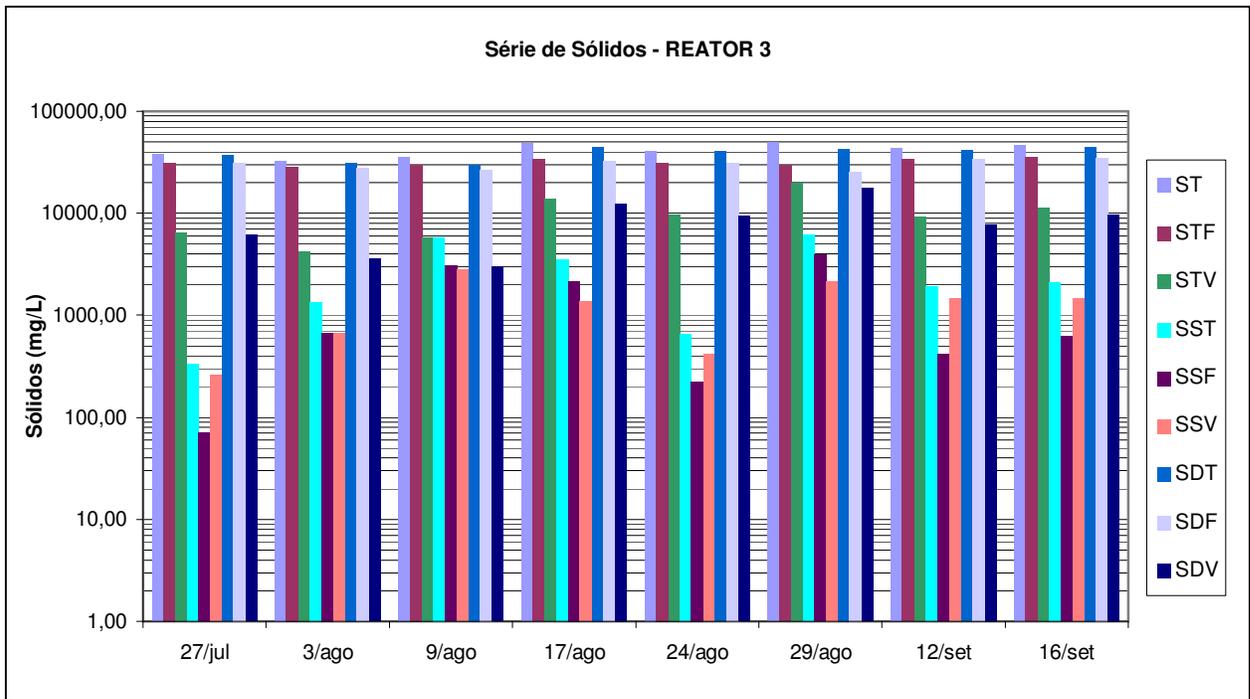


Figura 5.9: Série de sólidos do reator 3 homogeneizado no final do período de aeração.

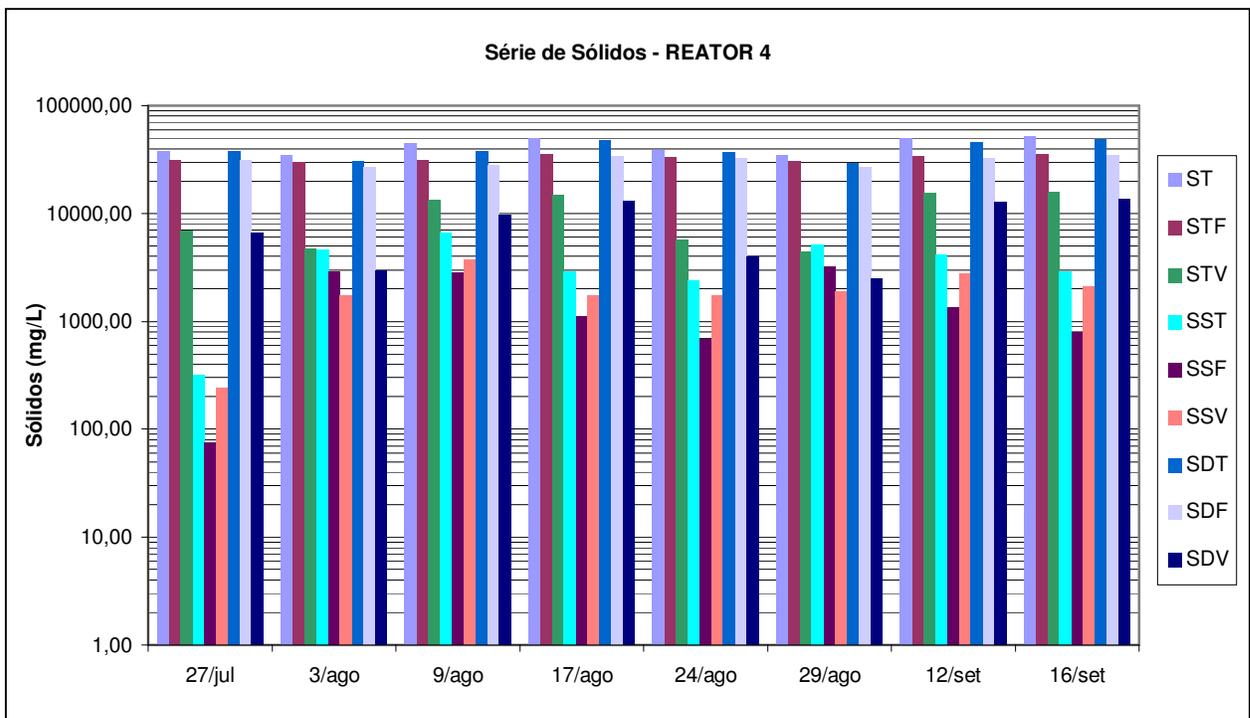


Figura 5.10: Série de sólidos do reator 4 homogeneizado no final do período de aeração.

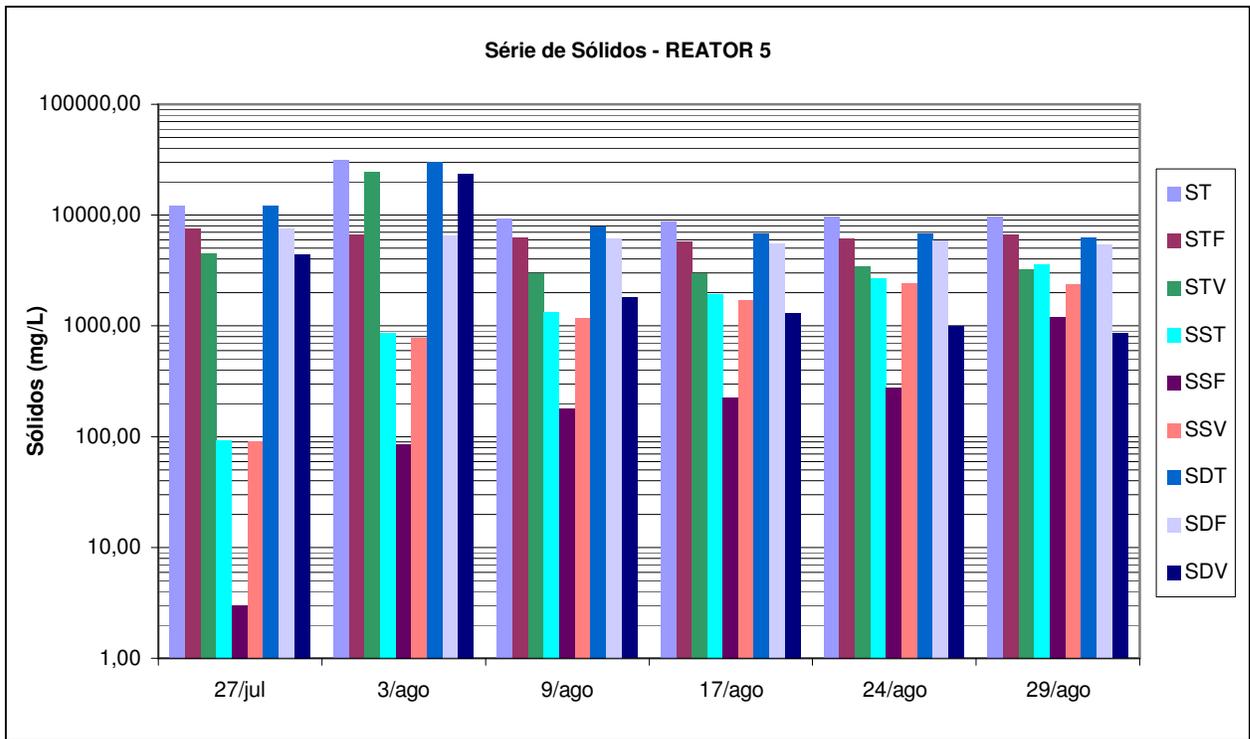


Figura 5.11: Série de sólidos do reator 5 homogeneizado no final do período de aeração.

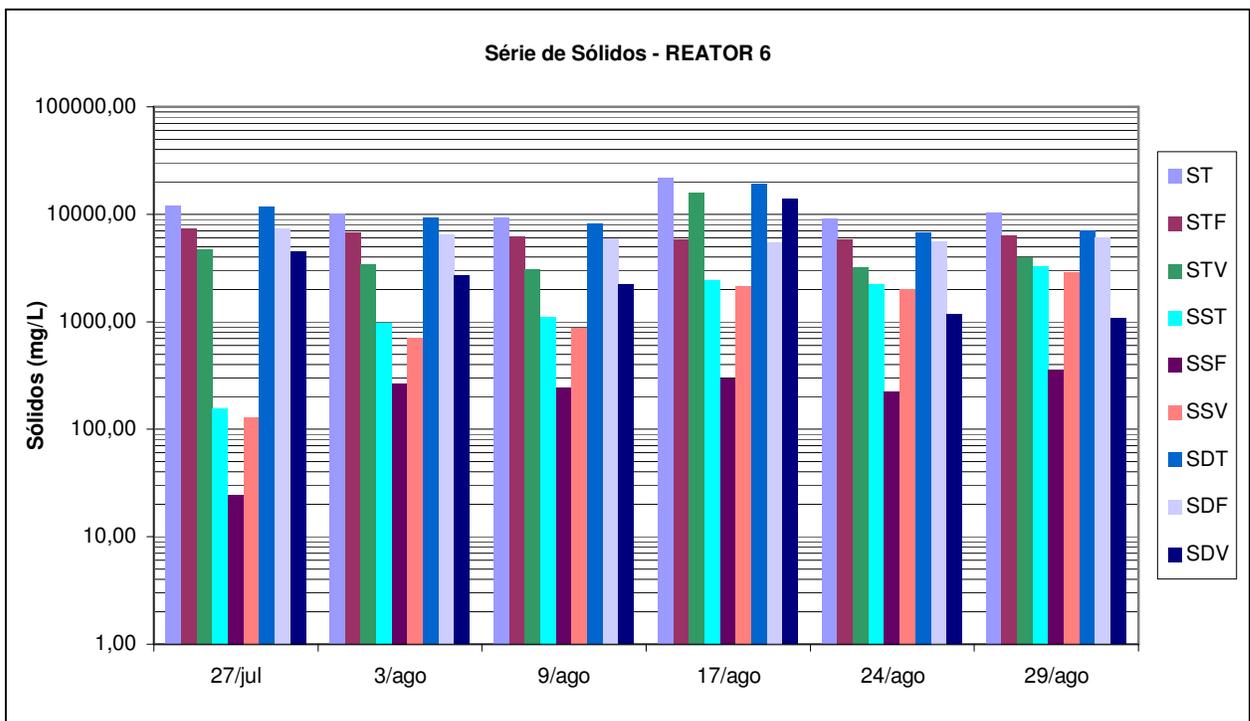


Figura 5.12: Série de sólidos do reator 6 homogeneizado no final do período de aeração.

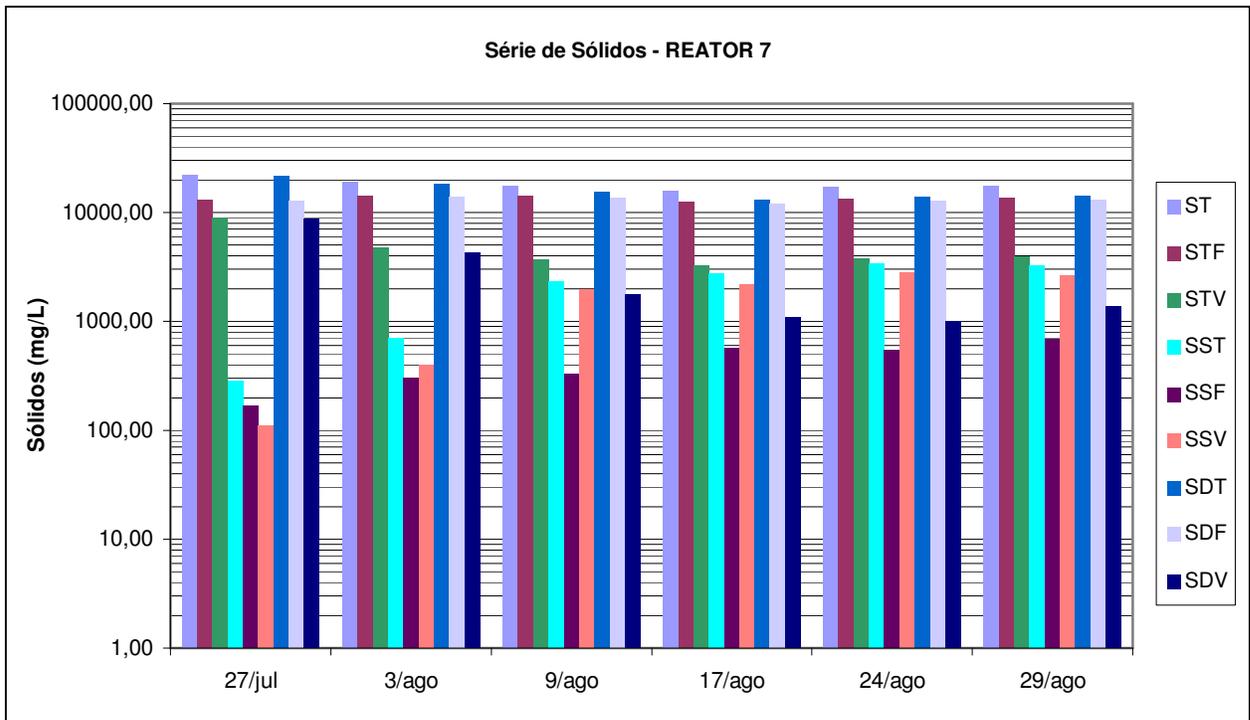


Figura 5.13: Série de sólidos do reator 7 homogeneizado no final do período de aeração.

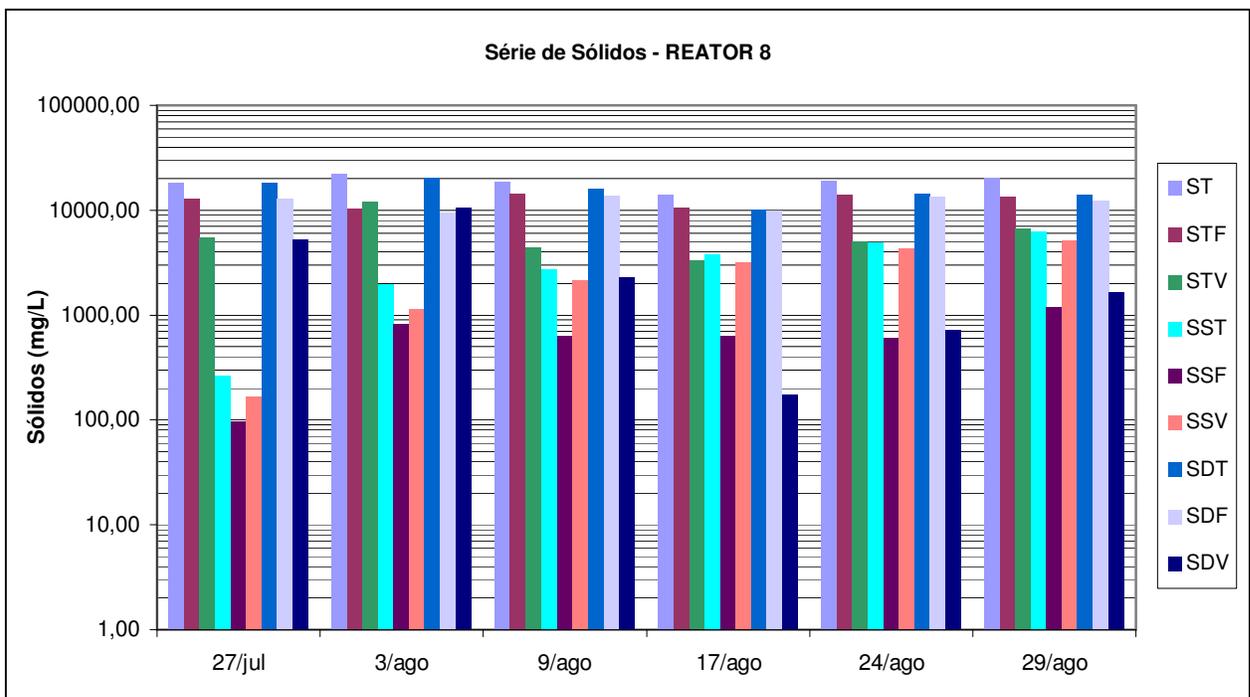


Figura 5.14: Série de sólidos do reator 8 homogeneizado no final do período de aeração.

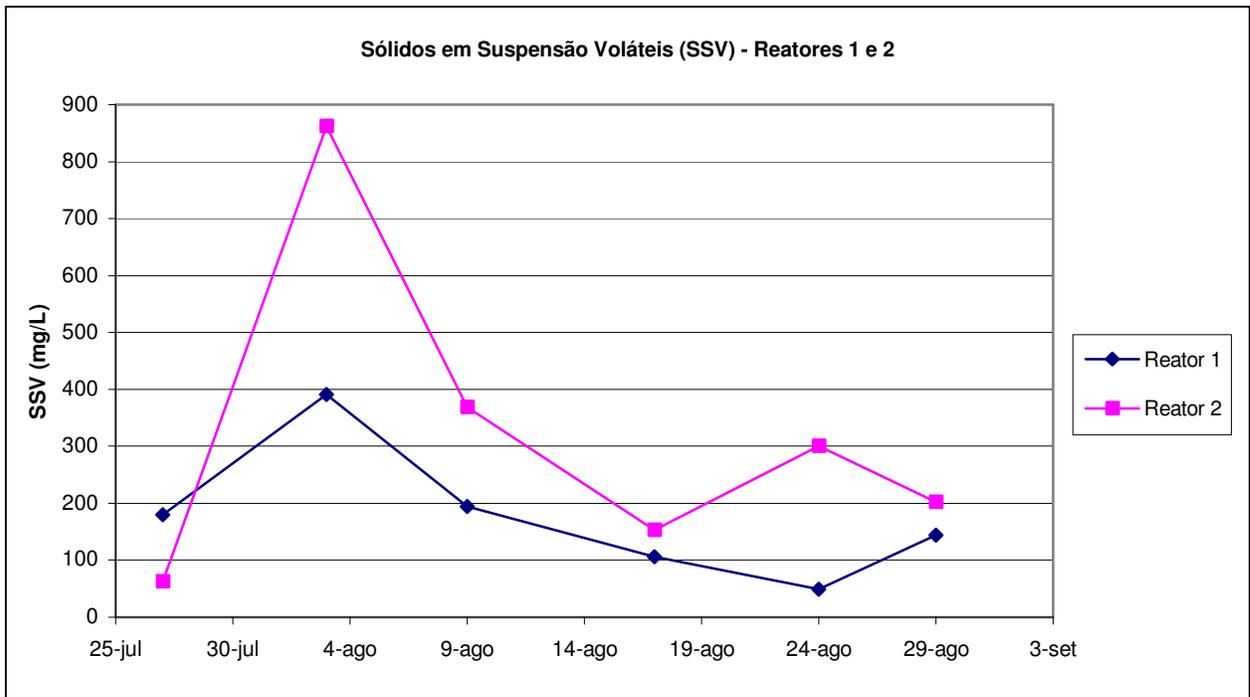


Figura 5.15: Sólidos em Suspensão Voláteis dos reatores 1 e 2 homogeneizados no final do período de aeração, que tiveram como afluente a amostra composta A.

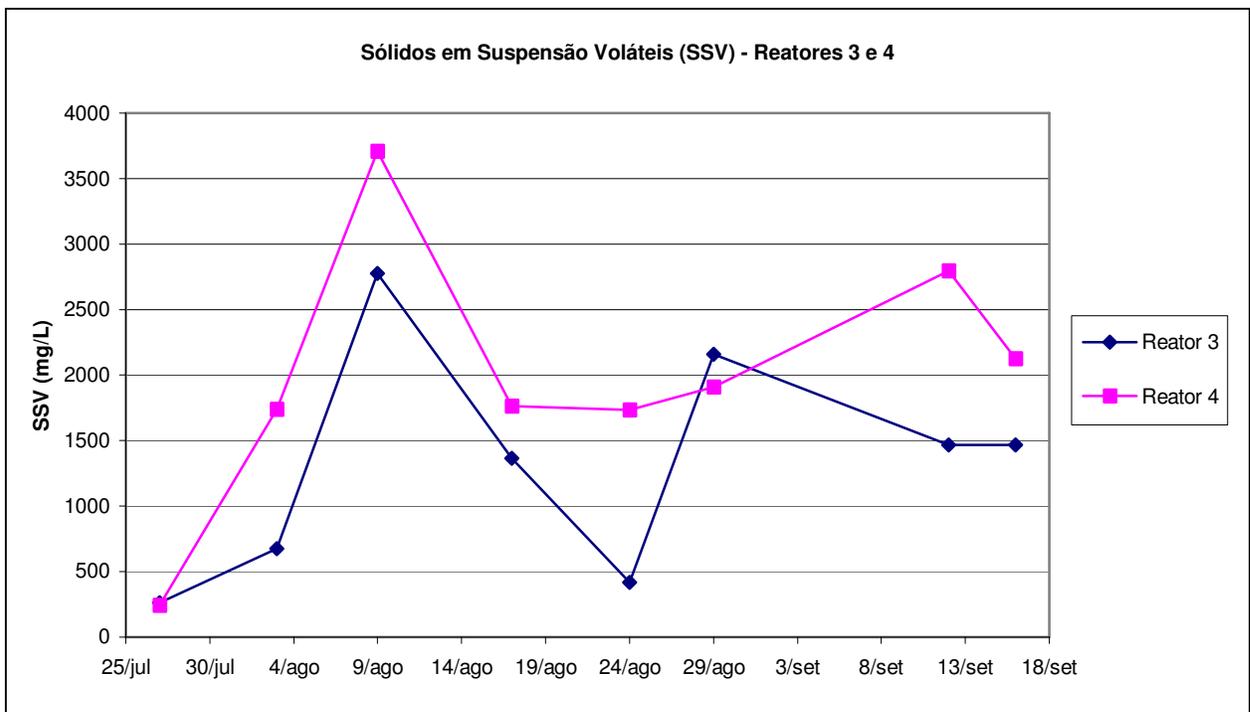


Figura 5.16: Sólidos em Suspensão Voláteis dos reatores 3 e 4 homogeneizados no final do período de aeração, que tiveram como afluente a amostra composta B.

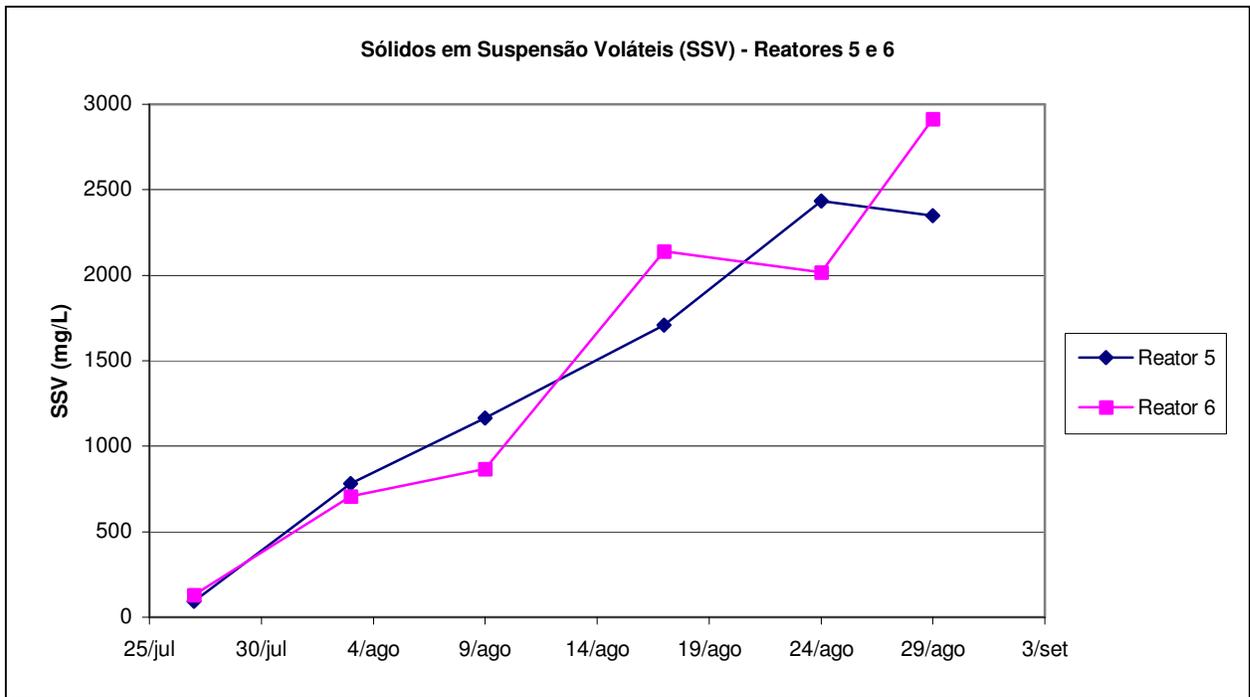


Figura 5.17: Sólidos em Suspensão Voláteis dos reatores 5 e 6 homogeneizados no final do período de aeração, que tiveram como afluente a amostra composta C.

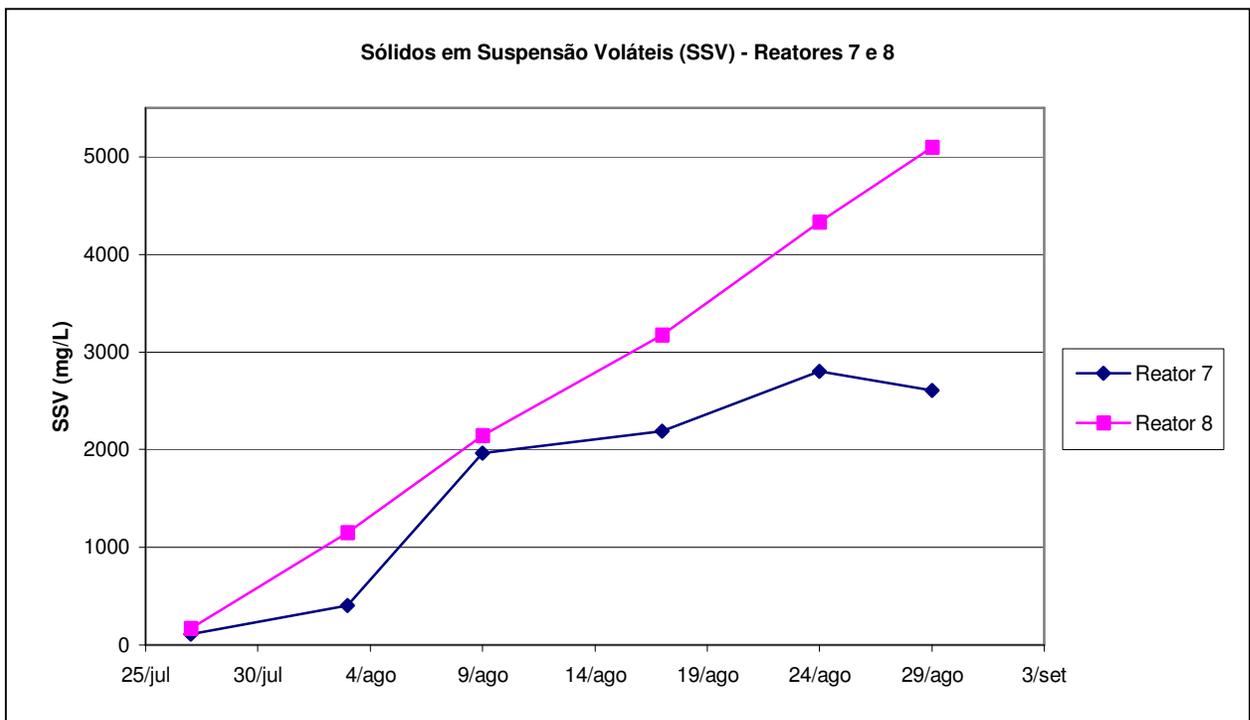
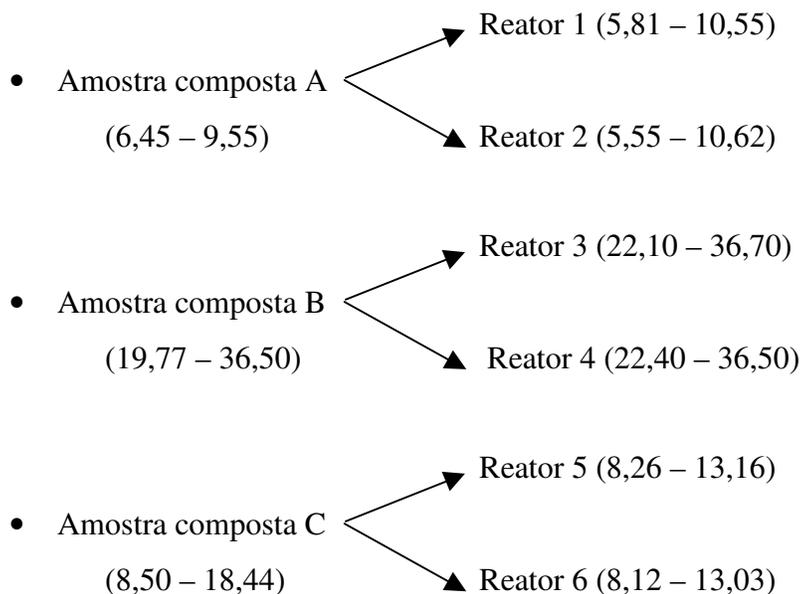


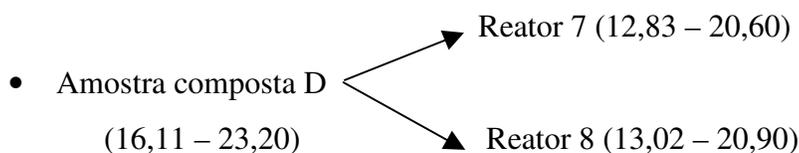
Figura 5.18: Sólidos em Suspensão Voláteis dos reatores 7 e 8 homogeneizados no final do período de aeração, que tiveram como afluente a amostra composta D.

5.2.2. Condutividade

A condutividade é a medida da capacidade de uma solução aquosa de conduzir corrente elétrica, que depende da temperatura da amostra e, principalmente, da presença de íons. Conforme mencionado na literatura, existe proporcionalidade entre os valores de condutividade e a concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT) em amostras de água, podendo-se, em alguns casos, estabelecer-se a correlação entre os dois parâmetros.

Os valores de condutividade foram obtidos, em média, a cada 2 dias, e são apresentados na Tabela 5.1. Conforme pode ser observado, os valores demonstrados nas amostras tratadas sofreram pouca variação em relação às amostras dos afluentes, destacando-se o fato que, a medida que a biomassa presente nos reatores passou a tender aos valores de equilíbrio dinâmico, verificou-se um pequeno aumento dos valores de condutividade entre os pares de reatores alimentados com as mesmas amostras para os de idade do lodo maior (reatores de numeração par). Isso evidencia o fato da ocorrência de maior mineralização dos sólidos orgânicos presentes nesses reatores, ou seja, para sistemas com aeração prolongada, a digestão do lodo ocorre no próprio tanque de aeração. As faixas de valores (em mS/cm) obtidos das amostras afluentes e efluentes de cada um dos reatores são resumidas a seguir:





A concentração de sólidos dissolvidos totais apresentou o mesmo comportamento, ou seja, também não houve variações significativas em seus valores durante o período de estudo. Esses valores são apresentados nas Tabelas do Anexo.

Tabela 5.1: Valores de condutividade (mS/cm) dos sobrenadantes dos reatores biológicos estudados e das amostras compostas afluentes aos mesmos.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	A	B	C	D
22/jul	8,28	8,11	22,10	22,40	8,26	8,12	12,83	13,02				
24/jul	10,45	10,25	33,10	34,20	10,00	10,18	18,00	18,25				
25/jul	10,55	10,62	34,90	35,70	10,41	10,53	18,92	19,32				
26/jul	9,33	9,46	33,80	34,20	12,36	11,69	20,00	20,20				
27/jul	8,81	8,92	33,30	33,50	12,68	12,37	20,60	20,60	7,88	32,10	18,44	25,20
1/ago	8,28	8,34	31,90	32,70	13,16	13,03	20,30	20,90				
3/ago	7,36	7,55	32,40	33,10	12,17	12,42	20,20	20,30	6,80	32,40	8,50	19,13
5/ago	7,21	7,51	32,30	33,30	11,75	11,84	20,10	20,10				
9/ago	6,85	6,71	32,70	33,10	10,44	10,34	18,97	18,94	6,45	19,77	12,78	23,20
12/ago	8,37	8,14	33,10	33,70	10,66	10,39	18,93	19,03	8,74	35,50	9,95	16,11
15/ago	10,39	10,12	35,50	35,70	9,74	9,72	16,59	16,46	9,09	35,10	9,64	17,14
16/ago	9,84	9,73	35,40	35,90	9,84	9,51	16,80	16,83				
17/ago	9,68	9,53	35,40	36,00	9,61	9,52	16,98	17,06	9,10	35,10	9,62	17,11
19/ago	9,56	9,39	35,60	36,40	9,63	9,42	17,06	17,77	8,74	32,70	11,19	18,61
21/ago	9,43	9,61	35,60	36,60	10,29	10,19	17,86	18,25	8,85	32,80	11,32	18,63
22/ago	9,28	9,76	34,40	35,10	10,51	10,23	17,91	18,31				
24/ago	9,29	9,37	34,30	35,20	10,35	10,34	18,24	18,96	8,93	32,70	11,17	18,51
26/ago	7,94	7,18	33,20	33,60	10,01	10,07	18,08	18,40	6,84	32,50	11,50	18,04
28/ago	6,72	6,36	33,30	33,50	10,57	10,74	18,24	18,99	6,87	32,60	11,33	
29/ago	5,81	5,55	32,90	33,50	10,48	10,60	18,19	17,96	9,44	32,90	12,22	16,26
2/set	8,63	8,56	33,10	33,60	12,42	12,59	17,27	17,67	9,47	32,90	11,91	16,50
5/set	6,98	7,38	31,10	32,10	11,75	12,00	19,19	19,32				
8/set	9,91	9,95	34,10	35,40	12,91	13,02	17,75	18,82	9,55	33,60	12,01	17,34
11/set			34,00	34,50						36,50		
13/set			34,70	35,20								
16/set			36,70	36,50								

5.2.3. Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Dissolvido (COD).

Os resultados do estudo de tratabilidade nos reatores biológicos em termos de DQO – Demanda Química de Oxigênio (mg/L) afluente e efluente são mostrados na Tabela 5.2 e nas Figuras 5.19 a 5.24. Os resultados em termos de COD – Carbono Orgânico Dissolvido (mg/L) afluente e efluente são mostrados na Tabela 5.3 e nas Figuras 5.25 a 5.30.

Conforme era esperado, houve uma gradativa melhoria na degradação biológica da matéria orgânica nos oito cenários simulados, com o passar do tempo de operação dos reatores biológicos. Tal fato se deve à aclimatação gradativa da biomassa presente em cada reator ao substrato fornecido. Além disso, há um aumento proporcional da própria biomassa por reprodução e busca do equilíbrio entre a quantidade de alimento disponível e capacidade de sustentação, em cada uma das idades de lodo estudadas. Pode-se analisar essa melhoria através da eficiência de redução dos valores de DQO e COD.

Os resultados de eficiência de degradação em termos de DQO foram satisfatórios, exceto para a amostra composta A, que apresentou eficiências na redução dos valores de DQO de 55,3% para a idade do lodo de 7 dias (reator 1) e 63% para a idade do lodo de 20 dias (reator 2). Este fato ocorreu devido à baixa disponibilidade de matéria orgânica biodegradável presente nos efluentes gerados pelas linhas do KT e Precursor (efluentes da composição A), o que resultou em uma presença de pequena quantidade de biomassa em ambos os reatores que receberam essa amostra como substrato (Figura 5.15). A eficiência na redução de DQO no tratamento de efluentes industriais por lodos ativados, segundo BURGESS, QUARMBY E STEPHENSON, 1999, é de 80 a 85%.

Apesar de nem todos os reatores demonstrarem uma tendência, nos valores de Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), a uma concentração de equilíbrio (reatores 6 e 8), foi considerada alcançada a situação de equilíbrio dinâmico a partir do dia 17 de Agosto, data a partir da qual os reatores 3, 4, 5, 6, 7 e 8 manifestaram eficiências de redução de valores de DQO superiores à 80%.

Fato similar ocorreu em relação às eficiências de redução de valores de COD, porém com valores ligeiramente menores (superiores a 70%) para os reatores que receberam como substrato as amostras compostas B, C e D. Nos reatores 1 e 2 a eficiência de degradação em termos de COD não foi satisfatória, assim como para os valores de DQO, sendo de 44,4% para a idade do lodo de 7 dias (reator 1), e 56,9% para idade do lodo de 20 dias (reator 2). Os dados de redução de valores de COD indicaram a possibilidade de utilização desse parâmetro como indicativo da eficiência de degradação da matéria orgânica presente nos efluentes gerados pela Degussa.

Nas Figuras 5.31 e 5.32 são apresentados os valores de eficiências médias de redução de DQO e COD para os reatores biológicos estudados durante o período considerado em equilíbrio dinâmico.

Outro fator resultante do monitoramento dos valores de DQO e COD refere-se às duas idades de lodo estudadas. Maiores eficiências de redução foram apresentadas pelos reatores que simularam idades de lodo mais altas (20 dias), aplicando-se o processo denominado aeração prolongada. Nessas condições, conforme já mencionado anteriormente, o teor de sólidos suspensos voláteis presentes nos reatores é mais elevado, há uma maior resistência a possíveis choques provocados por variações de qualidade do despejo e um maior teor de mineralização do lodo descartado, evitando-se a necessidade de complementar sua digestão.

Destaca-se, ainda, o fato dos cálculos de eficiência terem sido feitos com base nos valores de DQO filtrada efluente (sobrenadante) em relação aos valores da DQO filtrada afluenta (amostras compostas simulando os quatro cenários possíveis em escala real). A literatura evidencia que tais cálculos devam ser feitos considerando-se os valores de DBO bruta dos afluentes (no presente caso, substituída pelos de DQO). Devido a indisponibilidade dos dados de DQO bruta afluenta no período de equilíbrio dos reatores, esses cálculos não foram executados, porém, certamente teriam resultado em eficiências superiores às detectadas no presente trabalho.

Tabela 5.2: Valores de DQO filtrada (mg/L) do sobrenadante dos reatores biológicos estudados e das amostras compostas.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	A	B	C	D
22-jul	5892	4081	9532	9493	7069	9114	14727	11220	5707	13403	6272	9175
25-jul	2687	2160	6853	6086	8324	8796	9663	10925	2439	12126	13690	14015
27-jul	1858	1889	12048	12397	8982	10832	12249	9028	2741	12373	8432	9237
1-ago	798	1278	1680	1030	1200	1208	1231	1069				
3-ago	511	170	720	333	588	976	743	612	240	3794	2176	2834
5-ago	906	1301	3585	4414	4414	5288	6001	6396	240	3794	2176	2834
9-ago	441	317	1820	759	782	782	364	612	302	3639	1913	3097
12-ago	54	23	759	557	844	867	395	310	217	3384	2377	2973
15-ago	132	906	2462	1688	1200	1425	1262	1355	101	3337	2532	2981
17-ago	84	46	1456	565	333	217	271	240	93	2795	2439	2958
21-ago	77	124	2594	627	434	883	302	496	418	4421	4212	4537
24-ago	62	0	1309	581	472	364	240	139	116	3275	2726	3275
26-ago	70	77	1827	1386	310	232	325	85	116	3275	2726	3275
29-ago	39	0	1835	1556	542	418	341	263	77	3043	3066	3058
2-set	70	77	1913	1556	681	472	674	333	124	2981	3391	3368
8-set	39	31	1533	883	503	588	782	271	124	2981	3391	3368
10-set	93	85	1626	983	581	697	945	333	124	2981	3391	3368
11-set			697	488						2346		
13-set			364	271						2346		
16-set			325	271						2346		
Eficiência (%) (*)	55,3	63,0	80,3	85,4	84,8	84,7	85,7	92,1				

(*) Valores médios calculados a partir do dia 17 de Agosto

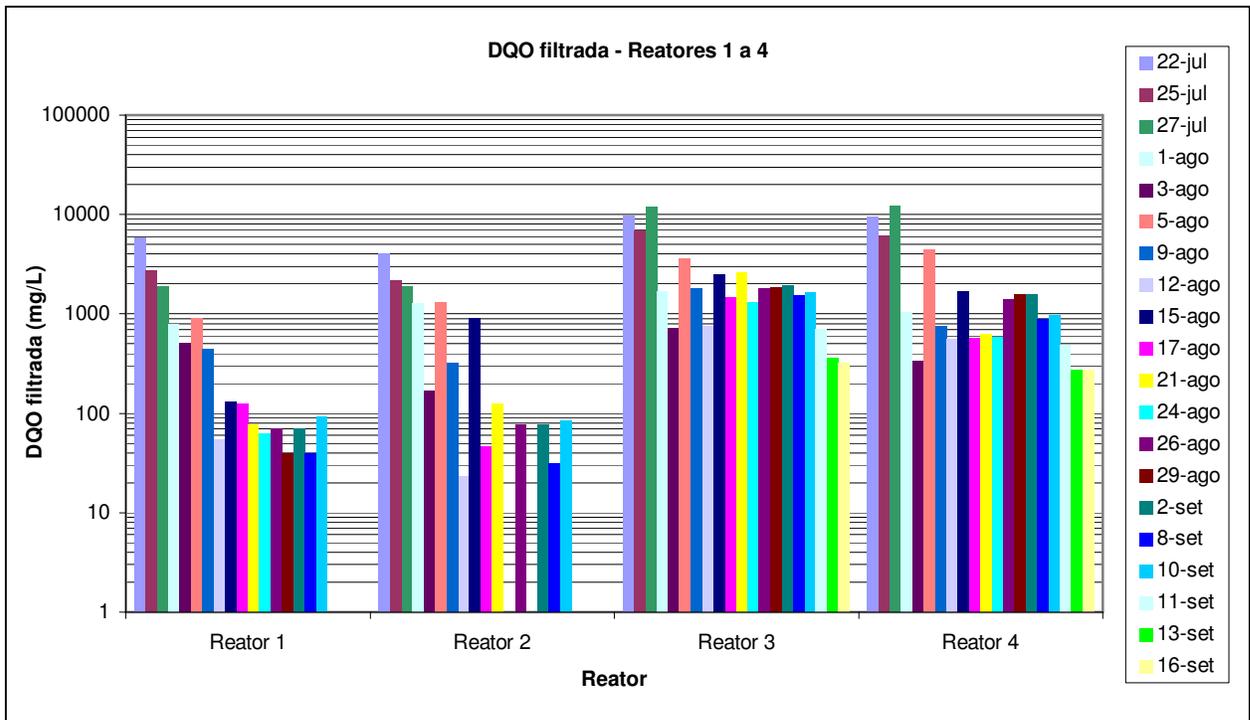


Figura 5.19: DQO filtrada efluente (mg/L) relativa aos reatores biológicos 1 a 4.

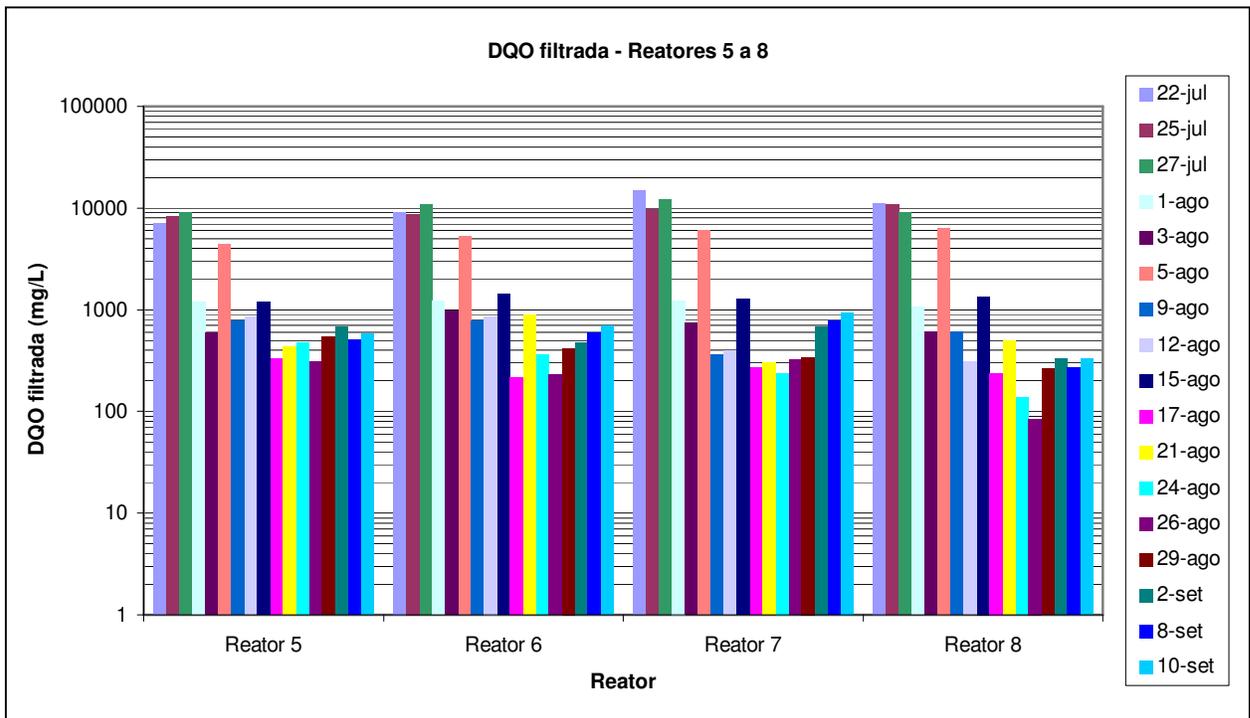


Figura 5.20: DQO filtrada efluente (mg/L) relativa aos reatores biológicos 5 a 8.

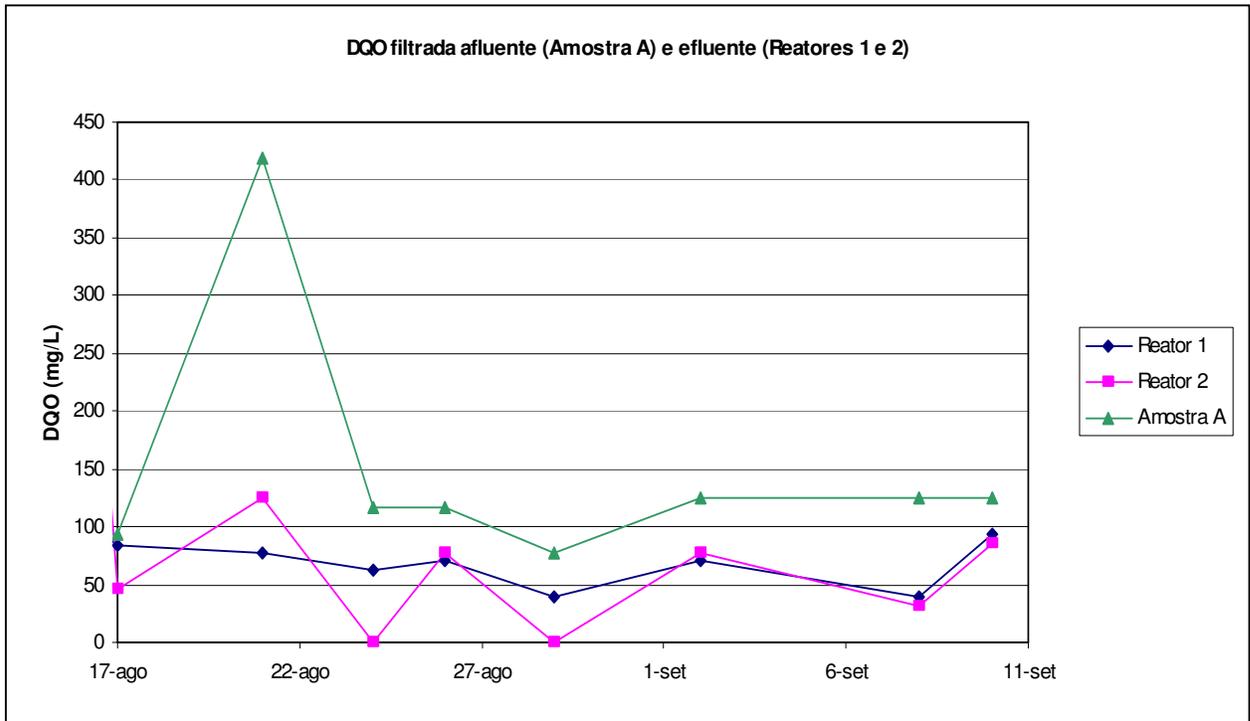
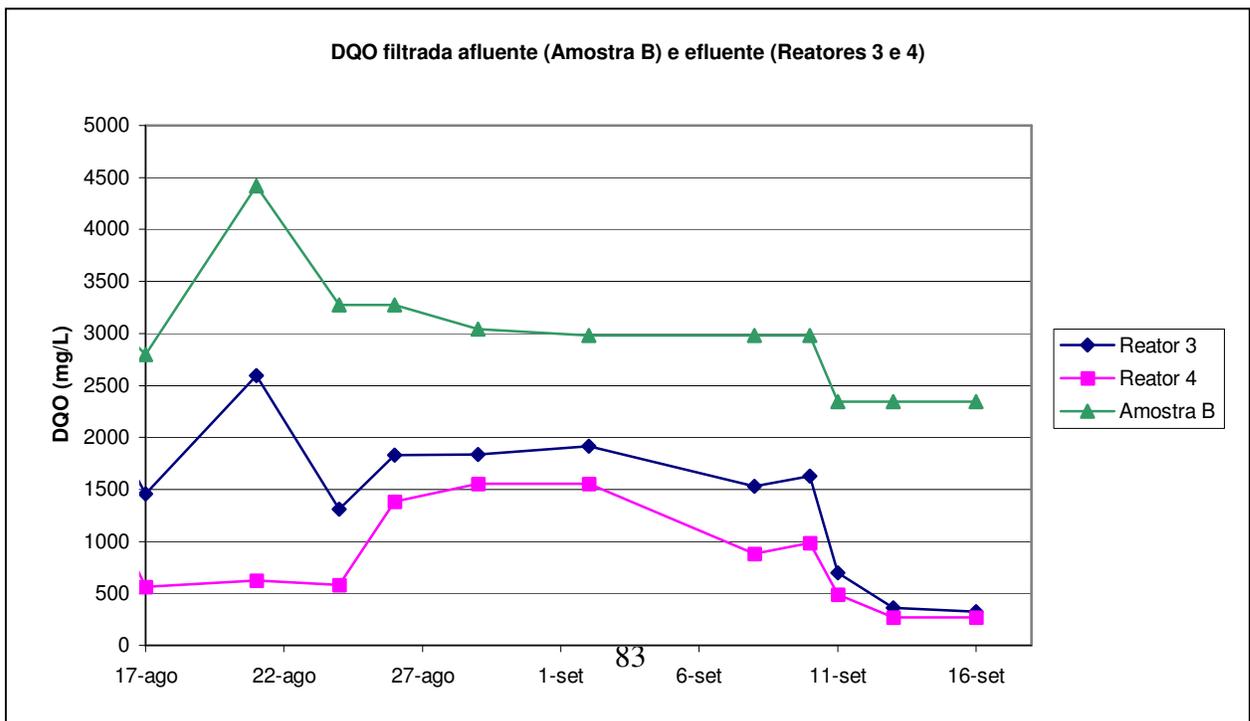


Figura 5.21: DQO filtrada (mg/L) afluente e efluente relativa aos reatores 1 e 2.

Figura 5.22: DQO filtrada (mg/L) afluente e efluente relativa aos reatores 3 e 4.



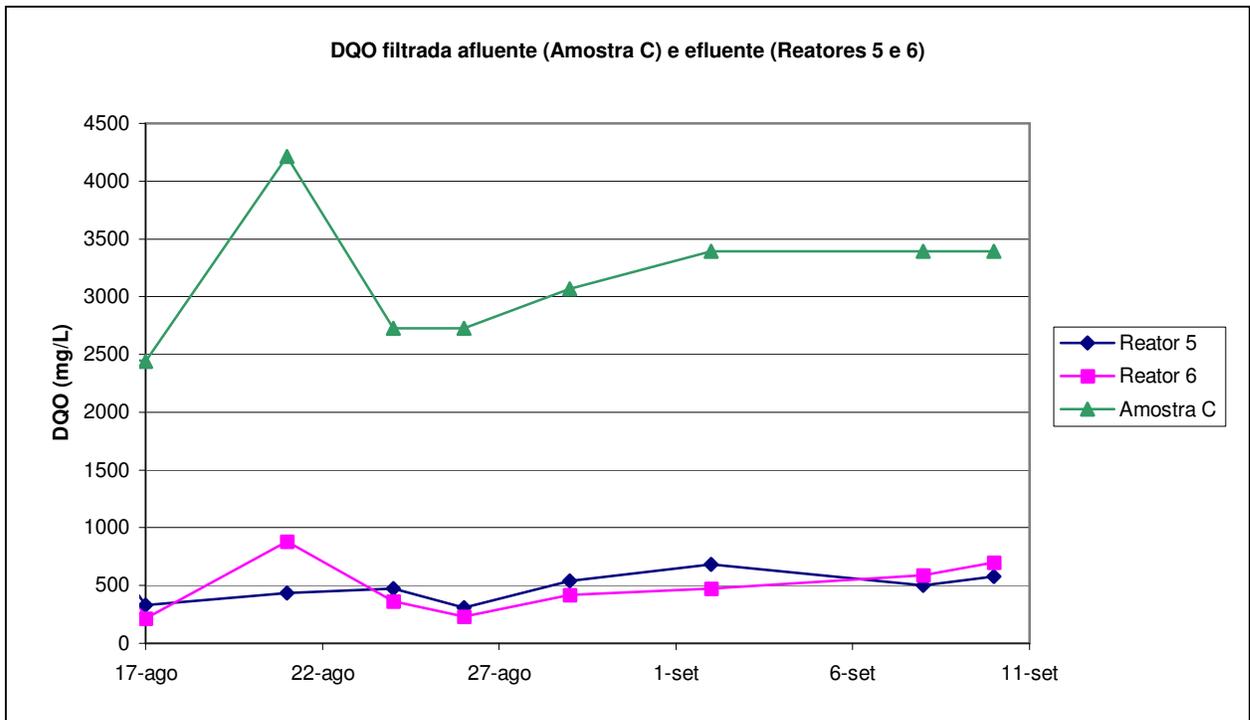


Figura 5.23: DQO filtrada (mg/L) afluente e efluente relativa aos reatores 5 e 6.

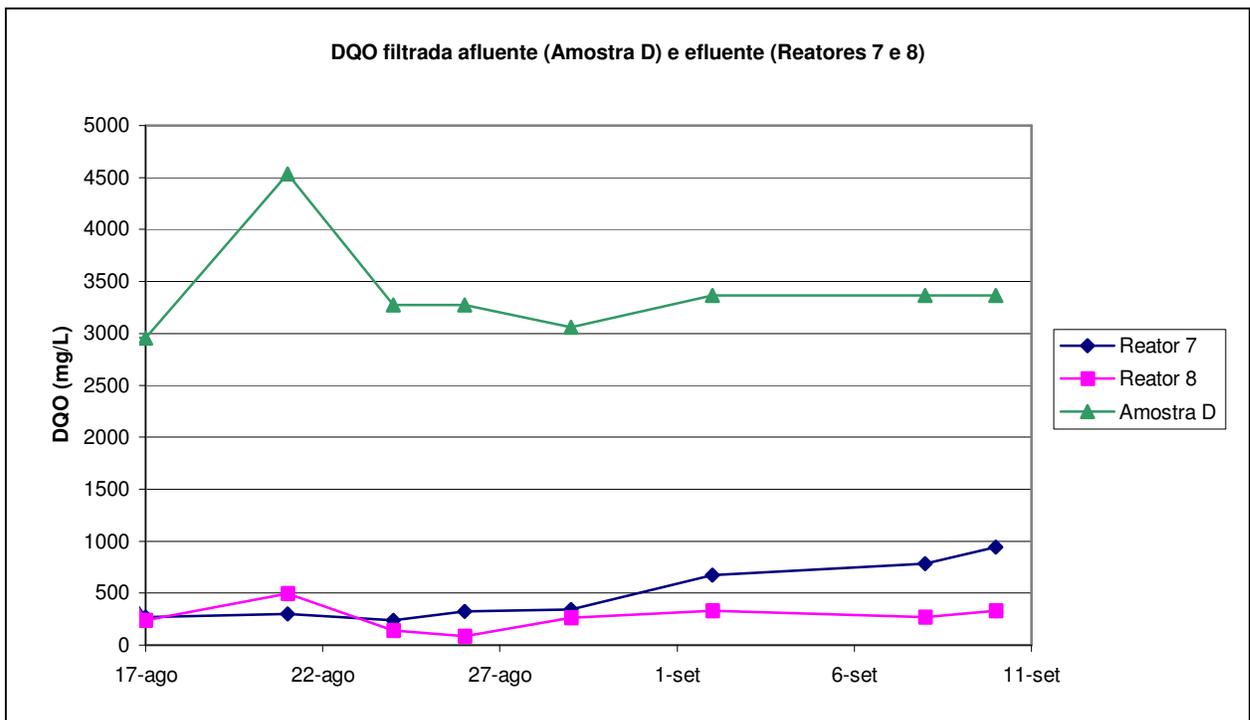


Figura 5.24: DQO filtrada (mg/L) afluente e efluente relativa aos reatores 7 e 8.

Tabela 5.3: Valores de COD (mg/L) do sobrenadante dos reatores biológicos estudados e das amostras compostas.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	A	B	C	D
22/jul	484	457	1732	1795	1935	2035	2094	2103	45	1868	1363	2194
24/jul	191	123	1773	1867	1398	1485	1920	1925	68	2147	1375	1825
29/jul	103	90	1589	1638	1614	1567	2047	1941	86	2185	776	2059
1/ago	119	107	375	470	712	859	717	682	46	2121	1410	1831
3/ago	77	90	394	387	552	775	910	665	76	3130	1329	2075
12/ago	31	27	364	362	436	423	212	203	47	2378	1240	1633
17/ago	12	31	1047	643	315	276	299	198	14	2050	1170	1672
21/ago	20	30	1555	787	401	439	343	246	96	2813	1792	2349
28/ago	11	25	1659	1279	407	416	291	253	32	2513	1743	2349
3/set	36	32	1565	1365	489	325	486	242	59	2289	1746	1877
5/set	34	10	1654	1460	423	406	790	233	43	2311	1775	1923
8/set	18	9	1308	920	390	537	713	272	43	2311	1775	1923
11/set			661	701						2655		
13/set			350	269						2655		
16/set			298	270						2655		
Eficiência (%) (*)	44,4	56,9	83,6	84,4	75,7	76,1	71,8	87,5				

(*) Valores médios calculados a partir do dia 17 de Agosto

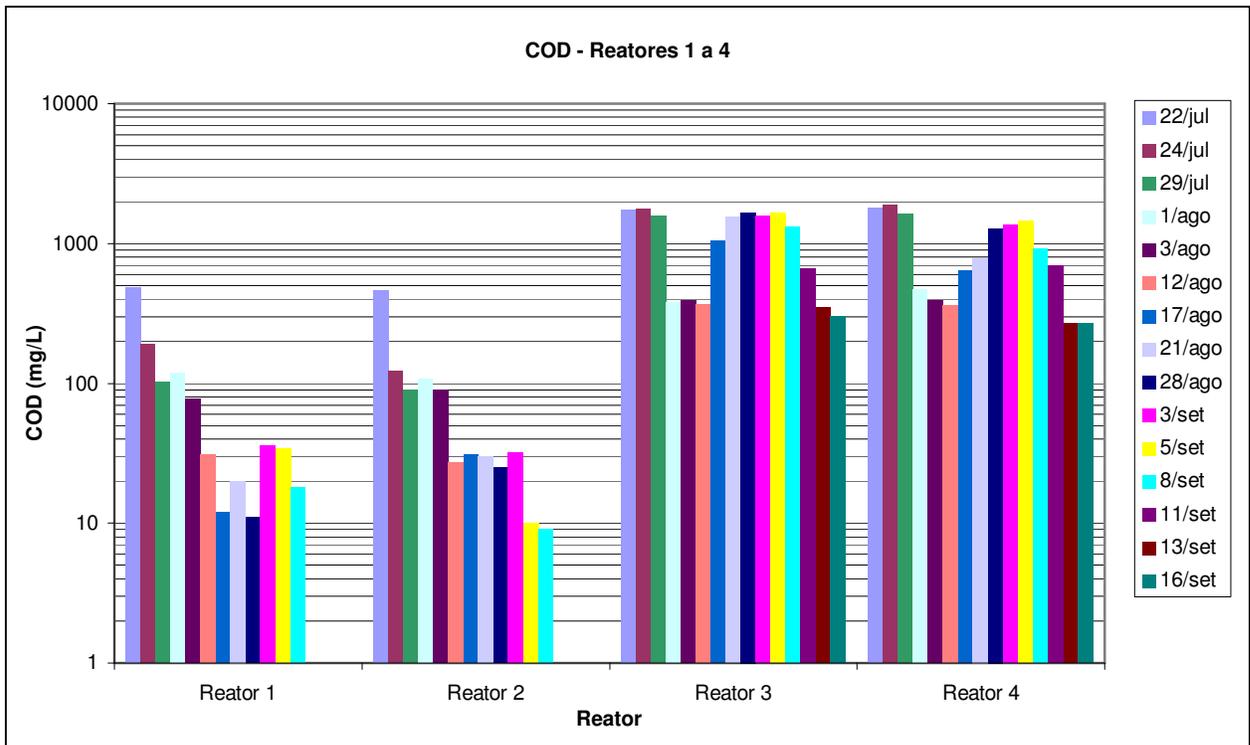


Figura 5.25: COD efluente (mg/L) relativo aos reatores biológicos 1 a 4.

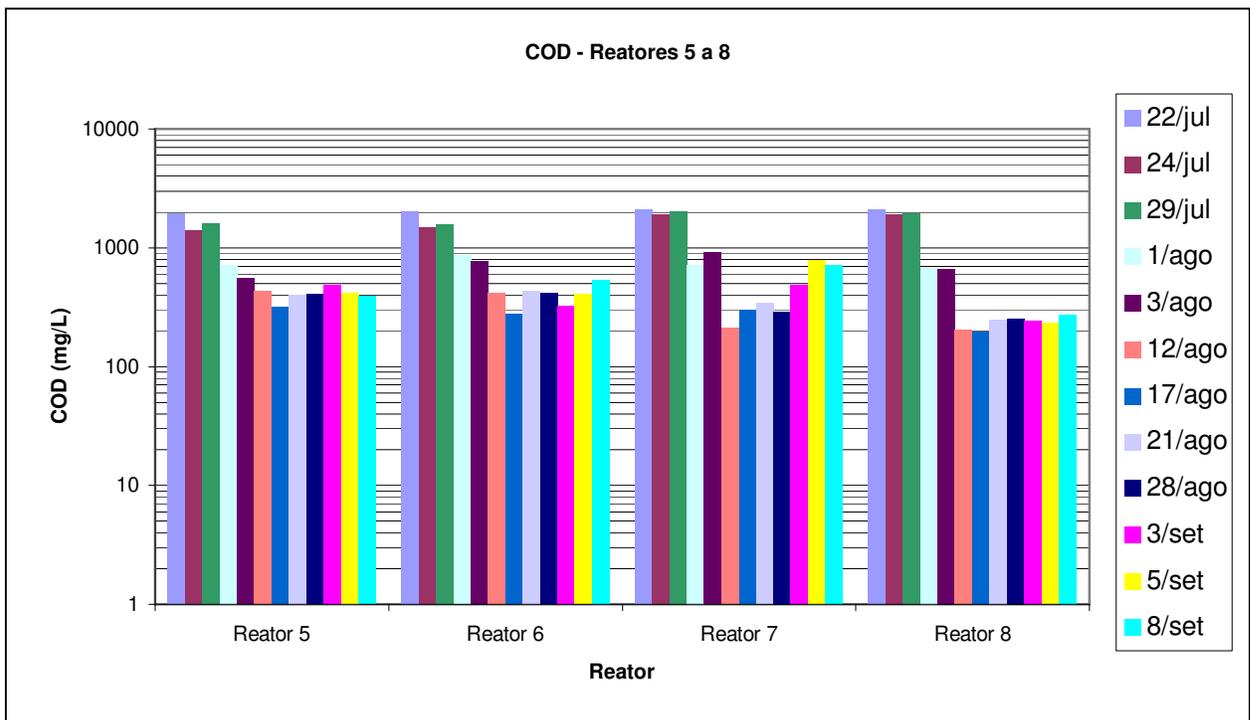


Figura 5.26: COD efluente (mg/L) relativo aos reatores biológicos 5 a 8.

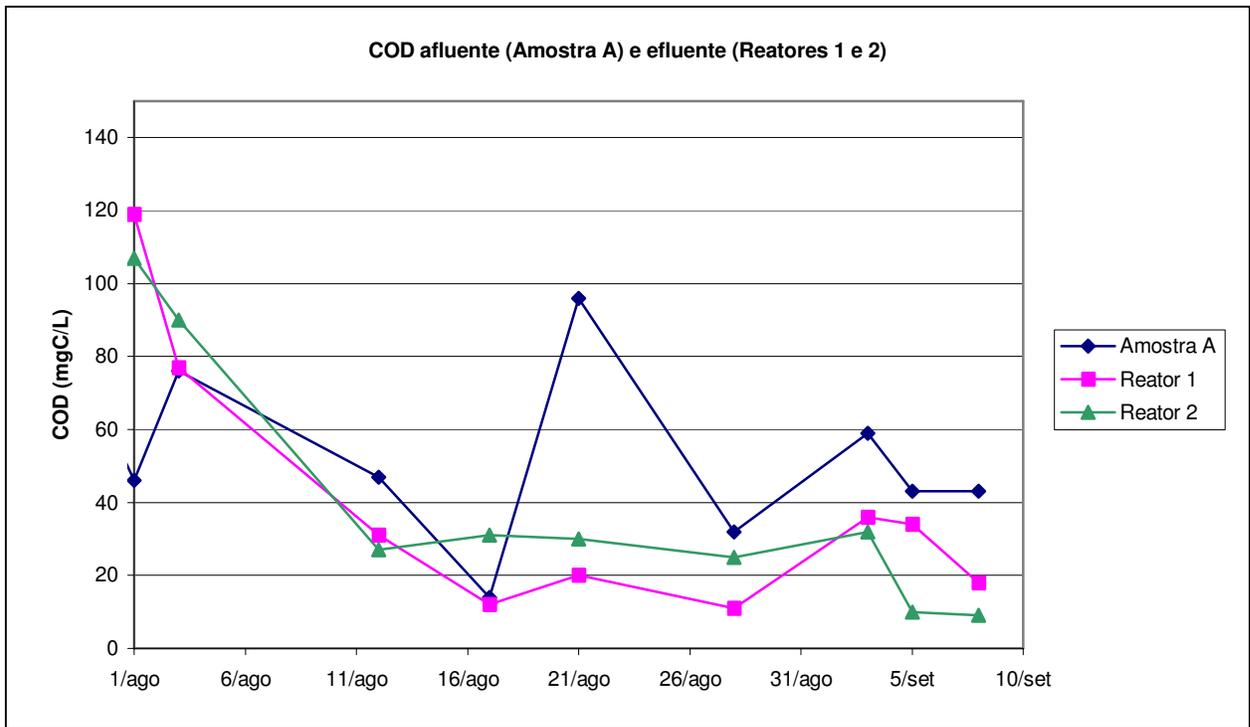


Figura 5.27: COD (mg/L) afluyente e efluente relativo aos reatores 1 e 2.

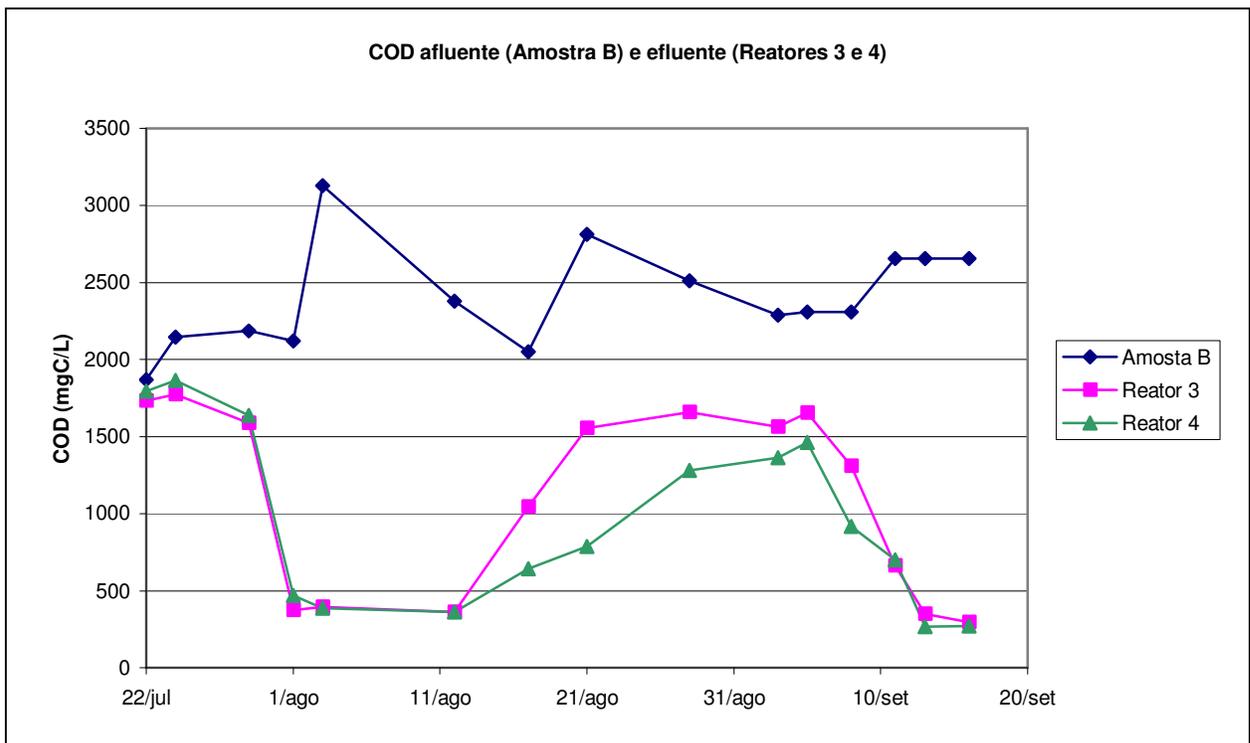


Figura 5.28: COD (mg/L) afluyente e efluente relativa aos reatores 3 e 4.

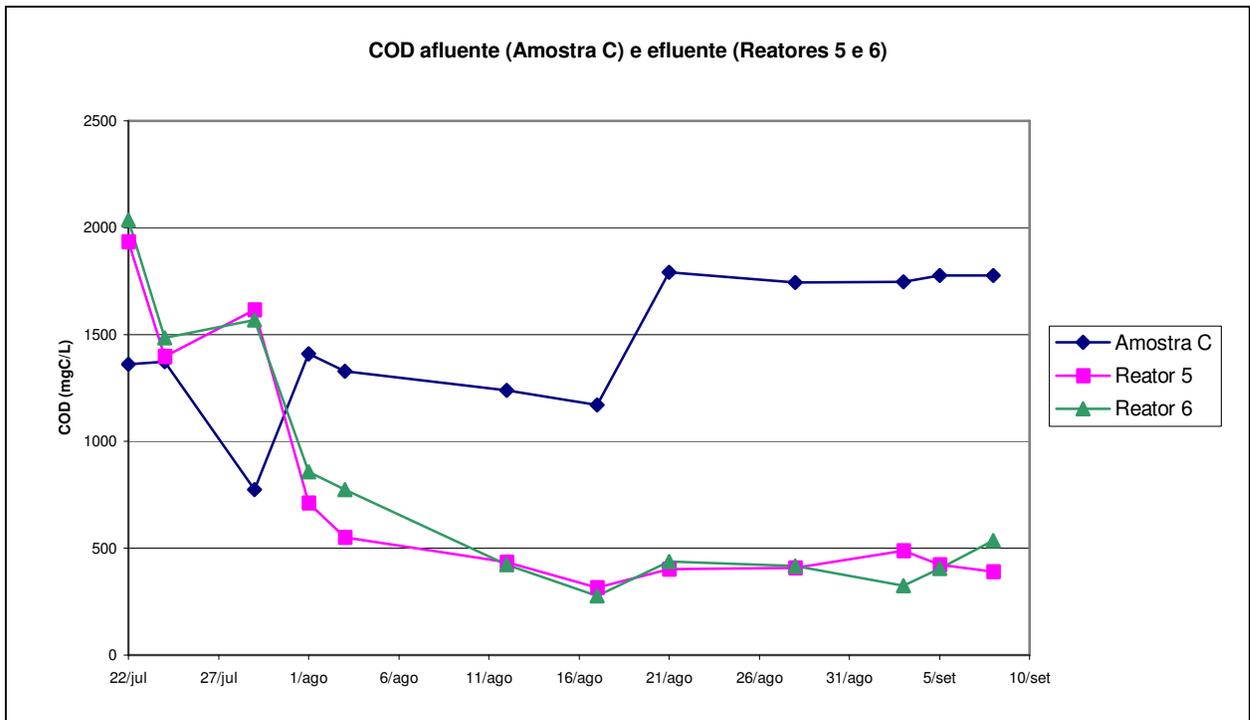


Figura 5.29: COD (mg/L) afluyente e efluente relativo aos reatores 5 e 6.

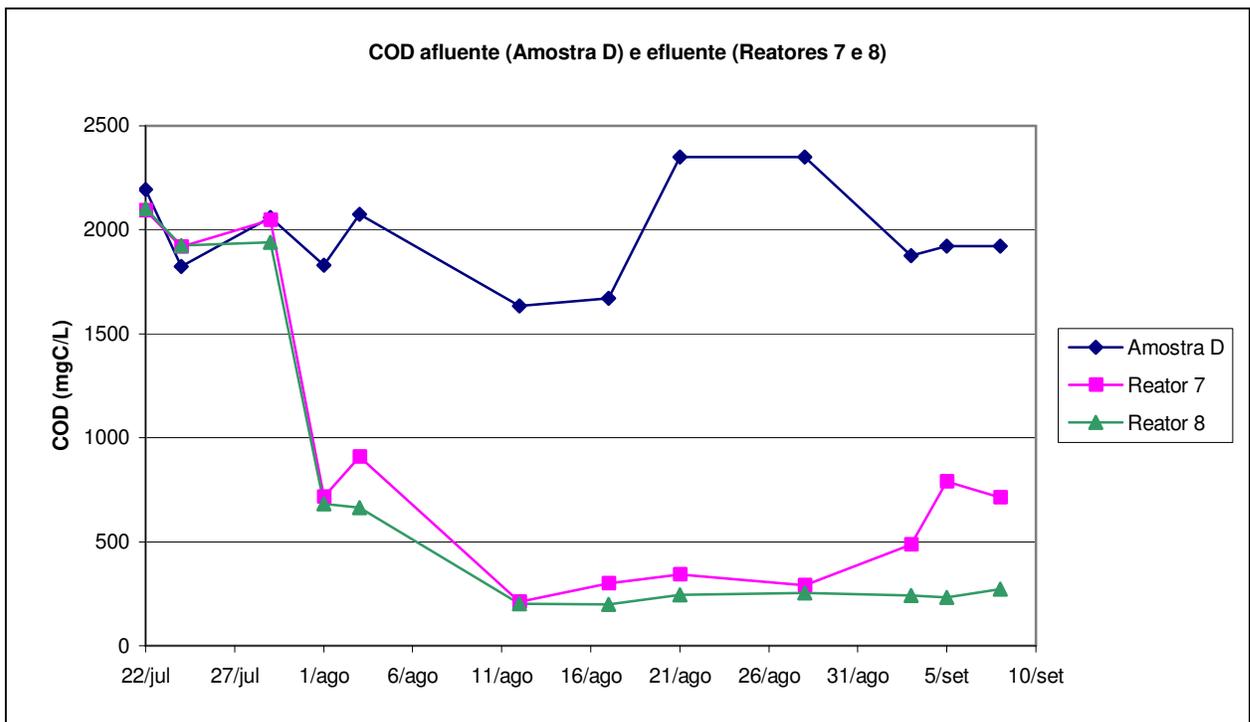


Figura 5.30: COD (mg/L) afluyente e efluente relativo aos reatores 7 e 8.

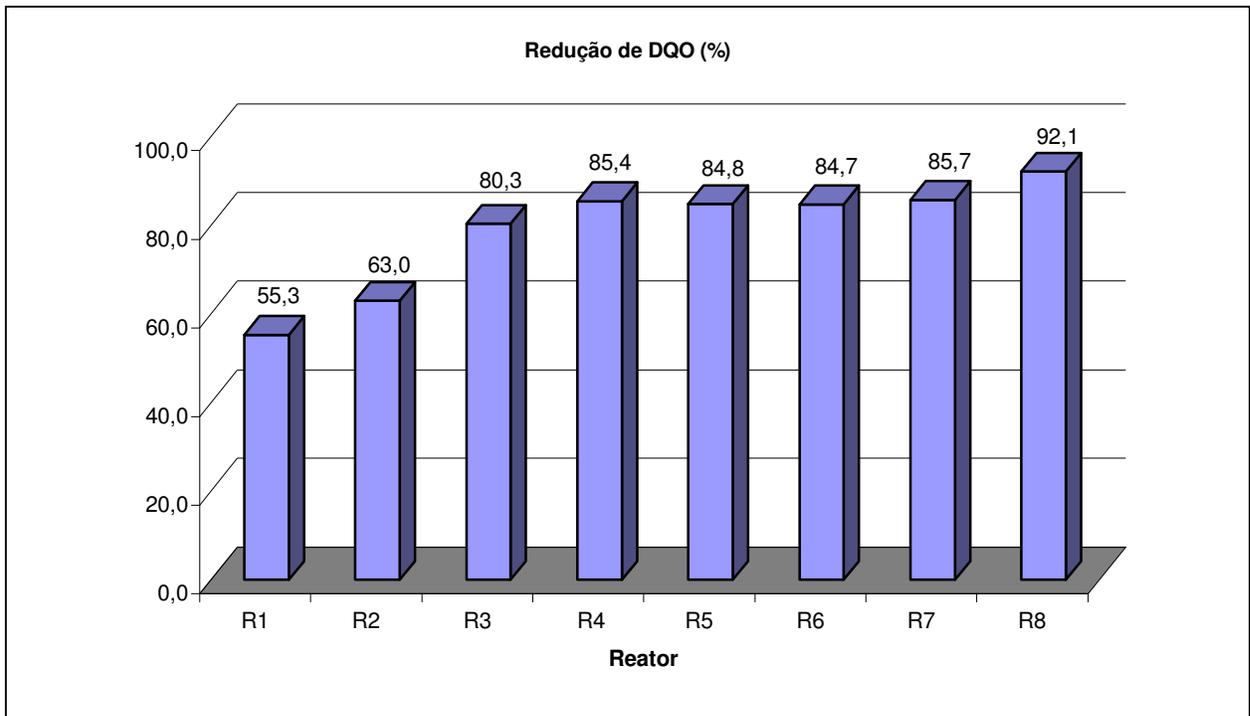


Figura 5.31: Eficiência na redução dos valores de DQO (%) nos reatores biológicos estudados.

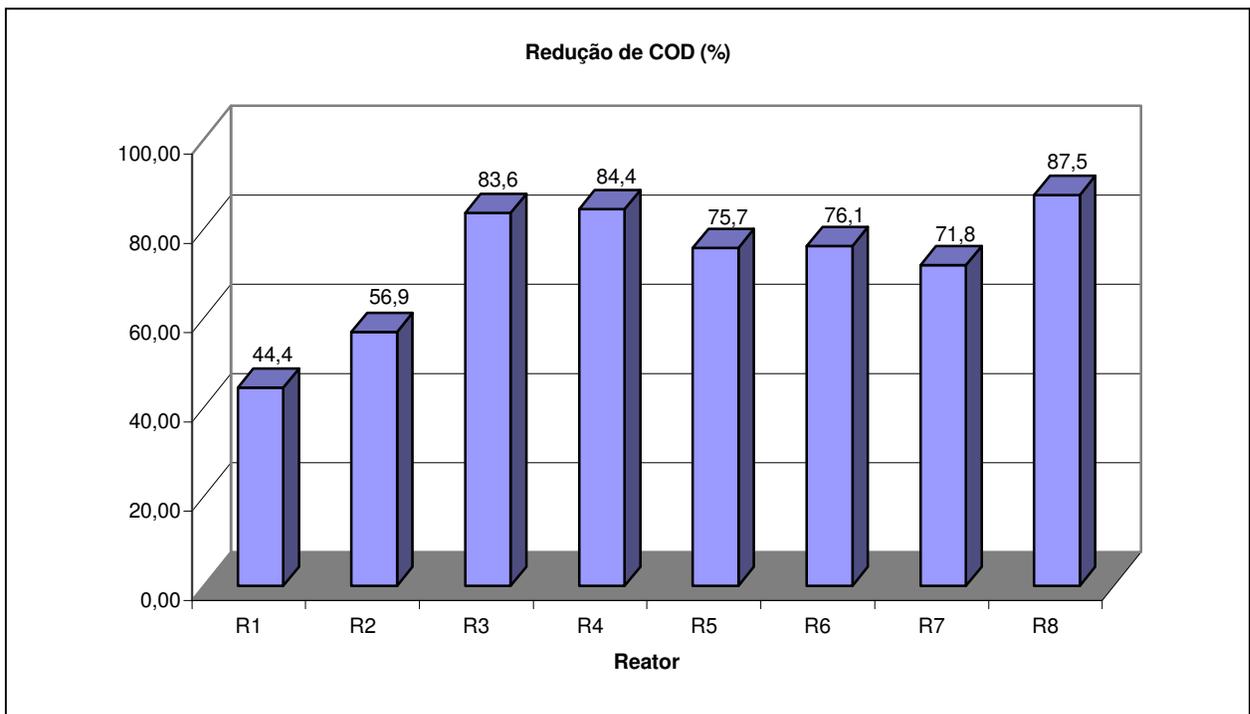


Figura 5.32: Eficiência na redução dos valores de COD (%) nos reatores biológicos estudados.

5.2.4. Produção de lodo.

Ao final do período de sedimentação foi determinada a altura da coluna de lodo interna em cada reator, de forma que fosse possível estimar a quantidade de lodo descartada por batelada. Uma vez que as melhores eficiências obtidas em termos de redução de DQO filtrada foram para o caso do tratamento conjunto de todas as águas residuárias geradas pela indústria, foram estimados os volumes de lodo descartado por batelada nos reatores submetidos a esse cenário, ou seja, nos reatores 7 e 8.

Utilizando-se os valores médios de Sólidos Suspensos Totais (SST) e altura da coluna de lodo interna dos reatores, durante a situação de equilíbrio dinâmico, estimou-se o volume de lodo gerado no sistema para as idades do lodo de 7 e 20 dias, cujos valores são apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Volume de lodo gerado no tratamento conjunto das águas residuárias geradas pela indústria.

Reator	7	8
θ_c (dias)	7	20
Altura da coluna líquida após a sedimentação (cm)	15,20	16,70
Altura da coluna de lodo após a sedimentação (cm)	3,90	4,90
SST (mg/L)	3127,40	5009,40
SST após adensamento (mg/L)	12196,86	17072,85
Volume de lodo gerado por batelada (m ³)	2,50	1,00
Número de bateladas por dia	2	2
Volume de lodo gerado por dia (m ³)	5,00	2,00
Massa de sólidos descartada por dia (kg)	60,98	34,15

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em função dos resultados obtidos no estudo experimental desenvolvido, pode-se concluir que:

- (a) As amostras compostas B, C e D, decorrentes de três cenários possíveis futuros de efluentes gerados pela Degussa são adequadas ao tratamento biológico pelo processo de Lodos Ativados por Batelada;
- (b) A amostra composta A (KT + Precursor) não é adequada a esse tipo de tratamento, devido aos baixos valores de matéria orgânica biodegradável presente. Essa amostra composta pode, no entanto, sofrer um tratamento conjunto com a inclusão de pelo menos mais uma linha de geração de efluentes da indústria;
- (c) Para os três cenários B, C e D estudados recomenda-se a utilização do sistema de aeração prolongada nos reatores biológicos tipo lodos ativados por batelada, com idade do lodo em torno de 20 dias;

- (d) Para os cenários das amostras compostas C e D, haverá a necessidade de construção de outro reator biológico idêntico ao existente atualmente, cujo volume é de 75 m^3 . Considerando que aproximadamente 50% desse volume será destinado à preservação do lodo de uma batelada para outra, cada reator será responsável pelo tratamento de 50% do volume total de efluente gerado diariamente, ou seja, $29,15 \text{ m}^3$ e $34,15 \text{ m}^3$ para os cenários das amostras C e D, respectivamente;
- (e) A existência de dois reatores biológicos, nos cenários C e D, permitirá o contínuo lançamento dos efluentes gerados pela indústria diretamente em um dos mesmos, ou seja, enquanto um dos reatores encontra-se na fase de enchimento, o outro deverá estar sendo submetido às fases de aeração, descarte de lodo, sedimentação ou descarte de sobrenadante. Assim, é importante que no final do período de enchimento de um dos reatores, o outro esteja apto a sofrer novo enchimento;
- (f) Para o cenário B, com a existência de um único tanque de aeração, devido à vazão de geração dos efluentes pela indústria, haverá a necessidade de armazená-los em um tanque de equalização a montante do reator biológico, enquanto este estiver sendo submetido às fases de aeração, descarte de lodo, sedimentação ou descarte de sobrenadante;
- (g) As operações de descarga de lodo de cada um dos reatores biológicos em escala real deverão ser executadas diariamente, no final do período de aeração (reação), com o sistema de aeração ligado, mantendo-se assim a homogeneização dos sólidos presentes nos reatores. O volume descartado em cada operação será inversamente proporcional à idade do lodo adotada. No caso de $\theta_c = 20$ dias, por exemplo, o volume de lodo a ser descartado será de $3,75 \text{ m}^3/\text{dia}$ ($= 75 \text{ m}^3/20 \text{ dias}$). Esse volume será então encaminhado para adensamento;

- (h) Em seguida à operação de descarte de lodo, o sistema de aeração deverá ser desligado para que ocorra a sedimentação do lodo remanescente no interior dos reatores biológicos, durante um período mínimo de uma hora, seguindo-se com a operação de descarga do sobrenadante clarificado (efluente tratado);
- (i) O descarte do sobrenadante deverá ser executado até completar o volume do conteúdo dos reatores biológicos a ser descartado, calculado através da manutenção da fração de lodo. Para a manutenção de uma fração de lodo de 50% do volume total útil dos reatores (75m^3), por exemplo, $37,5\text{m}^3$ do conteúdo de cada reator devem ser descartados em cada batelada, sendo $3,75\text{m}^3$ de lodo (item (g) do presente capítulo) e $33,75\text{m}^3$ de sobrenadante;
- (j) Para a execução das bateladas é recomendável a verificação do valor de pH da amostra composta e eventual correção para um intervalo de 6,5 a 8,0;
- (k) Recomenda-se também a verificação e eventual correção do desequilíbrio entre nutrientes de forma a manter a proporção entre $\text{DBO}_5 : \text{N} : \text{P}$ de 100 : 3 : 0,6. A adição desses nutrientes deve ser feita em local onde seja possível sua homogeneização com os efluentes a serem tratados, permitindo assim que eles sejam totalmente utilizados pela biomassa presente no reator biológico. Essa aplicação pode ser feita no tanque de equalização (armazenamento) ou no tanque de aeração (reator biológico);
- (l) A investigação de períodos de aeração inferiores à 22 horas, visando economizar energia elétrica, também é recomendável;

- (m) As melhores eficiências obtidas em termos de remoção de DQO filtrada, foram superiores a 90%, para o caso do tratamento conjunto de todas as águas residuárias geradas pela indústria (cenário D). Desta forma, o uso de reatores biológicos de lodos ativados por batelada constitui-se em alternativa totalmente viável para o caso da Degussa, Americana – SP, após a linha do Plating passar por tratamento prévio de precipitação química e oxidação avançada (foto-Fenton), conforme já é executado atualmente;
- (n) Admitindo-se como cenário futuro o tratamento da amostra composta D, a estimativa do volume de lodo e da massa de sólidos a serem descartados por dia do sistema, após adensamento, para as idades do lodo de 7 e 20 dias, executando-se duas bateladas por dia, será:

θ_c (dias)	Sistema	Volume de lodo descartado por dia (m ³)	Massa de sólidos descartada por dia (kg)
7	Lodos Ativados Convencional	5,00	60,98
20	Aeração Prolongada	2,00	34,15

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th. ed, 2000.
- (2) ABBASSI, B; DULLSTEIN, S; RÄBIGER, N. *Minimization of Excess Sludge Production by Increase of Oxygen Concentration in Activated Sludge Flocs: Experimental and Theoretical Approach*. *Water Research*. v. 34, n. 1, p. 139-146, 1999.
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Informação e Documentação – Referências – Elaboração, NBR 6023*. Rio de Janeiro, 2000, 22p.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário, NBR 570*. Rio de Janeiro, 1990, 11p.
- (5) ABUSAM, A.; KEESMAN, K. J.; SPANJERS, H.; STRATEN, V. *Benchmarking Procedure for Full-Scale Activated Sludge Plants*. *Control Engineering Practice*. v. 12, p. 315-322, 2004.

- (6) ANDREOTTOLA, G.; BALDASSARRE, L.; COLLIVIGNARELLI, C.; PEDRAZZANI, R.; PRINCIPI, P.; SORLINI, C.; ZIGLIO, G. *A Comparison Among Different Methods for Evaluating the Biomass Activity in Activated Sludge Systems: Preliminary Results*. Water Science and Technology. v. 46, n. 1-2, p. 413-417, 2002.
- (7) BROCK, T. D., MADIGAN, M. T. *Biology of Microorganisms*. Printice – Hall Inc., 1991.
- (8) BURGESS, J. E.; QUARMBY, J.; STEPHENSON, T. *Micronutrient Supplements for Optimisation of the Treatment of Industrial Wastewater Using Activated Sludge*. Water Research. v. 33, n. 18, p. 3707-3714, 1999.
- (9) CAKICI, A.; BAYRAMOGLU, M. *An Approach to Controlling Sludge Age in the Activated Sludge Process*. Water Research. v. 29, n. 4, p. 1093-1097, 1995.
- (10) CRONJE, G. L.; BEEHARRY, A. O.; WENTZEL, M. C.; EKAMA, G. A. *Active Biomass in Activated Sludge Mixed Liquor*. Water Research. v. 36, p. 439-444, 2002.
- (11) DOURADO, F.F.M.; SOBRINHO, P. A.; MORITA, D. M. *Comportamento de Sistemas de Lodos Ativados em Batelada (LAB) no Tratamento de Águas Contaminadas com Hidrocarbonetos do Petróleo*. In: 20^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999, Rio de Janeiro.
- (12) DUPAS, M. A. *Pesquisando e Normalizando: Noções Básicas e Recomendações Úteis para Elaboração de Trabalhos Científicos*. São Carlos: UFSCar, 1997, 70p.
- (13) FUCHS, A.; STAUDINGER, G. *Characterising the Clarification of the Supernatant of Activated Sludges*. Water Research. v. 33, n. 11, p. 2527-2534, 1999.
- (14) GIOKAS, D. L.; KIM, Y.; PARASKEVAS, P. A.; PALEÓLOGOS, E. K.; LEKKAS, T. D. *A Simple Empirical Model for Activated Sludge Thickening in Secondary Clarifiers*. Water Research. v. 36, p. 3245-3252, 2002.

- (15) HAANDEL, V.; MARAIS, G. *O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado*. Campina Grande: Epgraf, 1999. 488p.
- (16) ILYIN, V. K.; SOLDATOV, P. E.; KORNIUSHENKOVA, I. N.; GRININ, A. S.; LYKOV, I. N.; SAFRONOVA, S. A. *Microbial Utilisation of Natural Organic Wastes*. Acta Astronautica. p. 357-361, 2004.
- (17) JEON, C. O.; LEE, D. S.; PARK, J. M. *Microbial Communities in Activated Sludge Performing Enhanced Biological Phosphorus Removal in a Sequencing Batch Reactor*. Water Research. v. 37, p. 2195-2205, 2003.
- (18) JOBBÁGY, A.; NÉMETH, N.; ALTERMATT, R. H.; SAMHABER, W. M. *Encouraging Filament Growth in an Activated Sludge Treatment Plant of the Chemical Industry*. Water Research. v. 34, n. 2, p. 699-703, 2000.
- (19) JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. São Paulo: Cetesb, 1975. 544p.
- (20) LEITE, J. V. *Tratamento de Águas Residuárias de Indústrias Químicas por Processos Oxidativos Avançados – POA: Estudo de caso*. 2003. 191p. Tese de doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- (21) METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse*. 3rd. ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334 p.
- (22) MIKKELSEN, L. H.; KEIDING, K. *Effects of Solids Concentration on Activated Sludge Deflocculation, Conditioning and Dewatering*. Water Science and Technology. v. 44, n. 2-3, p. 417-425, 2001.

- (23) MOREIRA, A. M. R. *Aplicação do Projeto Ótimo Robusto à Operação de Sistema de Tratamento de Esgotos por Lodos Ativados*. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Rio de Janeiro.
- (24) NEDER, K. D.; HARADA, A. L. *Projeto da Estação de Tratamento de Esgotos do Riacho Fundo. Remoção Biológica de Nutrientes pelo Processo de Lodos Ativados por Batelada*. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Rio de Janeiro.
- (25) NOUR, E. A. *Procedimentos de Análises Físico-Químicas e Exames Microbiológicos para Águas de Abastecimento e Residuárias*. Apostila da disciplina EC-817: Laboratório de Saneamento. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.
- (26) PELCZAR, M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. *Microbiologia: Conceitos e Aplicações. Volume 1*. 2ª. ed. São Paulo: Makron Books, 1996. 524 p.
- (27) PEREIRA, R. U. H. *Proposição de Metodologia para Determinação de Parâmetros de Projeto e Operação de Reatores Biológicos de Lodos Ativados por Batelada*. 1996. 121p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.
- (28) POLLARD, P. C.; STEFFENS, M. A.; BIGGS, C. A.; LANT, P. A. *bacterial Growth Dynamics in Activated Sludge Batch Assays*. Water Research. v. 32, n. 3, p. 587-596, 1998.
- (29) SOARES, S. R. A. *Perfil Respirométrico de Reator Biológico em Sistema de Lodos Ativados com Remoção de Nutrientes*. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa.

- (30) TCHOBANOGLIOUS, G; SCHOEDER, E.D. *Water Quality Characteristics: Modeling and Modification*. Hardcover, 1985.
- (31) UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Wastewater Technology Fact Sheet: Sequencing Batch Reactors*. Washington, D. C, 1999.
- (32) VON SPERLING, M.. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol.1: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.
- (33) VON SPERLING, M.. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol.2: Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos*. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 211 p.
- (34) VON SPERLING, M. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol.4: Lodos Ativados*. Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. 428 p.
- (35) WANG, L. K.; PEREIRA, N. C. *Handbook of Environmental Engineering. Vol 3: Biological Treatment Processes*. 1986.
- (36) WILÉN, B.; BALMÉR, P. *The Effect of Dissolved Oxygen Concentration on the Structure, Size and Size Distribution of Activated Sludge Flocs*. Water Research. v. 33, n. 2, p. 391-400, 1999.
- (37) YAMASSAKI, C. M. *Estudo sobre a Aplicabilidade da Cinética do Tratamento Biológico a Reatores de Lodos Ativados por Batelada*. 1996. 184p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.
- (38) ZEHNDER, A. J. B. *Biology of Anaerobic Microorganisms*. Jonh Wiley & Sons Inc., 1988

ANEXO

**SÉRIE DE SÓLIDOS DAS AMOSTRAS COMPOSTAS
E DOS REATORES BIOLÓGICOS**

Quadro A.1: Valores da série de sólidos do reator 1

		27-jul	3-ago	9-ago	17-ago	24-ago	29-ago
REATOR 1	ST	4894,80	5557,20	4800,40	6773,60	5828,00	3600,00
	STF	4307,00	4034,00	4106,20	5896,60	5053,00	2600,00
	STV	587,80	1523,20	694,20	877,00	775,00	1000,00
	SST	207,33	503,60	374,00	126,33	64,33	185,50
	SSF	27,33	113,20	180,00	20,33	15,00	42,00
	SSV	180,00	390,40	194,00	106,00	49,33	143,50
	SDT	4687,47	5053,60	4426,40	6647,27	5763,67	3414,50
	SDF	4279,67	3920,80	3926,20	5876,27	5038,00	2558,00
SDV	407,80	1132,80	500,20	771,00	725,67	856,50	

Quadro A.2: Valores da série de sólidos do reator 2

		27/jul	3/ago	9/ago	17/ago	24/ago	29/ago
REATOR 2	ST	4890,00	43772,80	4728,80	6729,00	6035,60	3400,00
	STF	4203,80	4517,60	4004,40	5733,60	5250,40	3000,00
	STV	686,20	39255,20	724,40	995,40	785,20	400,00
	SST	68,33	1111,50	481,33	159,67	363,67	262,00
	SSF	5,67	249,00	112,67	6,67	63,33	60,33
	SSV	62,67	862,50	368,67	153,00	300,33	201,67
	SDT	4821,67	42661,30	4247,47	6569,33	5671,93	3138,00
	SDF	4198,13	4268,60	3891,73	5726,93	5187,07	2939,67
SDV	623,53	38392,70	355,73	842,40	484,87	198,33	

Quadro A.3: Valores da série de sólidos do reator 3

		27/jul	3/ago	9/ago	17/ago	24/ago	29/ago	12/set	16/set
REATOR 3	ST	37535,80	32754,40	35548,60	48083,00	41126,60	49200,00	43200,00	46600,00
	STF	31137,80	28542,40	29777,20	34228,20	31420,20	29600,00	34000,00	35400,00
	STV	6398,00	4212,00	5771,40	13854,80	9706,40	19600,00	9200,00	11200,00
	SST	331,33	1344,80	5808,00	3502,00	642,00	6120,00	1882,00	2086,00
	SSF	70,67	670,40	3032,00	2140,00	224,00	3962,00	418,00	620,00
	SSV	260,66	674,40	2776,00	1362,00	418,00	2158,00	1464,00	1466,00
	SDT	37204,47	31409,60	29740,60	44581,00	40484,60	43080,00	41318,00	44514,00
	SDF	31067,13	27872,00	26745,20	32088,20	31196,20	25638,00	33582,00	34780,00
	SDV	6137,34	3537,60	2995,40	12492,80	9288,40	17442,00	7736,00	9734,00

Quadro A.4: Valores da série de sólidos do reator 4

		27/jul	3/ago	9/ago	17/ago	24/ago	29/ago	12/set	16/set
REATOR 4	ST	38241,20	34798,40	44416,00	50351,00	38850,80	34800,00	49400,00	51400,00
	STF	31335,80	30079,20	31180,00	35478,80	33175,20	30400,00	33800,00	35600,00
	STV	6905,40	4719,20	13236,00	14872,20	5675,60	4400,00	15600,00	15800,00
	SST	316,00	4620,00	6520,00	2878,00	2412,00	5160,00	4142,00	2914,00
	SSF	75,00	2880,67	2813,33	1118,00	680,00	3250,00	1346,00	790,00
	SSV	241,00	1739,33	3706,67	1760,00	1732,00	1910,00	2796,00	2124,00
	SDT	37925,20	30178,40	37896,00	47473,00	36438,80	29640,00	45258,00	48486,00
	SDF	31260,80	27198,53	28366,67	34360,80	32495,20	27150,00	32454,00	34810,00
	SDV	6664,40	2979,87	9529,33	13112,20	3943,60	2490,00	12804,00	13676,00

Quadro A.5: Valores da série de sólidos do reator 5

		27/jul	3/ago	9/ago	17/ago	24/ago	29/ago
REATOR 5	ST	12083,80	31146,60	9226,60	8720,40	9559,80	9800,00
	STF	7603,80	6612,00	6269,00	5715,60	6136,60	6600,00
	STV	4480,00	24534,60	2957,60	3004,80	3423,20	3200,00
	SST	93,33	868,40	1344,67	1936,50	2710,00	3558,00
	SSF	3,00	85,60	179,33	228,50	276,00	1210,00
	SSV	90,33	782,80	1165,34	1708,00	2434,00	2348,00
	SDT	11993,47	30278,20	7881,93	6783,90	6849,80	6242,00
	SDF	7606,80	6526,40	6089,67	5487,10	5860,60	5390,00
	SDV	4386,67	23751,80	1792,27	1296,80	989,20	852,00

Quadro A.6: Valores da série de sólidos do reator 6

		27/jul	3/ago	9/ago	17/ago	24/ago	29/ago
REATOR 6	ST	11929,80	10177,20	9287,80	21705,80	9058,80	10400,00
	STF	7292,00	6753,60	6178,00	5783,60	5860,20	6400,00
	STV	4637,80	3423,60	3109,80	15922,20	3198,60	4000,00
	SST	154,00	974,00	1109,33	2435,00	2243,00	3270,00
	SSF	24,67	267,14	241,33	294,50	224,00	356,00
	SSV	129,33	706,86	868,00	2140,50	2019,00	2914,00
	SDT	11775,80	9203,20	8178,47	19270,80	6815,80	7130,00
	SDF	7267,33	6486,46	5936,67	5489,10	5636,20	6044,00
	SDV	4508,47	2716,74	2241,80	13781,70	1179,60	1086,00

Quadro A.7: Valores da série de sólidos do reator 7

		27/jul	3/ago	9/ago	17/ago	24/ago	29/ago
REATOR 7	ST	21822,20	18717,00	17689,20	15702,60	17152,40	17535,00
	STF	12953,00	14029,00	13978,20	12436,00	13355,00	13567,60
	STV	8869,20	4688,00	3711,00	3266,60	3797,40	3967,40
	SST	280,67	702,86	2291,00	2752,50	3340,00	3290,00
	SSF	170,00	300,86	329,50	563,00	537,50	682,50
	SSV	110,67	402,00	1961,50	2189,50	2802,50	2607,50
	SDT	21541,53	18014,14	15398,20	12950,10	13812,40	14245,00
	SDF	12783,00	13728,14	13648,70	11873,00	12817,50	12885,10
SDV	8758,53	4286,00	1749,50	1077,10	994,90	1359,90	

Quadro A.8: Valores da série de sólidos do reator 8

		27/jul	3/ago	9/ago	17/ago	24/ago	29/ago
REATOR 8	ST	18485,80	22175,40	18768,20	13961,80	19270,80	20230,40
	STF	13030,40	10279,20	14321,40	10613,20	14217,00	13459,00
	STV	5455,40	11896,20	4446,80	3348,60	5053,80	6771,40
	SST	265,67	1969,00	2773,00	3799,50	4936,67	6292,00
	SSF	98,33	819,00	624,50	624,50	606,00	1193,33
	SSV	167,34	1150,00	2148,50	3175,00	4330,67	5098,67
	SDT	18220,13	20206,40	15995,20	10162,30	14334,13	13938,40
	SDF	12932,07	9460,20	13696,90	9988,70	13611,00	12265,67
SDV	5288,06	10746,20	2298,30	173,60	723,13	1672,73	

Quadro A.9: Valores da série de sólidos da amostra composta A

		25/jul	27/jul	3/ago	9/ago	17/ago	24/ago	29/ago
AMOSTRA COMPOSTA A	ST	19841,40	24803,00	5124,67	4221,40	6083,20	5436,20	6124,00
	STF	5376,60	4371,40	3982,67	3726,20	5431,60	5001,00	5711,60
	STV	14464,80	20431,60	1142,00	495,20	651,60	435,20	412,40
	SST	1592,00	392,33	32,60	92,33	236,50	65,67	47,00
	SSF	215,67	61,33	14,80	15,66	37,50	12,33	26,67
	SSV	1376,33	331,00	17,80	76,67	199,00	53,33	20,33
	SDT	18249,40	24410,67	5092,07	4129,07	5846,70	5370,53	6077,00
	SDF	5160,93	4310,07	3967,87	3802,87	5394,10	4988,67	5684,93
SDV	13088,47	20100,60	1124,20	326,20	452,60	381,87	392,07	

Quadro A.10: Valores da série de sólidos da amostra composta B

		25/jul	27/jul	3/ago	9/ago	17/ago	24/ago	29/ago	12/set
AMOSTRA COMPOSTA B	ST	40288,00	35780,00	57560,00	63780,00	44127,00	41017,80	39353,80	79000,00
	STF	34333,20	29612,20	28860,00	28120,00	32060,60	29906,20	30673,60	32600,00
	STV	5954,80	6167,80	28700,00	35660,00	12066,40	11111,60	8680,20	46400,00
	SST	822,67	194,00	87,20	423,00	296,00	683,67	143,00	53,00
	SSF	110,00	73,00	43,40	240,00	72,50	380,33	67,00	29,00
	SSV	712,67	121,00	43,80	183,00	223,50	303,33	76,00	24,00
	SDT	39465,33	35586,00	57472,80	63357,00	43831,00	40334,13	39210,80	78947,00
	SDF	34223,20	29539,20	28816,60	27880,00	31988,10	29525,87	30606,60	32571,00
	SDV	5242,13	6046,80	28656,20	35477,00	11842,90	10808,27	8604,20	46376,00

Quadro A.11: Valores da série de sólidos da amostra composta C

		25/jul	27/jul	3/ago	9/ago	17/ago	24/ago	29/ago
AMOSTRA COMPOSTA C	ST	7770,60	15326,40	12371,80	27440,00	11400,80	9886,40	11499,40
	STF	5206,60	7149,60	5964,00	5360,00	5025,20	5530,60	6926,60
	STV	2564,00	7906,80	6407,80	22080,00	6375,60	4355,80	4572,80
	SST	207,33	25,00	124,00	152,33	138,33	117,33	55,67
	SSF	66,00	23,00	47,80	80,33	69,33	48,67	28,67
	SSV	141,33	2,00	76,20	72,00	69,00	68,67	27,00
	SDT	7563,27	15301,40	12247,80	27287,67	11262,47	9769,07	11443,73
	SDF	5140,60	7396,60	5916,20	5279,67	4955,87	5481,93	6897,93
	SDV	2422,67	7904,80	6331,60	22008,00	6306,60	4287,13	4545,80

Quadro A.12: Valores da série de sólidos da amostra composta D

		25/jul	27/jul	3/ago	9/ago	17/ago	24/ago	29/ago
AMOSTRA COMPOSTA D	ST	25431,20	31679,60	51760,00	27671,00	21051,20	18187,20	19109,40
	STF	13247,60	14764,80	12520,00	13284,40	11981,40	12673,20	11373,80
	STV	12183,60	16914,80	39240,00	14386,60	9069,80	5514,00	7735,60
	SST	231,00	73,67	155,00	304,00	112,67	187,00	153,00
	SSF	53,67	17,33	86,60	186,67	65,67	78,00	105,00
	SSV	177,33	56,34	68,40	117,33	47,00	109,00	48,00
	SDT	25200,20	31605,93	51605,00	27367,00	20938,53	18000,20	18956,40
	SDF	13193,93	14747,47	12433,40	13097,73	11915,73	12595,20	11268,80
	SDV	12006,27	16858,46	39171,60	14269,27	9022,80	5405,00	7687,60