



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Amanda Ferreira Monteiro

**Avaliação de efeito tóxico do desinfetante Cloreto de Benzalcônio em
processos de lodos ativados**

Rio de Janeiro

2016

Amanda Ferreira Monteiro

**Avaliação de efeito tóxico do desinfetante Cloreto de Benzalcônio em processos de lodos
ativados**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental – Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Gandhi Giordano

Coorientadora: Prof. Dra. Daniele Maia Bila

Rio de Janeiro

2016

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

M772 Monteiro, Amanda Ferreira.
Avaliação de efeito tóxico do desinfetante Cloreto de Benzalcônio
em processos de lodos ativados / Amanda Ferreira Monteiro. – 2016.
211 f.

Orientador: Gandhi Giordano.
Coorientador: Daniele Maia Bila.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental. 2. Compostos orgânicos - Dissertações. 3.
Toxicidade Aguda - Dissertações. 4. Lodos ativados - Dissertações. 5.
Efluentes industriais - Dissertações. I. Giordano, Gandhi. II. Bila,
Daniele Maia. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV.
Título.

CDU 628.35

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

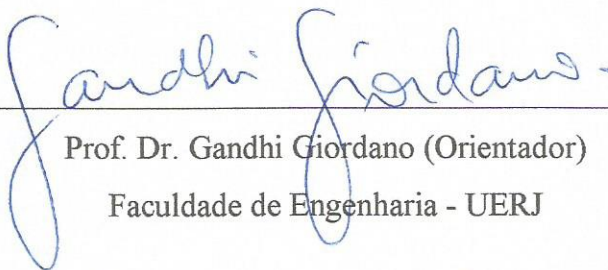
Amanda Ferreira Monteiro

**Avaliação de efeito tóxico do desinfetante Cloreto de Benzalcônio em processos de lodos
ativados**

Dissertação apresentada, como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre, ao programa
de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da
Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de
concentração: Controle da Poluição Urbana e
Industrial.

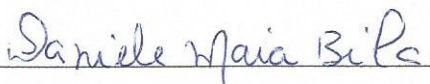
Aprovado em 12 de Abril de 2016.

Banca examinadora:



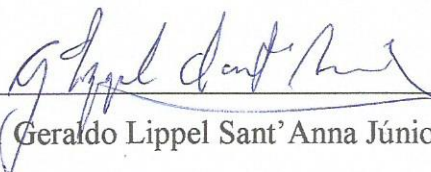
Prof. Dr. Gandhi Giordano (Orientador)

Faculdade de Engenharia - UERJ



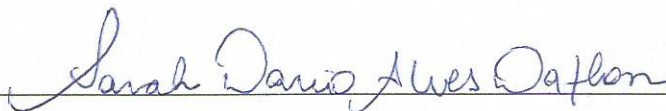
Profª. Drª. Daniele Maia Bila (Coorientadora)

Faculdade de Engenharia - UERJ



Prof. Dr. Geraldo Lippel Sant'Anna Júnior

Faculdade de Engenharia - UERJ



Profª. Drª. Sarah Dario Alves Daflon

LABTOX - RJ

Rio de Janeiro

2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado força e sabedoria em todos os momentos da realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Gandhi Giordano, profissional de referência na área de meio ambiente, meu muito obrigada pela confiança e conhecimentos transmitidos.

A minha Coorientadora Prof. Dra. Daniele Bila, por acreditar na minha capacidade e por estar sempre disponível e disposta a ajudar. Você foi fundamental.

Aos funcionários da TECMA- Tecnologia em Meio Ambiente Ltda., em especial ao João Paulo pela parceria em todas as etapas da pesquisa e Olegário por sanar as dúvidas sobre química.

Ao Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ.

A Louise por toda ajuda nos ensaios de ecotoxicidade.

A Mariane Rodrigues pelo companheirismo e por dividir as dificuldades encontradas ao longo da realização deste trabalho.

Ao Professor Geraldo Lippel, pelas dúvidas tiradas durante alguns testes complicados.

Aos operadores das estações de tratamento estudadas: Paulo (Pardal), Leandro, Sandro e Rubinho.

A Brenda Braga pela colaboração na caracterização dos microrganismos.

Ao Sidney, técnico do LES que colaborou na realização dos parâmetros físico-químicos e nos respectivos cálculos.

A Maíra Mendes por toda ajuda com estatística.

Aos amigos e colegas de turma, que dividiram conhecimentos, especialmente à Priscila Magalhães e Fernanda Mury, pela amizade e pelos momentos de química.

Aos professores do PEAMB.

À UERJ, que mesmo com toda dificuldade que vem enfrentando em sua administração e diante de muitas greves, abriu as portas para mim e me proporcionou mais um degrau na minha formação.

RESUMO

MONTEIRO, Amanda Ferreira. *Avaliação de efeito tóxico do desinfetante Cloreto de Benzalcônio em processos de lodos ativados*. 2016. 211f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Embora a utilização dos processos de lodos ativados seja crescente para o tratamento de efluentes industriais, algumas características desses efluentes podem comprometer a eficiência e estabilidade do sistema, dentre elas a presença de compostos tóxicos. O uso de produtos desinfetantes nas indústrias alimentícias é cada vez mais elevado devido às exigências dos órgãos de controle sanitário, com consequente descarga desses compostos nas estações de tratamento de efluentes industriais. Para avaliação do efeito tóxico pelo teste de respirometria, três tipos de lodos ativados foram coletados: um oriundo da indústria alimentícia, um proveniente da indústria farmacêutica e outro aclimatado com efluente produzido sinteticamente e livre de intoxicantes, e mantidos em contato com concentrações de Cloreto de Benzalcônio na faixa de 4,95 a 1267mg/L. O lodo da indústria farmacêutica, por conter diversos compostos tóxicos no efluente, incluindo antibióticos, apresentou os menores valores de taxa de consumo de oxigênio, até mesmo para o teste branco, indicando ser um lodo intoxicado e por isso o Cloreto de Benzalcônio teve menos efeito sobre o metabolismo dos microrganismos, apresentando toxicidade aguda com CE(I)50;10min entre 298,6 e 469,8 mg/L. Os testes da indústria alimentícia apresentaram resultados de TCO intermediários, com CE(I)50;10min que variou de 73,3 a 244,3 mg/L, e o lodo obtido do reator piloto apresentou os maiores valores de TCO, indicando boa adaptação ao efluente sintético e uma faixa de CE(I)50;10min entre 18,4 e 39,4 mg/L de Cloreto de Benzalcônio, indicando que este lodo foi mais sensível ao intoxicante possivelmente pela ausência de substâncias tóxicas no efluente de alimentação. Acrescentaram-se aos testes observações microscópicas dos lodos e análises dos parâmetros físico-químicos dos afluentes, efluentes e lodos ativados, que apresentaram resultados dentro do esperado. Foi estudada também a toxicidade aguda do Cloreto de Benzalcônio ao organismo-teste *Allivibrio fischeri*, que resultou em valores de CE₅₀ = 0,28 mg/L ± 0,014 após 15 minutos de exposição e 0,29 mg/L ± 0,011 para 30 minutos de exposição.

Palavras-chave: Teste de respirometria; *Aliivibrio fischeri*; Indústria Alimentícia; Indústria Farmacêutica; Efluente Sintético.

ABSTRACT

MONTEIRO, Amanda Ferreira. *Evaluation of toxic effect of the disinfectant Benzalkonium Chloride in activated sludge processes*. 2016. 211f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Although the use of activated sludge processes is growing for the treatment of industrial effluents, some characteristics of these effluents can compromise the efficiency and stability of the system, among them the presence of toxic compounds. Use of disinfectants in the food industry is increasingly high due to the requirements of sanitary control agencies with consequent discharge of these compounds in the treatment of industrial effluents stations. To evaluate the toxic effect by respirometry test, three types of activated sludge were collected: one coming from the food industry, one from the pharmaceutical industry and other acclimatized with effluent produced synthetically and intoxicant-free, and kept in contact with Benzalkonium chloride concentrations in the range of 4,95 to 1267mg/L. The sludge from the pharmaceutical industry, because it contains many toxic compounds in the effluent, including antibiotics, showed the lowest oxygen consumption rate values, even for white test, indicating that an intoxicate sludge and so the Benzalkonium Chloride had less effect on the metabolism of microorganisms, presenting acute toxicity EC(I)50;10min between 298.6 and 469.8 mg/L. The food industry tests showed intermediate TCO results, with EC(I)50;10min that ranged from 73.3 to 244,3 mg/L, and the sludge from pilot reactor showed the highest TCO values, indicating good adaptation to the synthetic effluent and EC(I)50;10min between 18.4 and 39.4 mg / L Benzalkonium Chloride, indicating that this sludge was more sensitive to intoxicant possibly due to the absence of toxic substances in the effluent feed. They were added to tests microscopic observations of sludges and analysis of physical-chemical parameters of the affluents, effluents and activated sludge which presented results as expected. It was also studied the acute toxicity of Benzalkonium Chloride to *Allivibrio fischeri*, resulting in EC50 values = 0.28 mg/L $\pm$ 0,014 after 15 minutes of exposure and 0,29 mg/L $\pm$ 0,011 after 30 minutes exposure.

Keywords: Respirometry Test; *Aliivibrio fischeri*; Food Industry; Pharmaceutical industry; Synthetic effluent

.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Etapas do processo de higienização da indústria alimentícia.....	18
Figura 1.2	Ordem de resistência dos microrganismos à ação dos germicidas.....	23
Figura 1.3	Correlações das fórmulas químicas.....	30
Figura 1.4	Fluxograma de sistemas de tratamento de efluentes industriais.....	36
Figura 1.5	Sistema de lodos ativados convencional.....	38
Figura 1.6	Bactérias do Filo Espiroquetas.....	50
Figura 1.7	Fungos filamentosos.....	52
Figura 1.8	Rotífero.....	55
Figura 1.9	Efeito da toxicidade em microrganismos de lodos ativados.....	59
Figura 2.1	Porta de acesso ao reator aeróbio da ETEI alimentícia.....	70
Figura 2.2	Fluxograma representando o sistema de tratamento de efluentes da indústria alimentícia.....	71
Figura 2.3	Foto dos bécheres com o lodo ativado da indústria alimentícia homogeneizado e após sedimentação.....	72
Figura 2.4	Fluxograma representando o sistema de tratamento de efluentes da indústria farmacêutica.....	73
Figura 2.5	Foto dos bécheres com o lodo ativado coletado no reator biológico da indústria farmacêutica e após sedimentação.....	74
Figura 2.6	Vista frontal e vista lateral do reator aeróbio piloto.....	78
Figura 2.7	Equipamentos e aparatos utilizados na realização dos testes de respirometria.....	85
Figura 2.8	Esquema do protocolo de realização dos testes de respirometria.....	88
Figura 2.9	Vista lateral e vista frontal do microscópio óptico.....	91
Figura 2.10	Carta controle de sensibilidade do organismo-teste <i>Aliivibrio fischeri</i>	92
Figura 2.11	Equipamento Microtox® utilizado nos ensaios de toxicidade aguda com <i>Aliivibrio fischeri</i>	93
Figura 3.1	Decaimento da DQO e da DBO ao longo do sistema de tratamento de efluentes da indústria alimentícia.....	95
Figura 3.2	Valores de DQO e DBO ₅ no afluente e efluente final da ETE da indústria farmacêutica dos dias de coleta de amostra para realização dos testes de respirometria.....	98

Figura 3.3	Valores de TCOe obtidos nos testes de respirometria 1, 2 e 3 com Cloreto de Benzalcônio na indústria alimentícia.....	103
Figura 3.4	Valores de TCOe obtidos no teste de respirometria 4 com o cloreto de Benzalcônio realizado na indústria alimentícia.....	105
Figura 3.5	Valores de TCOe obtidos nos testes de respirometria 5, 6, 7 e 8 com o Cloreto de Benzalcônio realizados no na indústria farmacêutica.....	107
Figura 3.6	Gráfico representando os testes de respirometria 9 e 10 do reator sintético.....	109
Figura 3.7	Decaimento de OD dos testes de respirometria 9 e 10, respectivamente (teste branco).....	110
Figura 3.8	Gráfico representando os testes de respirometria 11 e 12 do reator sintético.....	111
Figura 3.9	Valores de TCO do teste branco de respirometria para todos os lodos utilizados.....	113
Figura 3.10	Comparação do efeito tóxico do Cloreto de Benzalcônio entre os três lodos estudados.....	115
Figura 3.11	Fotomicrografias <i>in vivo</i> de microrganismos encontrados no reator aeróbio da indústria alimentícia.....	117
Figura 3.12	Fotomicrografias <i>in vivo</i> de microrganismos encontrados no reator aeróbio da indústria farmacêutica.....	119
Figura 3.13	Fotomicrografias <i>in vivo</i> de microrganismos encontrados no reator aeróbio após tempo de aclimação com efluente sintético.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Características de um agente químico antimicrobiano.....	21
Tabela 1.2	Atividade dos CAQs sobre alguns grupos de organismos.....	32
Tabela 1.3	Vantagens e desvantagens do uso dos CAQs.....	33
Tabela 1.4	Danos causados por toxicidade à estrutura e às atividades bacterianas....	51
Tabela 1.5	Microrganismos e características do lodo.....	56
Tabela 2.1	Datas de realização dos testes de respirometria.....	75
Tabela 2.2	Especificações do Cloreto de Benzalcônio fornecidas pelo fabricante.....	76
Tabela 2.3	Parâmetros analisados nas amostras coletadas no reator aeróbio piloto....	79
Tabela 2.4	Componentes do efluente sintético.....	79
Tabela 2.5	Período de funcionamento dos reatores aeróbios piloto.....	81
Tabela 2.6	Parâmetros físico-químicos determinados nas amostras de lodo, afluente e efluente da indústria alimentícia.....	82
Tabela 2.7	Parâmetros físico-químicos determinados nas amostras de lodo, afluente e efluente da indústria farmacêutica.....	84
Tabela 2.8	Metodologias utilizadas na realização das análises dos parâmetros físico-químicos de acordo com APHA (2012).....	90
Tabela 3.1	Relação dos principais parâmetros analisados na indústria alimentícia...	107
Tabela 3.2	Relação dos principais parâmetros analisados na indústria farmacêutica no período de realização dos testes de respirometria.....	110
Tabela 3.3	Análises de pH e temperatura da indústria farmacêutica nos testes de respirometria.....	110
Tabela 3.4	Valores de CE(I)50;10min observados na indústria alimentícia.....	105
Tabela 3.5	Dados de operação da indústria alimentícia.....	114
Tabela 3.6	Valores de CE(I)50;10min observados na indústria farmacêutica.....	105
Tabela 3.7	Valores de CE(I)50;10min observados no reator piloto.....	109
Tabela 3.8	Valor da TCO para cada tipo de lodo no teste branco de respirometria..	123
Tabela 3.9	Relação A/M da indústria alimentícia e farmacêutica e do reator Sintético.....	125
Tabela 3.10	Resultados da determinação do CE ₅₀ para Cloreto de Benzalcônio dos testes com <i>Aliivibrio fischeri</i>	132

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/M	Relação Alimento/Microrganismo
ANS	Ácido Naftaleno Sulfônico
ATP	Adenosina Trifosfato
BAC	Cloreto de Benzalcônio
BSA	Ácido Benzeno Sulfônico
CAQ	Composto de Amônio Quaternário
d	Dias
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DSS	Dodecil Sulfato de Sódio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETEI	Estação de Tratamento de Efluente Industrial
IVL	Índice Volumétrico de Lodo
Kg DBO ₅ /Kg SSV.d	Quilograma de Demanda Bioquímica de Oxigênio/ Quilograma de Sólidos Suspensos Voláteis por dia
L	Litro
LAS	Alquibenzeno de Sódio Linear
LES	Laboratório de Engenharia Sanitária
L/s	Litro por segundo
mg/L	Miligrama por Litro
L/d	Litro por dia
mg/L	Miligrama por Litro
min	Minuto
mL	Mililitro
mL/g	Mililitro por grama
m ³ /h	Metro cúbico por hora
mm	Milímetro
O ₂	Oxigênio
OD	Oxigênio Dissolvido
O&G	Óleos e Graxas

HPA	Hidrocarbonetos Polinucleares Aromáticos
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Parte por milhão
Q	Vazão
RNFT	Resíduo Não Filtrável Total
RNFV	Resíduo Não Filtrável Volátil
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
TCO	Taxa de Consumo de Oxigênio
TCOe	Taxa Específica de Consumo de Oxigênio
TECMA	Tecnologia em Meio Ambiente
UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
V	Volume
μm	Micrômetro

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	14
1.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
1.1	Processos de higienização nas indústrias alimentícias.....	18
1.2	Definições das substâncias utilizadas na higienização.....	19
1.3	Características de um agente químico antimicrobiano.....	21
1.4	Principais agentes desinfetantes utilizados na indústria de alimentos....	21
1.4.1	Ácido Peracético.....	24
1.4.2	Peróxido de hidrogênio.....	26
1.4.3	Surfactantes.....	27
1.4.3.1	Efeitos dos surfactantes no processo de tratamento biológico.....	29
1.4.4	Hipoclorito de Sódio.....	29
1.4.5	Cloreto de Benzalcônio.....	30
1.4.5.1	Modo de ação sobre os microrganismos.....	32
1.4.5.2	Vantagens e desvantagens do uso dos CAQs.....	32
1.4.5.3	Degradação do Cloreto de Benzalcônio.....	33
1.4.5.4	Efeito do BAC no tratamento biológico de efluentes.....	34
1.5	Eficiência dos agentes desinfetantes.....	35
1.6	Processos de tratamento de efluentes.....	35
1.7	Processo de Lodos Ativados.....	37
1.8	Parâmetros de monitoramento de lodos ativados.....	41
1.9	Microbiologia dos lodos ativados.....	45
1.9.1	Formação e composição do floco biológico.....	45
1.9.2	Bactérias.....	48
1.9.3	Fungos.....	51
1.9.4	Protozoários.....	52
1.9.5	Micrometazoários.....	54
1.9.6	Eficiência do tratamento biológico pelos os microrganismos.....	55
1.10	Toxicidade aos lodos ativados.....	56
1.10.1	Impactos dos resíduos tóxicos ao tratamento.....	58
1.10.2	Indicadores de toxicidade na biomassa.....	58
1.10.3	Toxicidade por óleos e graxas no efluente.....	60

1.10.4	Alterações nas concentrações de nutrientes, sólidos suspensos e na condutividade devido a toxicidade.....	60
1.11	Bioensaios utilizados para avaliação de toxicidade.....	62
1.11.1	Teste de Respirometria.....	63
1.11.1.1	Aplicação da respirometria.....	65
1.11.2	Ensaio de toxicidade aguda com <i>Aliivibrio fischeri</i>	66
2.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	69
2.1	Caracterização da área de estudo da indústria alimentícia.....	69
2.2	Caracterização da área de estudo da indústria farmacêutica.....	72
2.3	Pontos de coleta de amostra.....	74
2.4	Composto tóxico.....	75
2.5	Reator biológico em escala piloto alimentado com efluente sintético.....	77
2.5.1	Processo de montagem do reator piloto.....	78
2.5.2	Alimentação do reator aeróbio piloto.....	79
2.6	Coleta e transporte das amostras na indústria alimentícia.....	81
2.7	Coleta e transporte das amostras na indústria farmacêutica.....	83
2.8	Equipamentos utilizados no teste de respirometria.....	85
2.9	Cálculo da solução do substrato rapidamente biodegradável.....	85
2.10	Procedimento experimental do teste de respirometria.....	86
2.11	Determinação de CE50 do Cloreto de Benzalcônio nos testes respirométricos	89
2.12	Determinação dos parâmetros físico-químicos.....	89
2.13	Análise microscópica da microbiota do lodo.....	90
2.14	Ensaio de toxicidade aguda com <i>Aliivibrio fischeri</i>.....	91
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	94
3.1	Parâmetros Físico-Químicos.....	94
3.2	Testes de Respirometria.....	101
3.2.1	Comparação entre os diferentes tipos de efluente e seus lodos ativados.....	112
3.2.2	Decaimento dos valores de oxigênio dissolvido.....	116
3.3	Caracterização microbiológica dos lodos ativados.....	117
3.4	Ensaio de toxicidade aguda com <i>Aliivibrio fischeri</i>.....	122
4.	CONCLUSÃO.....	125
	REFERÊNCIAS.....	127
	APÊNDICE A - Planilhas de registro das leituras de oxigênio dissolvido	

no Teste de Respirometria.....	135
APÊNDICE B - Gráficos dos Testes de Respirometria.....	160
APÊNDICE C - Planilhas de acompanhamento dos parâmetros físico-químicos.....	185
APÊNDICE D - Informações Adicionais sobre a operação das ETEIs e reator sintético.....	202
APÊNDICE E - Determinação de CE_{50} dos testes de respirometria pelo método Trimmed Spearman-Kärber utilizando o programa GWBasic.....	208

INTRODUÇÃO

A contaminação das águas por compostos orgânicos e inorgânicos é prejudicial tanto para a eficiência das estações de tratamento como para a biota do corpo receptor, que é afetada por excesso de nutrientes, baixos teores de oxigênio dissolvido nas águas, incapacidade de alimentação de organismos, equilíbrio e reprodução reduzidos na biota e o efeito tóxico propriamente (HAMADA et al. 2011). A fim de evitar esses danos, surge a importância de uma estação de tratamento operando de forma eficiente para cumprir as normas de lançamento.

Com o aumento constante da demanda por produtos alimentares exigiu-se das indústrias alimentícias aumento da produtividade e a necessidade de controle dos microrganismos para evitar intoxicação alimentar ao ser humano e a diminuição da vida útil dos produtos, recolhimento dos pontos de venda, destruição ou reprocesso. Muita atenção tem que ser dada também para a limpeza dos equipamentos utilizados, evitando a proliferação de microrganismos, contaminação por produtos estranhos ao processo ou resíduos de processos anteriores (PINTO, 2006).

Para realizar esse controle na higienização é necessária cada vez mais a utilização de produtos desinfetantes, que por sua vez, são descartados no afluente que vai ser tratado nas Estações de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEIs) (JÖNSSON et al. 2000), causando por vezes toxicidade e gerando problemas nos tratamentos biológicos e reduzindo a qualidade do efluente tratado descartado (CHAPMAN, 2000).

Nesse contexto de tratamentos biológicos, tem se destacado em todo o mundo o Processo de Lodos Ativados para tratamento de efluentes de diferentes tipos de indústrias, principalmente pela alta eficiência alcançada associada à pequena área de implantação necessária quando comparada a outros sistemas de tratamento como lagoas de estabilização, lagoas anaeróbias e filtros biológicos (BENTO et al. 2005).

Esse tipo de sistema de tratamento recebe esse nome por utilizar uma biomassa ativa de microrganismos com o objetivo de degradar a matéria orgânica do efluente estimulada por meio de aeração (CORDI et al. 2008).

No entanto, essas estações de tratamento recebem cargas tóxicas vindas dos processos industriais e que podem prejudicar o desempenho dos microrganismos do lodo ativado. Por isso, foram desenvolvidas técnicas para detectar presença de elementos tóxicos, sendo uma delas a respirometria (HOFFMANN; CHRISTOFI, 2001).

A respirometria avalia o desempenho dos processos biológicos a partir da taxa de consumo de oxigênio (TCO) dos organismos ao serem submetidos a compostos tóxicos, obtendo-se curvas chamadas respirogramas, que representam a variação da taxa no decorrer de um período determinado de tempo (FERNANDES et al. 2001).

O método se baseia em fornecer oxigênio ao lodo ativado que estava contido no reator aeróbio, até que a concentração de oxigênio dissolvido (OD) atinja um determinado valor de referência superior, quando então, a aeração é interrompida. Evidencia-se conseqüentemente a redução da concentração de oxigênio dissolvido em um intervalo de tempo, representando a taxa de respiração dos organismos do lodo (FERNANDES et al. 2001).

Outra técnica que vem sendo muito utilizada há mais de 35 anos para avaliação de toxicidade é o ensaio de bioluminescência bacteriana utilizando *Aliivibrio fischeri* (HOFFMANN; CHRISTOFI, 2001). É um teste de toxicidade aguda no qual é medida a redução da quantidade de luz naturalmente emitida pelo microrganismo quando é posto em contato com um agente tóxico, o qual inibe a ação da enzima luciferase. O tempo envolvido na elaboração do ensaio varia entre 15 e 30 minutos (COSTA et al. 2008).

Diante da importância da toxicidade sobre a eficiência dos processos de tratamento, este trabalho visou estudar o efeito tóxico do desinfetante Cloreto de Benzalcônio, que é princípio ativo de diversos produtos comerciais comumente utilizados na higienização de indústrias alimentícias, em lodos ativados utilizando o teste de respirometria e o ensaio de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri*.

Os estudos foram realizados com lodos ativados de duas Estações de Tratamento de Efluentes Industriais: uma indústria alimentícia e uma indústria farmacêutica, que operam sob supervisão da empresa TECMA – Tecnologia em Meio Ambiente LTDA. O terceiro lodo foi obtido de um tanque de aeração projetado para uso como reator de bancada alimentado com efluente sintético e submetido a diferentes concentrações de Cloreto de Benzalcônio.

O presente trabalho teve como objetivos gerais e específicos:

Objetivo geral

Avaliar o efeito tóxico causado por diferentes concentrações do desinfetante Cloreto de Benzalcônio em processos de lodos ativados obtidos de origens distintas.

Objetivos específicos:

- Analisar o comportamento da respiração do lodo ativado da indústria alimentícia mediante adição de diferentes concentrações de Cloreto de Benzalcônio;
- Avaliar os efeitos da toxicidade causados pelo Cloreto de Benzalcônio sobre a microbiota presente no lodo ativado da indústria farmacêutica;
- Avaliar a adaptação do lodo ativado introduzido no reator aeróbio piloto ao efluente sintético;
- Avaliar o efeito tóxico do Cloreto de Benzalcônio na respiração dos microrganismos do lodo ativado do reator aeróbio piloto após adaptação ao efluente sintético;
- Determinar a concentração de Cloreto de Benzalcônio que causa 50% de efeito (CE50) à Taxa Específica de Consumo de Oxigênio de cada teste;
- Caracterizar os microrganismos que compõem os diferentes lodos ativados;
- Avaliar a toxicidade aguda do Cloreto de Benzalcônio com o organismo-teste *Allivibrio fischeri*;
- Comparar o efeito da toxicidade em lodos ativados obtidos de efluentes reais àquele obtido com efluente sintético;
- Monitorar os parâmetros físico-químicos obtidos dos afluentes, efluentes e dos lodos ativados estudados;
- Avaliar a aplicabilidade dos métodos utilizados para estudo de toxicidade com Cloreto de Benzalcônio.

Este trabalho foi dividido em 4 capítulos.

No capítulo 1, estão apresentados os processos de higienização que ocorrem nas indústrias alimentícias; os principais agentes utilizados na lavagem e na desinfecção das instalações, equipamentos e utensílios utilizados na produção das indústrias de alimentos; a classificação dos produtos saneantes segundo a legislação vigente; os processos de tratamento utilizados nas estações de tratamento de efluentes, dando foco para os processos de lodos ativados; descreve os principais parâmetros para monitoramento de lodos ativados; a microbiologia dos lodos ativados, com breve descrição das diferentes classes de organismos que são encontrados nos consórcios microbianos. Um subcapítulo versa sobre a toxicidade aos lodos ativados e seus impactos no tratamento dos efluentes e os indicadores de presença

de toxicidade. Por último, é apresentada uma revisão sobre os principais aspectos das técnicas utilizadas nesse trabalho: o teste de respirometria e a toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri*.

O capítulo 2 apresenta toda a metodologia de trabalho adotada para o desenvolvimento do presente estudo, sendo descritas as atividades realizadas durante a fase experimental do estudo, tais como:

- Coleta e transporte do lodo ativado até o local de realização dos experimentos;
- Preparação do reator teste para realização dos testes de respirometria;
- Implantação e partida do reator biológico aeróbio em escala piloto (reator de bancada);
- Procedimentos para caracterização dos microrganismos presentes nos lodos;
- Preparação das amostras para realização dos testes de toxicidade aguda;

No capítulo 3, são apresentados e discutidos os resultados dos 12 testes de respirometria realizados em triplicata referentes aos três tipos de lodos ativados, além dos resultados das análises físico-químicas.

Inicialmente foi avaliado o comportamento dos lodos ativados nas condições normais de operação nas ETEIs, seguido da avaliação do lodo quando estimulado com substrato rapidamente biodegradável (glicose), que se refere ao teste branco (padrão) e por último a avaliação dos efeitos da aplicação das diferentes concentrações de Cloreto de Benzalcônio, primeiramente para os lodos da indústria alimentícia, seguido da avaliação do lodo da indústria farmacêutica e por último a avaliação do lodo obtido do reator de bancada após o tempo de aclimação ao efluente sintético.

Os resultados foram apresentados na forma de gráficos de Taxa de Consumo de Oxigênio x Concentração de Cloreto de Benzalcônio; Taxa Específica de Consumo de Oxigênio x Concentração de Cloreto de Benzalcônio e OD (oxigênio dissolvido) x Tempo.

Em uma segunda etapa dos experimentos, foi avaliada a toxicidade aguda do Cloreto de Benzalcônio pelo organismo-teste *Aliivibrio fischeri*, e os resultados foram expressos em valores de CE_{50} .

No capítulo 4, estão expostas as conclusões obtidas em todo o estudo e ao final, com o objetivo de contribuir para a evolução do conhecimento em processos de lodos ativados no tratamento de efluentes industriais, algumas recomendações para o desenvolvimento de novos estudos.

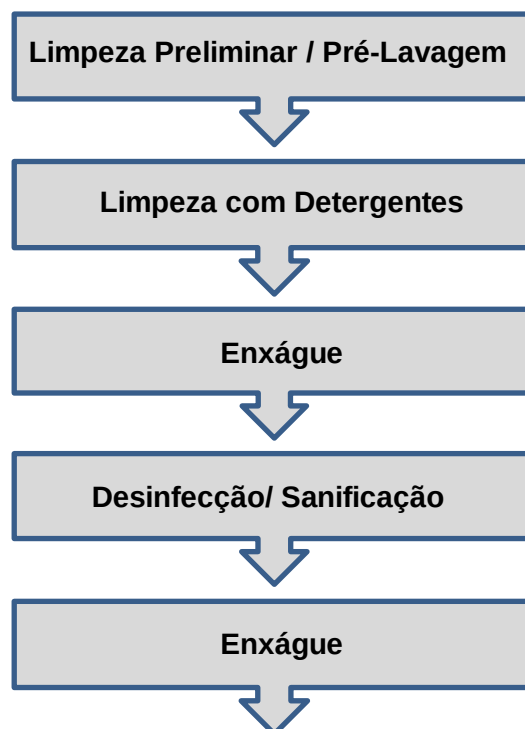
1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Processos de higienização nas indústrias alimentícias

Na indústria de alimentos, o processo de higienização consiste num conjunto de práticas que tem como objetivo devolver ao ambiente de processamento (superfícies das instalações, dos equipamentos e utensílios) a boa condição higiênica inicial, e principalmente a eliminação de restos de alimentos, corpos estranhos, resíduos de produtos químicos e microrganismos (SILVA, 2010).

Este processo pode ser realizado através de uma ação física (ex.: varrer, escovar), química (utilização de detergentes e desinfetantes) ou mecânica (bombas de água de alta pressão, etc.) sobre uma determinada superfície. Na indústria alimentícia, a maioria dos procedimentos passa por uma ação conjunta da utilização de agentes químicos, auxiliados pela ação mecânica (SILVA, 2010). As etapas estão resumidas na **Figura 1.1**.

Figura 1.1 - Etapas do processo de higienização da indústria alimentícia



Fonte: Adaptado de Silva (2010).

A higienização visa basicamente a preservação da pureza, palatabilidade e qualidade microbiológica dos alimentos. Auxilia, portanto, na obtenção de um produto que, além das qualidades nutricionais e sensoriais, tenha uma boa condição higiênico-sanitária, não oferecendo riscos à saúde do consumidor. Dessa forma, contribui decisivamente para a produção de alimentos dentro de padrões microbiológicos recomendados pela legislação. Além disso, a higienização correta é função relevante quando se observam os aspectos econômicos e comerciais. A produção de alimentos seguindo normas adequadas de controle de qualidade viabiliza os custos de produção e satisfaz as expectativas dos consumidores (ANDRADE; MACÊDO, 1996).

Adams e Moss (1995) complementam o exposto por Silva (2010): a primeira etapa de higienização consiste na pré-lavagem com água para retirada de partículas maiores com ação mecânica. A segunda etapa utiliza detergente para remoção de partículas grandes que ainda restaram e partículas de gordura. A última etapa é indispensável e consiste na remoção de microrganismos vivos e mortos com utilização de meios desinfetantes. No entanto, um equipamento que não foi adequadamente limpo não pode ser eficientemente sanificado, já que resíduos remanescentes servem de proteção para microrganismos frente à ação do desinfetante.

Uma das principais preocupações em relação aos detergentes e desinfetantes é o desenvolvimento de microrganismos resistentes devido a aplicação de forma incorreta. Essa resistência adquirida pode estar relacionada à utilização de doses subletais de agentes biocidas aplicadas em células de biofilmes (OLIVEIRA; BRUGNERA; PICCOLI, 2010).

1.2 Definições das substâncias utilizadas na higienização

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) através da Portaria Federal nº 15 de 23 de agosto 1988, faz algumas definições acerca dos produtos saneantes:

- desinfetantes: formulações que têm em sua composição substâncias microbicidas e apresentam efeito letal para microrganismos não esporulados. Os de uso geral incluem produtos para uso doméstico, em ambientes públicos ou privados; sobre superfícies; em aparelhos sanitários, ralos e fossas. Os desinfetantes para indústrias alimentícias incluem produtos para cozinhas profissionais, frigoríficos, armazéns, laticínios e demais produtores ou

manipuladores de alimentos; em superfícies onde se dá o preparo, consumo e estocagem dos gêneros alimentícios;

- desodorizantes: formulação que têm na sua composição substâncias microbidas ou microbiostáticas, capazes de controlar os odores desagradáveis advindos do metabolismo microbiano. Não apresentam efeito letal sobre microrganismos mas inibem o seu crescimento e multiplicação. Incluem produtos para uso doméstico, em escritórios e ambientes coletivos; internamente no mobiliário (gavetas, armários); nos banheiros (aparelhos sanitários, ralos); sobre superfícies e no ambiente.

- esterilizantes: formulações que têm na sua composição substâncias microbidas e apresentam efeito letal para microrganismos esporulados.

Define também como substância microbicida aquela cujo princípio ativo mata os microrganismos, e substâncias microbiostáticas aquelas que possuem princípio ativo que inibe a proliferação de microrganismos, a qual pode ser reativada natural ou artificialmente.

A Resolução nº 14, de 28 de fevereiro de 2007 da ANVISA, denominada como legislação dos saneantes, define germicida como um produto de ação letal sobre os microrganismos, especialmente os patogênicos (germes), e determina que produtos sanitizantes e desinfetantes para serem utilizados na indústria alimentícia, devem ter atividade antimicrobiana para os seguintes microrganismos: *Salmonella choleraesuis*, *Eschericia coli* e *Staphylococcus aureus*.

A Resolução nº 47, de 25 de outubro de 2013 da ANVISA, que regulamenta as boas práticas de fabricação para produtos saneantes, define sanitização como “processo utilizado para redução do número de microrganismos viáveis para níveis aceitáveis em uma superfície limpa”. Essa resolução ainda ressalta a importância das atividades de sanitização e higiene, e que deve abranger não somente instalações, equipamentos e utensílios mas também pessoal, materiais de produção e recipientes, além dos produtos de limpeza e desinfecção e qualquer outro aspecto que possa constituir fonte de contaminação para o produto. As fontes potenciais de contaminação devem ser eliminadas por meio de um programa de sanitização e higiene adequado.

A nomenclatura “Saneante” foi adotada pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) para definição dos desinfetantes, detergentes e outros agentes relacionados aos processos de higienização (ANVISA, 2000).

1.3 Características de um agente químico antimicrobiano

Segundo Andrade; Aragão; Furlan, (2009) um agente antimicrobiano ideal possui algumas características específicas e estão citadas na **Tabela 1.1**.

Tabela 1.1 - Características de um agente químico antimicrobiano

Características
Amplo espectro de ação em baixas concentrações
Rápida inativação dos microrganismos
Ausência de poder corrosivo ou tintorial
Atividade em temperaturas ambiente ou corporal
Alta solubilidade, principalmente em água, por ser o veículo mais comumente usado
Estabilidade por um período razoável
Tolerância à variação de pH
Facilidade de aquisição e de preparo e com baixo custo
Toxicidade seletiva
Ausência de efeito residual nos alimentos
Não interação com a matéria orgânica
Ausência de ação danosa ao meio ambiente

Fonte: Andrade; Aragão; Furlan, 2009.

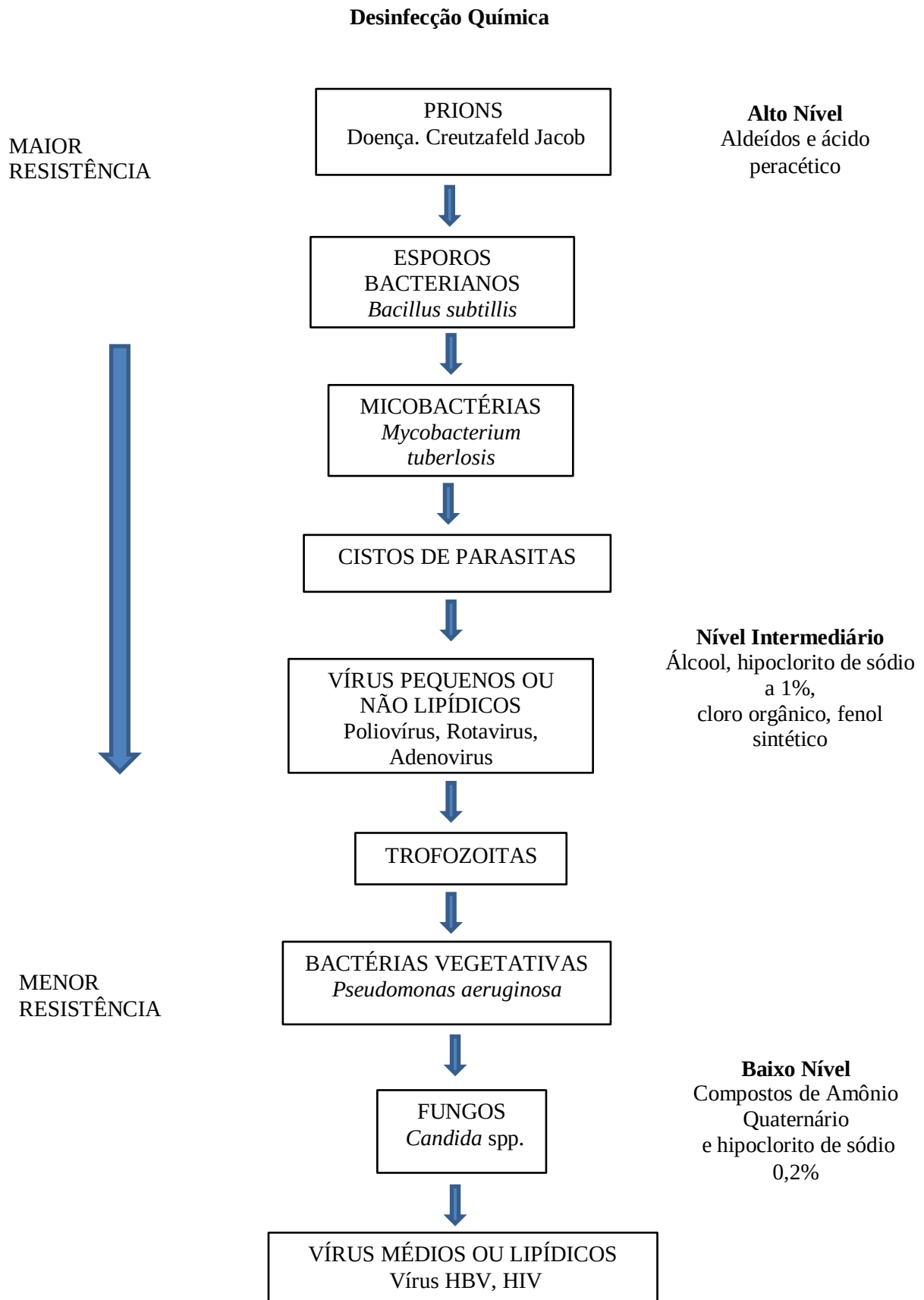
1.4 Principais agentes desinfetantes utilizados na indústria de alimentos

Para a escolha de um bom agente de limpeza, deve ser levado em consideração o tipo de resíduo e grau de aderência às superfícies, a qualidade da água empregada, os métodos de higienização aplicados, tipos e níveis de contaminação microbiológica e a natureza do equipamento a ser sanitizado (OLIVEIRA; BRUGNERA; PICCOLI, 2010).

Os desinfetantes mais utilizados em superfícies de equipamentos e utensílios nas indústrias alimentícias brasileiras são aqueles que possuem princípios ativos dos grupos: compostos de amônio quaternário, compostos inorgânicos liberadores de cloro ativo, compostos à base de ácido peracético, iodo e derivados (OLIVEIRA; BRUGNERA; PICOLLI, 2010).

McDonnell e Russel (1999) relacionaram a resistência dos microrganismos à ação dos germicidas conforme ilustrado na **Figura 1.2**. Segundo esses autores os aldeídos, o ácido peracético e peróxido de hidrogênio são desinfetantes químicos de alto nível, pois são eficientes para príons, resistem apenas a alguns vírus e esporos bacterianos, que são agentes infecciosos de difícil eliminação. O álcool (70% a 90%), o hipoclorito de sódio a 1%, o cloro orgânico e o fenol sintético são classificados pelos autores como nível intermediário, eliminando vírus pequenos e bactérias vegetativas e fungos, e os de baixo nível de atuação incluem os Compostos de Amônio Quaternário e o hipoclorito de sódio a 0,2%, eliminando alguns fungos, vírus de tamanho médio e bactérias vegetativas.

Figura 1.2 - Ordem de resistência dos microrganismos à ação dos germicidas



Fonte: Adaptado de McDonnell e Russel, 1999.

1.4.1 Ácido Peracético (APA)

De acordo com a Portaria nº 122, de 29 de novembro de 1993 (ANVISA, 1993), o Ácido Peracético (APA) é o nome técnico comum dado ao saneante de fórmula $C_2H_4O_3$, pertencente ao grupo químico dos peróxidos orgânicos/ácidos orgânicos. É uma mistura estabilizada de ácido acético, peróxido de hidrogênio formando ácido peracético em solução aquosa (KITIS, 2004), representado pela **Equação 1.1**:



Onde:

CH_3CO_2H = ácido acético

H_2O_2 = peróxido de hidrogênio

CH_3CO_3H = ácido peracético

H_2O = água

É considerado um produto de alto nível e de tecnologia limpa pois se decompõe em água e traços de ácido acético, sendo o ácido acético e o peróxido de hidrogênio biodegradáveis (PAIVA, 2009), por isso é considerado um desinfetante que não agride o ambiente (CAVALLINI et al., 2012). É indicado principalmente para que haja redução no uso de cloro, devido à formação de trihalometanos, que são subprodutos potencialmente carcinogênicos (CAVALLINI et al., 2012).

O Manual de produtos químicos da CETESB denomina como sinônimos do ácido peracético, o acetilhidroperóxido e o ácido peroxiacético. Possui aparência líquida, sem coloração, odor forte, se mistura com a água, é inflamável e produz vapores irritantes. O ponto de fusão se dá a -30°C e $\text{pH} < 7$. É corrosivo para a maioria dos metais, incluindo alumínio. Seu armazenamento deve ser feito entre $15,5^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}$.

A Portaria nº 122, (ANVISA, 1993) e a Portaria nº 15, de 23 de agosto de 1988 do Ministério da Saúde, incluem o APA para uso com finalidade esterilizante, desinfetante hospitalar para superfícies fixas, desinfetante hospitalar para artigos semicríticos e desinfetante para indústria alimentícia. Pela RDC nº 2, de 08 de janeiro de 2004, foi aprovado também na lavagem de ovos, carcaças e ou partes de animais de açougue, peixes, crustáceos e hortifrutícolas.

É eficaz contra uma ampla variedade de microrganismos (BLOCK, 2001), porém, sua ação biocida varia em função da presença de matéria orgânica, tempo de contato, presença de sólidos e principalmente da temperatura e pH (CAVALLINI et al., 2012; BLOCK, 2001).

Dentre outros usos, podemos citar como agente branqueador para fibras, papéis, óleos, ceras e amido (goma); como catalisador para polimerização; fungicida e reagente na fabricação de glicerina sintética. Além disso, é amplamente utilizado para desinfecção de equipamentos e sanitização de superfícies nas indústrias de refrigerantes, cervejas e vinhos, além dos próprios alimentos de origem animal em frigoríficos e laticínios (CETESB).

É utilizado na desinfecção profissional, industrial, hospitalar, em estações de tratamento de efluentes, como desinfetante de superfícies (instalações, utensílios e equipamentos) e alimentos orgânicos, além de ser utilizado em águas de lavagens de frutas, legumes e verduras (PAIVA, 2009).

Uma das principais vantagens do ácido peracético em comparação com outros desinfetantes como o cloro, por exemplo, é a ausência de subprodutos prejudiciais (LUUKKONEN et al., 2014), possibilitando que o descarte seja efetuado diretamente na rede de esgoto mediante diluição com água corrente (PAIVA, 2009), não proporciona desenvolvimento de resistência microbiana e não tem efeitos mutagênicos ou carcinogênicos (PAIVA, 2009).

Uma importante desvantagem está associada a maior concentração de compostos orgânicos nos efluentes, com grande capacidade de recrescimento microbiano em razão da presença de ácido acético e da baixa eficiência contra vírus e parasitas (KITIS, 2004).

O modo de ação primária do ácido peracético é a oxidação dos constituintes celulares, ou seja, libera oxigênio ativo que interage com ligações de enxofre nas proteínas, enzimas e outros metabólitos dos microrganismos (KITIS, 2004). Além disso, atua na desnaturação proteica, perda da permeabilidade da membrana celular pela ruptura dos grupamentos sulfidríla (-SH) e enxofre (S-S), oxidando enzimas essenciais, provocando alterações bioquímicas podendo levar a morte. Age produzindo radicais hidroxilas livres que atacam a membrana lipídica do DNA e outros elementos da célula microbiana (ANVISA, 2000). O rompimento dessas ligações sulfídricas e sulfúricas prejudicam atividades como: o transporte ativo através da membrana e os níveis de soluto dentro das células (CAVALLINI et al., 2012).

Também interrompe a função osmótica e causa deslocamento ou ruptura da parede celular, facilitando sua ação contra microrganismos gram-negativos. A sua ação na

desnaturação de proteínas ajuda a explicar sua característica esporicida. Além disso, inativa a catalase, uma enzima que neutraliza a ação dos radicais livres de hidroxila (KITIS, 2004).

1.4.2 Peróxido de hidrogênio

O Manual de produtos químicos da CETESB denomina como sinônimos do peróxido de hidrogênio: peróxido; albore; superoxol; água oxigenada. Sua massa molar é 34g/mol; o ponto de ebulição ocorre em 125°C e o de fusão em -0,89°C. É incompatível com materiais oxidáveis tais como: ferro, cobre, latão, bronze, cromo, zinco, chumbo, manganês, prata e metais catalíticos. O seu armazenamento deve ser em temperatura ambiente.

Possui como registro de sua primeira comercialização nos anos de 1800, desde essa época, sua produção mundial aumenta a cada ano. Sendo utilizado na forma isolada ou na forma combinada com outras substâncias, é um dos reagentes mais empregados nos últimos tempos para desinfecção (PINTO; KANEKO; PINTO, 2010).

O peróxido de hidrogênio também pode ser denominado: peróxido de dihidrogênio ou dióxido de dihidrogênio. Sua fórmula química é H_2O_2 , pertence a família química dos óxidos e é um metabólito natural em muitos organismos. Quando decomposto, o peróxido de hidrogênio resulta em oxigênio molecular e água. A formação do peróxido de hidrogênio pode ocorrer sob ação da luz solar sobre a água ou na decomposição de matéria orgânica por microrganismos, inclusive pelo homem, em seu metabolismo (PINTO, 1995).

É um líquido incolor estável à temperatura ambiente, em baixas temperaturas pode tornar-se sólido (MATTOS et al., 2003) e é miscível em água. Pode ser considerado explosivo quando misturado com substâncias orgânicas em determinadas concentrações ou sob aquecimento, é altamente oxidante, sendo tóxico, irritante de pele e olhos, mas facilmente manipulado, o que resulta em um componente bastante perigoso. O peróxido de hidrogênio não tem liberação de gases ou resíduos químicos poluentes na área de esterilização, e por esse fato que hoje em dia nas indústrias é o biocida de escolha, sendo o desinfetante por excelência usado nas máquinas de envase em embalagens assépticas (longa vida) (MATTOS et al., 2003).

Seu mecanismo de ação sobre os microrganismos é causar desnaturação de proteínas e ruptura da permeabilidade da membrana celular. A ação letal do peróxido de hidrogênio

depende: do tempo de exposição, da temperatura e da concentração do mesmo (PINTO; KANEKO; PINTO, 2010).

Em relação as suas aplicações, pode ser utilizado no tratamento de água para inibir o crescimento microbiano, na oxidação de sulfetos, na destruição de cloro residual, na oxidação de poluentes orgânicos, no tratamento de efluentes industriais para controle de odores, na hidrólise de formaldeído, na destruição de fenóis e na desinfecção por inibição de crescimento de bactérias. Também pode ser utilizado como oxidante de: ferro, sulfetos, solventes, gasolina e pesticidas (ANVISA, 2000). Nas estações de tratamento de água, é utilizado desde o controle por inativação de microalgas até a pré-oxidação direta ou ativada com ultravioleta ou ozônio para a remoção de contaminantes da água (PINTO; KANEKO; PINTO, 2010).

Pode ser usado também no branqueamento e desodorização de tecidos, madeira, polpa, cabelos; fonte de peróxidos orgânicos e inorgânicos; na indústria de papel e celulose; combustível para foguetes; reagentes de laboratório; antisséptico; agente de branqueamento e oxidação de alimentos; agente de neutralização na destilação do vinho; controle de viscosidade do amido e celulose; desinfetantes; cosméticos, entre outros (CETESB).

Existem diversas vantagens em se utilizar o peróxido de hidrogênio: este produto é seguro, versátil, seletivo e é amplamente utilizado, quando combinado com outros diferentes processos pode melhorar os resultados de sua aplicação nos procedimentos de floculação, precipitação, oxidação de complexos metálicos e incremento do desempenho de floculantes inorgânicos, assim como no tratamento de bioprocessos e desinfecção (MATTOS et al., 2003).

1.4.3 Surfactantes

Os surfactantes são os ingredientes principais dos detergentes. São agentes de superfície considerados como melhor agente de limpeza. Concentram-se na interface da água, sólidos (sujeira) e líquidos imiscíveis (óleos), e essa capacidade de se concentrar é devido a sua estrutura molecular (GERARDI, 2006). Eles modificam a capacidade de penetração e remoção da sujeira pela água, removendo-as através da degradação de gorduras, de proteínas e da dissolução de sais minerais e impedindo sua deposição (SILVA et al., 2010).

O nome surfactante vem do inglês "surfactants", que significa "Surface Active Agents", agentes ativos de superfície. São compostos orgânicos que contêm na mesma

molécula dois grupos estruturais diferentes: um solúvel em água (grupo polar ou hidrofílico) e o outro insolúvel em água (grupo apolar ou hidrofóbico), que é formado por uma cadeia apolar de hidrocarboneto, linear ou ramificada. A maioria dos detergentes sólidos comerciais contém 10-30% de surfactantes (GERARDI, 2006).

O grupo hidrofílico, que é a extremidade polar, é composto por materiais de duas categorias: aqueles que ionizam em soluções aquosas e aqueles que não ionizam. Assim, os surfactantes podem ser classificados de acordo com o tipo de dissociação que sofrem na água em não iônicos, anfóteros, catiônicos e aniônicos (ROHER, 1975), no entanto, somente os detergentes aniônicos são controlados pela legislação (GIORDANO; SURERUS, 2015).

Podem ser produzidos sinteticamente (surfactantes sintéticos) ou por microrganismos (biossurfactantes ou surfactantes biogênicos) como bactérias, fungos e leveduras. Os biossurfactantes são normalmente classificados de acordo com a sua natureza bioquímica e pela espécie que os produzem (EDWARDS; LEPO; LEWIS, 2003).

Além disso, podem ter diversas naturezas: podem ser ácidos, alcalinos, neutros, detergentes com solventes, detergente alcalino solvente, detergente desincrustante alcalino, detergente desincrustante ácido, detergente desinfetante, etc. (SILVA et al., 2010).

Tendo como sua principal função a limpeza, eles atingem o sistema biológico por diferentes meios, causando alteração na permeabilidade da membrana celular, no processo de fosforilação prejudicando o desenvolvimento microbiano e quando chegam ao corpo receptor, induzem a eutrofização (HAMADA et al., 2011). Por isso são considerados importantes causadores de poluição nas águas, pois além de conterem fosfato, substância que influencia na propagação de algas e outros organismos aquáticos, dificultam as trocas gasosas entre a superfície da água e a atmosfera. Assim, quando o detergente é encontrado na superfície da água, o gás carbônico não é liberado e por sua vez impede a oxigenação, podendo levar à morte organismos aquáticos como os peixes. Esses fatores acabam promovendo a proliferação de bactérias anaeróbias (ROHER, 1975).

Sabe-se que os detergentes e surfactantes conseguem ser reduzidos em até um terço pelas ETEs, mas costumam estar presentes em concentrações entre 3 e 10 ppm, o que interfere na eficiência do tratamento e acarreta danos ao corpo receptor (HAMADA et al., 2011).

Uma redução importante da microfauna nos sistemas de lodos ativados pode ser detectada quando há presença de surfactantes em concentrações consideradas relativamente baixas (< 10 mg/L) (RAND, 1995).

1.4.3.1 Efeitos dos surfactantes no processo de tratamento biológico

A toxicidade causada por surfactantes é influenciada por vários fatores, incluindo a dureza da água, a temperatura e principalmente a estrutura molecular e o oxigênio dissolvido. A toxicidade ocorre provavelmente devido aos danos que o surfactante causa às proteínas celulares e à membrana celular. Mesmo quando não apresentam nenhuma toxicidade, baixos níveis de surfactantes podem aumentar a absorção de outros resíduos (GERARDI, 2006). A salinidade (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} dissolvidos) e a presença de sólidos suspensos totais também podem influenciar na toxicidade, adsorvendo o surfactante e reduzindo a toxicidade (GERARDI, 2006).

Gerardi (2006) relata diversos efeitos indesejados que a presença do surfactante traz aos processos de tratamento biológico. O primeiro é a destruição dos flocos da biomassa seguido da desfloculação dos coloides; emulsificação de gorduras, óleos e graxas; flotação de sólidos; produção de espuma (redução da tensão superficial das águas residuais) e toxicidade.

Os surfactantes aniônicos são os mais utilizados e mais comumente descartados em processos de tratamento de efluentes. Os surfactantes não iônicos costumam ser menos estudados que os aniônicos, no entanto, tendem a ser mais tóxicos em baixas concentrações do que os catiônicos. Os surfactantes catiônicos são usados principalmente como desinfetantes médicos e laboratoriais (GERARDI, 2006).

Alguns surfactantes não iônicos amplamente utilizados, apesar de serem degradados pelos microrganismos, formam uma gama de produtos intermediários que podem afetar peixes, mamíferos e outros organismos (SERVOS, 1999).

1.4.4 Hipoclorito de Sódio

O hipoclorito de sódio (NaClO) é muito utilizado em indústrias de alimentos, especialmente em laticínios. É eficaz contra fungos, bactérias e vírus mas tem como desvantagem o fato de que sua ação como sanitizante pode ser reduzida ou inativada na presença de compostos orgânicos como proteínas, polissacarídeos e lipídeos (OLIVEIRA; BRUGNERA; PICCOLI, 2010).

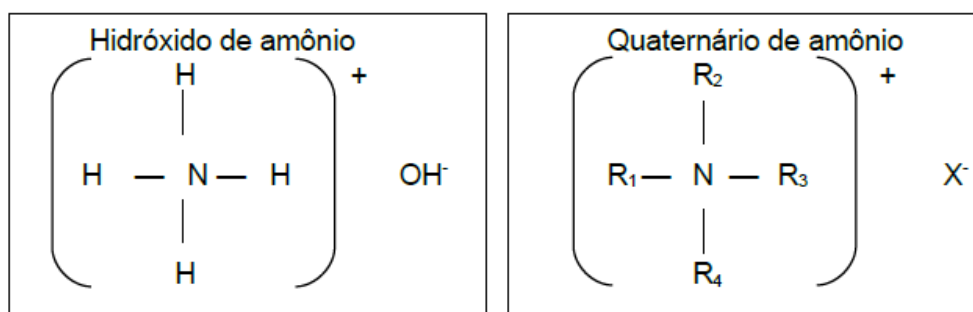
1.4.5 Cloreto de Benzalcônio

O Cloreto de Benzalcônio (BAC) é uma mistura de cloreto de alquil benzil dimetil amônio com grupos alquil de C8 a C18 e é um dos mais importantes representantes do grupo chamado Compostos de Amônio Quaternário (QAC), que são compostos que desempenham função de princípio ativo de muitas formulações farmacêuticas, cosméticos, desinfetantes comerciais e industriais, conservantes de alimentos (TEZEL e PAVLOSTATHIS, 2009), além de aplicações industriais como surfactantes, emulsificantes, produtos agrícolas, amaciantes, pesticidas, inibidores de corrosão e produtos para cuidados pessoais (ISMAIL; TEZEL; PAVLOSTATHIS, 2010), tendo destaque nas aplicações médicas bem como na indústria alimentícia e indústria de cola (SÜTTERLIN; ALEX; KÜMMERER, 2008).

Os compostos de amônio quaternário são substâncias biodegradáveis, anfifílicas, cuja molécula possui uma porção polar, hidrofílica, e uma porção apolar, hidrofóbica (SÜTTERLIN; ALEX; KÜMMERER, 2008).

Os CAQs geralmente têm um nitrogênio quaternário associado com pelo menos um substituto hidrofóbico importante (FAZLARA; EKHTELAT, 2012). Podem ser correlacionados ao hidróxido de amônio (NH_4OH), no qual átomos de hidrogênio (H) são substituídos por radicais alquil (R) e a hidroxila (OH), por um halogênio, conforme apresentado na **Figura 1.3**.

Figura 1.3 – Correlações das fórmulas químicas



Fonte: Adaptado de Pinto, 2006.

O BAC é o produto de uma reação de substituição nucleófila de alquildimetilamina com cloreto de benzilo (FAZLARA; EKHTELAT, 2012).

É um antimicrobiano sintético com amplo espectro (FAZLARA; EKHTELAT, 2012), possui vantagem de ter fácil preparação e aplicação, neutralizando odores (NASCIMENTO; DELGADO; BARBARIC, 2010). É classificado como desinfetante catiônico com caráter tensoativo que apresenta atividade germicida mais relevante do que sua capacidade de atuar como detergente. No entanto, a presença de compostos aniônicos tais como o surfactante Linear Alquilbenzeno de Sódio (LAS), Ácido Benzeno Sulfônico (BSA), Ácido Naftaleno Sulfônico (ANS) e o Dodecil Sulfato de Sódio (DSS), causam alteração na polaridade do BAC, afetando seu poder de toxicidade. Tem sido demonstrado que a presença de diferentes aniões inorgânicos tem efeito sobre a biodegradabilidade dos CAQs (SÜTTERLIN; ALEX; KÜMMERER, 2008).

Os CAQs são conhecidos por serem eficazes em baixas concentrações (<1mg/L) contra microrganismos Gram-positivos (SÜTTERLIN; ALEX; KÜMMERER, 2008), alguns vírus, fungos e protozoários (FAZLARA; EKHTELAT, 2012), no entanto, não é eficaz contra bactérias Gram-negativas (NASCIMENTO; DELGADO; BARBARIC, 2010). No entanto, Fazlara e Ekhtelat, (2012) apontam que as soluções de BAC podem ter efeito bactericida ou bacteriostático, dependendo da concentração utilizada.

Sua capacidade surfactante e a carga positiva proporcionam grande capacidade de penetração e aderência a superfícies porosas. Desinfetantes à base de BAC não são tóxicos, não macham e não geram odores nas diluições, além de ser compatível com agentes não iônicos, anfóteros e catiônicos (FAZLARA; EKHTELAT, 2012).

Tem custo elevado e é pouco eficiente em meio ácido e em contato com proteínas (NASCIMENTO; DELGADO; BARBARIC, 2010).

Para se ter uma ideia de quantidade de uso, em 1997 na Alemanha, 12.349 toneladas/ano foram usadas nas indústrias e 95,3 toneladas em hospitais, enquanto na Grã Bretanha foram usados naquele ano 28.852 t/a (SÜTTERLIN; ALEX; KÜMMERER, 2008).

O consumo anual mundial em 2004 foi relatado como 500.000 toneladas de CAQs com estimativa de aumentar no futuro. Cerca de 75% da fração consumida anualmente é descartada em sistemas de tratamento de efluentes (ISMAIL; TEZEL; PAVLOSTATHIS, 2010).

Um estudo realizado na Áustria relatou os seguintes limites de concentração total de QAC em esgoto doméstico, efluentes residuais, lodo de esgoto, e água de superfície: 25-300 mg/L; 0,3-3,6 mg/L; 22-103 mg/kg (peso/peso seco), e 0,2-3,0 mg/L, respectivamente (MARTINEZ-CARBALLO et al., 2007).

1.4.5.1 Modo de ação sobre os microrganismos

Quando entram em contato com a membrana celular dos microrganismos, alteram a permeabilidade, estimulando a lise provocando assim o esgotamento celular (NASCIMENTO; DELGADO; BARBARIC, 2010).

Segundo Sütterlin; Alexy; Kümmerer (2008) o cloreto de benzalcônio atua como desinfetante pela interação com a membrana bipolar das células bacterianas. E o alvo primário parece ser a membrana citoplasmática (interior) das bactérias. Quando os CAQs se ligam às membranas citoplasmáticas, desorganizam-nas através da sua longa cadeia alquil (MCDONNELL; RUSSELL, 1999).

Os CAQs em baixas concentrações atuam na permeabilidade da membrana, provocando extravazamento do material citoplasmático. Em concentrações elevadas, eles têm como alvo os grupos carboxílicos causando coagulação geral no citoplasma bacteriano.

A atividade dos compostos quaternários de amônio está descrita na **Tabela 1.2**.

Tabela 1.2 – Atividade dos CAQs sobre alguns grupos de organismos

Microrganismo	Grau de eficiência
Bactérias Gram-Positivas	+++
Bactérias Gram-Negativas	+--
Bolores e Leveduras	+++
Vírus	+--
Esporos Bacterianos	---

+++ Eficaz ++- Moderadamente Eficaz +-- Baixa Eficácia --- Ineficaz

Fonte: Adaptado de Pinto, 2006.

1.4.5.2 Vantagens e desvantagens do uso dos CAQs

Algumas vantagens e desvantagens do uso de CAQs encontram-se destacadas na **Tabela 1.3**.

Tabela 1.3 – Vantagens e desvantagens do uso dos CAQs

Vantagens	Desvantagens
Baixa Toxicidade e irritabilidade à pele	Ação sanitizante reduzida pela dureza da água e presença de matéria orgânica
Baixo efeito corrosivo, ausência de odores e cor	Reduzida atividade para vírus e bactérias esporuladas
Não é necessário enxágue em superfícies que não entram em contato com alimentos	Incompatibilidade com surfactantes aniônicos
Associados a tensoativos não iônicos sequestrantes e tamponantes, tem sua ação sanitizante potencializada	Pouca eficiência para bactérias Gram-Negativas
Ativo em ampla faixa de pH (ótimo >6,0)	Atividade reduzida na presença de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+}
Solúvel em água	
Eficaz contra bactérias Gram-Positivas	
Estável a temperatura ambiente e efeito potencializado com temperaturas elevadas	

Fonte: Adaptado de Pinto, 2006; Fazlara; Ekhtelat, 2012; Ismail; Tezel; Pavlostathis, 2010.

1.4.5.3 Degradação do Cloreto de Benzalcônio

A adsorção do BAC pela biomassa é rápida e expressiva, ocorrendo biodegradação durante o processo biológico de tratamento de efluentes. Portanto, a adsorção e a biotransformação são as principais rotas de remoção do BAC dos efluentes com registros de remoção média de até 99% (CLARA et al., 2007).

Microrganismos que utilizam os CAQs em altas concentrações como fonte de carbono e energia foram identificados em lodos ativados e a maioria foi classificada dentro do gênero *Pseudomonas*. Outras espécies que podem catabolizar diversos CAQs são as *Xantomonas* sp. (ZHANG et al., 2009).

De acordo com os estudos de Zhang et al. (2009), a biotransformação do BAC começa com a fissão do grupo alquil do nitrogênio quaternário resultando na formação do benzil

dimetil amina como primeiro intermediário. O benzil dimetil amina é então convertido em amônia através de duas desmetilações seguido por uma desbenzilação ou uma desbenzilação seguido de dois processos de desmetilação (ZHANG et al., 2009).

1.4.5.4 Efeito do BAC no tratamento biológico de efluentes

Aproximadamente 75% dos Compostos de Amônio Quaternário utilizados anualmente em aplicações domésticas e industriais são descartados nos sistemas de tratamento de efluentes urbanos. O Cloreto de Benzalcônio é o Composto de Amônio Quaternário mais frequentemente encontrado em efluentes em todo mundo em concentrações que variam entre 20 e 300µg/L (MARTINEZ-CARBALLO et al., 2007).

Uma grande variedade de microrganismos participa dos processos de tratamento de efluentes, logo é esperado que a resposta da inibição pelos Compostos de Amônio Quaternário seja diferente para cada espécie. Por exemplo, os CAQs são particularmente tóxicos para organismos nitrificantes. Em seu trabalho Yang (2007) verificou que o Cloreto de Benzalcônio causou inibição de uma cultura mista de organismos nitrificantes com 10 – 15mg/L.

Estudos sugerem que os CAQs causam inibição da comunidade microbiana presente em lodos ativados em concentrações maiores do que as encontradas nos efluente (YANG, 2007; ZHANG et al., 2009).

Em resultados de testes respirométricos, Zhang et al. (2009) revelaram que o Cloreto de Benzalcônio afeta a Taxa de Consumo de Oxigênio Específico e o principal modo de ação do BAC sob os organismos do lodo ativado é pela inibição de enzimas respiratórias.

Zhang et al. (2009) citaram que há estudos que relatam toxicidade de BAC para organismos aquáticos e que o mesmo tem papel na indução de resistência aos antibióticos no ambiente, por isso os autores recomendam que o cloreto de benzalcônio seja completamente removido no sistema de tratamento pelos lodos ativados antes que o efluente final seja descartado no corpo receptor.

Segundo Sütterlin; Alexy; Kümmerer (2008), concentrações de até 6mg/L foram medidas nos efluentes hospitalares e concentrações em amostras de sedimentos variaram de 22 a 206mg/kg, indicando que pode haver acumulação.

1.5 Eficiência dos agentes desinfetantes

Para que um agente desinfetante com ação antimicrobiana atue de maneira eficiente, é importante que ele mantenha suas características químicas e físicas desde o momento de sua diluição até a sua utilização no ambiente, garantindo a sua estabilidade. A estabilidade de produtos saneantes depende de fatores ambientais, como temperatura, umidade e luz, e de outros fatores inerentes ao produto, como propriedades físicas e químicas de substâncias ativas e dos demais componentes da formulação, forma de apresentação, tipo e propriedades dos materiais de embalagem. Dependendo das condições de fabricação e armazenamento às quais o produto é submetido, e durante a sua utilização, a estabilidade pode sofrer alterações, (ANDRADE; ARAGÃO; FURLAN, 2009).

O tamanho da população microbiana, a natureza da população (presença de endósporos e a fase do crescimento), a concentração do agente, o tempo de exposição, também são condições que contribuem para a eficiência da ação desinfetante (ANDRADE; ARAGÃO; FURLAN, 2009).

Como descrito anteriormente por diversos autores, a utilização de produtos químicos para limpeza e desinfecção de indústrias alimentícias é fundamental. No entanto, esses mesmos produtos utilizados em concentrações e frequência diversas, são descartados no efluente que vai ser tratado pela Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) juntamente com esgoto sanitário e resíduos de alimentos da produção. O princípio ativo desses produtos comerciais, muitos deles desinfetantes com ação bactericida, pode vir a causar problemas operacionais na ETEI, gerando custos e redução da eficiência dos processos biológicos. Esta fase do tratamento é vulnerável às descargas tóxicas de efluentes industriais (JÖNSSON et al., 2000) e qualquer efeito nocivo sobre o funcionamento desta etapa do tratamento irá reduzir a qualidade do efluente tratado (CHAPMAN, 2000).

1.6 Processos de tratamento de efluentes

Os efluentes têm em geral duas fontes principais: esgoto sanitário e efluente industrial. Quando os efluentes são lançados sem "tratamento" diretamente no meio ambiente podem

contaminar solos, lençóis subterrâneos e águas superficiais, tornando-se meios de disseminação de doenças de veiculação hídrica (GIORDANO; SURERUS, 2015).

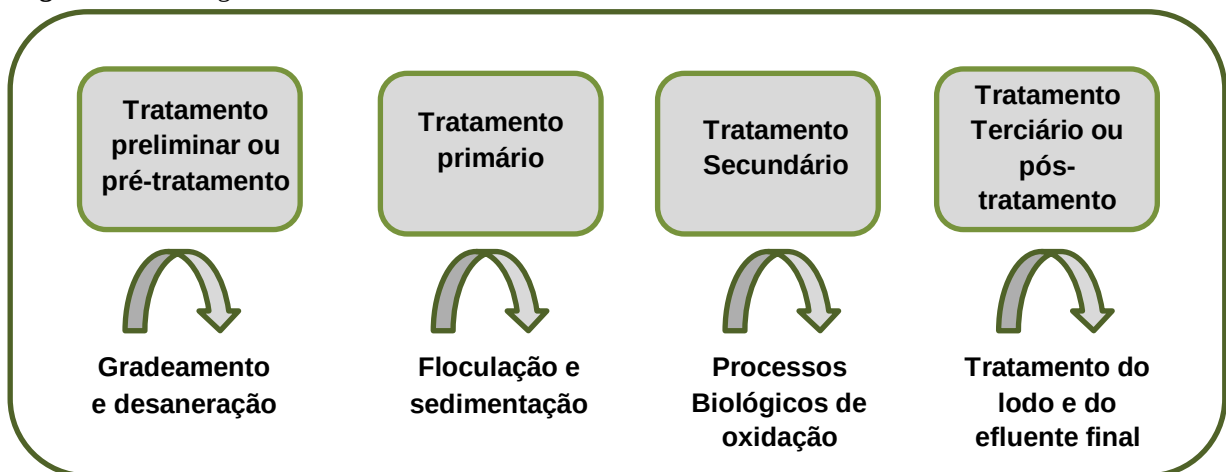
A função das estações de tratamento de efluentes é fundamentada na transformação dos resíduos poluentes dissolvidos e em suspensão para transformá-los em gases inertes e/ou sólidos sedimentáveis para a posterior separação das fases sólida e líquida. Sendo assim, se não houver a formação de gases inertes ou lodo estável, não podemos considerar que houve tratamento do efluente (GIORDANO, 2014).

As diretrizes de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial são regidas pelo Ministério do Meio Ambiente através do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e, que estas sofrem especificações dos seus parâmetros conforme o estado da União (SILVA et al., 2010).

Os processos de tratamento de efluentes são divididos em dois grandes grupos: tratamentos físico-químicos e tratamentos biológicos. A escolha do melhor método de tratamento ou a combinação de ambos vai depender de diversos fatores, tais como: composição do efluente, recursos físicos e financeiros disponíveis e a composição final que se deseja atingir (SILVA et al., 2010).

De um modo geral, as indústrias seguem um fluxograma de tratamento em suas estações da forma que está representado na **Figura 1.4**.

Figura 1.4 - Fluxograma de sistemas de tratamento de efluentes industriais



Adaptado de Silva et al., 2010.

O tratamento preliminar tem como objetivo a remoção dos sólidos mais grosseiros por gradeamento, peneiramento ou desarenação e remoção de óleo livre por diferença de densidade, para que então ser encaminhado para o tratamento primário, onde ocorre o

processo de clarificação físico-química (coagulação, floculação, sedimentação ou flotação) além de equalização da vazão dos efluentes, redução da matéria orgânica, corantes e substâncias tóxicas. O próximo tratamento é o secundário, no qual há remoção da matéria orgânica dissolvida ou coloidal, remoção de nutrientes, redução de toxicidade, através da biodegradação de compostos orgânicos e oxidação de compostos inorgânicos tóxicos, por ação de microrganismos, especialmente bactérias que podem ser anaeróbias, aeróbias ou facultativas. O tratamento terciário é designado para remover sólidos em suspensão e matéria orgânica ou inorgânica dissolvida recalcitrantes, além de redução de cor, turbidez, toxicidade e desinfecção do efluente tratado, sendo uma etapa de polimento (ZAKRZEWSKI, 1997; GIORDANO; SURERUS, 2015).

A utilização de sistemas combinados, constituídos de um reator anaeróbio do tipo UASB seguido de um sistema aeróbio do tipo lodos ativados, é apontada como uma boa solução para resolver problemas de tratamento biológico, pois associando as vantagens dos dois sistemas, possibilita a obtenção de um efluente com reduzida concentração de matéria orgânica, sólidos suspensos e nutrientes. Essa combinação traz vantagens importantes, já que possibilita o polimento do efluente do reator UASB no aeróbio que o segue. Além disso, considera-se a redução do consumo de energia na unidade aeróbia, em razão da baixa carga orgânica do efluente digerido e a possibilidade de se usar o biogás (especificamente o metano-CH₄) para gerar energia capaz de movimentar parte dos equipamentos do sistema (PAIVA, 2009).

1.7 Processo de Lodos Ativados

O Processo de Lodos Ativados foi desenvolvido na Inglaterra em 1914. Desde então, o processo é amplamente utilizado no tratamento de efluentes industriais e domésticos (CORDI et al., 2007).

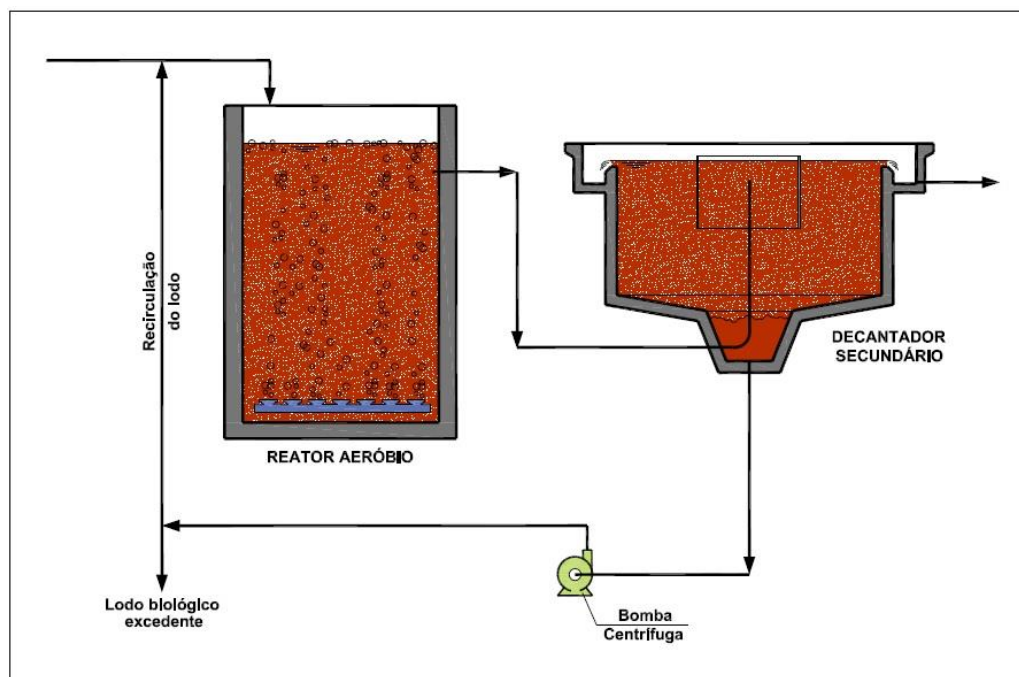
O tratamento biológico aeróbio é uma reprodução do mecanismo de biodegradação que ocorre naturalmente nos corpos receptores, a chamada autodepuração. Esse processo é realizado através da estabilização biológica (biodegradação) da matéria orgânica. Em condições aeróbias, o mecanismo envolvido na biodegradação (processada por bactérias) é a respiração celular, que promove a oxidação de compostos orgânicos com quebra de moléculas complexas, transformando-as em moléculas mais simples e estáveis, permitindo assim, tratar

um grande volume de efluentes transformando-os em CO_2 e H_2O (ou CH_4 e CO_2) (CORDI et al., 2008).

O tratamento secundário de efluentes por processos biológicos pode assumir várias formas, tais como o filtro biológico, biorreatores a membrana (MBR), lagoa aerada e lagoas de estabilização, no entanto, o processo de lodos ativados é o mais amplamente utilizado (SHIJIN REN, 2004) e provavelmente o mais versátil e eficaz método de tratamento secundário (MANAHAN, 2000).

Em geral, este tipo de sistema de tratamento é composto por um tanque, sistema de aeração, decantador e sistemas de recirculação e de descarte do lodo. Nos tanques onde ocorre a exposição da matéria orgânica para ser degradada pela biomassa, ocorre floculação ou aglutinação biológica permitindo a separação dos microrganismos que se encontram em suspensão, do meio líquido, dentro do decantador secundário, proporcionando seu retorno ao tanque de aeração e recomeçando um novo ciclo (SOARES et al., 2014). Na **Figura 1.5** podemos ver a ilustração do processo de lodos ativados convencional.

Figura 1.5 - Sistema de lodos ativados convencional



Fonte: Adaptado de Von Sperling, 2002.

Segundo Surerus; Giordano; Teixeira (2014) a eficiência nos processos de degradação da matéria orgânica é altamente influenciada por características como temperatura, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, nutrientes e micronutrientes. Além dessas características as

descargas de substâncias tóxicas devem ser consideradas para uma adequada operação de uma ETE visto que podem influenciar negativamente na comunidade microbiana, prejudicando o desempenho do tratamento.

A etapa de depuração biológica ocorre no tanque de aeração ao qual é introduzido um determinado efluente a ser tratado. O lodo biológico encontra-se misturado com o meio líquido. Este é formado por diferentes bactérias agregadas sob forma de flocos biológicos ativos, que dão origem ao nome do tratamento (CORDI et al., 2008). Mesmo que este meio seja líquido, os organismos ali presentes podem não ser os mesmos de ambientes naturais de água doce (VAZZOLÈR; GARCIA; CONCEIÇÃO NETO, (1991).

Bento et al. (2005) verificaram que as maiores remoções de DQO e DBO₅ do efluente ocorreram quando os organismos pertencentes a 3 grupos foram mais abundantes: ciliados predadores de flocos, ciliados fixos e zooflagelados. Já se sabe que os dois primeiros, respectivamente, contribuem para a redução do material particulado não integrante dos flocos.

Apesar da enorme bibliografia disponível com relação ao processo de lodos ativados, pouco é encontrado quanto ao processo básico a ser adotado para implantar, ativar e monitorar um reator de lodos ativados em escala de laboratório, e isto torna o desenvolvimento da pesquisa um processo mais lento (CORDI et al., 2008).

Experiências passadas com uma simples aeração, demonstraram que não é possível tratar efluentes por simples aeração, mas que há necessidade de provocar também a atividade dos microrganismos. Dessa constatação originou-se o processo de Lodos Ativados. Denominação esta, oriunda da Inglaterra (*activated sludge*), provém do fato de que se acreditava inicialmente que o próprio lodo contido nos esgotos se tornava ativado. Atualmente sabe-se que a atividade não provém do lodo, mas do próprio esgoto, através da formação de novos flocos. Estes flocos após a decantação, é que tomam o nome de lodo ativado (IMHOFF; IMHOFF, 1985).

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado em nível mundial para o tratamento de efluentes domésticos e industriais, em situações em que é necessária elevada qualidade do efluente e reduzidos requisitos de área. No entanto, esse tipo de tratamento inclui um alto índice de mecanização em relação a outros sistemas de tratamento, implicando em uma operação mais sofisticada e em maiores consumos de energia elétrica (VON SPERLING, 2002).

Além disso, é o processo mais utilizado para reduzir a matéria orgânica dissolvida, pois possibilita a redução dos níveis de DQO, carbono orgânico total (COT), cor, turbidez, além da toxicidade do efluente tratado (JENKINS; RICHARD; DAIGGER, 2003). Em

relação aos filtros biológicos, geralmente os lodos ativados têm maior eficiência de tratamento, são absolutamente isentos de cheiro ou de moscas e trabalham no inverno praticamente com o mesmo grau de eficiência que no verão, no qual a temperatura de eficiência máxima é de 30°C. Entre os inconvenientes deste processo podemos incluir a elevada produção de lodo, elevado teor de água do mesmo, operação menos simples e consequentemente necessidade de maiores digestores e maiores leitos de secagem do lodo (IMHOFF; IMHOFF, 1985).

Nos sistemas de lodos ativados, a toxicidade resulta na diminuição da capacidade metabólica da biomassa, sem necessariamente estar relacionada a diminuição da carga orgânica a ser tratada. O metabolismo ou utilização da matéria orgânica pelos microrganismos nos sistemas de lodos ativados podem ocorrer de duas formas: a) anabolismo, que promove a conversão do material orgânico em massa bacteriana, e b) catabolismo, que consiste no consumo de oxigênio para oxidação do material orgânico e geração de energia, necessária ao anabolismo (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999).

Gerardi (2006) explica o processo da seguinte forma: quando um substrato entra em contato com um sítio adequado de uma enzima, um complexo enzima-substrato é formado. Uma vez que esse complexo é formado, ligações químicas no substrato são enfraquecidas e o substrato pode ser degradado para moléculas simples (catabolismo) ou pode ser assimilado (anabolismo) para moléculas mais complexas. Reações catabólicas resultam em uma diminuição da produção de lodo e reações anabólicas resultam no aumento.

Desses processos resulta a geração de um efluente final de boa qualidade com baixas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, quando a estação é adequadamente projetada e operada. Entre as condições limitantes do processo de estabilização do efluente em ETE's, pode-se citar a presença do Oxigênio Dissolvido (OD) em concentrações mínimas e ideais para que os processos metabólicos (catabolismo) possa se desenvolver sem restrições. Na maioria dos sistemas de tratamento aeróbio, o OD é mantido na fase líquida mediante transferência da atmosfera por meio de aeradores mecânicos alimentados por eletricidade (COSTA et al., 2007).

Para ocorrer a degradação da matéria orgânica, duas fases ocorrem: primeiramente uma parte dos poluentes orgânicos é oxidada para obtenção de energia, sendo que ao mesmo tempo se forma nova matéria celular; na segunda fase, as bactérias se aglomeram em flocos que são facilmente sedimentáveis. A floculação biológica só é possível quando termina a fase de crescimento bacteriano e então são excretados polímeros naturais. Estes flocos têm tamanho suficiente para estabelecer pontes entre as bactérias. Na segunda fase requer a parte

principal do tempo de aeração. Por isso, uma vez posta em funcionamento, a estação de tratamento deverá ser operada sem interrupção, inclusive no período noturno (IMHOFF; IMHOFF, 1985).

A atividade biológica do lodo pode ser inibida pela falta de oxigênio dissolvido, que pode ser causada no caso de ter maior consumo de oxigênio pelas substâncias orgânicas presentes do que a quantidade que pode ser suprida pela aeração. Determinados despejos industriais também podem causar esse efeito tóxico ao lodo, como por exemplo, os que contêm sais de cobre, ácidos, fenóis, óleo mineral e outros. A constatação de problemas relacionados a sobrevivência do lodo se evidencia pela proliferação exagerada de bactérias filamentosas, acompanhada de flutuação do lodo ativado. O lodo de boa qualidade apresenta um teor de água de 98,5%. Se este teor ultrapassar os 99%, trata-se de lodo intumescido, indicativo de má qualidade. A porcentagem de água pode alcançar 99,75% (IMHOFF; IMHOFF, 1985).

1.8 Parâmetros de monitoramento de lodos ativados

Alguns parâmetros que devem ser monitorados para boa eficiência do processo de lodos ativados são: pH, temperatura, relação alimento/microrganismo (A/M), índice volumétrico de lodo (IVL), Demanda Química de Oxigênio, Oxigênio Dissolvido e o monitoramento da atividade microbiana. Em relação a cada parâmetro consideramos:

- pH- O pH do efluente utilizado na alimentação do reator aeróbio deve estar compreendido entre 6,8 e 8,2, podendo ser ajustado com soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido clorídrico (HCl), hidróxido de sódio (NaOH) ou Hidróxido de Cálcio ($Ca(OH)_2$) (GIORDANO; SURERUS, 2015).

O ideal é que a determinação do pH seja realizada no afluente, no reator aeróbio e no tanque de decantação onde há separação do lodo (CORDI et al., 2008). Alterações no pH do reator biológico podem mudar a forma química de vários tipos de resíduos e podem torná-los mais ou menos tóxicos ou até mesmo não tóxicos (GERARDI, 2006).

- Temperatura – a faixa de temperatura recomendada para operação de processos de lodos ativados situa-se entre 26 e 35°C (GIORDANO e SURERUS, 2015).

- Relação A/M - Baseia-se na relação existente entre matéria orgânica do efluente a ser tratado e a quantidade de microrganismos necessários para degradá-lo. Relaciona-se com a eficiência do sistema (CORDI et al., 2008).

A quantidade de matéria orgânica disponível para que as bactérias, que são degradadoras primárias, utilizem como alimento pode ser medida como DBO ou DQO do efluente a ser tratado. A quantidade de microrganismos presentes do lodo é expressa normalmente como sólidos suspensos voláteis. Esta relação pode ser expressa pela **Equação 1.2**.

$$A/M = \frac{DQO \left(\frac{mg}{L} \right) \cdot Q \left(\frac{L}{dia} \right)}{RNFV \left(\frac{mg}{L} \right) \cdot V (L)}$$

Onde:

(Equação 1.2)

Q = vazão do afluente utilizado na alimentação do reator (L.d⁻¹)

DQO = demanda bioquímica de oxigênio do efluente (mg.L⁻¹)

V = volume da unidade aerada do reator (L)

RNFV = Resíduo Não Filtrável Volátil (mg.L⁻¹)

A razão alimento/microrganismo (A/M) pode ser expressa em kg de DQO ou DBO₅/kgSSV fornecida por dia (CORDI et al., 2008).

Baixas razões A/M implicam numa quantidade insuficiente de alimento para manter o crescimento dos microrganismos que passam para a fase de respiração endógena, levando a um lodo de baixa qualidade. Já elevados valores de A/M levam a ocorrência de predominância de organismos filamentosos, também levando a um lodo de baixa qualidade (CORDI et al., 2008) e podendo ocasionar a saída de matéria orgânica no efluente gerado (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

É possível determinar a melhor relação A/M em função do substrato utilizado. Para isto, é necessário determinar valores A/M e relacioná-los com a eficiência na remoção de DBO ou mesmo DQO (CORDI et al., 2008).

O controle da relação SSV/SST também é importante para o controle da relação A/M. Essa relação indica a idade do lodo e sua estabilidade para o descarte (VON SPERLING, 2002).

- Índice volumétrico de lodo (IVL) - Este parâmetro é indicador das características de decantação do lodo. Está relacionado também com a relação A/M.

Define-se IVL como sendo o volume ocupado por um grama de sólidos presentes no reator após um período de sedimentação de 30 minutos (CORDI et al., 2008). É representado pela **Equação 1.3**.

(Equação 1.3)

$$IVL = \frac{V}{SS}$$

Onde:

V = volume ocupado pelo lodo após 30 minutos de sedimentação (realizado numa proveta de 1000mL)

SS = é a concentração de sólidos suspensos no reator

O IVL é expresso em mL.g⁻¹ (CORDI et al., 2008).

Segundo Soares et al. (2014) para a formação de um floco ideal, que mantenha a eficiência do sistema, o IVL deve estar compreendido entre 50 e 150 mL/g, e a partir de 200 mL/g há um começo de intumescimento.

- Demanda Química de Oxigênio (DQO) - representa tanto o material orgânico quanto o inorgânico presente no efluente, que pode ser ou não biodegradável mas que pode ser oxidado quimicamente (CORDI et al., 2008). Utiliza meio ácido e temperatura próxima de 150°C. O resultado é expresso em mg/L (GIORDANO; SURERUS, 2015).
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) - mede de forma indireta a matéria orgânica pelo consumo de oxigênio, sendo definida como a quantidade de oxigênio para que os microrganismos biodegradem a matéria orgânica presente em um litro de amostra, por um tempo definido (que normalmente é de 5 dias – DBO₅, podendo ser também de 20 dias – DBO₂₀) e em temperatura de incubação de 20°C. O resultado é expresso em mg/L (GIORDANO; SURERUS, 2015).
- Oxigênio Dissolvido (OD) - O OD no sistema de tratamento biológico aeróbio deve atender os seguintes objetivos: satisfazer as necessidades metabólicas dos microrganismos; manter aeração e agitação suficiente no reator aeróbio para que não haja sedimentação do lodo; retirar produtos voláteis do metabolismo (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Para formação de uma estrutura de floco biológico ideal, a faixa de OD do sistema deve estar compreendida entre 1 a 3 mg/L, (SOARES et al., 2014), embora concentrações de oxigênio de 0,5 mg/L sejam suficientes, é prática manter o sistema com concentração na faixa de 1,5 a 2 mg/L de O₂ (JORDÃO; PESSÔA, 2005; GIORDANO; SURERUS, 2015).

- Análise e caracterização da microbiota dos lodos ativados - A microbiota é indicadora de um conjunto de parâmetros do processo de lodos ativados, uma vez que sua natureza varia de acordo com o nível de depuração, com a concentração de oxigênio dissolvido, com a presença de substâncias tóxicas, etc. Daí a importância de se realizar a análise da microbiota do sistema (GIORDANO; SURERUS, 2015).

A utilização de microrganismos no monitoramento do tratamento biológico é prescrita legalmente para sistemas de lodos ativados que atendam mais de 10.000 habitantes, isto ocorre em alguns países como, por exemplo, na Alemanha. No entanto, no Brasil a maioria dos sistemas de tratamento de esgoto é monitorada e controlada por análises físico-químicas. A observação microscópica ainda é um instrumento raro e quando utilizada é realizada por curtos períodos de tempo e os resultados obtidos normalmente são subutilizados (BENTO et al., 2005).

A análise das características químicas e físicas de um ecossistema torna-se insuficiente quando o objetivo é o entendimento de sua complexidade, nesse caso, os aspectos biológicos devem ser considerados. Por serem componentes da microfauna e extremamente sensíveis às alterações no processo, o controle microscópico da mistura é uma ferramenta útil e rápida para conhecer o estado de um reator biológico e constitui um elemento base de operação, não só porque permite diagnosticar as patologias habituais do processo como também por permitir prever de forma antecipada o seu aparecimento (ABREU, 2004; BENTO et al., 2005).

Existem algumas técnicas para detecção, identificação e quantificação dos microrganismos em comunidades complexas. Uma dessas técnicas, considerada das mais simples e rápida, é a técnica de FISH (do inglês *Fluorescence in situ Hybridization*), tem se mostrado bastante útil, possibilitando a obtenção das características morfológicas da célula e de sinais de células com alta sensibilidade de detecção. Este método, assim como o PCR (abreviatura do inglês *Polimerase Chain Reaction*), também permite a detecção de formas não cultiváveis (MILOSKI, 2015).

Segundo Bento et al. (2005) a análise qualitativa dos aspectos gerais dos flocos e a identificação das espécies dominantes, mostram-se suficientes para uma caracterização imediata das condições de depuração do sistema de tratamento. A análise qualitativa pode ser

feita microscopicamente com auxílio de Microscópio Óptico (CORDI et al., 2008). Dessa forma, a presença de microrganismos pode ser utilizada como indicador biológico das condições e eficiência do processo, visto que a microfauna pode ser facilmente observada ao microscópio óptico (SOARES et al., 2014).

1.9 Microbiologia dos lodos ativados

1.9.1 Formação e composição do floco biológico

O floco biológico do lodo ativado é constituído por fragmentos orgânicos não digeridos, por uma fração inorgânica, por células mortas e, principalmente, por uma grande variedade de bactérias (CORDI et al., 2007). Segundo Bento et al. (2005) os flocos biológicos constituem um microssistema complexo formado por bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários, no qual as bactérias são as principais responsáveis pela depuração de matéria carbonácea e pela estruturação dos flocos. Entretanto, os componentes da microfauna (protozoários e micrometazoários) também realizam papel importante na manutenção de uma comunidade bacteriana equilibrada, na remoção de *E. coli*, na redução da DBO₅ e na floculação.

Na floculação biológica, diversas bactérias são participantes formando uma massa bacteriana de natureza coloidal do tipo hidrófobo ou liófobo. Sobre esses coloides atuam: o potencial zeta, devido a própria carga superficial eletrocinética originada pela adsorção de íons do meio pela partícula cujas cargas se repelem, e a força de Van der Waals, que age em sentido contrário à primeira, sendo responsável pela atração molecular (CAVALCANTI, 2009).

A aglutinação das partículas acontece quando há predominância das forças de Van der Waals, permanecendo o potencial Zeta muito baixo. Acontece a floculação do sistema ao se misturar coloides de cargas opostas ou por meio de adição de um eletrólito à solução. Uma terceira força se opõe ao efeito de aglutinação, a força de locomoção das bactérias, que pode ocorrer em um meio rico em nutrientes (CAVALCANTI, 2009).

Cordi et al. (2007) resumem o floco como resultado das interações físicas e químicas entre microrganismos, partículas inorgânicas, substâncias poliméricas extracelulares (EPS) e cátions.

A floculação bacteriana somente ocorre na fase de declínio do crescimento, denominada fase endógena, momento no qual há carência de alimentos e de nutrientes, passando os microrganismos a viver de suas próprias reservas nutritivas. Entretanto, para que o processo ocorra adequadamente é necessário haver um equilíbrio entre a quantidade de organismos formadores de flocos e os filamentosos (CAVALCANTI, 2009). Para haver a formação do floco, as espécies formadoras compartilham de uma característica em comum, a formação de uma camada de polissacarídeo extracelular denominada glicocálice. Este material consiste em polissacarídeo, proteína e por vezes fibrilas de celulose, que “cimentam” o conjunto de bactérias formando um floco (RICHARD, 2003).

A formação do floco ocorre quando há taxas de crescimento mais baixas, com níveis de nutrientes inferiores e em condições estacionárias de crescimento. Em casos onde há um rápido crescimento de espécies formadoras de floco, pode ocorrer crescimento disperso e não sedimentável, interferindo posteriormente no tratamento, esta condição é chamada de crescimento disperso e raramente ocorre em lodos ativados de efluentes domésticos e com mais frequência em tratamentos de efluentes industriais, geralmente devido a alta carga orgânica (elevada relação A/M) (RICHARD, 2003).

Também na fase de declínio de crescimento, os protozoários, principalmente os ciliados, proporcionam a floculação biológica, formando corpos esféricos de tamanho grande no interior de suas células, os quais são libertados após a morte destes organismos, unindo-se em massa com capacidade absorvente, formando flocos (CAVALCANTI, 2009).

Os flocos ideais são aqueles que têm uma boa sedimentação, e para que isso ocorra devem ter dimensões de média a grande, serem firmes, redondos com aspecto compacto e com uma quantidade equilibrada de organismos filamentosos. Alguns fatores como a natureza dos despejos, presença de elementos tóxicos e a má operação da planta de tratamento biológico podem afetar a qualidade dos flocos (CAVALCANTI, 2009).

Apesar dos organismos filamentosos terem grande importância na estrutura do floco, seu crescimento deve ser limitado, pois quando ocorrem em excesso, não permitem a sedimentação do lodo, resultando num fenômeno conhecido como intumescimento filamentoso ou “Bulking”. Águas residuárias contendo grande quantidade de carboidratos favorecem o crescimento excessivo de microrganismos filamentosos ocasionando o fenômeno de intumescimento do lodo (CORDI et al., 2007). O excesso de filamentos forma uma espécie

de rede que prejudica a sedimentação do lodo e a microbiota presente neste, pois os microrganismos, como rotíferos e ciliados, têm sua locomoção limitada pela rede de filamentos (CORDI et al., 2007). O contrário também é prejudicial à formação dos flocos: a predominância de organismos formadores de floco dificulta a formação de um floco rígido, tornando-o pequeno e fraco, com má sedimentabilidade, denominados “pin point flocc” (Von SPERLING, 2002). Este tipo de floco é formado apenas por bactérias formadoras de flocos sem os organismos filamentosos que propiciam a estrutura dorsal do floco e estes possuem geralmente tamanho inferior a 50µm de diâmetro. Ocorrem mais comumente em condições de baixa relação A/M e elevada idade do lodo, e condições de toxicidade crônica também pode levar a formação de “pin point flocs” (RICHARD, 2003).

Diversos parâmetros afetam a capacidade de sedimentação dos flocos do lodo, tais como, carga orgânica do efluente (a ser tratado), concentração de oxigênio dissolvido, tempo de retenção dos sólidos e presença de cátions no efluente (CORDI et al., 2007).

Um bom desempenho do sistema ocorre quando há equilíbrio entre ciliados livres natantes, predadores de flocos e rotíferos (CORDI et al., 2010). A presença de rotíferos, de ciliados livres e fixos na biomassa do lodo ativado indica boa qualidade de depuração, ou seja, eficiência no tratamento (CETESB, 2000).

O lodo é formado por si só em aproximadamente sete dias. Os flocos do lodo ativado são compostos por uma substância básica gelatinosa no interior da qual vivem bactérias e protozoários. Nessa biomassa, a relação entre carbono, nitrogênio e fósforo está próxima de 5:1:0,15. (IMHOFF; IMHOFF, 1985).

A propriedade mais importante do lodo é o seu teor de água, determinado pela perda por secagem completa em banho-maria e estufa. Caso a perda alcance, por exemplo, 90%, o teor de água será de 90% e o resíduo seco, de 10% (IMHOFF; IMHOFF, 1985).

As bactérias e os protozoários são considerados os principais microrganismos envolvidos nos processos biológicos, além de micrometazoários (anelídeos, rotíferos, nematoides e tardígrados) também possam fazer parte do processo. Em maior número são encontradas as bactérias (CORDI et al., 2007; SHIJIN REN, 2004) com aproximadamente 95% de toda a biomassa presente dentro do reator biológico, e que pertencem basicamente a dois grupos: as bactérias não filamentosas, que são formadoras de flocos biológicos e as bactérias filamentosas. Esses organismos são os principais responsáveis pela remoção da matéria orgânica carbonácea (DBO), pela coagulação dos sólidos coloidais e pela estabilização da matéria orgânica (CORDI et al., 2007; CAVALCANTI, 2009).

Em adição às bactérias heterotróficas encontradas em ETEs biológicas, as bactérias nitrificantes, que são autotróficas, estão presentes em ETEs com capacidade de nitrificação. As bactérias heterotróficas efetuam a maior parte da degradação e mineralização da matéria orgânica e inorgânica em águas residuais, e bactérias nitrificantes convertem amônia em nitrato, especificamente entre as bactérias nitrificantes, as cepas de *Nitrosomonas* convertem amônia em nitrito e cepas de *Nitrobacter* convertem nitrito em nitrato (SHIJIN REN, 2004).

Os protozoários, metazoários e invertebrados representam em torno de 5% da biomassa dos lodos biológicos (CAVALCANTI, 2009), sendo os protozoários o segundo grupo mais numeroso (CORDI et al., 2010).

Micrometazoários como anelídeos, rotíferos, nematoides e tardígrados, atuam como polidores do efluente, consumindo bactérias dispersas que não floculam e flocos biológicos de partículas que não sedimentam, sendo sua presença um indicativo das condições de depuração do sistema (CETESB, 2000).

Este processo se baseia no desenvolvimento de agregados bacterianos apropriados e outros organismos associados em um processo de aeração. Esses organismos são facilmente separados da fase aquosa durante a sedimentação (PAPADIMITRIOU et al., 2007). A atividade biológica dos lodos ativados é crucial para o sucesso do tratamento de efluentes, (CORDI et al., 2008). Excesso de carga orgânica e mudanças na qualidade do efluente que chega aos tanques de aeração, podem provocar alterações abruptas na microbiota que se encontra já adaptada (CORDI et al., 2007; SOARES et al., 2014).

1.9.2 Bactérias

São organismos procariontes unicelulares. Podem ser agrupadas em três formas básicas: Bacillus (haste), Coccus (esfera) e spirillum (espiral) (GERARDI, 2006). Costumam se reproduzir por fissão binária, embora haja espécies que se reproduzem sexualmente. Suas dimensões variam de acordo com suas formas, podendo variar de 0,5 a 15µm (CAVALCANTI, 2009) e segundo Gerardi (2006) de 0,3 a 3 µm. O pH ótimo de crescimento de bactérias varia entre uma faixa que vai de 6,5 e 7,5. Elas não toleram pH acima de 9,5 ou abaixo de 4,0 (CAVALCANTI, 2009).

Podem ser classificadas em dois grupos: as formadoras de flocos e as bactérias filamentosas. Os principais gêneros de bactérias encontradas no processo de lodos ativados são *Pseudomonas*, *Archromobacter*, *Flavobacterium*, *Citromonas*, *Bdellovibrio*,

Mycobacterium. As formas filamentosas são *Zooglea ramígera*, *Sphaerotilus natans*, *Nocardia* sp., *Beggiatoa*, *Microthrix parvicella*, *Thiothrix* e *Lecicothrix*. Outras bactérias que são boas removedoras de DBO são *Bacillus cereus*, *Escherichia* sp., *Paracolobactrum aerogenoides*, além das responsáveis pela nitrificação *Nitrossomonas* e *Nitrobacter* (CAVALCANTI, 2009; CORDI et al., 2007; METCALF; EDDY, 1991).

As bactérias são os organismos mais versáteis no que diz respeito as suas necessidades nutricionais. Enquanto algumas se nutrem de fontes simples outras dependem de compostos orgânicos ou inorgânicos complexos (GERARDI, 2006). Alguns gêneros de bactérias são responsáveis pela degradação de contaminantes perigosos, destacando-se principalmente, *Pseudomonas*, *Nocardia*, *Mycobacterium* e *Arthrobacter*. Todos os gêneros de bactérias possuem estruturalmente membrana e parede celular, que são suas principais estruturas. A membrana semipermeável regula a entrada de nutrientes e água e a parede celular é a estrutura complexa e tridimensional que estabelece o formato da bactéria (CAVALCANTI, 2009).

São compostas aproximadamente de 80% de água e 20% de matéria seca. Do material seco, cerca de 90% é orgânico e 10% inorgânico. Embora a composição inorgânica de células bacterianas seja relativamente pequena, a falta de qualquer elemento inorgânico pode limitar o crescimento de bactérias e influenciar na eficiência estação de tratamento de efluentes (GERARDI, 2006).

Elas são as principais responsáveis pela degradação de DBOc, degradação da DBO_n, e remoção da maioria dos sólidos finos, coloides, crescimentos dispersos e material particulado, e são também responsáveis pela degradação ou remoção de resíduos tóxicos (GERARDI, 2006).

Segundo Soares et al. (2014) bactérias filamentosas, aquelas que dão características de lodo intumescido, se desenvolvem melhor em níveis baixos de oxigênio dissolvido, entre 0,1 e 0,5 mg/L.

É importante que a população bacteriana presente no sistema de lodos ativados permaneça em sua maioria na fase endógena, pois é nesta fase que ocorre a diminuição da biomassa devido à autooxidação (metabolismo endógeno) além de ocorrer a floculação bacteriana, característica fundamental do processo, pois permite a separação da biomassa (que retorna ao sistema) do efluente tratado (CORDI et al., 2008).

As bactérias são capazes de secretar um material extracelular gelatinoso que circunda a membrana externa chamado glicocálix. O glicocálix é formado por polissacarídeos no caso das Gram Negativas e por peptidoglicano no caso das Gram Positivas (ABREU, 2004). Este polímero orgânico aumenta a viscosidade da água, ajudando as bactérias dispersas a formarem

o microambiente necessário à atividade das enzimas extracelulares, facilitando, por outro lado a união de células simples para formar agregados maiores até constituir flocos (ABREU, 2004).

Bactérias podem ser classificadas segundo:

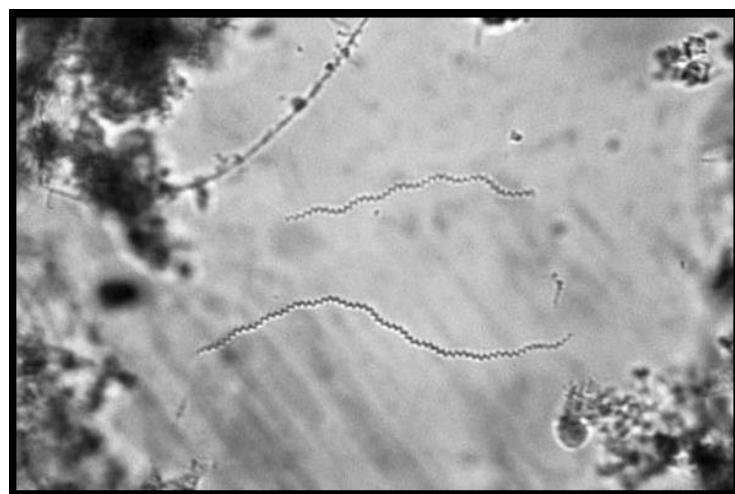
- metabolismo como: heterotróficas (as mais importantes relacionadas ao tratamento biológico) ou autotróficas.
- mobilidade e estrutura da parede celular se classificam em 3 subgrupos: eubactéria (grupo mais numeroso, diversificado e mais importante na degradação de compostos orgânicos perigosos), mycobactéria e espiroquetas (**Figura 1.6**) (CAVALCANTI, 2009).
- tipo de respiração: aeróbias, anaeróbias e facultativas (GIORDANO, 2014).

Existem dois grupos importantes de bactérias no que diz respeito à degradação da matéria orgânica, que são os organotróficos e os quimiolitotróficos. Os organotróficos degradam compostos orgânicos e DBO carbonácea em processos de lodos ativados e digestores anaeróbios. Os quimiolitotróficos ou bactérias nitrificantes oxidam amônio (NH_4) e nitrito (NO_2^-) em processos de lodos ativados para a obtenção de energia para as atividades celulares, incluindo o crescimento e reparação celular, sendo organotróficas mais tolerantes a resíduos tóxicos do que as quimiolitotróficas (GERARDI, 2006).

As bactérias nitrificantes são consideradas um dos grupos mais sensíveis de microrganismos presentes em lodos ativados e outros ambientes, sendo afetadas por uma ampla variedade de compostos tóxicos (HOFFMANN; CHRISTOFI, 2001).

Esse grupo de microrganismos está representado pela **Figura 1.6**.

Figura 1.6– Bactérias do Filo Espiroquetas



Fonte: Adaptado de Gerardi, 2006.

O efeito de intoxicantes sobre as células bacterianas resulta em danos às estruturas ou às atividades essenciais bacterianas (**Tabela 1.4**). Os primeiros impactos ao sistema biológico de tratamento que ocorrem logo após exposição a toxicidade ocorrem a nível celular, danos aos componentes estruturais de paredes celulares, membranas celulares, material genético e síntese de macromoléculas (carboidratos, lipídios e proteínas) (GERARDI, 2006).

Tabela 1.4 - Danos causados por toxicidade à estrutura e às atividades bacterianas

Dano	Descrição do dano
Estrutura	Danos ao material genético
	Danos aos componentes estruturais da membrana celular
	Danos aos componentes estruturais da parede celular
	Danos à estrutura das fibrilas celulares
Atividade	Inibição da atividade enzimática
	Interferência na síntese de carboidratos
	Interferência na síntese de lipídeos
	Interferência na síntese de proteínas
	Interferência na regulação dos materiais genéticos

Fonte: Adaptado de Gerardi, 2006.

1.9.3 Fungos

Fungos geralmente são organismos saprófitas, que se alimentam a partir da degradação de matéria orgânica morta. Em sua maioria são de vida livre e incluem leveduras, bolores e cogumelos (GERARDI, 2006).

São aeróbios e costumam ser classificados segundo sua forma de reprodução que pode ser sexuadamente ou assexuadamente por fissão ou por formação de esporos. A faixa de pH que os fungos toleram é extensa, variando de 2 a 9, no entanto crescimento ótimo é entre 5 e 6

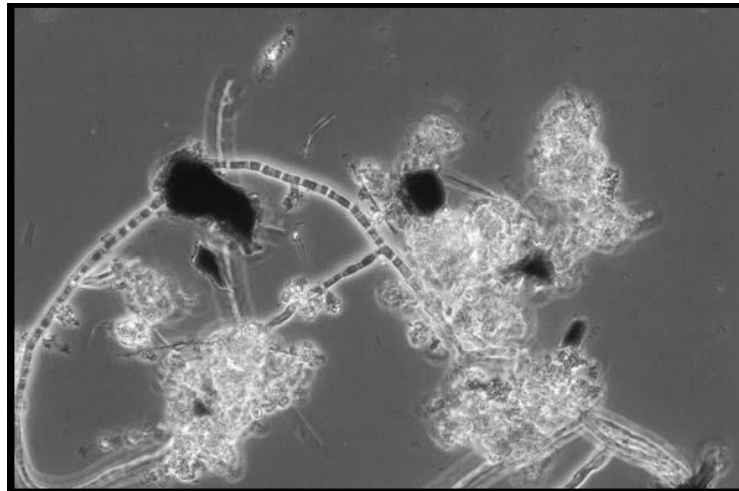
e por isso são adequados à depuração de efluentes industriais, uma vez que, se desenvolvem em pH baixo, e toleram ambientes com baixos níveis de nitrogênio (CAVALCANTI, 2009).

Em processo de lodos ativados fungos filamentosos podem se proliferar e contribuir para problemas de sedimentação. A proliferação excessiva está relacionada com o pH baixo (<6.5) e baixos níveis de nutrientes. Embora os filamentosos tenham essa desvantagem, a presença de uma população diversa de fungos traz benefícios (GERARDI, 2006).

Os fungos são encontrados em lodos ativados e frequentemente estão na forma de *Deuteromicetos* (fungo imperfeitos) (CAVALCANTI, 2009).

Para representar esse grupo de microrganismos, a **Figura 1.7** exemplifica os fungos filamentosos.

Figura 1.7 – Fungos filamentosos



Fonte: Adaptado de Gerardi, 2006.

1.9.4 Protozoários

São organismos eucariotos fixos ou de vida livre, que podem formar colônias (GIORDANO e SURERUS, 2015), sendo em sua maioria aeróbios e heterotróficos, existindo, porém, alguns anaeróbios. Suas dimensões são maiores que as das bactérias e se alimentam delas como forma de obtenção de energia (CAVALCANTI, 2009).

Sua presença é um indício de purificação avançada de efluentes nos processos biológicos (CAVALCANTI, 2009). São classificados em três classes: *Mastigophora* (protozoários flagelados), *Ciliophora* (protozoários ciliados, podendo ser divididos em

ciliados livre natantes, ciliados fixos e ciliados predadores de flocos), e *Sarcodina* (inclui o grupo das amebas nuas e Tecamebas) (GIORDANO; SURERUS, 2015; GERARDI, 2006).

Os protozoários melhoram a qualidade do efluente através da predação de alguns microrganismos no meio, como bactérias livres ou aderidas ao floco biológico (GIORDANO; SURERUS, 2015). Na ausência desses organismos, o efluente final é caracterizado por uma carência bioquímica de oxigênio e maior turbidez devido à presença de muitas bactérias dispersas (ABREU, 2004).

A avaliação das populações de protozoários compreende uma ferramenta importante para a avaliação da eficiência do processo de lodos ativados. Os protozoários ciliados desempenham um papel significativo uma vez que se alimentam de bactérias dispersas no meio, que não seriam removidas por sedimentação, removendo grande parte da turbidez do efluente final, dando apoio a uma teia alimentar saudável um ecossistema artificial de lodos ativados. Os protozoários flagelados consomem matéria orgânica solúvel por difusão ou transporte ativo (PAPADIMITRIOU et al., 2007).

Os protozoários podem ser usados para avaliação de problemas de operação no tratamento de águas residuais (PAPADIMITRIOU et al., 2007), já que são organismos muito sensíveis a mudanças nas características do afluente e na operação do sistema de lodos ativados. Funcionam como bioindicadores (CAVALCANTI, 2009), já que podem ser observados e contados facilmente durante exames de microscopia, a quantidade de exemplares presentes, a atividade, a estrutura e mudanças em grupos dominantes e recessivos são frequentemente utilizados como bioindicadores da presença de condições operacionais adversas, incluindo a presença de substâncias tóxicas (GERARDI, 2006). São susceptíveis às múltiplas influências, como a natureza do despejo, o pH, a concentração de oxigênio dissolvido, a temperatura, a demanda química de oxigênio, etc. Além disso, podem ser identificados com bastante facilidade, ao contrário das bactérias, cuja identificação é lenta e bastante trabalhosa (CORDI et al., 2007).

Geralmente amebas e flagelados dominam o lodo em condições adversas, em particular baixa concentração de oxigênio dissolvido e toxicidade; enquanto protozoários ciliados, especialmente rastejantes e predadores, dominam em condições favoráveis, incluindo condições de concentração de oxigênio dissolvido alta, baixa poluição e ausência de toxicidade (GERARDI, 2006).

Com a melhoria da qualidade das condições operacionais em processos de lodos ativados, a progressão nos grupos de protozoários ocorre a partir das amebas, seguidos dos flagelados, ciliados natantes livres, ciliados rastejantes e ciliados predadores. Quando as

condições operacionais do processo de lodos ativados são afetadas, os primeiros a serem afetados são os ciliados predadores, seguidos dos ciliados rastejantes, ciliados natantes livres, flagelados e amebas, Demonstrando dessa forma a escala de sensibilidade destes organismos (GERARDI, 2006).

A presença de toxicidade no processo de lodos ativados pode ser associada com as seguintes características microscópicas:

- Redução ou perda da atividade;
- Redução no número de exemplares;
- Regressão em grupos de protozoários dominantes;
- Liberação de gases ou produção de espuma por protozoários ciliados predadores (GERARDI, 2006).

Estudos revelam que o grupo dominante de protozoários encontrados nas estações de tratamento de águas residuais pertence à família dos ciliados, enquanto que a atividade predatória dos protozoários sob as bactérias dispersas contribuem para a redução dos coliformes (PAPADIMITRIOU et al., 2007).

Ciliados livres e fixos são indicativos de eficiência do processo de lodos ativados tais como: *Aspidisca* sp., *Tracheophyllum* sp. (Classe dos ciliados livres), *Vorticella* sp., *Opercularia* sp. (Classe dos ciliados fixos) (CORDI et al., 2010).

1.9.5 Micrometazoários

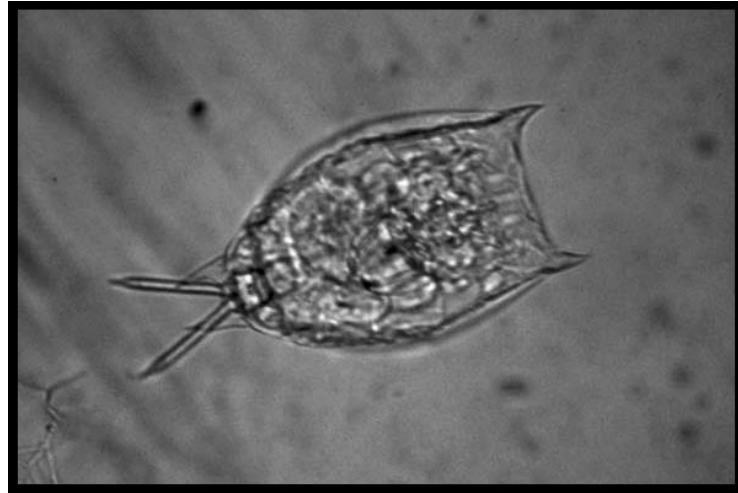
São animais multicelulares que podem ser microscópicos ou macroscópicos em tamanho. São comumente observados em processos de lodos ativados e incluem nematoides de vida livre, platelmintos, rotíferos, Tardígrados, Aelosoma, e até algumas espécies de crustáceos. Os metazoários mais comumente observados são nematoides e rotíferos de vida livre (GERARDI, 2006).

Possuem lenta taxa de crescimento, sendo a maioria composta por predadores de bactérias e protozoários (GERARDI, 2006).

Os rotíferos (**Figura 1.8**) pertencem ao Filo Rotífera, são organismos aeróbios, heterotróficos e multicelulares. Eficientes no consumo de bactérias e de pequenas partículas de matéria orgânica, atuando como clarificadores do efluente e indicadores de eficiência no processo de depuração biológica (CAVALCANTI, 2009).

Os Nematoides são indicativos de pobre sedimentabilidade do lodo (CORDI et al., 2010).

Figura 1.8 - Rotífero



Fonte: Adaptado de Gerardi, 2006.

1.9.6 Eficiência do tratamento biológico pelos os microrganismos

A eficiência do tratamento por lodos ativados depende diretamente das bactérias e protozoários, mas também da riqueza e da densidade dos mesmos, que varia de acordo com o ambiente em que vivem, e isto depende de parâmetros como os físico-químicos, níveis de toxicidade do efluente e das condições operacionais do sistema (CORDI, 2008; JENKINS; RICHARD; DAIGGER, 2003; VAN HAANDEL; MARAIS, 1999). Bento et al. (2005) acrescentam que a eficiência também depende, dentre outros fatores, da capacidade de floculação da biomassa e da composição dos flocos formados.

Na **Tabela 1.5** são mostrados alguns microrganismos relacionados com as condições de depuração.

Tabela 1.5– Microrganismos e características do lodo

Microrganismos Predominantes	Características do lodo ativado
Predominância de flagelados e Rizópodes	Início de operação Baixa idade do lodo Deficiência na aeração, má depuração e sobrecarga orgânica
Predominância de flagelados	
Predominância de ciliados pedunculados e livres	Boas condições de depuração
Predominância de <i>Arcella</i> (rizópodes com teca)	Boa depuração
Predominância de <i>Aspidisca costata</i>	Nitrificação
Predominância de <i>Trachelophyllum</i> sp.(ciliado livre)	Alta Idade do lodo
Predominância de <i>Vorticella microstoma</i>	Efluente de má qualidade
Predominância de Anelídeos do gênero <i>Aelosoma</i>	Excesso de oxigênio dissolvido
Predominância de Filamentosos	Intumescimento do lodo ou “Bulking” filamentoso

Fonte: Adaptado de Cavalcanti, 2009.

1.10 Toxicidade aos lodos ativados

Toxicidade refere-se à capacidade de uma determinada substância, produto ou conjunto de substâncias de provocar efeitos danosos aos organismos com os quais entra em contato, incluindo a biomassa de uma unidade de tratamento. Estes efeitos podem se estender desde alterações comportamentais, alteração de crescimento ou reprodução até a morte dos organismos (ARENZON; PEREIRA NETO; GERBER, 2011; GERARDI, 2006).

Um resíduo tóxico ou substância tóxica é um composto que está contido nas águas residuais ou no lodo que tem um efeito deletério sobre organismos vivos. Os resíduos tóxicos são conhecidos por causar toxicidade ou inibição da remoção de DBO carbonácea e da

remoção de DBO nitrogenada em processos de lodos ativados, e inibição da remoção de DBO em digestores anaeróbios e na produção de metano (GERARDI, 2006).

Os efeitos biológicos e/ou químicos de descargas nos processos de lodos ativados têm sido avaliados a partir de dados da literatura para produtos químicos individuais, mas na verdade os efluentes são complexas misturas de produtos químicos com efeitos interativos. O monitoramento da toxicidade de efluentes complexos que entram nos sistemas de tratamento poderia fornecer um sistema de alerta precoce para detectar efluentes suscetíveis a redução do desempenho do processo de tratamento biológico (DALZELL et al., 2002).

A relação carga de intoxicante pela biomassa é um dos fatores operacionais mais importantes quando se fala de toxicidade ao sistema de tratamento biológico. Quanto mais baixa for essa proporção, melhor é a capacidade do processo de tolerar ou tratar um evento tóxico e maior será a quantidade de microrganismos sobreviventes a esse evento (GERARDI, 2006).

Hoffmann; Christofi (2001) também relataram que afluentes tóxicos para a comunidade microbiana podem reduzir a eficácia do tratamento podendo levar inclusive à paralisação total do sistema de tratamento tendo como consequência descargas tóxicas nos corpos receptores, gerando custos elevados para a correção do problema.

Um ensaio de toxicidade deve prever o impacto de uma dada substância tóxica na biocenose do processo de tratamento por lodos ativados. Logo, sua função é proteger o sistema biológico das estações de tratamento de danos causados pelas cargas tóxicas vindas nos efluentes que entram para serem tratados nas estações de tratamento (HOFFMANN; CHRISTOFI, 2001).

A extensão da resposta dos microrganismos presentes no lodo ativado aos compostos tóxicos vai depender da qualidade da população microbiana presente em cada estação de tratamento, sendo uns mais sensíveis que outros para determinado intoxicante (HOFFMANN; CHRISTOFI, 2001).

Richard (2003) cita em seu trabalho que é possível diagnosticar a toxicidade a lodos ativados microscopicamente seguindo a sequência:

1. um “boom” inicial de organismos flagelados;
2. seguido de morte total de protozoários e outras formas de vida mais elevadas;
3. desfloclulação da biomassa, frequentemente acompanhada por formação de espuma;
4. diminuição da redução da DBO;
5. bulking filamentoso após a recuperação do processo.

As principais substâncias recalcitrantes a uma depuração biológica são: os pesticidas (acaricidas, algicidas, bactericidas, desinfetantes, fungicidas, herbicidas, inseticidas e raticidas), PCBs (bifenilas policloradas), dioxinas e furanos, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (PAHs) e estrógenos ambientais, que interferem no sistema do organismo e interagem na transmissão de mensagens químicas (hormônios) (CAVALCANTI, 2009).

1.10.1 Impactos dos resíduos tóxicos ao tratamento

Os impactos dos resíduos tóxicos são muitas vezes complexos e podem afetar os limites legais de lançamento dos efluentes tratados. Podemos citar alguns problemas nas condições operacionais induzidos por toxicidade: diminuição da remoção de DBO ou da eficiência do tratamento; a produção e acúmulo de espuma; custos operacionais aumentados; inibição da floculação microbiana; inibição do processo de nitrificação; inibição de atividades enzimáticas; perda de sólidos finos no efluente do sistema de tratamento biológico; repasse de resíduos tóxicos para os corpos receptores; não atendimento aos padrões de lançamento dos efluentes tratados; produção e acúmulo de nitrito (NO_2^-) (GERARDI, 2006).

A presença de substâncias tóxicas no afluente pode induzir mudanças de toda a cadeia alimentar do ecossistema de lodos ativados, afetando assim a sua atividade e o desempenho biológico da estação de tratamento de águas residuais (PAPADIMITRIOU et al., 2007).

1.10.2 Indicadores de toxicidade na biomassa

Existem diversos indicadores biológicos, físicos e químicos, de uma biomassa instável por ação da toxicidade em processos de lodos ativados (GERARDI, 2006):

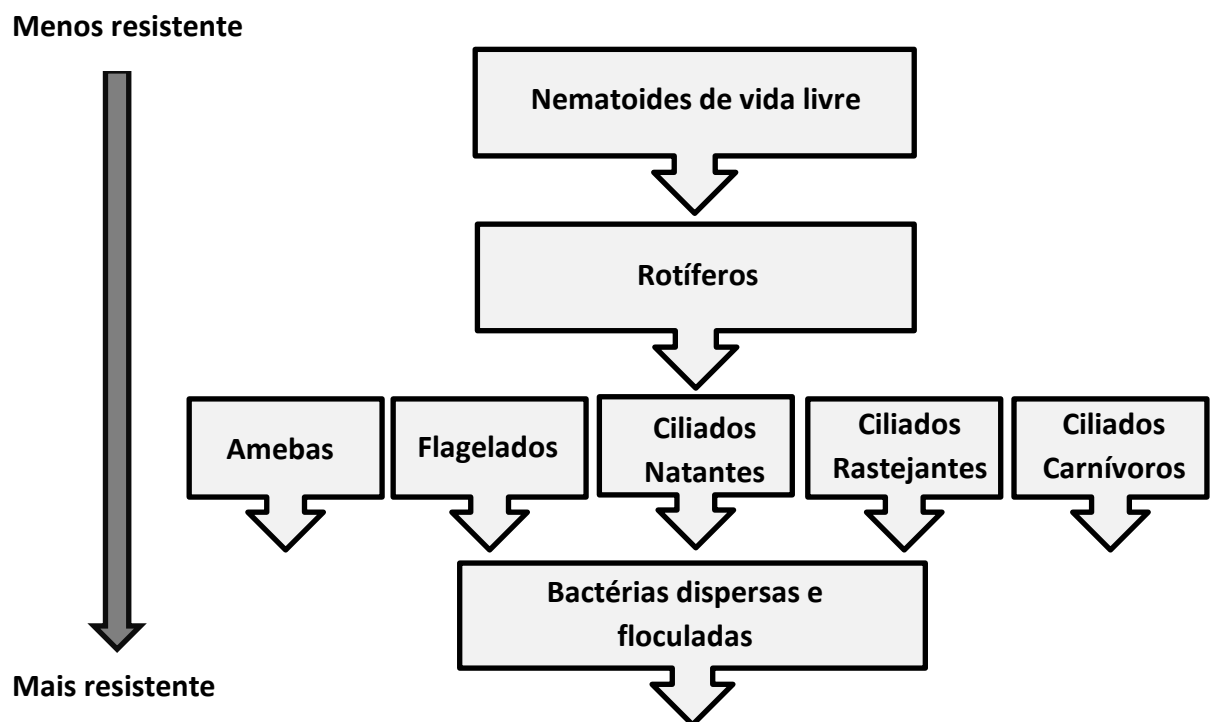
- Aumento do valor da relação DQO/DBO;
- Aumento na concentração de amônia no efluente;
- Aumento da condutividade;
- Redução na concentração de nitrato;

- Aumento da concentração de ortofosfato no efluente;
- Redução de alguns grupos de protozoários dominantes;
- Redução na atividade de protozoários/metazoários;
- Redução na quantidade de protozoários/metazoários;
- Redução na Taxa Específica de Consumo de Oxigênio (TCOe).

Embora as unidades de tratamento biológico sejam suscetíveis a resíduos tóxicos, os sistemas costumam ser resistentes por terem uma grande diversidade de bactérias que podem permitir a tolerância do sistema ou mesmo degradar certos resíduos tóxicos.

Geralmente os resíduos tóxicos não são específicos, ou seja, não comprometem apenas um grupo de organismos. Com algumas exceções, resíduos tóxicos podem afetar todos os organismos do lodo. No entanto, alguns grupos de organismos podem ser mais suscetíveis a resíduos tóxicos que outros grupos (**Figura 1.9**) (GERARDI, 2006).

Figura 1.9 – Efeito da toxicidade em microrganismos de lodos ativados



Fonte: Adaptado de Gerardi, 2006.

Em geral, a presença de substâncias tóxicas nos efluentes promove o desaparecimento (ou redução) de algumas espécies de microrganismos, primeiramente de organismos de níveis tróficos superiores, tais como invertebrados e rotíferos, seguido pela

população de protozoários e por último as bactérias (SANT'ANNA, 2010). Com poucas exceções, a toxicidade em unidades de tratamento biológico como processos de lodos ativados atingem todos os organismos (GERARDI, 2006).

Existem dois termos que são utilizados para expressar a toxicidade no processo de tratamento biológico: toxicidade aguda e toxicidade crônica. A toxicidade aguda é a toxicidade que é grave o suficiente para danificar a biomassa dentro de um período relativamente curto de tempo, isto é, menor que 48 horas. Toxicidade crônica é toxicidade que danifica uma biomassa por um período relativamente longo de tempo (GERARDI, 2006).

1.10.3 Toxicidade por óleos e graxas no efluente

Os elevados teores de óleos e graxas nos efluentes a serem tratados em sistemas biológicos atuam como intoxicantes por apresentarem baixa biodegradabilidade e por poderem se acumular no interior dos flocos, fazendo com que estes sejam arrastados no processo de tratamento (CAMMAROTA; FREIRE, 2006). Problemas causados por presença de O&G incluem:

- interferência na transferência de oxigênio pela formação de um revestimento lipídico em torno do floco;
- prejuízos nas trocas gasosas que ocorrem dentro do tanque de aeração;
- podem ser um obstáculo para a sedimentação devido o desenvolvimento de microrganismos filamentosos que impedem a floculação e sedimentação, com consequente perda de biomassa;
- desenvolvimento de lodos com atividade pobre;
- desenvolvimento de lodo com problemas de flotação;
- entupimentos e odores desagradáveis e consequente redução da eficiência do sistema de tratamento (CAMMAROTA; FREIRE, 2006).

1.10.4 Alterações nas concentrações de nutrientes, sólidos suspensos e na condutividade devido à toxicidade

Toxicidade no processo de lodos ativados é uma das várias razões para apresentar uma biomassa instável, que é responsável pelo aumento das quantidades de amônia (NH_4^+) e ortofosfato ($\text{H}_2\text{PO}_4^- / \text{HPO}_4^{2-}$) no efluente de um tanque de aeração (GERARDI, 2006).

As bactérias degradam a matéria orgânica a fim de obter energia para a atividade celular e para seu crescimento. Para manter essas funções adequadamente, nitrogênio e fósforo na forma ionizada e amônia e ortofosfato, são removidos do efluente contido no tanque de aeração durante a degradação da matéria orgânica. No entanto, durante um evento tóxico no tanque de aeração há uma diminuição da atividade celular que ocorre como resultado do dano ao sistema enzimático bacteriano, e essa diminuição na atividade enzimática resulta na diminuição da degradação da matéria orgânica e diminuição na atividade celular e crescimento bacteriano, e com isso há uma diminuição na quantidade de nutrientes removidos do tanque de aeração. Portanto, com o aumento de nutrientes no tanque de aeração, a amônia e o ortofosfato que não foram usados podem ser encontrados no efluente tratado que sai do tanque de aeração (GERARDI, 2006).

Devido a toxicidade enfraquecer ou destruir estruturas bacterianas e afetar negativamente a atividade e a quantidade de protozoários ciliados e metazoários, há um aumento na quantidade de sólidos suspensos totais no efluente do tanque de aeração.

O SST é composto de materiais particulados e crescimentos dispersos, mas também está relacionado com uma grande quantidade de coloides.

Quando as bactérias são afetadas ou morrem durante uma ocorrência de toxicidade, as fibrilas são danificadas e os flocos microbianos tornam-se fracos, já que as fibrilas contribuem para a formação destes flocos mantendo as bactérias unidas, além de removerem sólidos finos presentes no efluente por meio da adsorção. Os flocos que estão enfraquecidos são facilmente quebrados devido a turbulência da aeração existente no tanque, liberando partículas finas no meio (coloides, células dispersas e material particulado) (GERARDI, 2006).

Em relação a condutividade, quando ocorre um evento tóxico em um processo biológico, o valor da condutividade pode ser alterado significativamente em relação aos seus valores normais. Esta diferença pode ocorrer por dois fatores: o primeiro, independente do tipo de resíduo tóxico presente no processo, as bactérias vão ser atingidas e vão morrer devido à toxicidade levando a lise celular, na qual o conteúdo dessas células será extravasado ao meio. Muitos dos resíduos liberados durante a lise contribuem para a mudança de condutividade. Segundo fator, se o composto tóxico é ionizado na sua estrutura ou se dissocia, esse composto tóxico também contribui para a condutividade (GERARDI, 2006). Além disso,

com a determinação da condutividade é possível obter uma estimativa da concentração de sólidos inorgânicos dissolvidos e verificar a influência do efeito osmótico sobre os processos biológicos (GIORDANO; SURERUS, 2015).

1.11 Bioensaios utilizados para avaliação de toxicidade

Os bioensaios são procedimentos usados para estimar a concentração ou atividade biológica de uma substância (vitamina, hormônio, antibiótico) pela medida do efeito destes sobre determinado(s) organismo(s) comparando com um padrão. Ensaios biológicos podem ser utilizados também para avaliar o potencial tóxico de diversos compostos tais como efluentes, desinfetantes e produtos agrícolas como pesticidas e herbicidas (BITTON; DUTKA 1989).

Um bioensaio é uma interpretação da resposta dos organismos a produtos tóxicos em seu ambiente. Muitas vezes bioensaios microbianos são utilizados para proteger uma biomassa de lodo ativado de resíduos industriais tóxicos. Podem ser utilizados para identificar a toxicidade de um afluente e determinar a capacidade do lodo ativado de tolerar ou reduzir a toxicidade (GERARDI, 2006).

Ensaios biológicos que envolvem agentes microbianos geralmente medem a bioluminescência, a taxa de respiração ou a taxa de utilização de um substrato e a redução desses parâmetros é geralmente indicativo de toxicidade (GERARDI, 2006).

Shijin Ren (2004) apontou em seu estudo que ensaios com peixes e invertebrados, comumente utilizados para avaliação de toxicologia aquática, não são adequados para monitorar a toxicologia em efluentes, principalmente devido ao longo tempo que demanda os ensaios, no entanto estes ensaios podem ser usados para avaliar os efeitos ambientais do descarte de efluentes, principalmente industriais.

Já Bitton e Dutka, (1989) classificaram os Testes de Respirometria e Ensaios de bioluminescência bacteriana como testes que apresentam rápida e relativa simplicidade de execução e sensibilidade a uma grande variedade de substâncias químicas, tornando-os bastante atrativos para o monitoramento e avaliação de toxicidade de um sistema de tratamento biológico.

1.11.1 Teste de Respirometria

Atualmente, a maioria dos sistemas de tratamento de efluentes utiliza lodos ativados, técnica que emprega microrganismos aeróbios para consumir a matéria orgânica, que é o principal agente poluidor do meio ambiente. Neste processo, os microrganismos utilizam o oxigênio dissolvido no meio, que é repostado por aeradores. A taxa de respiração ou Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) é uma das poucas variáveis acessíveis de indicação de atividade no lodo (VAN HAANDEL; MARAIS, 1998).

No processo de respiração, o oxigênio que se encontra dissolvido na água é utilizado como aceptor dos elétrons liberados na quebra da matéria orgânica, com consequente produção de água e dióxido de carbono e liberação de energia. Essa energia é armazenada pelas células sob a forma de ATP e usada posteriormente nas reações celulares (CETESB, 1985).

Fernandes et al. (2001), descrevem o teste de respiração ou respirometria, como uma técnica que avalia o desempenho dos processos biológicos a partir da taxa de consumo de oxigênio (TCO) dos organismos ao serem submetidos a compostos tóxicos, obtendo-se curvas chamadas respirogramas, que representam a variação da taxa no decorrer do tempo. O método consiste em fornecer oxigênio ao lodo ativado que estava contido no reator aeróbio, até que a concentração de oxigênio dissolvido (OD) atinja a saturação, quando então, a aeração é interrompida. Evidencia-se conseqüentemente a redução da concentração de OD em um intervalo de tempo, representando a taxa de respiração dos organismos presentes no lodo.

Beranger (2009) define a respirometria como a leitura do consumo de oxigênio dissolvido na mistura lodo/efluente, em tempo real, através de equipamento medidor de oxigênio dissolvido (OD) conhecido como Oxímetro. Segundo este autor, esta metodologia vem sendo utilizada de forma crescente, principalmente no controle operacional de Estações de Tratamento de Efluentes Industriais, tendo em vista a rapidez na obtenção de resultados, possibilitando identificar, por exemplo, possíveis cargas tóxicas nos afluentes, contribuindo para uma maior agilidade na tomada de decisões e, conseqüentemente, na manutenção da boa eficiência dos sistemas de lodos ativados.

Portanto, os testes respirométricos permitem o monitoramento a intervalos de tempo, das concentrações de oxigênio (no ar ou dissolvido na água) no interior do ambiente onde está presente a amostra; com base na variação da concentração de oxigênio, pode se calcular o valor da TCO por meio da determinação da inclinação da reta de regressão estatística entre os

dados levantados, a qual é frequentemente linear ou aproximadamente linear (ANDREOTTOLA et al., 2002). Já Beranger, (2009), Surerus; Giordano; Teixeira, (2014), fazem o cálculo segundo a **Equação 1.4**.

$$TCO = (OD_i - OD_f) / \Delta t \quad \text{(Equação 1.4)}$$

Onde:

TCO = taxa de consumo de oxigênio, (mg.L⁻¹.h⁻¹)

OD_i = concentração de oxigênio dissolvido no início do teste, (mg/L)

OD_f = concentração de oxigênio dissolvido no final do teste, (mg/L)

Δ t = tempo de duração do teste, (h)

Esses autores calculam também a Taxa Específica de Consumo de Oxigênio (TCO_e), que representa a taxa de consumo de oxigênio pela quantidade de microrganismos presentes e quantificada pelo RNFV, representada pela **Equação 1.5**.

$$TCO_e = TCO / RNFV \quad \text{(Equação 1.5)}$$

Onde:

TCO_e = Taxa de consumo de oxigênio específica, (mg.g⁻¹.h⁻¹)

TCO = Taxa de consumo de oxigênio, (mg.L⁻¹.h⁻¹)

RNFV = Resíduo Não Filtrável Volátil, (mg/L)

Segundo Van Haandel e Marais (1998), a TCO é uma variável que descreve o consumo de oxigênio pelos microrganismos por unidade volumétrica com o tempo, quantificando a atividade metabólica do lodo ativado. É possível ainda obter informações sobre a qualidade desse lodo e do afluente, bem como detectar a presença de elementos tóxicos que possam intoxicar os microrganismos e comprometer a eficiência do sistema de tratamento, tornando-se uma técnica de grande importância para o controle e monitoramento de sistemas de lodos ativados.

A concentração de oxigênio dissolvido em água num determinado reservatório (tanque, reator, etc.), depende principalmente da concentração de OD no afluente (entrada), na taxa de aeração e do consumo de oxigênio dissolvido no reator (CATUNDA, et al., 1998).

O teste de respirometria considera as variações na taxa de respiração do lodo em consequência do tipo de substrato acrescentado e da velocidade de degradação em determinado período de tempo (ANDREOTTOLA et al., 2005). Ou seja, a taxa de respiração mede a taxa de oxidação de um substrato degradável (GERARDI, 2006).

Os estudos de toxicidade e biodegradabilidade do efluente são realizados a partir da avaliação da atividade metabólica dos organismos (respirogramas) presentes no sistema, antes, durante e depois do contato com uma concentração específica do poluente intoxicante. Com a obtenção desses respirogramas torna-se possível verificar eventuais reduções da taxa máxima de oxidação da matéria orgânica e amônia após efeitos de toxicidade e calcular as constantes cinéticas do processo conforme descrito no modelo de Van Haandel e Marais (1999) e obter as condições recomendáveis de ajuste de idade do lodo do sistema.

Van Haandel e Marais (1999) dizem em seu trabalho que alta TCO pode indicar alta atividade biológica e vice-versa. Na maioria dos sistemas de lodos ativados a TCO se situa entre 30 e 100 mgO₂/L.h. Fernandes et al. (2001) ressaltam que alguns autores consideram que baixas concentrações de RNFV geram uma TCO muito baixa e um maior tempo para ocorrer a completa oxidação dos poluentes, no entanto, altas concentrações de resíduos não filtráveis voláteis podem causar efeitos inibitórios.

1.11.1.1 Aplicação da respirometria

A respirometria, enquanto instrumento baseado em respostas biológicas a determinadas condições ambientais e aos componentes dos afluentes, pode ser utilizada no projeto e controle operacional de estações de tratamento de efluentes, por meio da caracterização de afluentes, modelagem de sistemas, determinação da cinética de degradação biológica e como ensaio de toxicidade (FERREIRA, 2002).

Com base na sensibilidade dos organismos que compõem o lodo no tratamento biológico, principalmente das bactérias nitrificantes à inibição de compostos tóxicos, a respirometria tem sido empregada na detecção e avaliação do impacto da toxicidade de afluentes de origem industrial (FERNANDES et al., 2001).

Nas estações de tratamento de esgoto baseadas nos sistemas de Lodos Ativados, faz-se cada vez mais o uso de métodos respirométricos para a determinação tanto das atividades

biológicas do sistema, como das características de toxicidade e biodegradabilidade dos afluentes a serem tratados, já que o consumo de oxigênio está diretamente e associado ao crescimento da biomassa e remoção do substrato (ANDREOTTOLA et al., 2005; FERNANDES et al., 2001).

O valor da TCO do lodo varia de uma indústria para outra de acordo com a quantidade disponível de alimentos, nutrientes, micronutrientes e fatores físicos (COSTA, 2009). Este tipo de teste fornece informações sobre a atividade da biomassa, a composição do afluente, concentração de sólidos, degradação e presença de substâncias potencialmente tóxicas para o sistema, visto que com essas substâncias há redução da capacidade metabólica da biomassa (FERNANDES et al., 2001; COPP; SPANJERS 2002). Com isso, a redução do valor da TCO, quando não há redução da carga orgânica a ser tratada, pode ser indicativo de presença de substâncias tóxicas ou inibidoras no afluente (COSTA, 2009; FERNANDES et al., 2001).

1.11.2 Ensaio de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri*

Aliivibrio fischeri é uma bactéria marinha luminescente, gram-negativa, anaeróbia facultativa, anteriormente denominada *Photobacterium phosphoreum*, utilizada como microrganismo-teste no ensaio de toxicidade aguda (CETESB - Norma técnica L5.227).

As bactérias bioluminescentes são geralmente organismos marinhos que apresentam vida livre ou associada com outros organismos superiores. As principais bactérias luminescentes são *Photobacterium (Aliivibrio) fischeri*, *P. phosphoreum* e *Beneckeia harveyi*.

O ensaio de bioluminescência bacteriana utilizando *Aliivibrio fischeri* ou outros microrganismos naturalmente luminescentes tem sido utilizado há mais de 35 anos como bioensaio para avaliar efeitos tóxicos agudos de substâncias em ambientes aquáticos (HOFFMANN; CHRISTOFI, 2001).

Atualmente está sendo amplamente utilizada em testes de toxicidade. Para avaliação da toxicidade de águas residuais, o sistema de teste mais utilizado é o ensaio Microtox® (Azur Environmental, Carlsbad, 1997) (SHIJIN REN, 2004). Segundo Bitton (1994) o Microtox® tem sido largamente utilizado para a determinação da toxicidade de efluentes industriais (refinarias, papel e celulose), água de processamento de combustíveis fósseis, sedimentos, chorume de aterros sanitários e lixiviados de resíduos sólidos perigosos (BITTON, 1994). No entanto, Shijin Ren (2004) diz que em pesquisas anteriores, quando

utilizado para avaliação de toxicidade em águas residuais, esse método apresentou-se mais sensível do que a respirometria para lodos ativados, afirmando então que este não seria adequado para monitoramento de toxicidade em águas residuais.

É um teste de toxicidade aguda no qual é medida a redução da quantidade de luz naturalmente emitida pelo microrganismo em contato com a substância tóxica. O tempo envolvido na elaboração do ensaio pode ser fixado em 5, 15 ou 30 minutos. Geralmente há uma boa correlação entre a toxicidade determinada utilizando *Aliivibrio fischeri* com bioensaio que utilizam organismos superiores tais como a *Daphnia* e peixes como a Truta arco-íris (HOFFMANN; CHRISTOFI, 2001). Segundo a norma Técnica CETESB L5.227, a redução da emissão de luz entre a primeira e a segunda medição é proporcional à toxicidade da amostra testada.

Uma substância tóxica pode causar alterações nas estruturas das células em diferentes níveis: na membrana celular, na cadeia transportadora de elétrons – via sistema enzimático, nos constituintes plasmáticos, mas sempre culminam em uma diminuição da bioluminescência (ROMANELLI, 2004).

A concentração de uma substância química que provoca uma redução de 50% de luz emitida pela bactéria (CE_{50}) é calculada a partir de uma curva de concentração-resposta por análise de regressão (GARCÍA et al., 2009).

Para a utilização de *Aliivibrio fischeri* em testes de toxicidade aguda deve-se seguir o protocolo recomendado pela ABNT NBR 15411, que determina que o teste deve ser executado utilizando-se bactérias recém cultivadas, desidratadas ou liofilizadas e em duplicata.

O Microtox® baseia-se na luminescência que ocorre naturalmente na bactéria marinha *Aliivibrio fischeri*, que possui um promotor constitutivo *luxCDABE*, que codifica enzimas que catalisam as reações produtoras de luz (SHIJIN REN, 2004). Ela converte a energia química e libera em forma de luz visível (intensidade máxima a 490 nm), como consequência de uma série de reações metabólicas (GARCÍA et al., 2009). Na exposição a substâncias tóxicas, qualquer mudança no metabolismo celular ou estrutura celular, resulta em respiração celular deprimida e uma diminuição na intensidade da luz visível (GERARDI, 2006) e esta redução é proporcional à toxicidade da amostra (GARCÍA et al., 2009).

Em 1889, Beijerinck mostrou que algumas substâncias tóxicas reduzem a intensidade de luz produzida por uma suspensão de bactérias luminescentes. A partir de então, vários estudos foram realizados na tentativa de se utilizar esta característica como um indicador de toxicidade (BITTON; DUTKA, 1989). Destas tentativas, surgiu um dos testes de toxicidade

mais utilizados (KOOPMAN; BITTON, 1989): um ensaio baseado na inibição da bioluminescência de uma cultura de bactérias marinhas, denominadas *Photobacterium phosphoreum*, comercializado pelo nome de Microtox[®] (GHOSH; DOCTOR, 1992).

Vantagens e desvantagens do teste

O teste com *Aliivibrio fischeri* assim possui algumas desvantagens quando está relacionado à avaliação de lodos ativados: por ser uma bactéria marinha ela requer uma solução salina no sistema teste (NaCl 2% ou equivalente osmótico), o que não costuma estar disponível em lodos ativados (HOFFMANN; CHRISTOFI, 2001).

Segundo Koopman e Bitton (1989) a bioluminescência das bactérias diminui com o tempo, exigindo um controle preciso da duração do teste e limitando o número de amostras que podem ser processadas simultaneamente.

Outra questão que pode ser levantada é sobre este organismo não ser exatamente um constituinte representante da comunidade microbiana do lodo, logo pode ser argumentado que o uso de *A. fischeri* pode ser inadequado para testar o efeito de águas residuais anfluentes sobre microrganismos de lodos ativados. No entanto, *A. fischeri* tem um histórico comprovado como um método de sensibilidade de referência pois pode ser visto como um organismo substituto já que muitos outros microrganismos apresentam reações semelhantes quando expostos à substâncias tóxicas (HOFFMANN; CHRISTOFI, 2001).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve os procedimentos experimentais realizados durante o estudo, bem como materiais e metodologias utilizadas.

Os experimentos foram realizados em parte no laboratório da TECMA Tecnologia em Meio Ambiente LTDA, localizada no município do Rio de Janeiro, o qual é credenciado pelo INEA – Instituto Estadual do Ambiente sob o certificado CCL nº FE012847 e acreditado pelo INMETRO sob certificado CRL 0200. A outra parte dos experimentos foi realizada no LES – Laboratório de Engenharia Sanitária da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Este estudo consistiu em submeter o lodo ativado de duas Estações de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI's), e um lodo ativado aclimatado com efluente sintético, a diferentes concentrações de intoxicante, para que fosse possível observar a influência dessas concentrações sob os microrganismos presentes nos lodos com auxílio dos testes de respirometria e do ensaio de toxicidade aguda com o organismos-teste *Aliivibrio fischeri*. Os critérios de escolha das ETEI's foram a boa eficiência dos sistemas de tratamento e composição dos seus afluentes.

As Estações de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) citadas neste trabalho estão sob supervisão da empresa TECMA - Tecnologia em Meio Ambiente, responsável pela caracterização dos efluentes bem como solução de problemas relacionados às ETEI.

2.1 Caracterização da área de estudo da indústria alimentícia

O primeiro ambiente de estudo escolhido foi a Estação de Tratamento de Efluentes de uma indústria alimentícia localizada no Rio de Janeiro que produz principalmente bolos, tortas, sorvetes, chocolates e molhos, além de receber também esgoto sanitário dos funcionários. O tratamento é realizado de acordo com as seguintes etapas:

- Preliminar: inclui peneiramento, equalização e controle de vazões;
- Primário: incluindo o controle e a correção do pH, coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido;

- Secundário: composto por reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), reator aeróbio (processo de lodos ativados) do tipo aeração prolongada, seguido de um tanque de decantação;
- Após a decantação parte do lodo retorna ao sistema e parte sofre desaguamento para ser destinado ao aterro ou coprocessamento;
- Terciário: filtração com areia.

A **Figura 2.1** apresenta o acesso ao reator aeróbio da indústria alimentícia onde as coletas de lodo ativado foram realizadas.

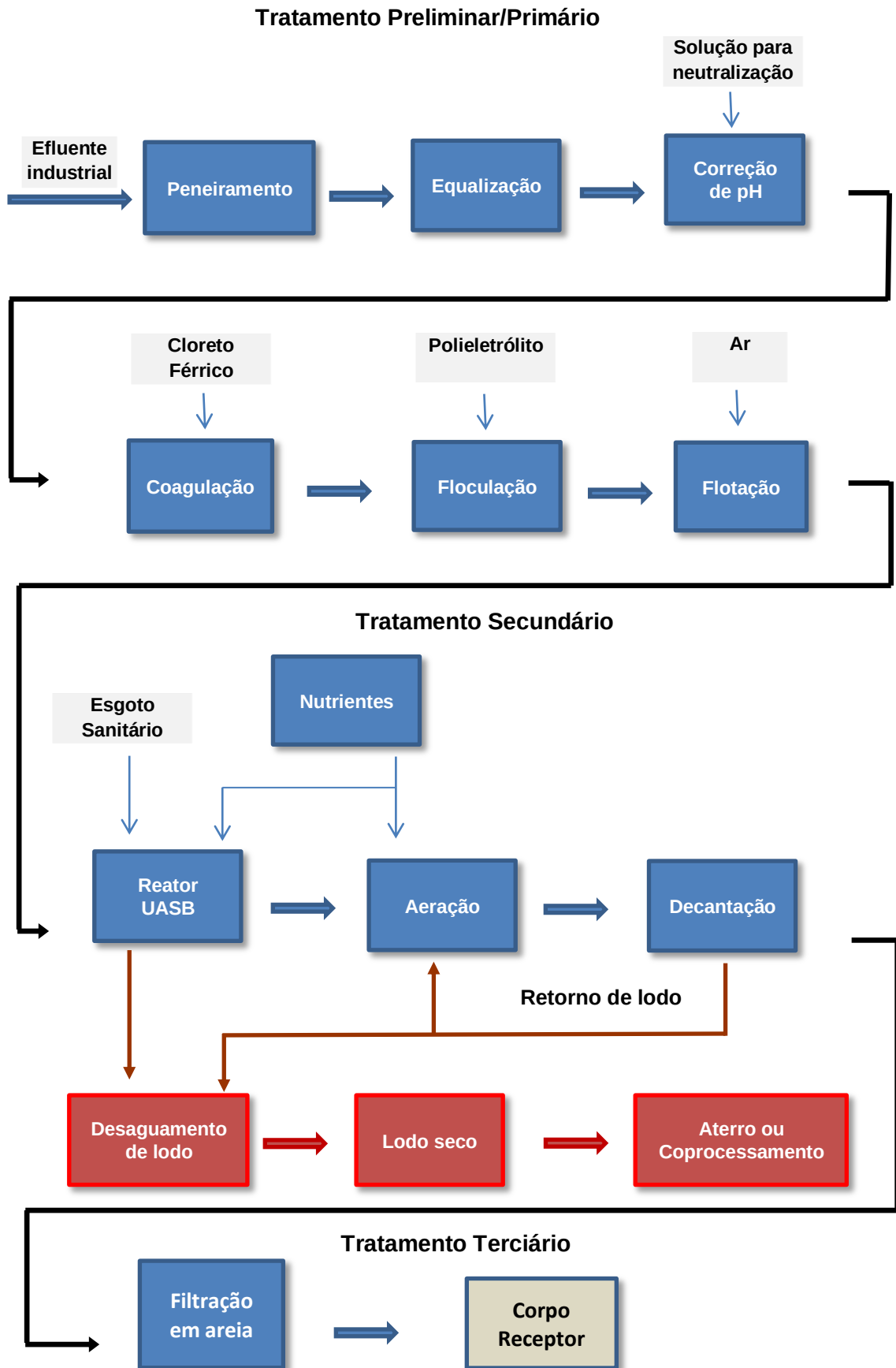
Figura 2.1 – Porta de acesso ao reator aeróbio da ETEI alimentícia



Fonte: Autora, 2016.

As etapas do sistema de tratamento da indústria alimentícia estão representadas pelo fluxograma apresentado na **Figura 2.2**.

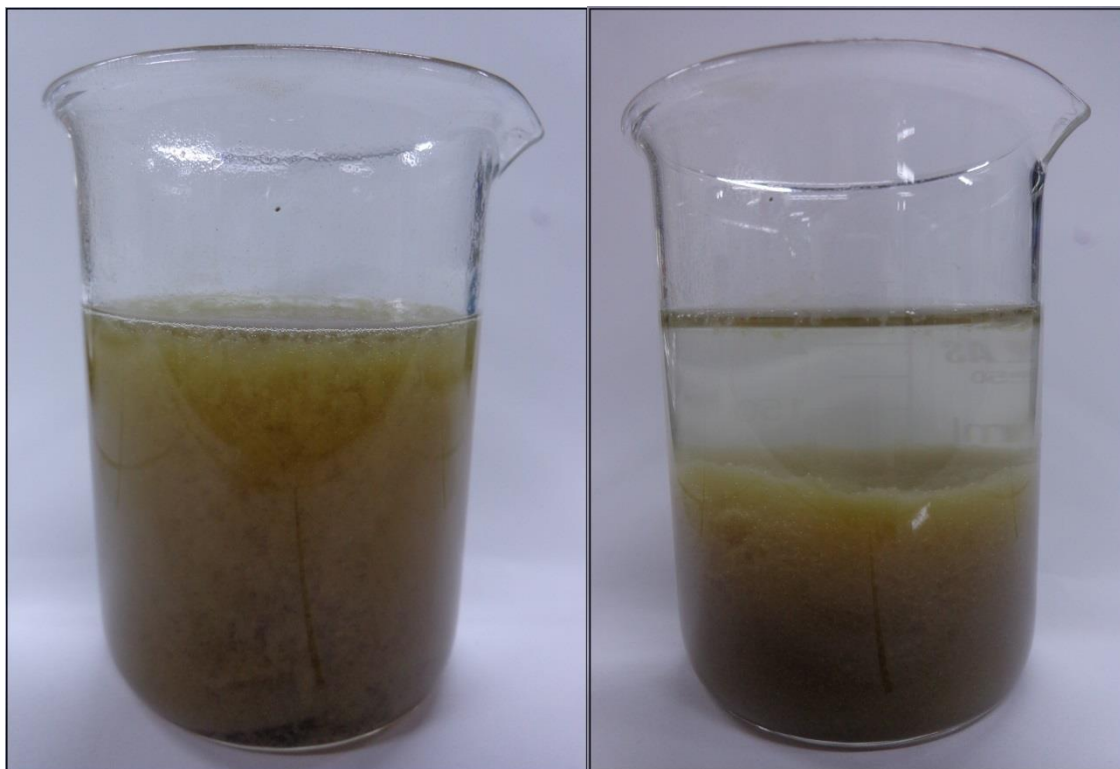
Figura 2.2- Fluxograma representando o sistema de tratamento de efluentes da indústria alimentícia



Fonte: Autora, 2016.

A **Figura 2.3** representa o lodo coletado na indústria alimentícia antes de ser submetido ao teste de respirometria. A primeira imagem representa o lodo homogeneizado e a segunda imagem representa o lodo após sedimentação.

Figura 2.3 – Foto dos bécheres com o lodo ativado da indústria alimentícia homogeneizado e após sedimentação



Fonte: Autora, 2016.

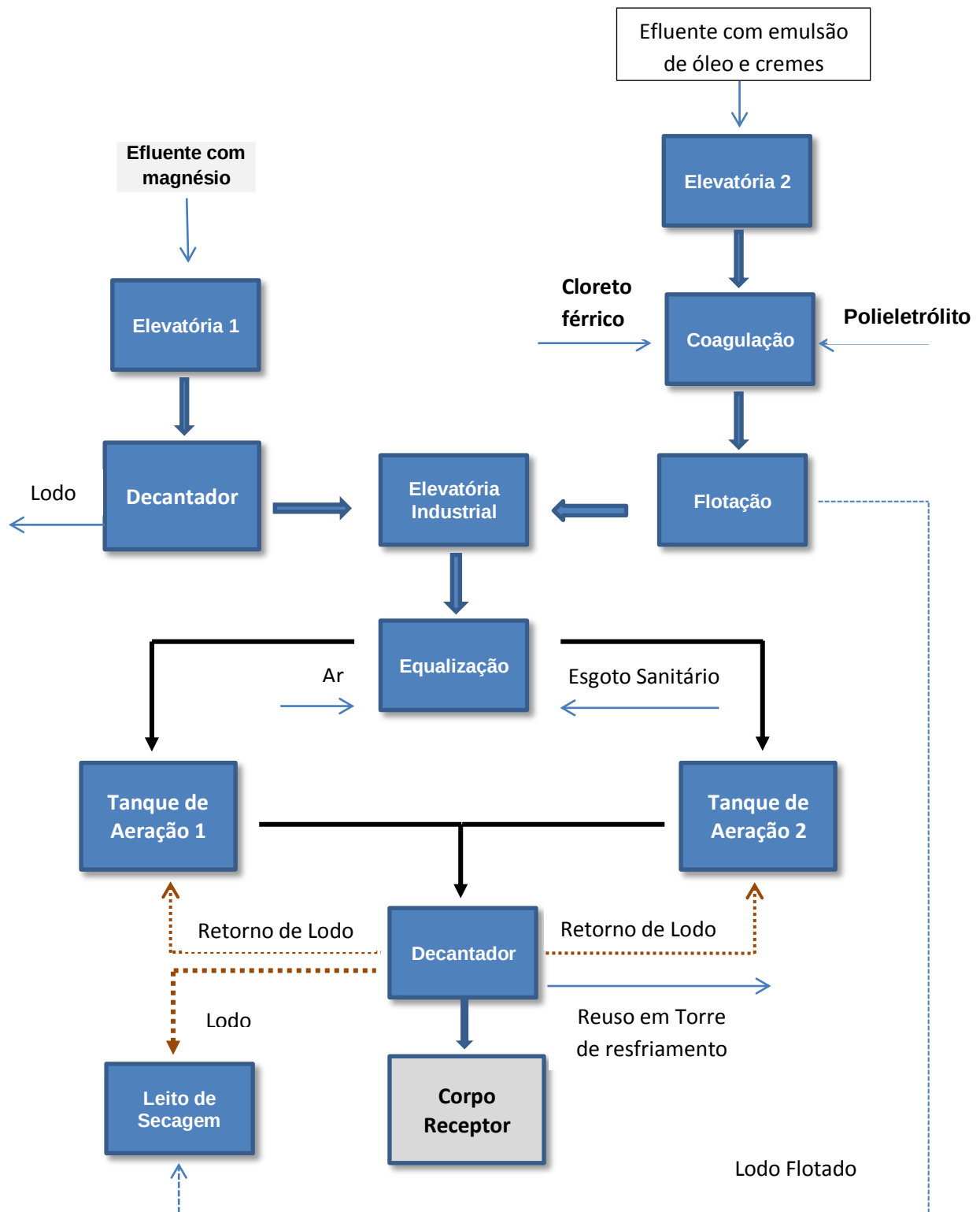
2.2 Caracterização da área de estudo da indústria farmacêutica

O segundo ambiente escolhido para realização dos testes foi a Estação de Tratamento de Efluentes de uma indústria farmacêutica localizada na cidade do Rio de Janeiro que produz principalmente antibióticos, vacinas, antirretrovirais, anticorpos e medicamentos oncológicos, além de efluentes com cargas de óleos e cremes e esgoto sanitário dos funcionários. O tratamento é realizado de acordo com as seguintes etapas:

- Preliminar: controle de vazões nas elevatórias;
- Primário: inclui tanque de decantação primário, coagulação e flotação;
- Secundário: composto por dois reatores aeróbios (lodos ativados) do tipo aeração prolongada, tanque de decantação secundário, onde parte do lodo é retornado ao sistema e parte vai para o leito de secagem.

As etapas do sistema de tratamento da indústria farmacêutica estão apresentadas no fluxograma da **Figura 2.4**.

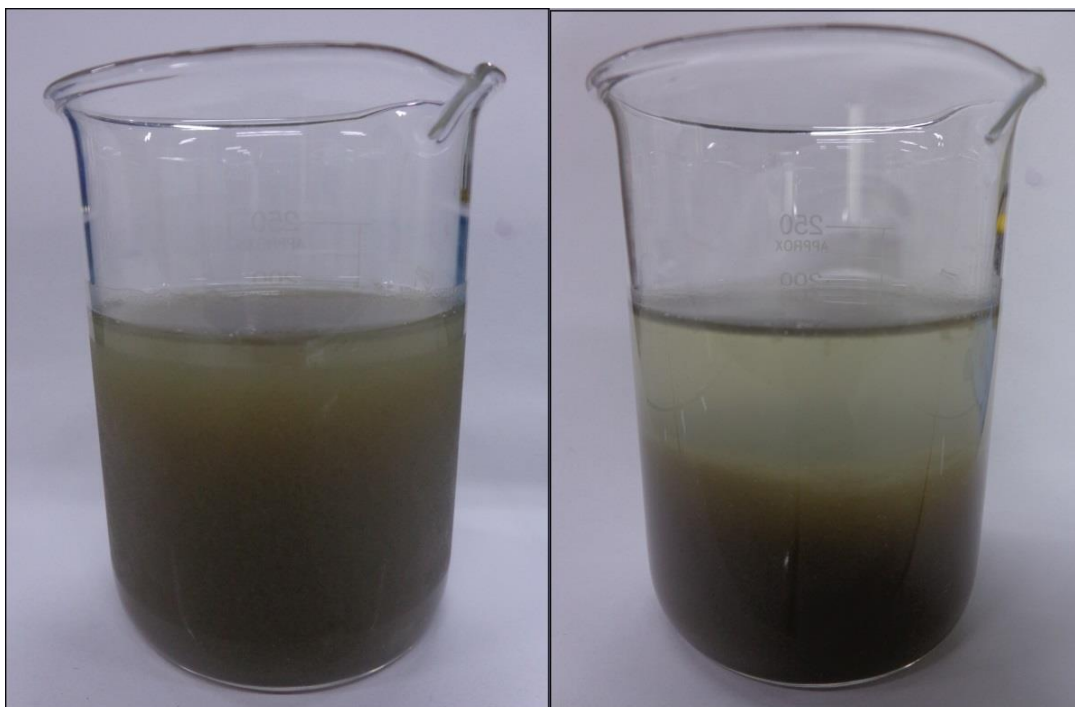
Figura 2.4 – Fluxograma representando o sistema de tratamento de efluentes da indústria farmacêutica



Fonte: Autora, 2016.

Esta estação de tratamento foi escolhida por ter boa eficiência e por não receber em seu efluente o composto intoxicante escolhido para esse estudo, logo seu lodo ativado não está adaptado a esse intoxicante. A **Figura 2.5** apresenta a foto do lodo coletado no reator biológico da indústria farmacêutica e o mesmo lodo após sedimentação.

Figura 2.5 – Foto dos bécheres com o lodo ativado coletado no reator biológico da indústria farmacêutica e após sedimentação



Fonte: Autora, 2016.

2.3 Pontos de coleta de amostra

Para realização dos testes respirométricos na indústria alimentícia, o lodo ativado foi coletado do reator aeróbio e para realizar a diluição foi coletado efluente do tanque de decantação.

Para realizar os testes respirométricos, da indústria farmacêutica, o lodo foi coletado da saída comum aos dois reatores aeróbios, sendo, portanto, uma mistura do conteúdo dos dois tanques. Para realizar a diluição do lodo foi coletado efluente tratado na saída do tanque de decantação.

Para análise dos parâmetros físico-químicos foram realizadas coletas nos dias de realização dos testes respirométricos, além das coletas semanais para monitoramento das estações pela Tecma nos pontos referentes ao efluente bruto, efluente de saída do tratamento primário, efluente de saída do reator anaeróbio, mistura do tanque de aeração, efluente da saída do tratamento secundário e efluente final que será descartado no corpo receptor. A **Tabela 2.1** apresenta as datas da realização dos testes de respirometria com os lodos ativados de cada origem.

Tabela 2.1 – Datas de realização dos testes de respirometria

Origem	Data	Teste
Indústria Alimentícia	07/08/2015	01
	18/08/2015	02
	10/09/2015	03
	23/09/2015	04
Indústria Farmacêutica	27/08/2015	05
	11/09/2015	06
	24/09/2015	07
	16/10/2015	08
Reator de bancada (Efluente Sintético)	28/10/2015	09
	12/11/2015	10
	26/11/2015	11
	03/12/2015	12

Fonte: Autora, 2016.

2.4 Composto Tóxico

Para a escolha do composto intoxicante a ser estudado, inicialmente foram identificados os produtos comerciais de limpeza e desinfecção utilizados na higienização da indústria alimentícia. Em seguida, foi feita uma pesquisa para descobrir os compostos ativos presentes nestes produtos comerciais e então foram definidos alguns compostos desinfetantes de interesse.

Dentre estes, o composto intoxicante de interesse escolhido foi o Cloreto de Benzalcônio, pelas suas propriedades biocidas importantes e por ser comumente usado em produtos de higienização domésticos e industriais, logo, é encontrado nos efluentes de indústrias alimentícias.

A quantidade utilizada e frequência de descarte não puderam ser definidas visto que a indústria não faz o controle do uso dos produtos de higienização e durante a pesquisa inicial foi percebido que não há regularidade no uso.

O princípio ativo utilizado foi o Cloreto Alquil Propil Dimetil Benzil amônio (Cloreto de Benzalcônio 50%) da marca Proquimios. As especificações do fabricante estão descritas na **Tabela 2.2**.

Tabela 2.2 – Especificações do Cloreto de Benzalcônio fornecidas pelo fabricante

Propriedades Físico-Químicas	
Estado Físico	Líquido viscoso
Aparência	Translúcida
Cor	Incolor à amarelada
Odor	Característico
Solubilidade em água	Infinita
Biodegradabilidade	Biodegradável (>78% em 28 dias)
Matéria Ativa, %p	49,0 – 52,0
pH a 25°C	5,80 – 9,00
Densidade, g/cm ³ , 25°C	0,94 – 0,99
Massa Molar (g/mol)	358
Ponto de fulgor, °C	>120
Ponto de Congelamento, °C	< 0
Demanda Química de Oxigênio (DQO) (mg/g)	400
Carbono orgânico dissolvido (COD) (mg/g)	10
Validade	Dezembro/2019

Fonte: Proquimios

As concentrações estudadas foram determinadas por resultados obtidos em testes preliminares de toxicidade, sendo: 4,95 mg/L; 19,8 mg/L; 49,5 mg/L; 79,2 mg/L; 158 mg/L; 317 mg/L; 634 mg/L e 1267 mg/L de Cloreto de Benzalcônio.

Para utilizar o cloreto de benzalcônio nas concentrações determinadas, foram preparadas duas soluções estoque de concentrações 2970 mg/L e 47520 mg/L, para que a partir delas fosse retirada a alíquota correspondente à concentração desejada.

Para isto, foi levada em consideração a densidade do Cloreto de Benzalcônio 50% da Proquimios de 0,98908 g/mL ou aproximadamente 0,99 g/mL, determinada pelo método do picnômetro.

Para preparar a solução estoque de 2970mg/L, foi pipetado 0,6 mL de Cloreto de Benzalcônio e avolumou-se para 100 mL com água MilliQ. Considerando a densidade de 0,99 g/mL e o volume de 0,6 mL, a massa de Cloreto de Benzalcônio 50% da Proquimios utilizado no estudo é de 0,297 g de Cloreto em 600 μ L. Logo a concentração de 297 mg em 0,1L é igual a 2970 mg/L.

A partir desta solução estoque foram pipetados os volumes dentro do reator teste: 0,5mL, 2mL, 5mL e 8mL, que correspondem respectivamente as concentrações 4,95mg/L, 19,8mg/L, 49,5mg/L e 79,2mg/L de Cloreto de Benzalcônio estudadas.

Para preparar a solução estoque de 47520 mg/L, foi pipetado 9,6 mL de cloreto de benzalcônio 50% e avolumou-se para 100 mL com água MilliQ. Considerando a densidade de 0,99 g/mL e o volume de 9,6 mL, a massa de Cloreto de Benzalcônio 50% da Proquimios utilizado no estudo é de 4,752 g de Cloreto em 9,6mL. Logo a concentração em 0,1L é igual a 47520 mg/L.

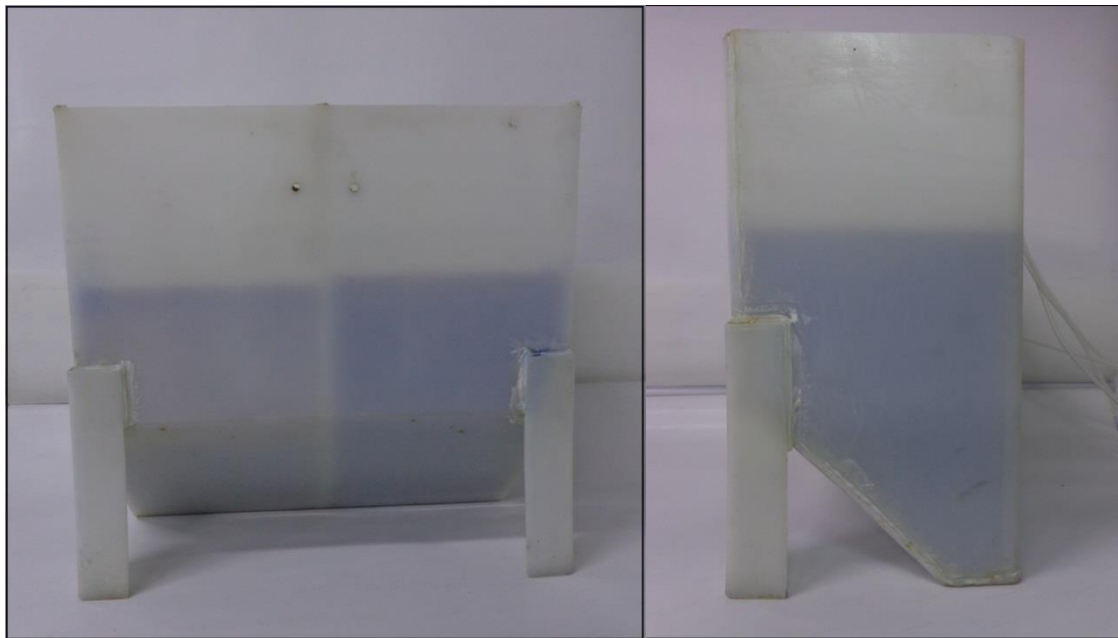
A partir desta solução mãe mais concentrada foi pipetado os volumes dentro do reator teste: 1mL, 2mL, 4mL e 8mL, que correspondem as concentrações estudadas 158mg/L, 317mg/L, 634mg/L e 1267mg/L, respectivamente.

2.5 Reator biológico em escala piloto alimentado com efluente sintético

Para esta fase do estudo foi implantado e mantido em operação um tanque de aeração em pequena escala, projetado para uso como reator de bancada em estudos de tratabilidade. Para a montagem do reator de bancada aeróbio operando em modo batelada de 24 horas, foi utilizado um tanque de aeração em pequena escala com volume útil de 12 litros, possuindo 0,35m de altura, 0,20m de largura e base triangular; compressor de aquário acoplado a uma mangueira com pedra porosa, uma bombona para armazenamento de efluente sintético. O fundo inclinado do reservatório e o sistema de aeração garantiram o processo de

homogeneização do lodo. A **Figura 2.6** mostra o reator de bancada onde o lodo foi mantido em aeração para realização do experimento.

Figura 2.6 - Vista frontal e vista lateral do reator aeróbio piloto



Fonte: Autora, 2016.

2.5.1 Processo de montagem do reator piloto

O reator foi montado e operado no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ, mantido sob temperatura ambiente (em torno de 25°C) com auxílio de um condicionador de ar. O controle diário de temperatura pode ser visto no **Apêndice C**.

A biomassa de lodo ativado foi coletada na própria ETE da indústria alimentícia, armazenada em galões e transportada imediatamente até o LES/UERJ sob os cuidados necessários para preservação da atividade biológica do mesmo, onde foi deixada em aeração até o momento de montagem e partida do reator.

Foram coletados 6,2 litros de mistura de lodo, este conteúdo foi despejado no reator e foi feita a alimentação com 1,8 litros de efluente sintético diariamente para dar início ao processo de aclimação.

Em cada dia de teste foi retirada uma amostra de lodo e de sobrenadante para realização dos parâmetros a serem analisados.

A **Tabela 2.3** apresenta os parâmetros analisados para cada amostra nos dias de realização dos testes.

Tabela 2.3 – Parâmetros analisados nas amostras coletadas no reator aeróbio piloto

Parâmetros	Afluente	Efluente	Lodo	Outras Condições
DQO, mg/L em O ₂	X	X	-	-
Oxigênio Dissolvido, mg/L de O ₂	-	-	-	-
pH	-	-	X	-
Temperatura, °C	-	-	X	-
Temperatura da sala de experimento, °C	-	-	-	X
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	X
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído, mg/L	-	-	X	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído, mg/L	-	-	X	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído, mg/L	-	-	X	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído, mg/L	-	-	X	-

Fonte: Autora, 2016.

2.5.2 Alimentação do reator aeróbio piloto

A alimentação do reator aeróbio piloto foi realizada diariamente em regime de batelada. O efluente sintético foi preparado segundo Papadimitriou et al. (2007) contendo os componentes descritos na **Tabela 2.4**.

Tabela 2.4 – Componentes do efluente sintético

Componente	Quantidade (mg/L)
Glicose (C ₆ H ₁₂ O ₆)	833
Acetato de Sódio (CH ₃ COONa)	2000
Cloreto de Sódio (NaCl)	100
Cloreto de Cálcio Dihidratado (CaCl ₂ · 2H ₂ O)	50
Cloreto de Potássio (KCl)	20
Cloreto de Amônio (NH ₄ Cl)	600
Fosfato de Potássio Dibásico Anidro (K ₂ HPO ₄)	254,19

Fonte: Papadimitriou et al. 2007.

A vazão de alimentação do reator em batelada foi definida seguindo a **Equação 2.1**:

$$Q = V_{RM} \times (A/M) \times RNFV / DQO_{\text{afllu}} \quad (\text{Equação 2.1})$$

Onde:

Q = Vazão de alimentação (L/dia);

V_{RM} = Volume útil do Reator Piloto (L);

A/M = Relação alimento/microrganismo (Kg DQO/ Kg RNFV.d);

$RNFV$ = Resíduo não filtrável volátil (mg/L);

DQO_{afllu} = Demanda Química de Oxigênio Afluente (mg/L).

Nesse caso foram adotados os seguintes valores:

$$Q = \frac{8 \times 0,15 \times 3500}{2356}$$

$$Q = 1,8 \text{ L/dia de alimentação de efluente sintético}$$

Levando em consideração que a A/M recomendada na literatura é 0,15 (Von Sperling, 2002; Surerus, 2009), este valor foi tomado como ideal para este estudo. O resultado da análise de DQO do efluente sintético foi 2356 mg/L. O pH da solução de efluente sintético foi em torno de 8,5 e temperatura de 25°C.

Para realizar a batelada de alimentação, os compressores de ar eram desligados para que o lodo pudesse sedimentar. Então, 1,8 L do efluente tratado era coletado com auxílio de um béquero e descartado. Era adicionado então 1,8 litros de efluente sintético, mantendo assim o volume constante do reator. Os compressores de ar eram ligados novamente.

No dia de realização do teste não foi realizada alimentação, visto que o teste foi realizado 24 horas após a última batelada seguindo a metodologia.

Antes de dar início aos testes de respirometria, uma amostra de sobrenadante e uma amostra de lodo foram coletadas para análises laboratoriais.

O período de operação do reator, bem como de troca de batelada foi determinado a partir da data de coleta do lodo e partida do reator até a completa troca de todo efluente do reator, quando é considerado que o lodo está adaptado ao novo efluente de alimentação. Para isto levou-se uma média de 4,44 dias considerando o volume de 8L do reator e alimentação de 1,8 litros, ou seja, em aproximadamente 5 dias o lodo está adaptado ao efluente sintético e pronto para realização dos testes de respiração, seguindo a mesma metodologia descrita no

Item 2.10 para coleta e realização do teste de respiração. A **Tabela 2.5** apresenta o cronograma de funcionamento de cada reator.

Tabela 2.5 – Período de funcionamento dos reatores aeróbios piloto

Origem do lodo		Data de coleta do lodo e partida do reator	Data do teste com lodo do reator
Reator 1	Indústria Alimentícia	22/10/2015	28/10/2015
Reator 2	Indústria Alimentícia	06/11/2015	12/11/2015
Reator 3	Indústria Alimentícia	19/11/2015	26/11/2015
Reator 4	Indústria Alimentícia	27/11/2015	03/12/2015

Fonte: Autora, 2016.

2.6 Coleta e transporte das amostras na indústria alimentícia

O lodo ativado foi coletado com auxílio de um recipiente de polipropileno introduzido no tanque de aeração (Reator aeróbio), onde foram retirados aproximadamente 5 litros.

Devido o elevado resultado de RNFV, o lodo foi diluído com efluente do decantador na proporção 1/3, no qual também foi retirado do tanque de decantação com auxílio de recipiente de polipropileno cerca de 10 litros. A diluição foi feita para que a medição do oxigênio dissolvido fosse eficaz, pois percebeu-se uma imprecisão na leitura do oxigênio dissolvido pelo oxímetro, quando em testes preliminares o lodo não foi diluído.

O efluente do decantador e o lodo ativado coletado foram levados para a sala de experimento na própria ETEI onde os testes de respirometria foram realizados. Para isso, o lodo foi diluído da seguinte forma: 4,6 litros de lodo ativado homogeneizado + 9,3 litros de efluente do decantador. A mistura foi deixada em aeração durante todo o tempo de experimento em um recipiente de polipropileno. Foi utilizado para realização dos testes aproximadamente 14 litros de lodo diluído.

Nos dias de realização dos testes de respirometria, amostras de lodo, afluente e efluente foram coletadas e enviadas para a TECMA, acondicionadas em caixas de isopor mantidas a 4°C, para análise de parâmetros físico-químicos. Parâmetros tais como, pH, oxigênio dissolvido, temperatura ambiente e temperatura do efluente foram verificados e anotados durante todas as coletas. A **Tabela 2.6** apresenta os parâmetros analisados para cada amostra dos dias em que houve coleta.

Tabela 2.6 – Parâmetros físico-químicos determinados nas amostras de lodo, afluente e efluente da indústria alimentícia

Parâmetros	Efluente bruto	Saída do primário	Saída do UASB	Tanque de aeração	Efluente final	Outras condições
DBO ₅ , mg/L em O ₂	X	X	X	-	X	-
DQO, mg/L em O ₂	X	X	X	-	X	-
Oxigênio Dissolvido, mg/L O ₂	-	-	-	X	-	-
Detergentes (MBAS), mg/L	-	X	-	-	X	-
Materiais sedimentáveis, mL/L	-	-	-	-	X	-
Óleos e Graxas, mg/L	-	X	-	-	X	-
Nitrogênio Total	-	-	-	-	X	-
Fósforo total	-	X	X	-	X	-
pH	-	-	-	X	X	-
Temperatura, °C	-	-	-	X	X	-
Temperatura da Sala de Experimento, °C	-	-	-	-	-	X
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	-	-	X
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído, mg/L	-	-	-	X	X	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído, mg/L	-	-	-	X	X	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído, mg/L	-	-	-	X	-	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído, mg/L	-	-	-	X	-	-

Fonte: Autora, 2016.

2.7 Coleta e transporte das amostras na indústria farmacêutica

O lodo ativado dos tanques de aeração (reatores aeróbios) e o efluente tratado foram coletados com auxílio de um recipiente de polipropileno e armazenados em bombonas de 20 L que foram transportadas dentro de caixas de isopor mantidas a 4°C até a TECMA, onde foram realizados os testes de respirometria e as análises dos parâmetros físico-químicos. As amostras coletadas foram mantidas em aeração com compressores de ar e temperatura ambiente até momento de realização dos testes.

Devido ao elevado resultado de RNFV do lodo do tanque de aeração, este foi diluído seguindo a proporção 1/3 da seguinte forma: 4,6 L de lodo em 9,3 L de efluente tratado. Após a mistura, o lodo diluído foi mantido sob aeração durante a realização dos testes de respirometria. Foi utilizado para realização dos testes aproximadamente 14 litros de lodo diluído.

Parte de cada amostra de lodo, afluente e efluente coletada foi enviada para o laboratório para caracterização físico-química como objetivo de conhecer o funcionamento e as características dos sistemas de tratamento nos dias de coleta.

Os parâmetros físico-químicos, tais como, pH, oxigênio dissolvido, temperatura ambiente e temperatura do efluente foram determinados e anotados durante todas as coletas.

Na indústria farmacêutica o sistema de tratamento biológico inclui dois tanques de aeração. O lodo coletado para ser estudado foi uma mistura de lodo dos dois tanques, logo, em alguns momentos do trabalho foi necessário utilizar uma média de RNFV e RNFT dos dois tanques.

A **Tabela 2.7** apresenta os parâmetros físico-químicos determinados para cada amostra nos dias de coleta.

Tabela 2.7 – Parâmetros físico-químicos determinados nas amostras de lodo, afluente e efluente da indústria farmacêutica

Parâmetros	Afluente	Tanque Aeração1	Tanque Aeração 2	Efluente final	Outras condições
DBO ₅ , mg/L em O ₂	X	-	-	X	-
DQO, mg/L em O ₂	X	-	-	X	-
Óleos e Graxas, mg/L	X	-	-	X	-
Fenóis	X	-	-	X	-
Fósforo total	-	-	-	X	-
pH	-	X	X	X	-
Temperatura, °C	-	X	X	X	-
Temperatura da Sala de Experimento, °C	-	-	-	-	X
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	-	X
pH do reator teste	-	-	-	-	X
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído , mg/L	-	X	X	X	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído , mg/L	-	X	X	-	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído , mg/L	-	X		-	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído , mg/L	-	X		-	-
Nit. Kjeld (mg/L)	-	-	-	X	-
Sulfeto (mg/L)	-	-	-	X	-

Fonte: Autora, 2016.

2.8 Equipamentos utilizados no teste de respirometria

Os equipamentos utilizados nos testes de respirometria foram: oxímetro, pHmetro, termômetro, agitador magnético, compressor de ar, mangueiras conectadas a pedras porosas, cronômetros, reator teste (Béquer) de 500mL, frasco de DBO, magneto, proveta graduada, pipeta graduada, pipeta automática e frasco para armazenamento do composto intoxicante.

O oxímetro utilizado foi da marca YSI, modelo 550A, o qual possui um eletrodo acoplado com termômetro. O compressor de ar utilizado foi da marca Seven-Star, modelo S-6000, com vazão 3,5L/h. O pHmetro utilizado foi da marca Homis, modelo HPH-900.

A **Figura 2.7** mostra a bancada de testes com o reator piloto e o material utilizado na realização dos experimentos.

Figura 2.7 – Equipamentos e aparatos utilizados na realização dos testes de respirometria



Fonte: Autora, 2016.

2.9 Cálculo da solução do substrato rapidamente biodegradável (Glicose)

O cálculo de alimentação do reator teste com glicose para posterior teste de respirometria ocorreu segundo a **Equação 2.2**.

$$V_{\text{alim}} = V_{\text{RT}} \times (A/M) \times \text{RNFV} / \text{DQOaf} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Onde:

V_{alim} = Volume de alimentação (L/dia);

V_{RT} = Volume útil do Reator Teste, (L)

A/M = Relação alimento / microrganismo, (Kg DQO / Kg RNFV.d)

RNFV = Resíduo não filtrável volátil, (mg/L)

DQOaf = Demanda Química de Oxigênio afluyente, (mg/L)

A glicose foi utilizada como substrato rapidamente biodegradável em todos os testes de respirometria e para isso, foi preparada uma solução com DQO= 30.000 mg/L. Para cada dia de experimento foi estimado um valor de RNFV próximo ao valor obtido na última análise de RNFV precedente ao teste de respirometria para calcular o volume da solução de glicose a ser utilizado no teste.

Foi calculada a vazão substrato a ser adicionado ao frasco de 300ml para estimular o lodo, admitindo-se $A/M = 0,15$ e um valor de RNFV estimado de acordo com cada indústria segundo a **Equação 2.2**.

Para manter as condições observadas nas indústrias, foi determinada a relação $A/M = 0,15$ para todos os testes (incluindo o teste branco e com adição de intoxicante), e para isso o volume de solução de glicose (DQO=30.000 mg/L) adicionado variou entre 1,7 e 2,25 mL, podendo ser visto individualmente no **Apêndice D**.

2.10 Procedimento experimental do teste de respirometria

Os testes de respiração foram realizados de acordo com o protocolo descrito em 2710 B – Oxygen-Consumption Rate (APHA, 2012) e em Surerus, Giordano e Teixeira (2014).

Uma amostra de 300mL de mistura de lodo + efluente tratado foi retirada do recipiente de polipropileno que estava em aeração. O volume medido (300mL) foi transferido para o reator teste (béquer) de 500mL, onde também foi acrescentado o substrato que é um composto

rapidamente biodegradável (glicose), e o composto intoxicante por meio de pipeta graduada ou pipeta automática de acordo com o volume calculado para cada dia de experimento (**Item 2.9**). A mangueira com pedra porosa ligada ao compressor de ar foi introduzida no béquer de forma a manter aeração constante por 15 minutos. Decorrido o tempo, a amostra foi transferida para o frasco de DBO com volume de 300mL, o eletrodo foi encaixado no frasco de forma a vedar a entrada de ar hermeticamente, e foi mantido em agitação por meio de agitador magnético e magneto enquanto ocorria a leitura da concentração de oxigênio dissolvido. O decaimento do oxigênio dissolvido foi registrado a cada 30 segundos durante 10 minutos com auxílio do cronômetro digital e foram calculadas as taxas de consumo de oxigênio (TCO) e as taxas de consumo de oxigênio específico (TCOe).

Os resultados dos testes foram interpretados por meio de gráficos de TCO e TCOe de acordo com a **Equação 1.4** e **Equação 1.5**, respectivamente. Para os cálculos das Equações 1.4 e 1.5, foi assumido o valor do tempo de duração do teste de 0,1667 h, que corresponde a 10 minutos representados em horas.

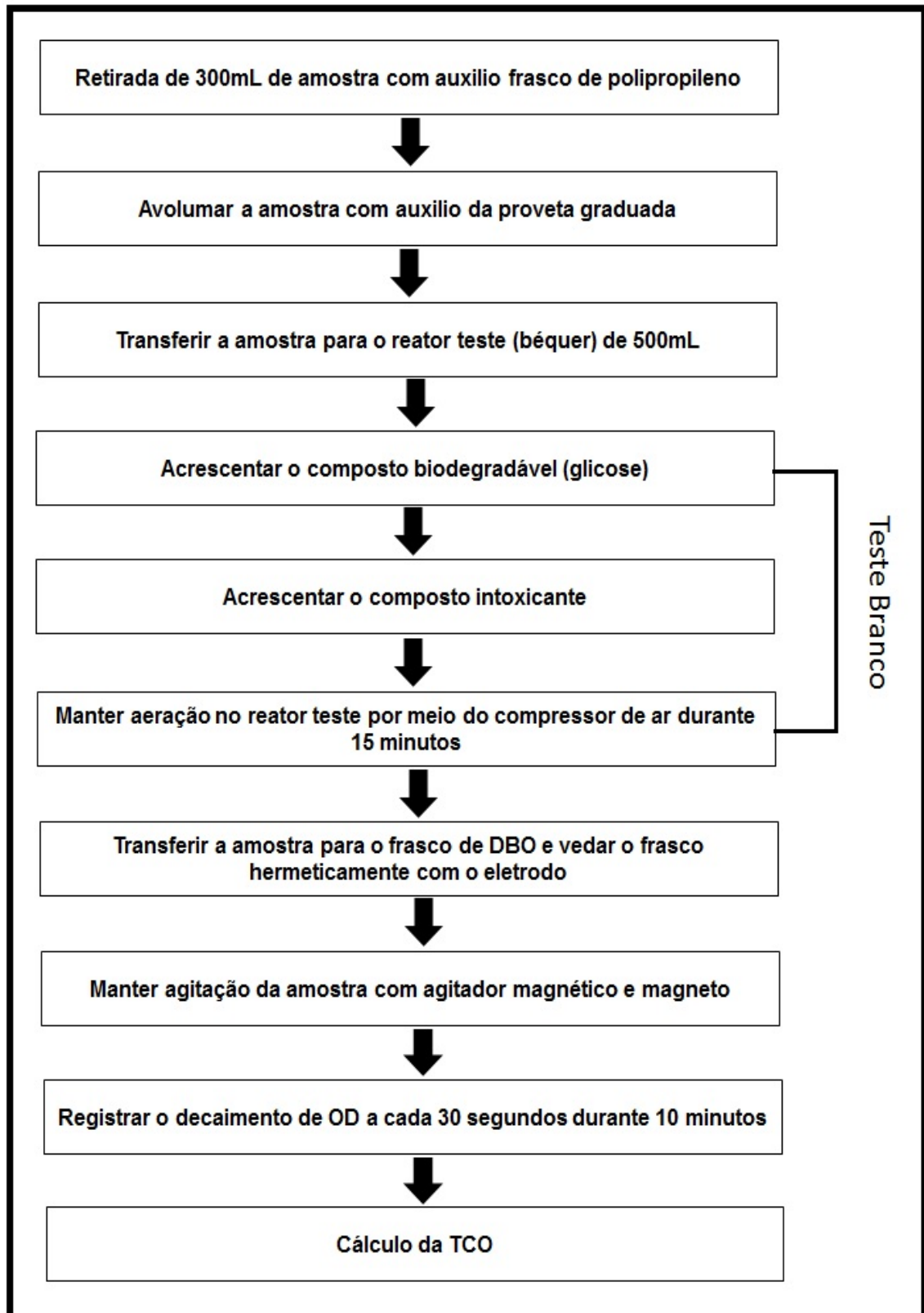
A relação A/M foi mantida em todos os experimentos em 0,15 e a concentração de glicose adicionada no teste variou conforme a quantificação de RNFBV do sistema de tratamento.

Seguindo este protocolo foram realizados os testes contendo apenas lodo diluído; testes com adição do substrato glicose (Teste branco) e testes com adição de substrato + intoxicante.

Os testes com adição de glicose (teste branco) foram realizados duas vezes ao dia, o primeiro pela manhã e o segundo no período da tarde. Os resultados utilizados foram as médias dos dois testes.

A alimentação do reator teste com a glicose tem o propósito de estimular o consumo de oxigênio pelos microrganismos presentes no lodo, pela decomposição da matéria orgânica contida na solução de alimentação. Pelo consumo do oxigênio pôde ser acompanhado a capacidade de consumo de OD do lodo submetido a várias concentrações de intoxicante. A **Figura 2.8** representa o protocolo de realização do experimento resumido.

Figura 2.8 – Esquema do protocolo de realização dos testes de respirometria



Fonte: Adaptado de Surerus, Giordano e Teixeira, 2014.

No momento da coleta e durante a realização dos testes de respirometria foram registrados os valores de oxigênio dissolvido e a temperatura do tanque de aeração (reator aeróbio), o pH, a temperatura do reator teste, pH do reator teste e a temperatura da sala de experimento para monitoramento destes parâmetros durante o período do estudo e podem ser vistos no **Apêndice C**.

Os resultados das análises estão apresentados **Capítulo 3** e os registros de oxigênio dissolvido realizados durante os testes de respirometria podem ser encontrados no **Apêndice A**.

2.11 Determinação de CE50 do Cloreto de Benzalcônio nos testes respirométricos

Os resultados de toxicidade aguda foram expressos em CE(I)50; 10min, que significa concentração inicial que causa efeito de 50% na taxa de consumo de oxigênio pelos organismos, em 10 minutos de teste. Para o cálculo estatístico foi utilizado o método Trimmed Spearman-Kärber (HAMILTON et al., 1997) utilizando o programa GW Basic.

2.12 Determinação dos parâmetros físico-químicos

As amostras coletadas foram encaminhadas para a empresa TECMA – Tecnologia em Meio Ambiente, onde foram realizadas as análises dos parâmetros físico-químicos, tais como: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, Fósforo total, Nitrogênio total, Resíduos Não Filtráveis Total (RNFT), Resíduos Não Filtráveis Voláteis (RNFV), Temperatura, Óleos e Graxas, Detergentes e Materiais Sedimentáveis.

As análises foram realizadas de acordo com o APHA (2012) segundo os métodos descritos na **Tabela 2.8**.

Tabela 2.8 – Metodologias utilizadas na realização das análises dos parâmetros físico-químicos de acordo com APHA (2012)

Parâmetros	Metodologia	Preservação
DBO ₅	5210 (B) – Demanda Bioquímica de Oxigênio 5 dias	Resfriamento (em gelo)
DQO	5220 (B) – Demanda Química de Oxigênio - refluxo aberto	H ₂ SO ₄ até pH ≤ 2 Resfriamento (em gelo)
pH	4500 – H ⁺ (A) – Potencial Hidrogeniônico	-
Fósforo Total	Seção 4500	Resfriamento (em gelo)
Nitrogênio Total	Seção 4500	Resfriamento (em gelo)
RNFT	2540 D	Resfriamento (em gelo)
RNFV	2540 E – Sólidos Fixos e Suspensos Voláteis	Resfriamento (em gelo)
Temperatura	2500 (A) - Temperatura	-
Óleos e Graxas	5520 (B) – Óleos e Graxas – Partição - Gravimétrica	HCl até pH ≤ 2 Resfriamento (em gelo)
Detergentes	Seção 5540	Resfriamento (em gelo)
Materiais Sedimentáveis	2540 (F)	Resfriamento (em gelo)

Fonte: APHA, 2012.

2.13 Análise Microscópica da microbiota do lodo

As análises microscópicas da microbiota dos diferentes lodos estudados foram realizadas no Laboratório de Microbiologia da TECMA com objetivo de conhecer os organismos que constituem o lodo de forma qualitativa.

As imagens foram feitas com auxílio de um microscópio óptico estereoscópico binocular da marca Nikon Eclipse – E 200 acoplado a uma máquina fotográfica digital, Nikon D 7100 com adaptador para microscópio.

Com o auxílio de uma pipeta, uma gota da amostra de lodo foi transferida para uma lâmina de vidro e sobre esta foi apoiada uma lamínula de vidro. A lâmina de vidro com a amostra era posicionada para observação no microscópio, sendo utilizadas as lentes de 10X, quando registrou-se o floco biológico e 40X para focar em um determinado organismo.

Para a identificação dos organismos foram utilizados como apoio os estudos de Gerardi (2006), Bento et al. (2005), Soares et al. (1997) e Miloski, (2015). A identificação foi realizada de forma comparativa entre os organismos observados nas amostras de lodo e as imagens disponibilizadas nos referidos documentos de apoio.

A **Figura 2.9** mostra o microscópio óptico utilizado na realização das imagens da microbiota do lodo.

Figura 2.9 – Vista lateral e vista frontal do microscópio óptico



Fonte: Autora, 2016.

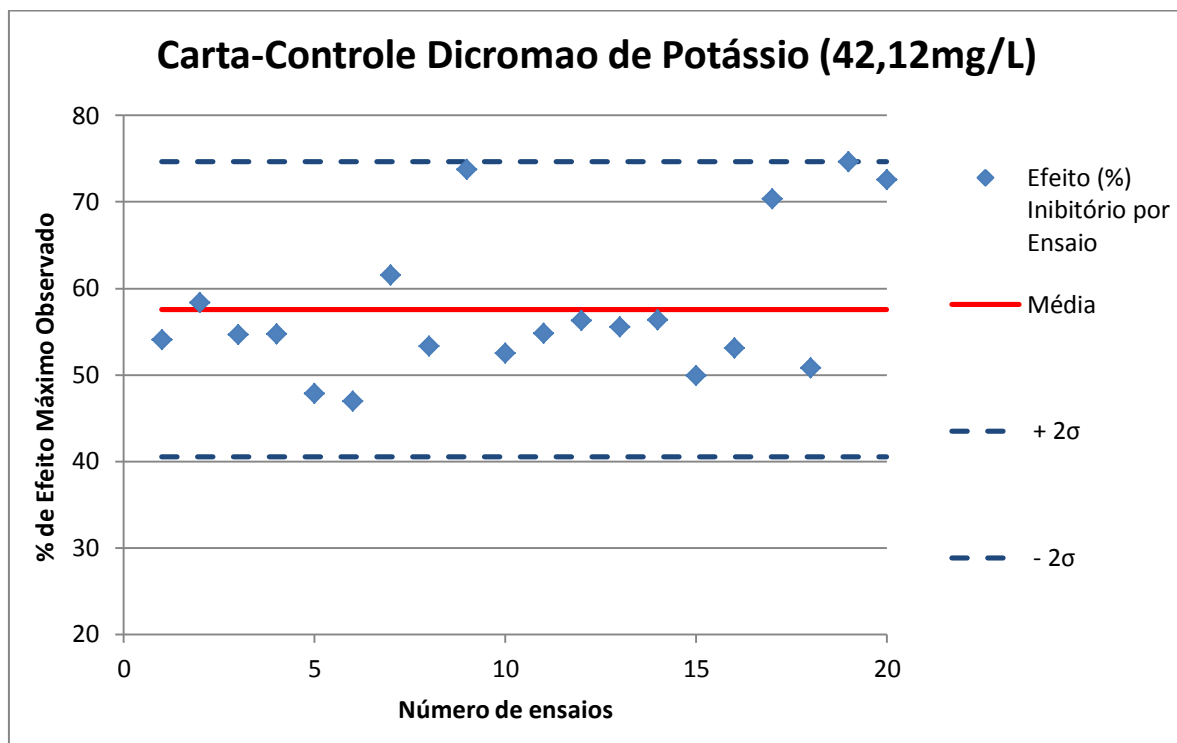
2.14 Ensaio de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri*

Os ensaios de toxicidade aguda com o organismos-teste *Aliivibrio fischeri* foram realizados no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) seguindo a metodologia descrita em NBR 15411-3 (ABNT, 2012), método utilizando bactérias luminescentes liofilizadas.

A carta controle (**Figura 2.10**) já havia sido preparada quando os testes foram iniciados, e a substância de referência utilizada pelo laboratório foi o Dicromato de Potássio.

Foram realizados 20 ensaios para construção da carta controle e o valor médio de sensibilidade encontrado é CE50 igual a $57,58 \pm 8,53$.

Figura 2.10 – Carta controle do organismo-teste *Aliivibrio fischeri*



As análises foram desenvolvidas utilizando o luminômetro Microtox (Microtox Modelo 500) acoplado ao computador com software Microtox Omni e utilizou cultura de *Aliivibrio fischeri* liofilizadas seguindo o protocolo recomendado pelo fabricante ModernWater Microtox, lote nº.: 13G4098.

O ensaio consistiu em expor as bactérias luminescentes às concentrações de cloreto de benzalcônio por 30 minutos, sendo registrada a quantidade de luminescência inicial, a quantidade de luminescência em 5 minutos de exposição, em 15 minutos de exposição e em 30 minutos de exposição.

Foram realizados dois conjuntos de ensaios, o primeiro com as concentrações 1267 mg/L; 634 mg/L; 317 mg/L; 158 mg/L; 79,2 mg/L; 40 mg/L; 19,8 mg/L; 10 mg/L; 4,9 mg/L e o teste controle, contendo apenas a bactéria que foi ressuspensa em NaCl. Todas as concentrações foram tóxicas para o organismo-teste em 5 minutos de leitura de luminescência e assim permaneceu até a leitura de 30 minutos. Sendo assim foi realizado um segundo teste com menores concentrações de intoxicante.

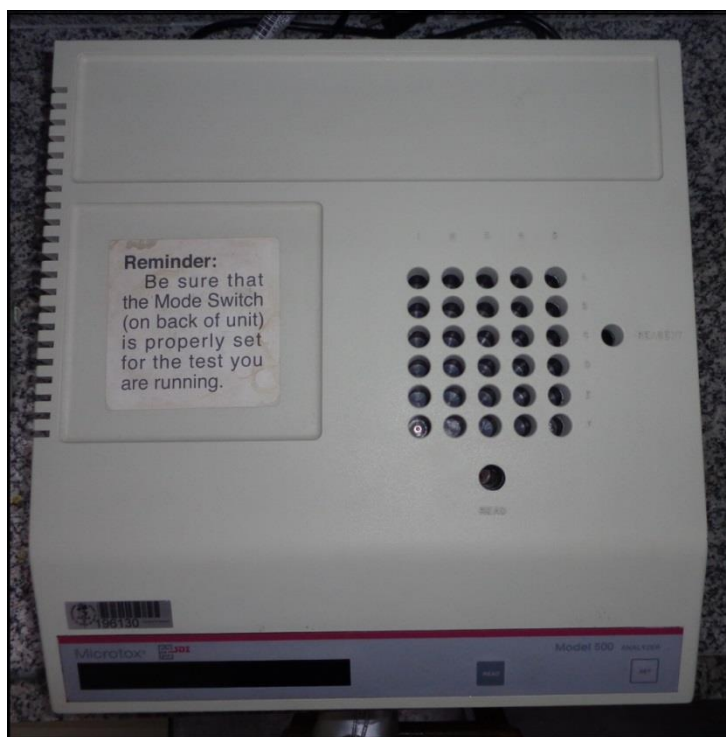
No segundo ensaio, a diluição serial das amostras compreendeu as seguintes concentrações: 1 mg/L; 0,5 mg/L; 0,25 mg/L; 0,125 mg/L; 0,0625 mg/L; 0,03125 mg/L; 0,01562 mg/L; 0,00781 mg/L e 0,00390 mg/L, além do controle, para determinar o valor de CE_{50} .

O valor de pH da solução mãe permaneceu em 6,30 nas duas concentrações e a salinidade em 25 ppm.

Os resultados obtidos foram expressos em CE_{50} , representando a concentração que reduziu 50% da luminescência produzida pela bactéria, durante uma exposição de até 30 minutos a 15°C. A partir dos dados obtidos, o cálculo da CE_{50} foi gerado a partir de uma curva de regressão linear entre os valores das concentrações e as respectivas reduções de luminescência, induzidas pelo contaminante, utilizando o programa estatístico específico que acompanha o equipamento.

O equipamento utilizado no teste de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri* está apresentado na **Figura 2.11**.

Figura 2.11 – Equipamento Microtox® utilizado nos ensaios de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri*



Fonte: Autora, 2016.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados e discutidos os resultados dos testes e parâmetros de controle e monitoramento realizados ao longo deste trabalho de pesquisa.

Inicialmente, foi observado o comportamento de cada lodo em suas condições normais de operação do reator e pela interpretação dos testes-branco, sendo feito também uma análise comparativa entre estes testes. Em seguida foi observado o comportamento de cada lodo submetido às diferentes concentrações do composto intoxicante. Por último foi feita uma análise comparativa dos testes realizados com os diferentes lodos.

Os resultados obtidos dos testes respirométricos foram relacionados com os resultados dos ensaios laboratoriais realizados com as amostras de lodo, afluentes e efluentes coletadas, assim como a microscopia.

Por último foi avaliado o efeito tóxico agudo do Cloreto de Benzalcônio ao organismo-teste *Aliivibrio fischeri*.

3.1 Parâmetros Físico-Químicos

Em todo o período de estudo, os parâmetros físico-químicos determinados das amostras coletadas nas duas indústrias estiveram dentro dos limites permitidos pelas legislações do Rio de Janeiro, a NT 202 R.10 (INEA, 1986) e a DZ 205 R.06 (INEA, 2007) e Federais CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) e CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011).

Os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos encontram-se no **Apêndice C** deste trabalho.

Indústria alimentícia

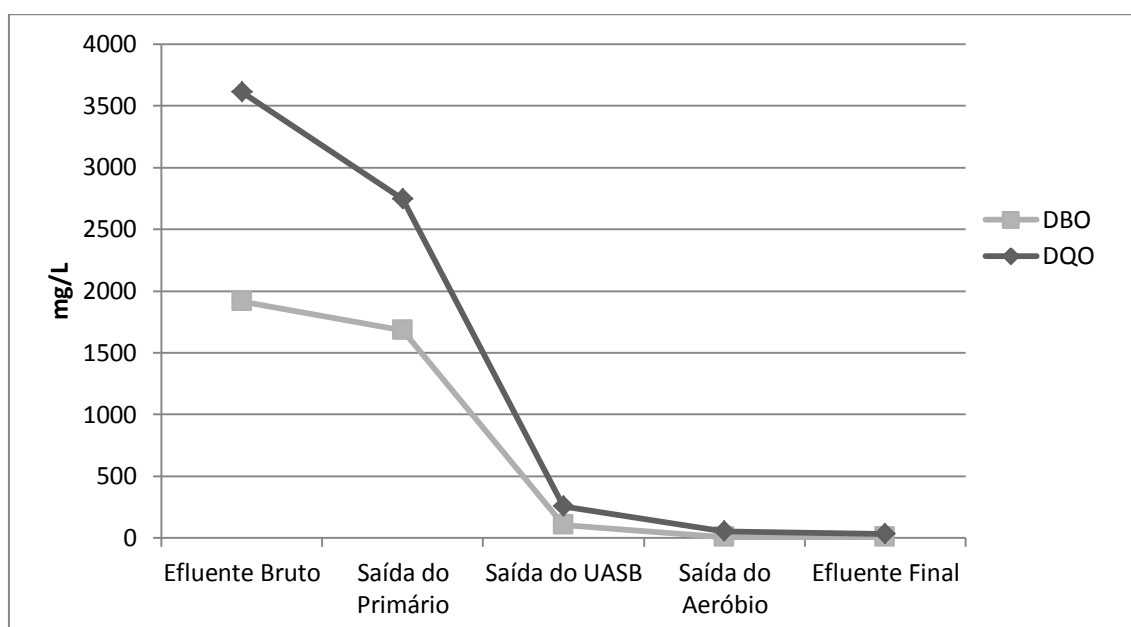
A **Figura 3.1** representa o gráfico de decaimento da DBO₅ e da DQO do efluente da indústria alimentícia ao longo dos processos de tratamento. Cada ponto representa uma média dos valores obtidos em cinco dias de coleta realizadas para monitoramento da estação de

tratamento. As datas dessas coletas compreenderam os dias 07/08/2015 e 11/12/2015, período em que foi realizado o presente estudo.

As datas incluem os dias em que foram feitas análises completas de DBO e DQO, que incluem todos os pontos de coleta de amostra na estação (efluente bruto, saída do primário, saída do UASB, saída do aeróbio e efluente tratado), sendo que essas análises completas foram realizadas mensalmente.

Os maiores valores encontrados foram no efluente bruto (no qual a média das cinco coletas foi DQO – 3610mg/L e DBO₅ – 1917mg/L), e os menores no efluente final (DQO – 34mg/L e DBO₅ – 5mg/L).

Figura 3.1 – Decaimento da DQO e da DBO₅ ao longo do sistema de tratamento de efluentes da indústria alimentícia



A **Figura 3.1** apresenta diferença entre os resultados de DBO e DQO no efluente bruto que é reduzida ao longo do tratamento. Segundo Giordano e Surerus (2015) essa diferença pode ser devido aos sólidos suspensos originados pela perda de alimentos da produção. Os produtos de fabricação aderem às superfícies dos equipamentos e utensílios e são removidos no processo de higienização, logo, este efluente apresenta aspecto turvo com grande concentração de sólidos suspensos coloidais e sedimentáveis. Além disso, a utilização de saneantes na higienização introduz intoxicantes que acentuam as diferenças entre DBO e DQO. A diferença no efluente final dessa ETEI tende a zero, indicando que praticamente toda matéria orgânica é biodegradável.

Conforme mostrado no gráfico da **Figura 3.1**, as etapas de tratamento utilizadas (tratamento primário, reator anaeróbio e reator aeróbio) conferem 99% de eficiência média à ETEI na remoção da carga orgânica. Esse resultado de tratamento encontra-se dentro do limite exigido de DBO_5 pelo órgão ambiental (INEA-RJ) e da Resolução CONAMA nº 430 (2011), a qual cita redução mínima de 60%.

Após o tratamento primário, há uma pequena redução tanto nos valores de DBO_5 quanto nos valores de DQO. Esta etapa remove preferencialmente sólidos, areias, gorduras. A grande redução de matéria orgânica é percebida após o tratamento anaeróbio do tipo UASB, quando tem uma queda mais acentuada desses parâmetros, seguido do tratamento aeróbio que remove a carga orgânica restante, no entanto, a maior parte da carga orgânica havia sido removida nos processos anteriores.

Apesar da boa eficiência tanto na redução da DBO quanto da DQO ao longo dos processos, a DQO apresentou resultados maiores que a DBO. Isto ocorre pois a DQO engloba tanto a matéria orgânica biodegradável na forma dissolvida e coloidal quanto a matéria orgânica não biodegradável (GIORDANO; SURERUS, 2015).

Na **Tabela 3.1** são apresentados os principais parâmetros relacionados à indústria alimentícia. Os valores correspondem às médias dos resultados dos parâmetros obtidos nos oito dias de coleta para os testes de respirometria e partida do reator sintético.

Tabela 3.1 - Relação dos principais parâmetros analisados na indústria alimentícia

Parâmetros	Resultados
Vazão média (m^3/dia)	58,75
A/M média (Kg DQO / Kg RNFV.d)	0,03
RNFT médio (mg/L)	4069
RNFV médio (mg/L)	3285
Relação RNFV / RNFT	0,81
Eficiência da estação média	99%

Fonte: Autora, 2016.

Segundo Jordão e Pessoa (2005) os sistemas de tratamento de aeração prolongada são caracterizados pelo tempo de contato compreendido entre 8 a 24 horas e relação A/M em torno de 0,08 a 0,15 Kg DQO/Kg RNFV.d. Com uma A/M média = 0,03 Kg DQO/Kg RNFV.d, considera-se que esta estação opera com relação A/M abaixo da recomendada, e abaixo da A/M mais comumente usada em reatores para tratamento de efluentes industriais,

que seria $A/M = 0,15$ (Surerus, 2009). No entanto, mesmo com essa relação baixa a eficiência média do sistema de tratamento da ETEI foi alta.

Surerus (2009) e Von Sperling (2002) relatam que uma $A/M = 0,10$ há baixa disponibilidade de substrato e os microrganismos mantêm apenas respiração endógena. No entanto, apesar da A/M média encontrada ser 0,03, a estação apresentou boa eficiência de remoção de matéria orgânica com seus reatores funcionando de forma estável e todos os parâmetros físico-químicos atendendo aos padrões de lançamento determinados na Resolução CONAMA 430 (Brasil, 2011). Os dados são apresentados nas planilhas de acompanhamento dos parâmetros no **Apêndice C**.

Para controle operacional Giordano e Surerus (2015) recomendam relação RNFV/RNFT próxima de 0,82. No caso da ETEI da indústria alimentícia a média dessa relação está 0,81, próxima do recomendado, indicando que o lodo está bem digerido e apto ao desaguamento e secagem.

De acordo com a **Tabela 3.1**, a concentração média de RNFV da indústria alimentícia (3285 mg/L) encontra-se em conformidade com Jordão e Pessôa (2005), os quais citam que os sólidos voláteis podem estar compreendidos entre 2.000 e 4.000 mg/L.

Por ser uma indústria alimentícia que produz chocolates, molhos, sorvetes, há necessidade de monitoramento especial do parâmetro óleos e graxas, por ser a matéria prima desses produtos. Nas coletas dos dias 10/09/15 (Experimento 3), 19/11/15 (para dar partida no reator piloto – experimento 11) e no dia 27/11/15 (para dar partida no reator piloto – experimento 12) as análises de óleos e graxas apresentaram valores elevados no efluente de saída do reator anaeróbio, 10mg/L, 34mg/L e 51mg/L, respectivamente. Esses valores elevados mostram que nesses dias houve uma carga maior de O&G que não foi removida no processo físico-químico nem pelo processo anaeróbio, possivelmente chegando ao reator aeróbio. Acredita-se que nesta fase houve remoção de O&G, pois os resultados do efluente final foram <6,0mg/L em todas as amostras coletadas. Esses dados estão apresentados no **Apêndice C**.

A entrada de Óleos e Graxas nos reatores deve ser evitada ao máximo, pois é extremamente prejudicial aos microrganismos presentes no lodo ativado podendo levar à paralisação do sistema. Este material causa um efeito de adsorção de gordura sob os flocos biológicos, podendo prejudicar a respiração celular e o processo de nutrição das células. A concentração recomendada por Giordano (2014) é <12mg/L para reatores aeróbios.

Surerus (2009) avaliou em seu trabalho a presença de óleos e graxas (10-50mg/L) em lodos ativados, e relatou que a gordura presente no reator biológico causa comportamento

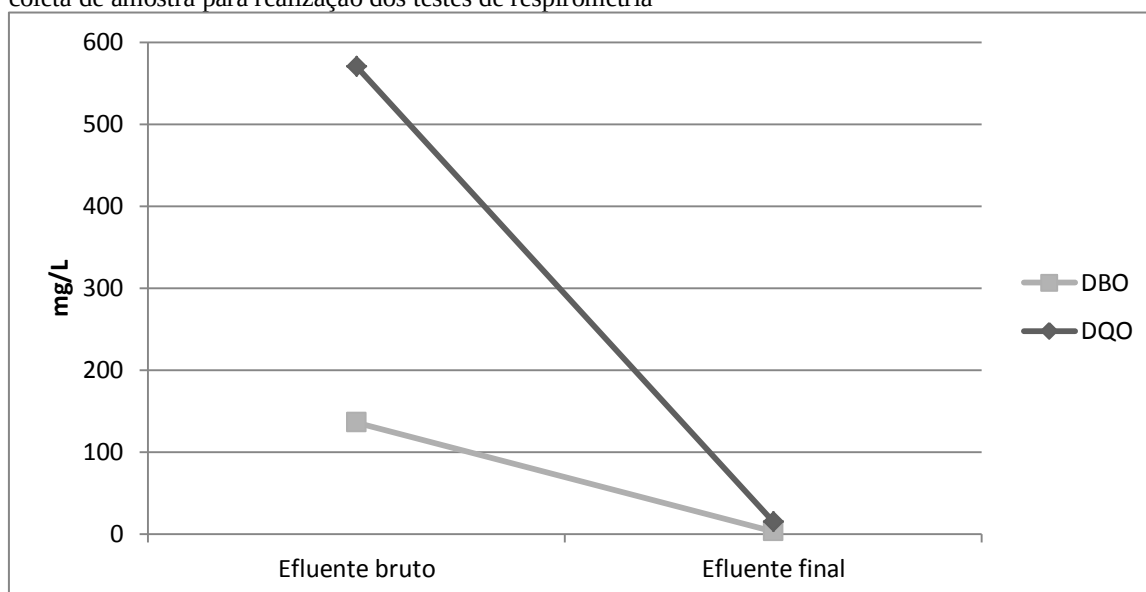
semelhante à presença de compostos tóxicos, reduzindo o consumo de oxigênio pelos microrganismos.

Indústria farmacêutica

A **Figura 3.2** ilustra o decaimento dos valores de DBO₅ e DQO no afluente e efluente final da ETEI da indústria farmacêutica. Os pontos representam a média dos valores de DBO₅ e DQO dos quatro dias em que foram realizadas coletas para os testes de respirometria.

O maior valor foi encontrado efluente bruto (DQO – 570mg/L e DBO₅ – 136mg/L) e o menor no efluente tratado (DQO – 15mg/L e DBO₅ – 3mg/L).

Figura 3.2 – Valores de DQO e DBO₅ no afluente e efluente final da ETE da indústria farmacêutica dos dias de coleta de amostra para realização dos testes de respirometria



A **Figura 3.2** apresenta a diferença entre DBO e DQO, sendo a maior no efluente bruto. Segundo Giordano e Surerus (2015) essa diferença pode ser atribuída às emulsões e aos sólidos coloidais dos efluentes, visto que medicamentos na forma de emulsões como cremes e pomadas podem ser encontrados nas linhas de produção. Este tipo de efluente pode sofrer mudanças significativas de acordo com a campanha de produção de determinado tipo de fármaco em um curto período de tempo.

A ETEI da indústria farmacêutica é composta por tanque de equalização seguido de dois tanques de aeração e posterior decantador. Este sistema de tratamento assegurou uma eficiência média da estação de 97% para remoção da carga orgânica no período investigado.

Na **Tabela 3.2** são apresentados os principais parâmetros relacionados à indústria farmacêutica. Os valores correspondem às médias dos resultados dos parâmetros obtidos dos quatro dias de realização dos testes de respirometria.

Tabela 3.2 - Relação dos principais parâmetros analisados na indústria farmacêutica no período de realização dos testes de respirometria

Parâmetros	Resultados
Vazão média (m ³ /dia)	305,52
A/M média (Kg DQO / Kg RNFV.d)	0,17
RNFT médio (mg/L)	5627
RNFV médio (mg/L)	3474
Relação RNFV / RNFT	0,62
Eficiência média da ETEI	97%

A vazão da ETEI da indústria farmacêutica se manteve constante durante todos os dias de teste. A ETEI opera com relação A/M média = 0,17, bem próxima de 0,15, que é a relação normalmente utilizada em projetos de tratamento de efluentes industriais (SURERUS, 2009). Segundo Von Sperling (2002) a relação A/M = 0,20 – 0,25, relação comum para sistemas convencionais de lodos ativados, ocorre síntese de material celular, levando a um aumento no consumo de oxigênio pela microbiota do lodo.

Esta estação utiliza processo de lodos ativados em modo de operação aeração prolongada e todos os seus parâmetros físico-químicos atenderam os padrões de lançamento determinados na legislação.

O RNFT médio é relativamente alto (5627 mg/L) se comparado ao da indústria alimentícia (4069 mg/L). No entanto, os testes de respirometria foram realizados sob diluição para que esses valores elevados não interferissem na leitura de oxigênio dissolvido.

A relação RNFV/RNFT na indústria farmacêutica (0,62) encontra-se abaixo do valor relatado por Giordano e Surerus (2015), que é 0,82. No entanto, valores abaixo do recomendado indicam lodo bem digerido. Já valores acima do recomendado indicam lodo novo, não apropriado para desaguamento.

Em relação aos parâmetros Óleos e Graxas, fenóis e pH, foram observados com frequência resultados menores que 6,0mg/L, 0,08mg/L e 7,0, respectivamente, nas quatro amostras de efluente final, não apresentando problemas em relação a estes parâmetros.

Os testes de respirometria foram realizados com lodo ativado com pH e temperatura que variou de 7,3 a 7,95 e 23,4°C a 25,8°C no reator teste, respectivamente. Os dados estão expostos na **Tabela 3.3**.

Tabela 3.3 – Análises de pH e temperatura da indústria farmacêutica nos testes de respirometria

	pH	Temperatura (°C)
Experimento 1	7,3	23,4
Experimento 2	7,95	24,2
Experimento 3	7,41	24,2
Experimento 4	7,88	25,8

Segundo Giordano (2014), a temperatura é um fator limitante que interfere no crescimento dos microrganismos e também na velocidade de remoção dos substratos. O aumento deste parâmetro aumenta a atividade biológica até um valor ótimo, a partir da qual haverá uma desnaturação térmica das enzimas, quando então a atividade passa a diminuir. Em processos aeróbios o autor recomenda faixa de temperatura entre 12 e 35°C. Os reatores teste e os reatores da ETEI da indústria farmacêutica funcionaram em temperaturas recomendadas para operação.

Beranger (2009) relatou em seu trabalho que em lodos ativados obtidos de indústrias alimentícias e farmacêutica em faixa de pH alcalino houve formação de espuma a partir de pH 10, devido ao processo de saponificação, quando também ocorreu comportamento-tampão do pH.

Quando o pH alcança valores mais críticos, observou-se diminuição acentuada do consumo de oxigênio pelo lodo, sugerindo que este perdeu a capacidade de resistir ou de se adaptar a um meio mais agressivo (BERANGER, 2009).

Giordano (2014) sugere que reatores aeróbios operem na faixa de pH entre 5,0 e 10,6, sendo a faixa ideal 6,8 - 8,3. O pH deve ser mantido o mais estável possível devendo não haver variação de mais de uma unidade por dia.

No presente trabalho, o pH tanto da ETEI da indústria farmacêutica quanto do reator teste se manteve dentro da faixa neutra recomendada.

O pH do efluente final da ETEI da indústria farmacêutica se manteve na faixa neutra durante todo o período de testes, portanto, dentro dos padrões de lançamento determinados pela Resolução CONAMA 430 (Brasil, 2011). Os dados estão apresentados nas planilhas de acompanhamento dos parâmetros no **Apêndice C**.

3.2 Testes de Respirometria

Os resultados das análises dos testes de respirometria geram um valor que é a variação de oxigênio dissolvido. Ao dividir essa variação pelo tempo, a taxa de oxigênio consumido (TCO) pela comunidade bacteriana é determinada. O valor bruto da TCO não leva em consideração a concentração de microrganismos presentes. Sendo assim, os resultados de TCO foram divididos pela concentração de RNFV, resultando na Taxa específica de Consumo de Oxigênio (TCOe). Como houve diluição do lodo para realização do estudo, os resultados vão ser apresentados neste capítulo por gráficos de TCOe e os gráficos de TCO estarão disponíveis no **Apêndice B**.

Os testes foram realizados em triplicata e cada ponto sinalizado nos gráficos corresponde ao resultado médio da TCOe dos testes branco e dos testes com glicose + Cloreto de Benzalcônio, e a barra de erros com o desvio padrão de cada triplicata. A partir dos resultados de TCOe obtidos, as concentrações que causam redução de 50% (CE50) foram determinadas pelo método estatístico Trimmed Spearman-Kärber utilizando o programa GWBasic. Os testes branco indicados nos gráficos consistem na média dos dois testes realizados no dia.

Em todos os testes de respirometria foi levada em consideração a relação $A/M = 0,15$, recomendada por Von Sperling (2002), como a relação ideal para as estações operarem com eficiência, pois é o ponto onde há divisão entre respiração prolongada e convencional. Segundo o autor, a TCO que apresenta queda pode estar relacionada com a disponibilidade de substrato, por isso a importância de manter a relação A/M mais estável.

Indústria Alimentícia

A **Tabela 3.4** apresenta os valores de CE(I)50;10 min obtidos a partir dos resultados de TCOe obtidos dos testes de respirometria da indústria alimentícia.

Tabela 3.4 – Valores de CE(I)50:10min observados na indústria alimentícia

Data do teste	Concentração de CE50 (mg/L)	Limite de Confiança (mg/L)
Teste 1 – 07/08/2015	106,8	98,9 – 115,4
Teste 2 – 18/08/2015	244,3	217 – 275
Teste 3 – 10/09/2015	73,3	64,9 – 82,8
Teste 4 – 23/09/2015	226,1	207 - 247

a) Experimentos 1, 2, 3 – 07/08/15; 18/08/15; 10/09/15

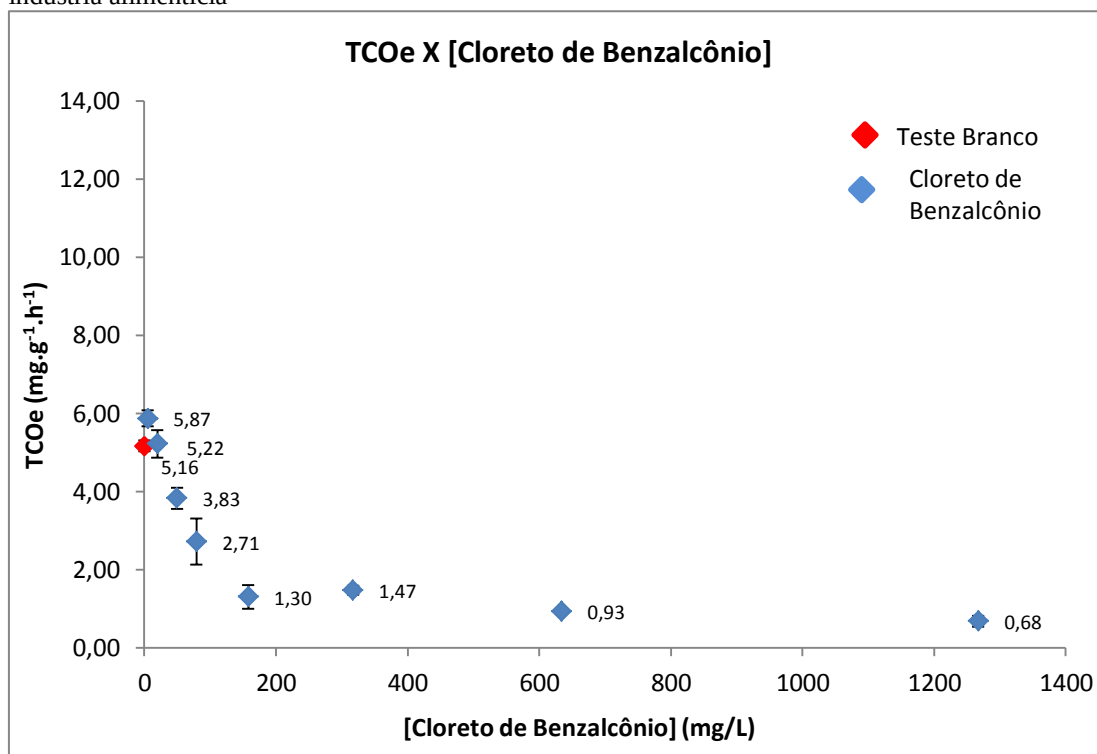
A **Figura 3.3** corresponde ao experimento 1 e representa os resultados de Taxa de Consumo de oxigênio específica (TCOe) que é calculada em função do valor de RNFV, dos experimentos 1, 2 e 3. Para cada concentração foram realizados testes em triplicada e cada ponto do gráfico representa a média das triplicatas de uma concentração e seu desvio padrão.

Os testes de respirometria 1, 2 e 3 apresentaram resultados de Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) e Taxa Específica de Consumo de Oxigênio (TCOe) que se reproduziram nos três testes. Os gráficos individuais de cada dia de experimento estão apresentados no **Apêndice B**.

O valor de RNFV do lodo diluído utilizado nos testes de respirometria para calcular a TCOe nos experimentos 1, 2 e 3 foi 1142 mg.L^{-1} , 1350 mg.L^{-1} e 1290 mg.L^{-1} , respectivamente.

Os dados de leitura de oxigênio dissolvido ao longo do tempo de teste que originaram o gráfico apresentado na **Figura 3.3** estão registrados no **Apêndice A**.

Figura 3.3 – Valores de TCOe obtidos nos testes de respirometria 1, 2 e 3 com Cloreto de Benzalcônio na indústria alimentícia



Os testes de respirometria realizados na indústria alimentícia apresentaram resultados de TCO intermediários. Observou-se que houve um decaimento na taxa de consumo de oxigênio e a toxicidade aguda determinada pelo CE(I)50;10 minutos variou de 73,3 a 244,3 mg/L, concentração no qual há 50% de efeito no decaimento no consumo de oxigênio pelos microrganismos. Os dados das análises podem ser vistos no **Apêndice E**.

Este valor intermediário das TCO's, que apresentaram resultados relativamente baixos, poderia estar ligado à presença de produtos desinfetantes e/ou presença de Óleos e Graxas no efluente, visto que essa indústria produz alimentos ricos em O&G, assim como Sururus, Giordano e Teixeira (2014) verificaram no seu trabalho.

A TCOe obtida do teste com a menor concentração de intoxicante (4,95mg/L) sofreu aumento em relação a TCOe do teste branco, quando o metabolismo do lodo é estimulado com glicose. Uma explicação para esse comportamento foi descrita por Hoffmann e Christofi, (2001), que relataram que quando há elevação na taxa de consumo de oxigênio em baixas concentrações de intoxicante, pode ocorrer o efeito “hormese”. O efeito “hormese” significa que algum evento que causa danos em altas doses pode tornar-se benéfico em baixas doses (HOFFMANN; CHRISTOFI, 2001).

Nos dias de experimento foram realizadas coletas de lodo, afluente e efluente da ETEI e os resultados dos parâmetros físico-químicos não apresentaram variações importantes. Os resultados dos parâmetros físico-químicos encontram-se no **Apêndice C**.

Avaliando-se o tratamento biológico aeróbio, o experimento 2 apresentou uma redução da eficiência de remoção de matéria orgânica em relação aos outros dias de experimento da indústria alimentícia. Esses dados estão apresentados na **Tabela 3.5**.

Tabela 3.5 – Dados de operação da indústria alimentícia

Experimento 2 – 18/08/2015	
Eficiência da estação	100%
Eficiência do tratamento biológico aeróbio	84%
DQO Saída do UASB (mg/L)	148

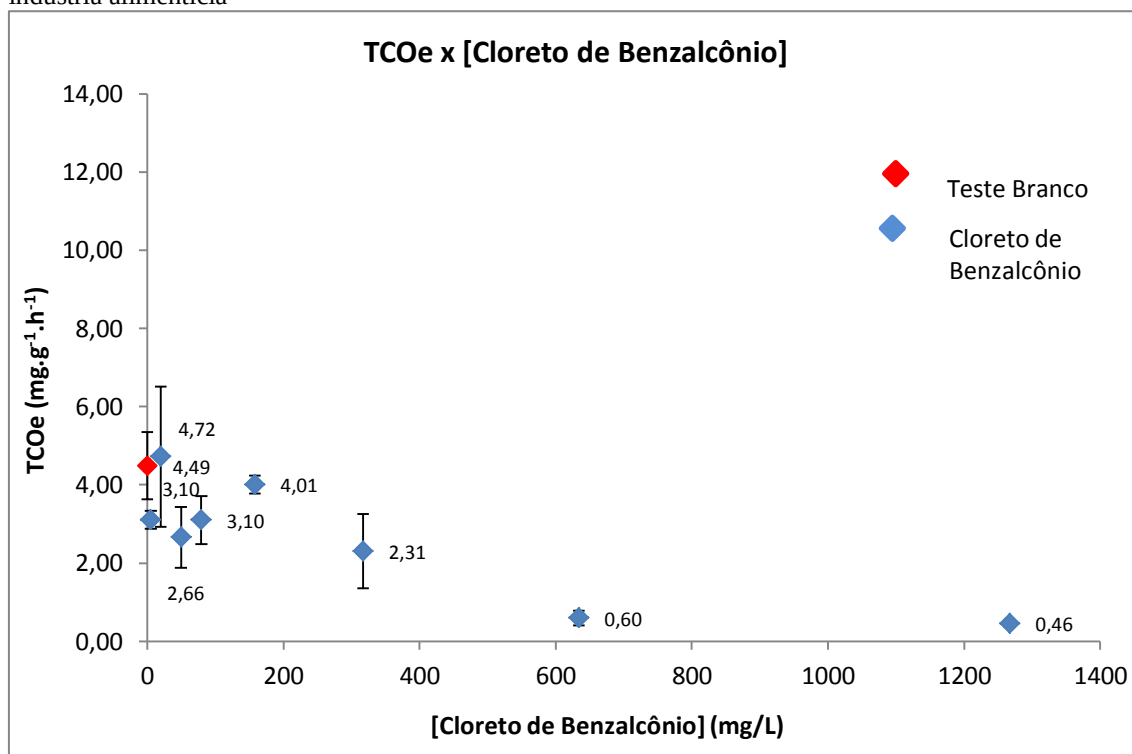
Sugere-se que essa eficiência baixa no reator aeróbio seja devido a uma ótima eficiência nos processos anteriores, o físico-químico e reator biológico anaeróbio do tipo UASB, onde houve uma grande redução da carga orgânica no efluente antes do processo de lodos ativados. A DQO de saída do UASB do experimento 2 foi a mais baixa dessa ETEI (148 mg/L).

A eficiência da ETEI como um todo se manteve a mesma durante todos os experimentos da indústria alimentícia, com aproximadamente 99% de eficiência quando avaliado pela DQO do afluente e do efluente final.

Experimento 4 – 23/09/2015

Apesar do experimento 4 não ter apresentado variação dos parâmetros físico-químicos analisados, apresentou resultados nas Taxas de Consumo de Oxigênio (TCO e TCOe) que diferem dos experimentos 1, 2 e 3 mesmo sendo realizado nas mesmas condições experimentais. O experimento 4 está apresentado na **Figura 3.4**.

Figura 3.4 – Valores de TCOe obtidos no teste de respirometria 4 com o cloreto de Benzalcônio realizado na indústria alimentícia



Este experimento apesar de ter apresentado valores próximos aos demais, houve uma dispersão maior dos resultados, resultando em um desvio padrão maior. A curva de decaimento das taxas de consumo de oxigênio não manteve a mesma tendência, pois os resultados concentrações maiores indicaram uma elevação na TCOe, logo, maior consumo de oxigênio pelos organismos presentes nos lodos, indicando uma menor toxicidade ou um efeito de choque tóxico que acelerou o metabolismo dos organismos, como o citado anteriormente por Hoffmann e Christofi (2001). A concentração que causou efeito observado a 50% da TCOe, calculado através do CE(I)50;10min foi de 226,1 mg/L.

Não foram observadas alterações nos parâmetros físico-químicos neste dia e as condições de realização do experimento se mantiveram as mesmas dos demais testes. Logo, a alteração pode ter ocorrido devido algum outro parâmetro não avaliado que não se reproduziu nos demais testes.

Em relação ao RNFV, o experimento 4 apresentou o maior valor para o lodo diluído (1437mg/L), no entanto, não difere da faixa que foi trabalhada nos testes de respirometria com diluição. Fernandes et al. (2001) relataram que alguns autores consideram que baixas concentrações de RNFV geram valores de TCO muito baixos e o contrário também é válido, no entanto, este teste que apresentou RNFV maior do que os outros da mesma indústria, não apresentou elevação da TCOe.

Observou-se também que este experimento apresentou maiores valores de desvio padrão, indicando que houve uma variação da TCO e TCOe entre as réplicas da mesma concentração.

Como essa indústria recebe habitualmente Cloreto de Benzalcônio em seu efluente, uma possível explicação para TCO's tão baixas é descrita por Sütterlin; Alexy; Kümmerer, (2008), que em estudos recentes observaram uma prevalência elevada de bactérias resistentes a Compostos de Amônio Quaternário (CAQs) em efluentes de estação de tratamento que costumam receber esse tipo de composto, e afirmaram que os CAQs causam problemas nos reatores biológicos. Os autores citaram também que estudos detectaram efeitos deletérios às bactérias nitrificantes com concentrações de CAQs de 2mg/L, e que após um tempo de adaptação (8 – 12 dias) bactérias dos gêneros *Pseudomonas* spp. e *Acinetobacter* desenvolveram resistência a essa substância.

Sütterlin; Alexy; Kümmerer (2008) citaram também que quando compostos aniônicos anfifílicos tem interação com compostos de amônio quaternário, pode levar a um aumento da toxicidade dos CAQs em comparação com os compostos individuais. Ou seja, dependendo da composição do efluente, pode haver um aumento do efeito tóxico aos lodos ativados se houver interação dessas substâncias.

Quando comparamos a toxicidade de outros desinfetantes também utilizados na indústria alimentícia, Lazarova et al. (1998) verificaram que em ETE a aplicação do desinfetante ácido peracético (APA) contribui de forma positiva, aumentando a oxigenação do efluente final. No entanto, a formação de ácidos carboxílicos pode aumentar a quantidade de material orgânico, incluindo o ácido acético, que pode ser biodegradável e acaba servindo de alimento para as bactérias decompositoras, podendo contribuir para o crescimento bacteriano ou ainda promover a formação de possíveis subprodutos dependendo da composição do efluente (CAVALLINI, 2012).

Nesse estudo de Cavallini (2012), o desinfetante Ácido Peracético contribuiu de forma positiva, no entanto, no presente estudo com o desinfetante Cloreto de benzalcônio verificou-se efeito tóxico aos microrganismos que afetaram o metabolismo e dessa forma o consumo de oxigênio, mesmo em baixas concentrações a partir de 18,4 mg/L.

Indústria Farmacêutica

A **Tabela 3.6** apresenta os valores de CE(I)50;10 minutos obtidos a partir dos resultados de TCOe obtidos dos testes de respirometria da indústria farmacêutica.

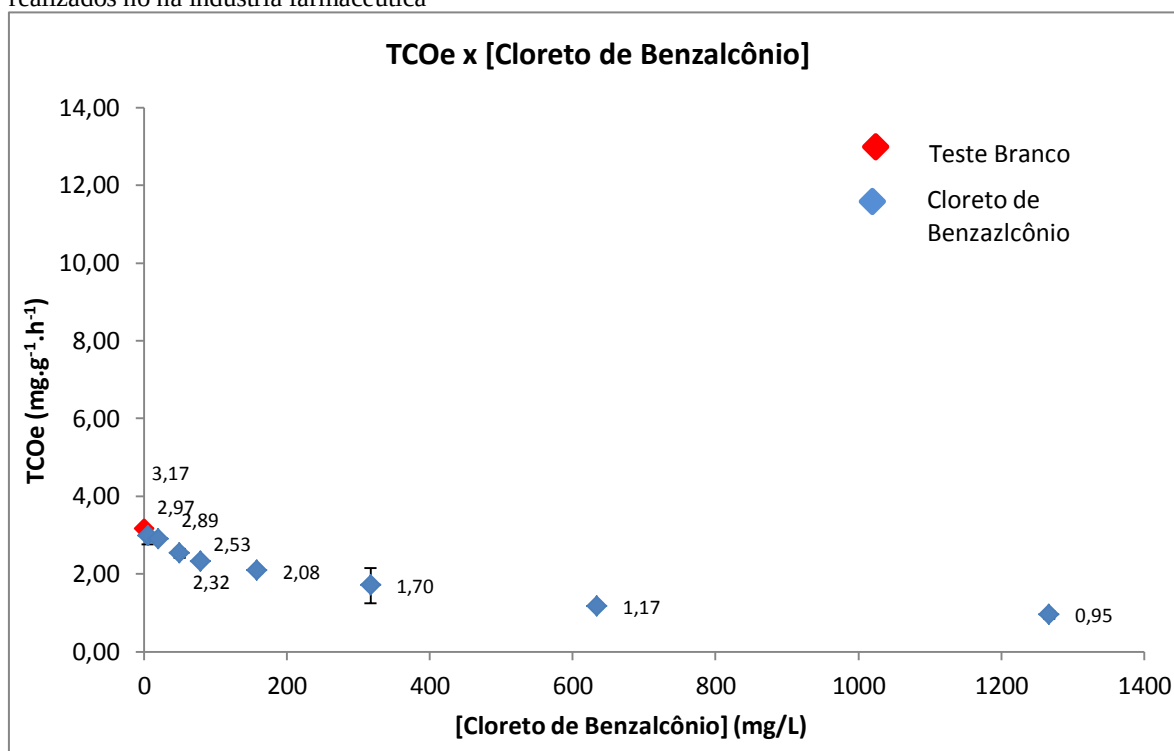
Tabela 3.6 – Valores de CE(I)50;10min observados na indústria farmacêutica

Data do teste	Concentração de CE50 (mg/L)	Limite de Confiança (mg/L)
Teste 5 – 27/08/2015	298,6	265,6 – 335,7
Teste 6 – 11/09/2015	469,8	364 – 606,3
Teste 7 – 24/09/2015	442,4	404 – 484,4
Teste 8 – 16/10/2015	357,9	303,2 – 422,5

Os testes de respirometria com lodo da indústria farmacêutica apresentaram as mais baixas taxas de consumo de oxigênio (TCO e TCOe), incluindo o teste branco, em que o lodo é estimulado com glicose. Os valores de TCO estão apresentados no **Apêndice A**.

A **Figura 3.5** mostra o gráfico com as Taxas Específicas de Consumo de Oxigênio (TCOe) do experimento e que representa os experimentos 5, 6, 7 e 8 realizados na indústria farmacêutica sob as mesmas condições experimentais. O comportamento do lodo ativado sob ação do intoxicante se reproduziu nos quatro experimentos.

Figura 3.5 - Valores de TCOe obtidos nos testes de respirometria 5, 6, 7 e 8 com o cloreto de Benzalcônio realizados na indústria farmacêutica



Na **Figura 3.5** podemos observar que o Cloreto de Benzalcônio adicionado ao teste pouco alterou o metabolismo microbiano, pois os valores foram semelhantes aos resultados do teste branco. Houve um pequeno decaimento dos valores de TCOe em baixas concentrações de intoxicante e uma tendência a manter estabilidade nas concentrações mais elevadas. Esse fenômeno foi observado em todos os experimentos dessa ETEI.

A dificuldade de respiração pelos microrganismos, com pouco decaimento do consumo de oxigênio ao longo do tempo, resultando em valores de TCOe muito baixos, corresponde a uma respiração de manutenção.

Esperava-se que as taxas de consumo de oxigênio (TCO e TCOe) do lodo obtido da indústria farmacêutica apresentassem uma redução mais brusca com a adição do composto intoxicante, visto que, o desinfetante estudado não é utilizado nos processos de higienização da indústria em questão, logo, o lodo seria mais sensível ao intoxicante pois não estaria adaptado a recebê-lo no efluente. No entanto, o teste mostrou o contrário do que se esperava. Este fato foi comprovado pelas elevadas concentrações de Cloreto de Benzalcônio que causaram efeito observado em 50% da TCOe, apresentando mínimo de 298,6mg/L e máximo 469,8 mg/L (entre os 4 experimentos), as mais altas desse estudo. Os dados que geraram os resultados de CE50 podem ser vistos no **Apêndice E**.

Uma possível explicação para resultados de taxas de consumo de oxigênio tão baixas para lodos da indústria farmacêutica foi descrita no estudo de Surerus, Giordano e Teixeira, (2014). Os autores sugeriram que a presença habitual de antibióticos no efluente e outras substâncias potencialmente tóxicas vindas da área de produção da indústria geraram uma resistência/seletividade maior do que os lodos obtidos de outros tipos de ETEI.

Essa ideia foi ratificada por Jönsson et al. (2001) que verificaram em seu trabalho que lodos ativados frequentemente expostos a pequenas quantidades de uma variedade de substâncias tóxicas podem constituir uma resistência geral a substâncias tóxicas. Também observou que pode ocorrer uma adaptação específica a determinadas substâncias.

Os valores dos resíduos não filtráveis voláteis (RNFV) do lodo diluído, com o qual foram realizados os testes, se mantiveram muito próximos, 1130mg/L, 1161mg/L, 1180mg/L e 1010mg/L, respectivamente para os experimentos 5, 6, 7 e 8.

Reator alimentado com efluente sintético

A **Tabela 3.7** apresenta os valores de CE(I)50:10 minutos obtidos a partir dos resultados de TCOe obtidos dos testes de respirometria com lodo do reator piloto.

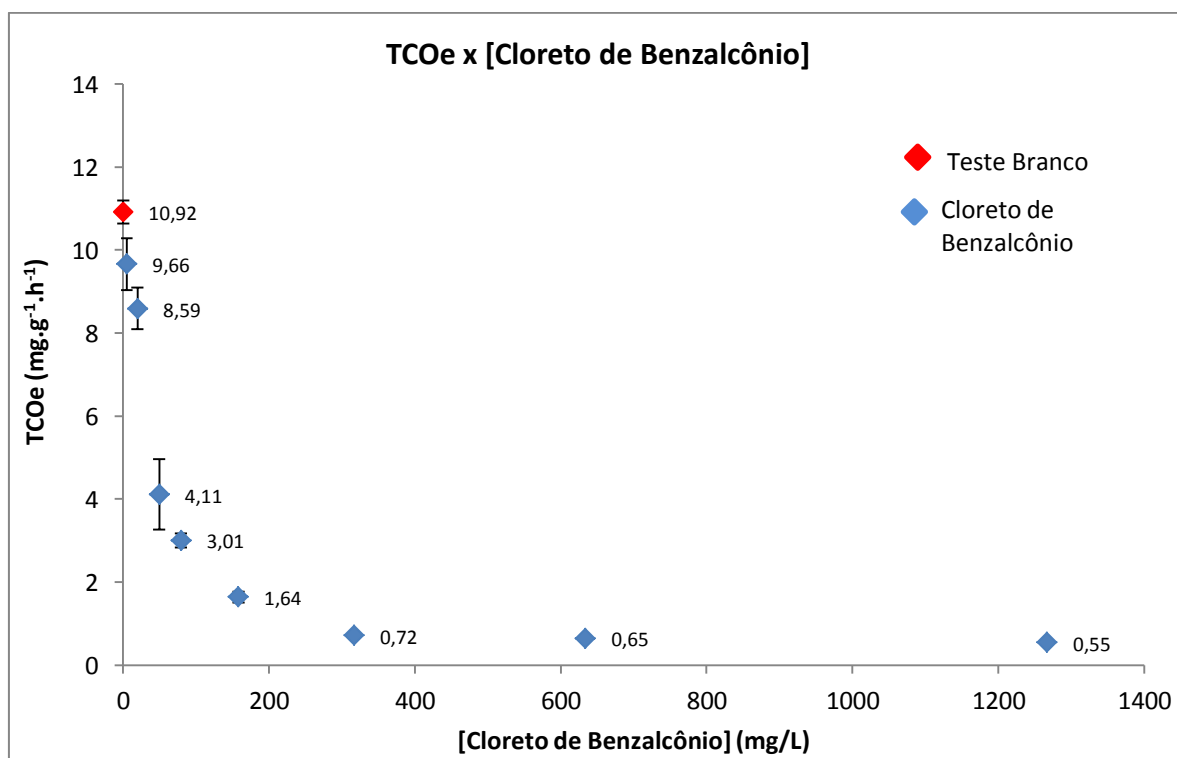
Tabela 3.7 – Valores de CE(I)50:10min observados no reator piloto

Data do teste	Concentração de CE50 (mg/L)	Limite de Confiança (mg/L)
Teste 9 – 28/10/2015	20,1	19,1 – 21,2
Teste 10 – 12/11/2015	39,4	37,3 – 41,7
Teste 11 – 26/11/2015	29,9	27,9 – 32,1
Teste 12 – 03/12/2015	18,4	17,3 – 19,7

Experimento 9 e 10 – 28/10/2015 e 12/11/2015

A **Figura 3.6** apresenta o gráfico de TCOe dos experimentos 9 e 10, pois estes apresentaram resultados muito semelhantes, sendo os maiores valores de taxa de consumo oxigênio dos testes de respirometria, com TCOe correspondente ao teste branco igual a 10,92.

Figura 3.6 - Gráfico representando os Testes de respirometria 9 e 10 do reator sintético



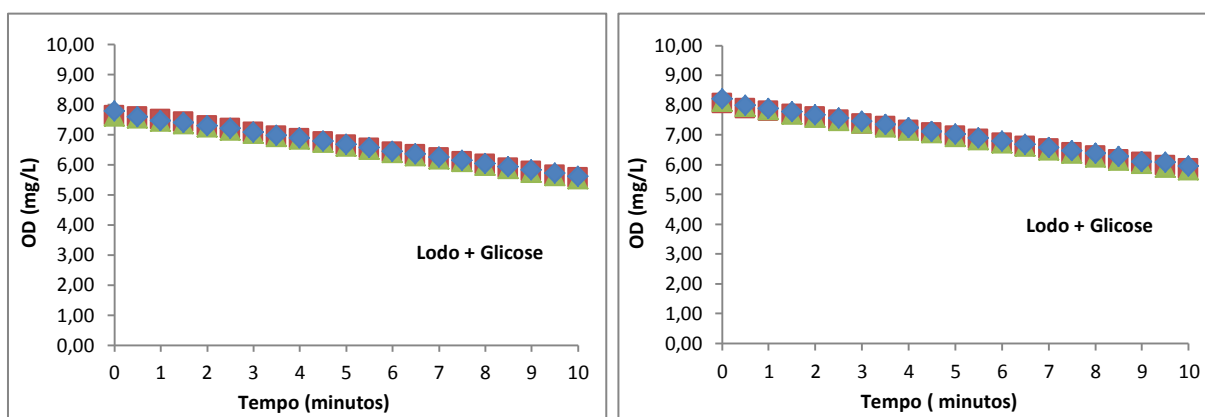
Observando-se a relação da TCOe com o Cloreto de Benzalcônio, podemos dizer que o BAC apresentou inibição da atividade microbiana em 50% em concentrações relativamente baixas, CE(I)50;10min a partir de 20,1 e até 39,4 mg/L, as mais baixas desse estudo.

Foi possível perceber que o lodo adaptou-se rapidamente ao efluente sintético, pois em aproximadamente seis dias de aclimação, verificou-se aumento na taxa de consumo de oxigênio no teste branco (padrão), quando estimulado com glicose. Este fato pode ser devido à ausência de compostos intoxicantes no efluente de alimentação, que nesse caso foi o sintético, preparado em laboratório de acordo com as necessidades de lodos ativados estudado por Papadimitriou et al. (2007).

O lodo biológico do reator sintético apresentou os maiores valores de TCO, indicando que o lodo esteve livre de contaminantes, e maior sensibilidade ao intoxicante, por ter sido observado efeito tóxico nas mais baixas concentrações do estudo.

Os experimentos 9 e 10 apresentaram as maiores curvas de decaimento de oxigênio dissolvido ao longo do tempo de teste para os testes branco. Ambos os testes tiveram decaimento de mais de 2 unidades do início ao fim do período de 10 minutos de leitura, por isso apresentaram os maiores valores de TCO e TCOe de todos os testes. Os gráficos estão apresentados na **Figura 3.7**.

Figura 3.7 - Decaimento de OD dos testes de respirometria 9 e 10, respectivamente (teste branco)

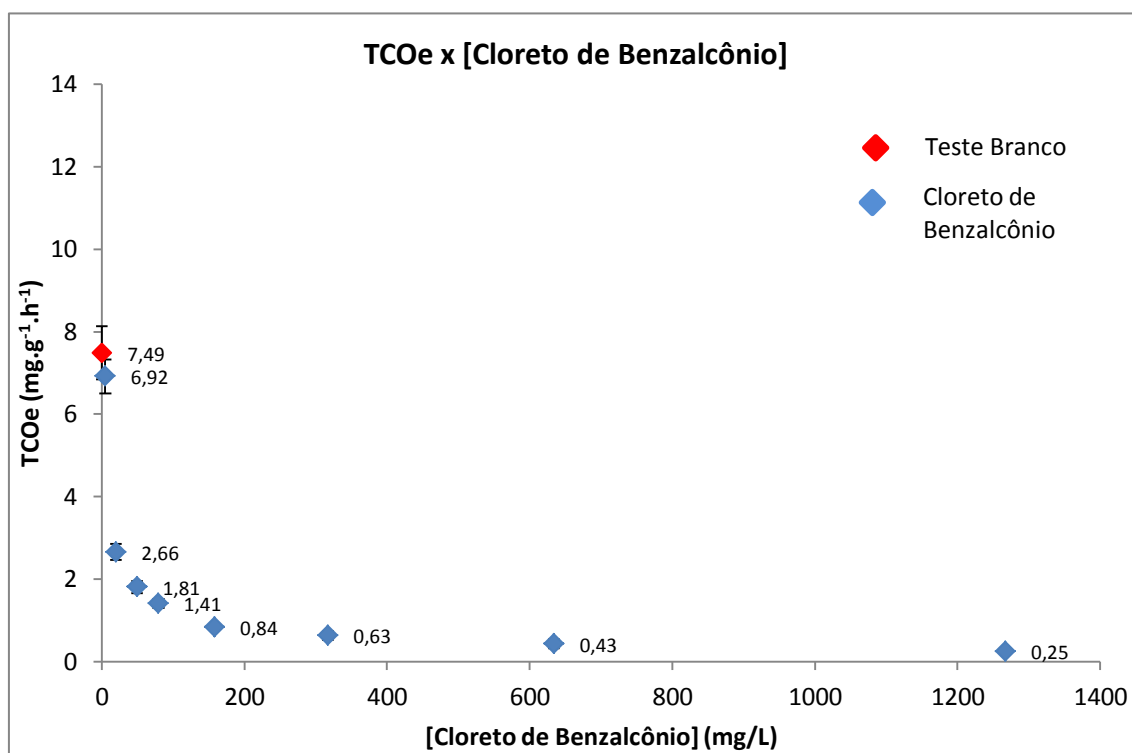


Experimentos 11 e 12 – 26/11/2015 e 03/12/2015

Os experimentos 11 e 12 com lodo do reator sintético apresentaram valores de TCOe mais baixos em relação aos experimentos 09 e 10, realizados sob as mesmas condições de teste e de aclimação do lodo.

Em ambos os testes foram necessárias baixas concentrações de Cloreto de Benzalcônio para causar efeito tóxico com CE(I)50%;10min de 29,9 e 18,4 mg/L, respectivamente, seguindo a mesma tendência dos experimentos 9 e 10.

Figura 3.8 - Gráfico representando os testes de respirometria 11 e 12 do reator sintético



O lodo ativado do reator aeróbio piloto apresentou elevação das taxas de consumo de oxigênio (TCO e TCOe) após o tempo de aclimação com efluente sintético. Isto pode indicar boa adaptação ao novo afluente e sugere que por não haver presença substâncias intoxicantes, o lodo se tornou mais saudável, logo, mais suscetível a cargas tóxicas.

Estas observações indicam que o lodo adaptado ao efluente sintético se tornou mais sensível e para causar efeito tóxico não é necessário altas concentrações de intoxicante. Surerus, Giordano e Teixeira (2014) explicam esse comportamento pela ausência de compostos tóxicos no afluente diminuindo assim a resistência/seletividade dos microrganismos presentes no lodo, tornando-o mais suscetível a intoxicação.

O reator aeróbio piloto de lodo ativado mostrou uma grande estabilidade em sua eficiência, já que houve pequenas alterações entre os valores dos parâmetros físico-químicos analisados nas amostras coletadas em dia de teste após o tempo de aclimação.

Nas análises dos parâmetros para operação do reator piloto, foi possível perceber que em todos os experimentos a relação A/M da indústria alimentícia, que forneceu o lodo biológico para dar partida no reator, era muito baixa e após a operação do reator pelo tempo determinado de aclimação, o valor da relação A/M foi elevado de acordo com as amostras coletadas no dia da realização dos testes de respirometria. Este fato sugere que o lodo teve boa adaptação ao efluente sintético produzido livre de compostos tóxicos, melhorando assim a qualidade do lodo e a sua respiração.

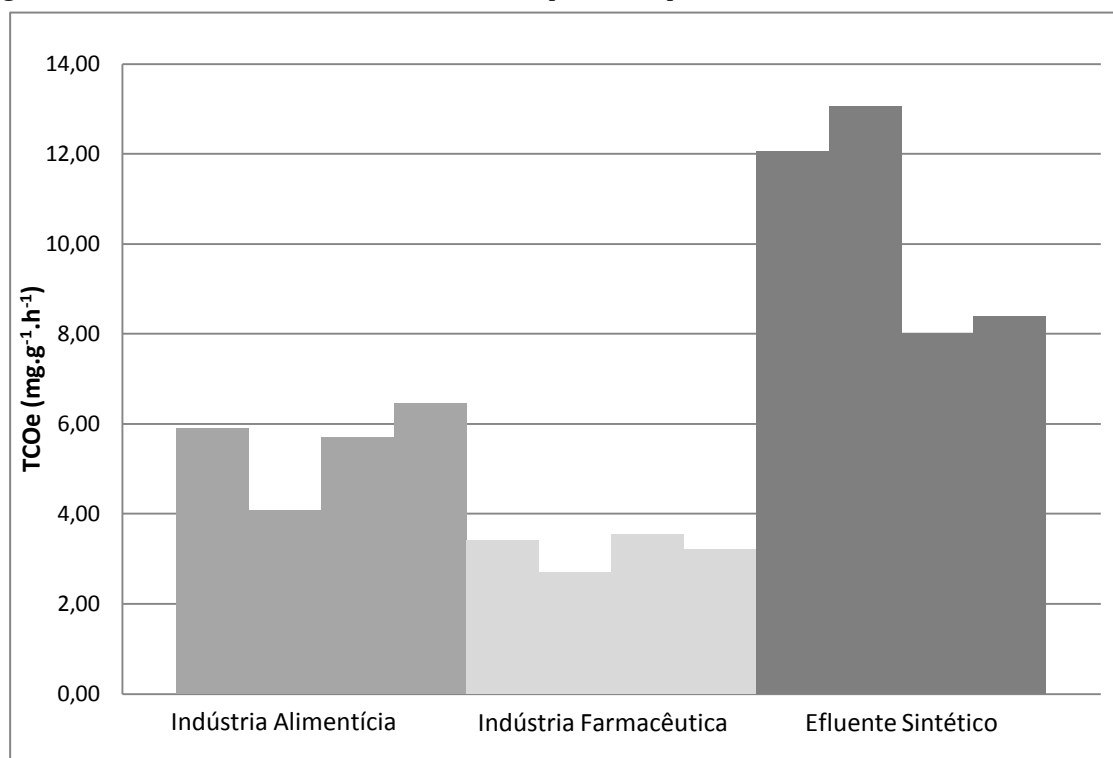
Esses dois experimentos apresentaram valores muito pequenos de desvio padrão, indicando que os resultados entre as triplicatas foram bem semelhantes.

O valor de DQO do efluente sintético assumido nesse trabalho como constante para todos os experimentos (2356mg/L) ficou próximo do que Surerus, Giordano e Teixeira (2014) detectaram quando utilizaram a mesma referência para produzir o efluente em laboratório (2450mg/L).

A relação média RNFV/RNFT do lodo após aclimação com efluente sintético ficou = 0,83, indicando lodo jovem. Verificou-se que o lodo de partida que possuía relação média = 0,81 sofreu um pequeno aumento conforme foi se aclimatando com o novo efluente.

3.2.1 Comparação entre os diferentes tipos de efluente e seus lodos ativados

A **Figura 3.9** apresenta os valores de TCO dos testes de respirometria realizados com os diferentes lodos quando estimulados com substrato Glicose. Os valores estão representando os quatro experimentos realizados em triplicata para cada tipo de efluente.

Figura 3.9 – Valores de TCO do Teste Branco de respirometria para todos os lodos utilizados

Tanto o lodo da indústria alimentícia quanto o da indústria farmacêutica apresentaram resultados de TCO e TCOe muito baixas no teste branco (padrão), quando é adicionado ao lodo apenas o substrato rapidamente biodegradável (glicose). Este valor baixo pode ser indicativo de presença de compostos tóxicos nos efluentes brutos das indústrias.

Tabela 3. 8 - Valor da TCO para cada tipo de lodo no teste branco de respirometria

Indústria	TCO (mg.L ⁻¹ .h ⁻¹) - Teste Branco				
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Desvio Padrão
Indústria Alimentícia	5,90	4,07	5,69	6,46	1,03
Indústria Farmacêutica	3,40	2,69	3,55	3,20	0,37
Reator Sintético	12,07	13,07	8,01	8,38	2,56

É possível notar que as TCO's do lodo da Indústria Farmacêutica foram as mais baixas (2,69 até 3,55 mg.L⁻¹.h⁻¹), o lodo alimentado com efluente sintético apresentou as TCO's mais altas (8,01 até 13,07 mg.L⁻¹.h⁻¹) e a indústria alimentícia apresentou TCO's intermediárias (4,07 até 6,46 mg.L⁻¹.h⁻¹), quando estimulado com Glicose. Esta mesma correlação foi observada por Surerus (2009) em seu estudo.

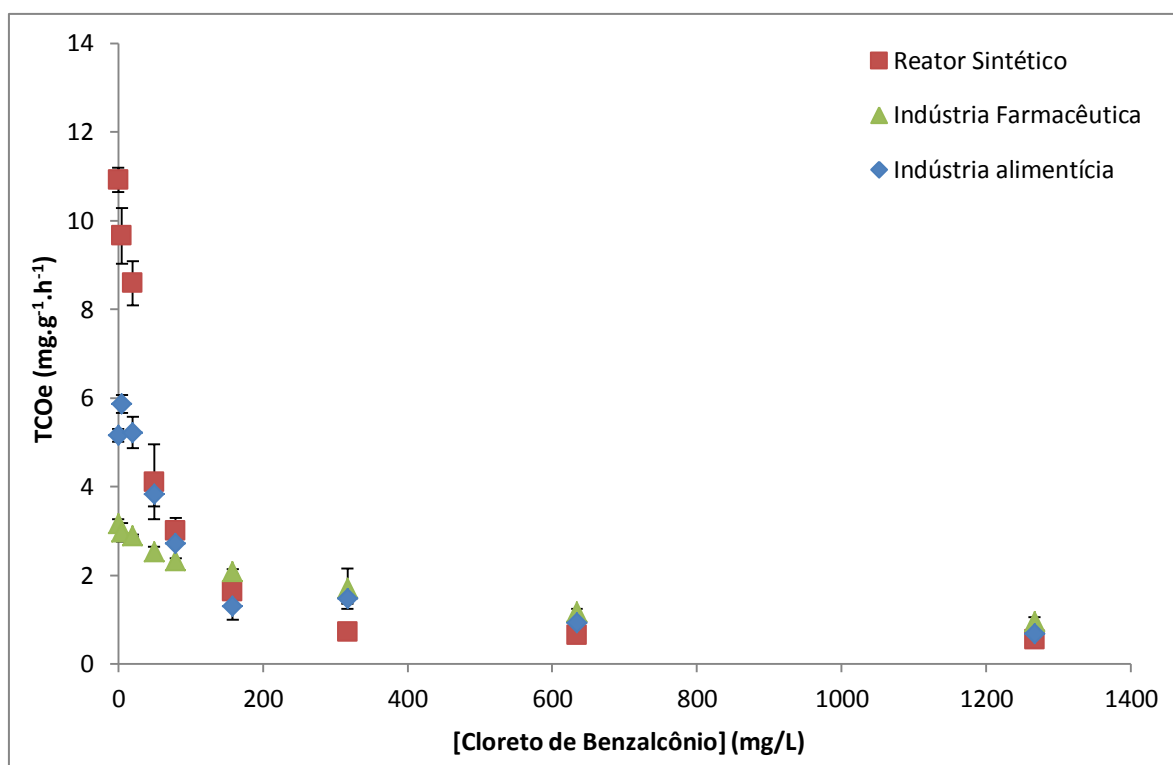
Quando comparamos o efeito da toxicidade do Cloreto de Benzalcônio nos três tipos de lodo, observamos que as concentrações maiores (634mg/L e 1267mg/L) geraram efeito tóxico semelhante para todos os tipos de lodos, observando-se que os valores de TCOe ficaram muito próximos, com os pontos se sobrepondo no gráfico (**Figura 3.10**). As concentrações menores apresentaram efeitos distintos ou nenhum efeito de toxicidade para cada tipo de lodo. Os resultados são referentes às **Figuras 3.3, 3.5 e 3.6**.

O estudo de Zhang et al. (2009) ratifica o fenômeno observado neste trabalho. Este autor verificou que a TCOe diminuiu exponencialmente à medida que a concentração de cloreto de benzalcônio aumentou nos testes (de 5 a 70mg/L de BAC) e o CE50 variou entre 0,12 e 3,60 mg/L. O resultado mais baixo obtido por esses autores em relação ao presente estudo pode ser explicado por diversos fatores, sendo o primeiro a ser levado em consideração a diluição realizada para os testes. A quantidade reduzida dos microrganismos pode ser mais afetada pelo BAC. O segundo fator é a adaptação do lodo à presença cargas tóxicas nos efluentes brutos.

O Cloreto de Benzalcônio inibe o uso e a absorção de oxigênio pelos microrganismos do lodo causando assim a utilização prolongada do substrato rapidamente biodegradável adicionado. A degradação do BAC somente inicia após a maior parte do substrato ter sido utilizado. No entanto, uma grande fração do BAC é instantaneamente adsorvida na biomassa (ZHANG et al., 2009).

Como a taxa de biodegradação do BAC é lenta, uma parte desse composto pode passar pelo sistema de tratamento e ser transferida para o corpo receptor e causar bioacumulação. Para resolver esse problema em ETE's que recebem elevada carga de BAC no seu efluente, Zhang et al. (2009) sugerem a implementação de sistema de lodos ativados com alto tempo de retenção, tais como aeração prolongada ou sistemas de crescimento anexo.

No caso das indústrias estudadas, seu sistema de tratamento já é adequado às sugestões de Zhang et al. (2009), pois operam em modo de aeração prolongada com tempo de retenção adequado para que haja eliminação da maior parte do BAC advindo dos processos industriais, evitando assim o despejo em grande volume no corpo receptor.

Figura 3.10 - Comparação do efeito tóxico do Cloreto de Benzalcônio entre os três lodos estudados

Zhang et al. (2009) relataram que a toxicidade causada pelo Cloreto de Benzalcônio varia de acordo com a concentração de biomassa presente no lodo ativado, muito provavelmente este fato está relacionado à capacidade de adsorção do intoxicante pelos organismos.

Com isso, sugere-se que a condição de intoxicação neste trabalho foi maior devido a diluição do lodo, já que este apresentou número reduzido de organismos afetando a respiração e reduzindo as taxas de consumo de oxigênio.

Tabela 3.9. – Relação A/M da indústria alimentícia e farmacêutica e do reator sintético

Indústria	Relação A/M (Kg DQO / Kg RNFV.d)			
	Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4
Indústria Alimentícia	0,03	0,01	0,06	0,07
Indústria Farmacêutica	0,16	0,21	0,17	0,15
Reator Sintético	0,15	0,14	0,17	0,17

Surerus (2009) relatou que quando a relação A/M apresenta valores abaixo de 0,15, há pouca disponibilidade de alimento em comparação com a quantidade de microrganismos. Espera-se então que haja uma redução da TCO pela falta de substratos disponíveis. E por

outro lado, a relação A/M acima de 0,15 representa alta quantidade de substratos comparada com a densidade de microrganismos, propiciando síntese de novas células microbianas e aumento da TCO.

No entanto, o presente estudo observou o contrário do que Surerus (2009) descreveu. A ETEI da Indústria Alimentícia, no qual operou com A/M média = 0,03, apresentou uma TCO mais alta nos testes branco (TCO média = 5,53 mg.L⁻¹.h⁻¹) do que a ETEI da Indústria Farmacêutica, que operou com A/M média = 0,17 e no entanto, apresentou uma TCO muito baixa (TCO = 3,21 mg.L⁻¹.h⁻¹). Os valores de relação A/M estão descritos na **Tabela 3.9** para cada tipo de lodo.

Em relação ao pH, Surerus, Giordano e Teixeira (2014), observaram o mesmo comportamento ocorrido neste trabalho: o pH do lodo aclimatado com efluente sintético foi mais alto na avaliação dos parâmetros físico-químicos em relação aos lodos das ETEIs, operando em uma faixa em torno de 8,05 enquanto os lodos reais numa faixa em torno de 7 – 7,5. Sugere-se que esse aumento se deve aos reagentes que compõem o efluente sintético.

3.2.2 Decaimento dos valores de Oxigênio Dissolvido

O decaimento de oxigênio dissolvido ao longo do tempo de teste foi menor para as concentrações entre 317mg/L e 1267mg/L, logo, apresentaram valores de taxa de consumo de oxigênio menores. Foi observado também que os valores de OD apresentaram repetição ao longo do teste nessas concentrações. O mesmo fato não foi observado nas demais concentrações de intoxicante. Essa tendência foi observada tanto para os lodos obtidos de efluentes reais quanto para o sintético, indicando que os microrganismos foram reduzindo o consumo de oxigênio.

Zhang et al. (2009) verificaram que em relação ao oxigênio dissolvido, quanto maior era a concentração de BAC no teste, menor era o decaimento de oxigênio dissolvido com o tempo. O teste contendo apenas lodo ativado teve o registro de OD praticamente constante durante todo o teste, pois ele não teve estímulo com o substrato rapidamente biodegradável nem adição de intoxicante. O maior decaimento foi do teste branco, no qual foi adicionado apenas glicose, decaindo de 8mg/L para quase 0mg/L em 22 minutos de teste.

Os dados de decaimento de OD estão descritos no **Apêndice A** e os gráficos representando o decaimento de OD de cada réplica de cada concentração de intoxicante podem ser vistos no **Apêndice B**.

3.3 Caracterização microbiológica dos lodos ativados

Em complemento aos testes de respirometria, foram realizadas observações microscópicas dos diferentes tipos de lodo estudados para realização de uma análise qualitativa de caracterização dos microrganismos para corroborar os dados obtidos nos testes e análises anteriores.

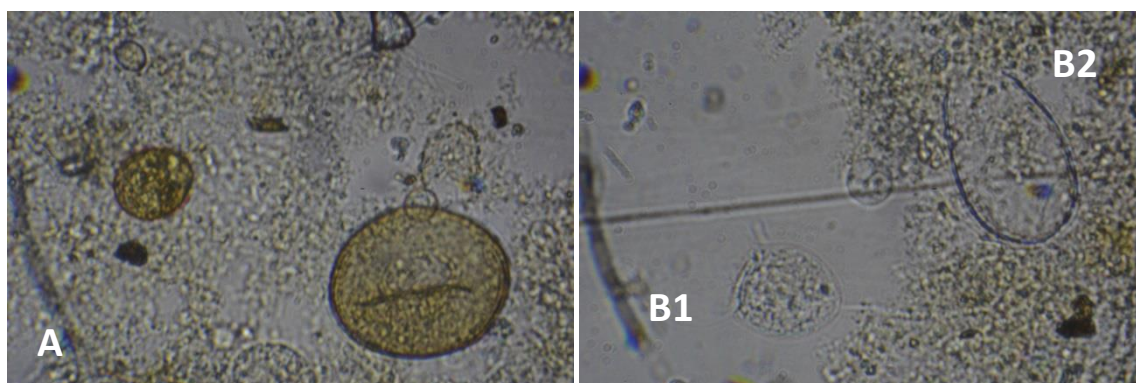
Os organismos foram identificados de forma comparativa com Jenkins; Richard; Daigger (2003), Miloski (2015), Soares et al. (2014) e Bento et al. (2005).

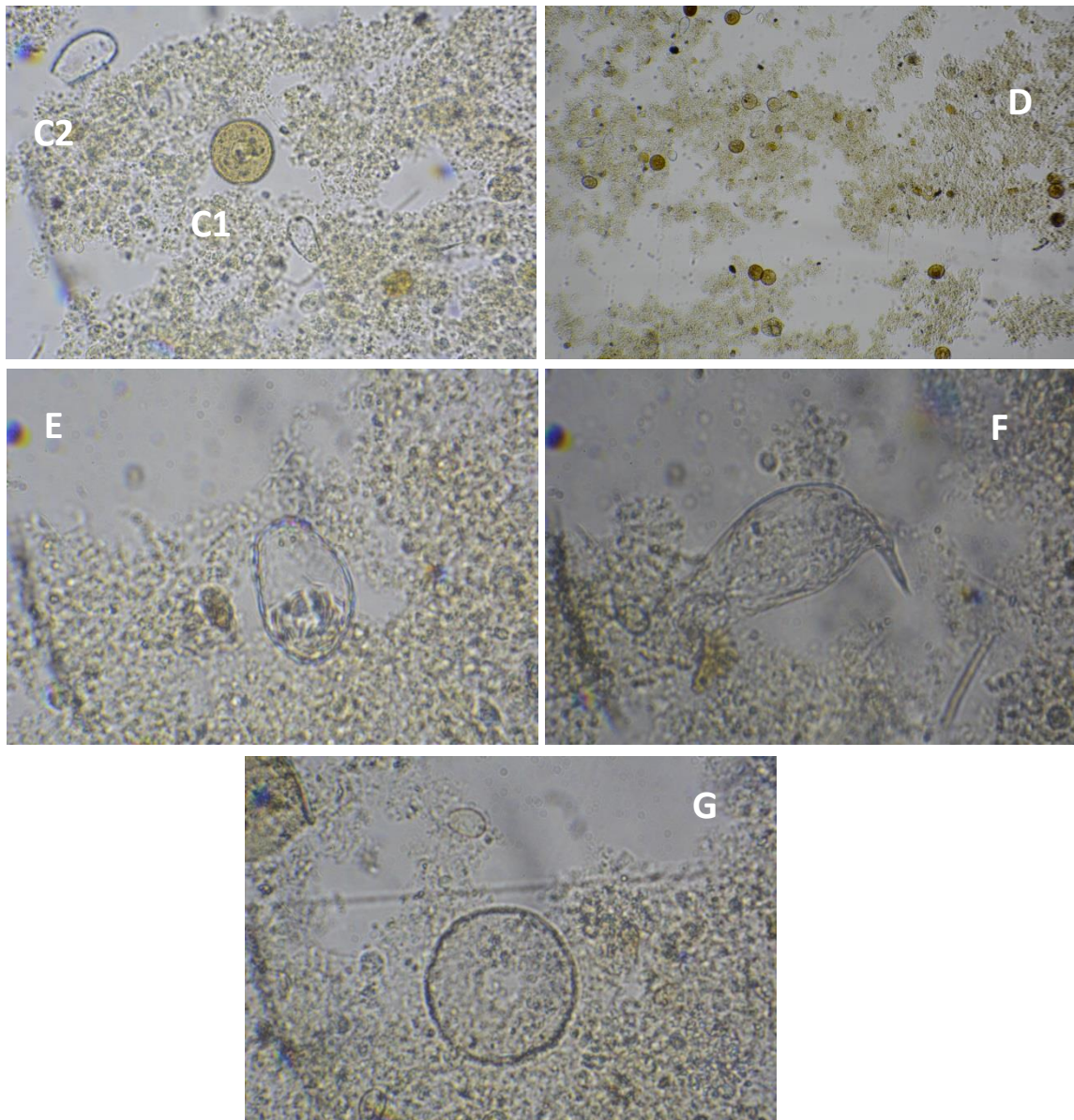
Foram usadas as lentes de 10X, quando registrou-se o floco biológico e 40X para focar em um determinado organismo.

Lodo proveniente da indústria alimentícia

A **Figura 3.11** apresenta os microrganismos presentes no lodo ativado do reator aeróbio da indústria alimentícia. Ao total são sete imagens as quais apresentam os organismos encontrados.

Figura 3.11 – Fotomicrografias *in vivo* de microrganismos encontrados no reator aeróbio da indústria alimentícia





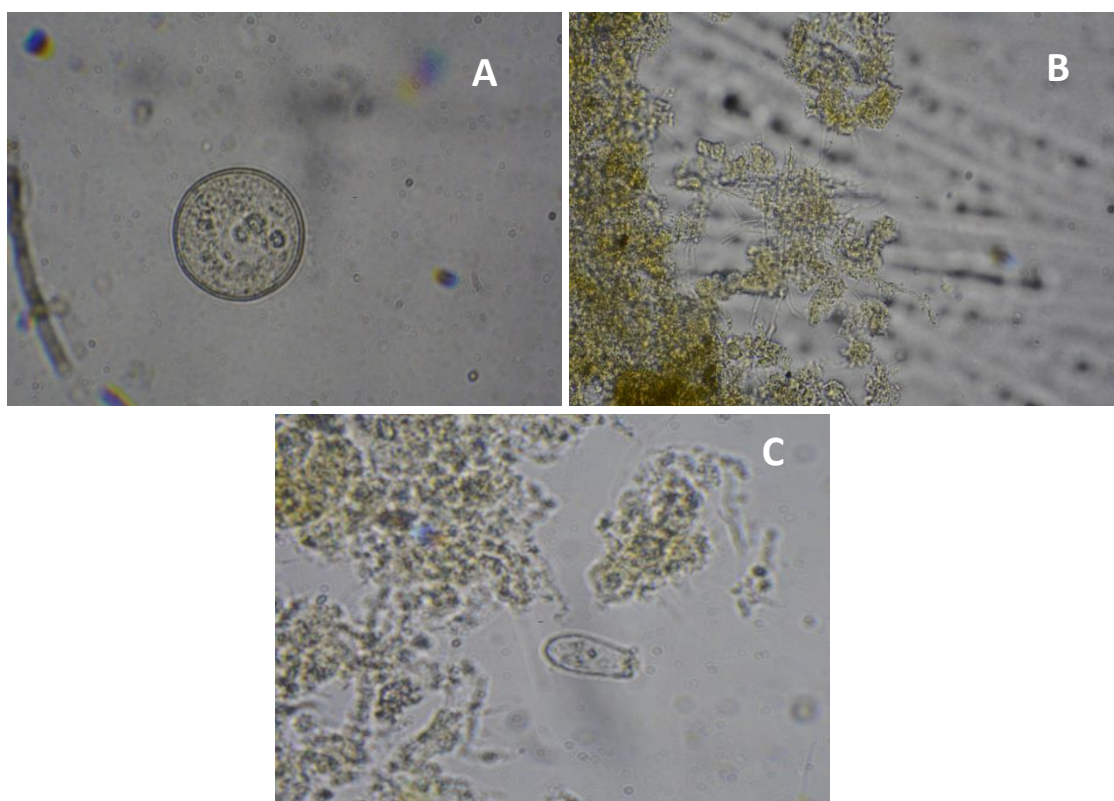
A identificação comparativa indicou:

- (A) duas Tecamebas do gênero *Arcella*;
- (B1) protista ciliado sésil do gênero *Vorticella* sp;
- (B2) Tecameba do gênero *Euglypha*;
- (C1) Tecameba do gênero *Arcella*;
- (C2) Tecameba do gênero *Euglypha*;
- (D) Predominância dos gêneros *Euglypha* e *Arcella*;
- (E) Tecameba;
- (F) Rotífero (Metazoário);
- (G) Tecameba do gênero *Arcella* morta;

Lodo proveniente da indústria farmacêutica

A **Figura 3.12** apresenta os microrganismos presentes no lodo ativado do reator aeróbio da indústria farmacêutica. Ao total são três imagens as quais apresentam os organismos encontrados.

Figura 3.12 – Fotomicrografias *in vivo* de microrganismos encontrados no reator aeróbio da indústria farmacêutica



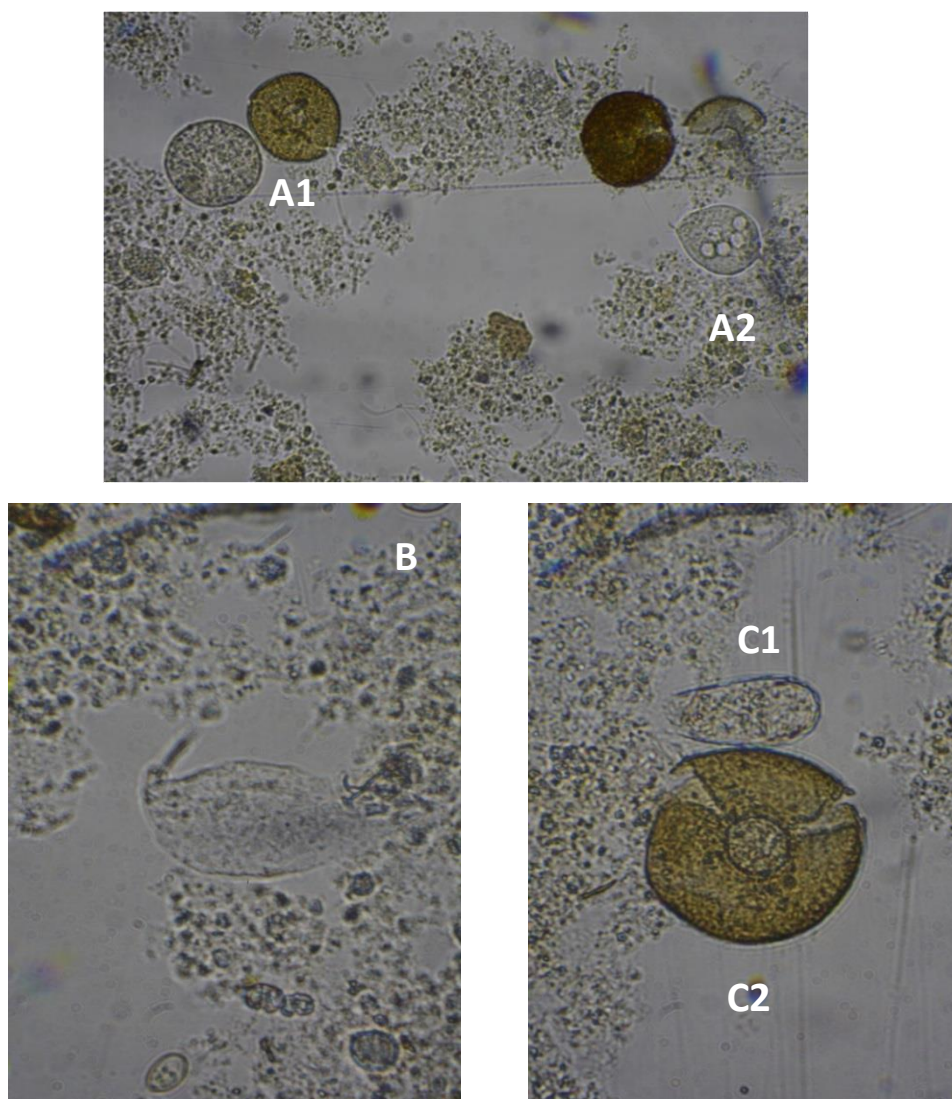
A identificação comparativa indicou:

- (A) Tecameba do gênero *Arcella* morta;
- (B) Floco com organismos filamentosos;
- (C) Tecameba do gênero *Euglypha*.

Lodo aclimatado com efluente sintético

A **Figura 3.13** apresenta os microrganismos presentes no lodo ativado do reator aeróbio de bancada aclimatado com efluente sintético produzido em laboratório. Ao total são três imagens mostrando os organismos encontrados.

Figura 3.13 – Fotomicrografias *in vivo* de microrganismos encontrados no reator aeróbio após aclimação com efluente sintético



A identificação comparativa indicou:

- (A1) Tecameba do gênero *Arcella*;
- (A2) Ciliado pedunculado;
- (B) Rotífero (Metazoário);
- (C1) Tecameba do gênero *Euglypha*;
- (C2) Tecameba do gênero *Arcella*;

Tanto para os lodos obtidos das ETEIs quanto para o lodo aclimatado com efluente sintético houve predominância dos organismos do gênero *Arcella* e do gênero *Euglypha*. Segundo Bento et al. (2005), lodos em que há estes organismos como dominantes, tem como característica do processo boas condições de depuração, estabilidade biológica, baixa relação A/M e elevada idade do lodo. Estas características foram comprovadas nas análises dos parâmetros físico-químicos.

Estes gêneros de organismos dominantes variam na forma e tamanho (10 a 200µm) e se movem através de pseudópodes. Algumas espécies possuem uma dura e ornamentada carapaça que pode ser secretada pelo citoplasma ou composta por materiais aglutinados na célula, chamada Teca. As amebas têm um bom crescimento em matéria orgânica particulada e são capazes de tolerar ambientes com baixo OD. Elevada abundância de amebas pode indicar muita matéria orgânica particulada (JENKINS et al., 2003). Nos lodos ativados, os principais gêneros de tecamebas são: *Arcella*, *Diffugia* e *Euglypha* (ABREU, 2004).

Poole (1984) cita em seu estudo que protozoários dos gêneros *Arcella* e *Euglypha* costumam colonizar lodos ativados de estações que operam com baixa carga orgânica e são característicos de lodos dos tanques de aeração onde ocorre remoção de nitrogênio.

Chierici e Madoni (1991) citam que as amebas com teca são muito abundantes ou dominantes em lodos ativados caracterizados por baixa carga orgânica, longo tempo de retenção e alta concentração de oxigênio dissolvido (OD) e baixos valores de IVL. Estas características permitem geralmente obter uma completa nitrificação. Em tais condições, a qualidade do efluente é excelente e o desempenho biológico da estação alcança seu máximo.

No lodo da Indústria alimentícia e no lodo do reator com efluente sintético foi encontrado o metazoário Rotífero. Os rotíferos são organismos multicelulares, que se alimentam de bactérias e protozoários e podem quebrar as partículas do floco, permitindo o contato entre o substrato e as bactérias localizadas no centro das partículas e facilitam a penetração de oxigênio dissolvido, nitrato (NO_3^-), substratos e nutrientes (GERARDI, 2006).

O lodo da Indústria Alimentícia apresentou em sua composição o protista ciliado sésil do gênero *Vorticella* sp. Entre os ciliados sésseis, espécies como *Vorticella* sp. e *Opercularia* spp., podem sobreviver e crescer em lodos ativados expostos a condições ambientalmente críticas (carência de O_2 , entrada de substâncias tóxicas, etc.). Quando estas espécies estão presentes em elevada densidade, devem ser consideradas separadamente das outras formas sésseis (ABREU, 2004).

Verificou-se a presença de organismos grandes nos três tipos de lodo. Esta característica é benéfica ao lodo pois facilita a formação de flocos grandes que posteriormente

viabilizará a boa sedimentação do lodo. Da mesma forma a diversidade de organismo é fundamental para uma boa remoção de carga orgânica.

A análise qualitativa do lodo, englobando aspectos gerais dos flocos e a identificação das espécies dominantes, foi suficiente para uma caracterização imediata das condições de depuração do sistema de tratamento.

3.4 Ensaio de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri*

Foi avaliada inicialmente a toxicidade aguda na faixa de concentração de Cloreto de Benzalcônio estudada no teste de respirometria: 1267 mg/L; 634 mg/L; 317 mg/L; 158 mg/L; 79,2 mg/L; 49,5mg/L; 19,8mg/L; 10 mg/L; 4,95 mg/L. Contudo, não foi possível determinar o valor de CE_{50} pois todas as concentrações se mostraram tóxicas ao microrganismo já no tempo de exposição de 5 minutos e continuou até os 30 minutos.

Um novo ensaio de toxicidade aguda foi realizado nas seguintes concentrações: 1 mg/L; 0,5 mg/L; 0,25 mg/L; 0,125 mg/L; 0,0625; 0,03125 mg/L; 0,01562 mg/L; 0,00781 mg/L; 0,00390 mg/L. Nessa faixa de concentração foi possível determinar o valor CE_{50} do Cloreto de benzalcônio para o ensaio de toxicidade aguda com o organismos-teste *Aliivibrio fischeri*.

A fim de obter um resultado confiável foram realizados dois testes: o primeiro foi realizado em duplicata e o software do equipamento deu o resultado como a média das duplicatas, e no segundo teste realizado com as mesmas concentrações, foram realizados três testes separadamente, sendo o CE_{50} já calculado pelo software foi apresentado em forma de três valores. Os resultados obtidos estão relacionados na **Tabela 3.10**.

Tabela 3.10 - Resultados da determinação do CE_{50} para Cloreto de Benzalcônio dos testes com *Aliivibrio fischeri*

CE_{50} (mg/L)	
15 minutos	30 minutos
0,2729	0,2859
0,2799	0,2770
0,2802	0,2811
0,3041	0,3037

A concentração efetiva de Cloreto de Benzalcônio que causou 50% de redução na quantidade de luz emitida pelo microrganismo teste foi determinada pela média de todos os resultados obtidos (CE_{50}) = 0,28 mg/L $\pm$ 0,014 após 15 minutos de exposição e 0,29 mg/L $\pm$ 0,011 para 30 minutos de exposição.

Sanchez Leal et al. (1994) determinaram em seu estudo os valores de CE_{50} para Compostos de Amônio Quaternário de 0,2 a 18mg/L no teste Microtox®. Este resultado se assemelha ao resultado obtido no presente trabalho, no qual o CE_{50} do Cloreto de Benzalcônio ficou compreendido dentro da faixa encontrada pelo autor.

Sütterlin; Alexy; Kümmerer (2008) também testaram a toxicidade de Cloreto de benzalcônio e surfactantes aniônicos com o organismo-teste *Aliivibrio fischeri*, e concluíram que o BAC foi a substância que causou mais toxicidade ao microrganismo e quando avaliou a toxicidade do BAC em uma mistura com o surfactante LAS, verificaram que houve redução da toxicidade em relação ao efeito do BAC sozinho.

Romanelli (2004) em estudos de toxicidade aguda com *A. fischeri*, determinaram valores de CE_{50} para diversos compostos orgânicos, incluindo alguns surfactantes comumente usados na higienização de indústrias alimentícias, sendo o CE_{50} para o Alquilbenzeno de Sódio Linear (LAS) igual a 1,61 mg/L em 15 minutos de exposição.

Li e Schröder (2000) determinaram a toxicidade aguda de 10 surfactantes diferentes, entre eles o alquiléter carboxilato e o sulfoxinato, os valores de CE_{50} obtidos utilizando *Aliivibrio fischeri* foram 90 mg/L e 27 mg/L, respectivamente.

Efeitos de toxicidade aguda do surfactante Dodecil sulfato de sódio (DSS) foram evidenciados por CE_{50} = 1,92 mg/L $\pm$ 0,40, para *A. fischeri* (15 minutos) (ROMANELLI, 2004).

Silva (2011) estudou o efeito do Cloreto de Benzalcônio nos primeiros estágios de vida do peixe zebra (*Danio rerio*) durante um período de 96 horas e os resultados mostraram alta toxicidade para os embriões do peixe, apresentando valores de CL_{50} de 3,9 mg/L.

Em relação a esses estudos encontrados na literatura, podemos sugerir que o desinfetante Cloreto de Benzalcônio foi o que causou mais toxicidade ao organismo-teste *Aliivibrio fischeri*, pois com apenas 0,28 mg/L foi capaz de reduzir 50% da emissão de luz dos microrganismos.

O efeito de “hormese” que pode ter ocorrido nos testes de respirometria deste trabalho, Hoffmann e Christofi (2001), verificaram que pode acontecer em ensaios com *Aliivibrio fischeri*, pois a emissão de luz pelo microrganismo pode ser estimulada pelas diferentes concentrações de intoxicante. Estes autores verificaram ocorrência desse evento em seu

trabalho e sugeriram que essa bioreatividade em forma de “hormese” poderia ser interpretada como uma baixa toxicidade estimulando as bactérias. Além disso, observaram que o efeito “hormese” pode ser associado ao estresse nas bactérias *A. fischeri* e, portanto, um indicador de toxicidade subaguda.

Quando comparamos o ensaio de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri* com o teste de respirometria, verificamos a robustez do lodo ativado, que foram necessários até 469,8 mg/L de Cloreto de Benzalcônio para causar efeito de 50% na TCOe, enquanto *A. fischeri* foi muito mais sensível (0,28 mg/L).

O teste de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri* foi realizado para determinar a toxicidade do composto ativo Cloreto de Benzalcônio por ser um método padronizado e de confiabilidade. Devemos levar em consideração ao comparar um teste com o outro que os mecanismos de ação do intoxicante são diferentes para cada metodologia e a diversidade de organismos do lodo ativado o torna mais resistente que o teste que utiliza apenas uma espécie.

4. CONCLUSÃO

- Os testes de respirometria com Cloreto de Benzalcônio da indústria alimentícia apresentaram pouco consumo de OD pelos microrganismos ao longo do tempo, gerando resultados de TCOe intermediários em relação aos outros tipos de lodo estudados. Este valor intermediário mas relativamente baixo pode estar ligado à presença de produtos desinfetantes e/ou presença de Óleos e Graxas no efluente, visto que essa indústria produz alimentos ricos em O&G. Os testes da indústria alimentícia apresentaram efeito tóxico observado a 50% da TCOe do lodo nas concentrações 106,8; 244,3; 73,3 e 226,1 mg/L para os experimentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente.
- Ao longo dos testes respirométricos da indústria farmacêutica observou-se um lento decaimento no consumo de OD, o que levou a valores de TCOe muito baixos, mesmo em testes com adição de glicose (teste branco) se assemelhando, inclusive, aos resultados obtidos de testes com baixas concentrações de Cloreto de Benzalcônio. Essa tendência pode indicar que o Cloreto de Benzalcônio causou pouca alteração ao metabolismo microbiano, o que se comprovou com os valores de CE50 obtidos, que foram os mais altos, a partir de 298,6 até 469,8 mg/L. Este comportamento descrito pode indicar adaptação do lodo à compostos intoxicantes devido a presença de antibióticos e outras substâncias no efluente da indústria.
- O lodo obtido do reator aeróbio piloto apresentou boa adaptação ao efluente sintético, com aumento das taxas de consumo de oxigênio após o período de seis dias de aclimação. Este comportamento pode ser devido à ausência de compostos intoxicantes no efluente de alimentação que foi preparado em laboratório.
- Os resultados dos testes de respirometria com o lodo biológico do reator aeróbio de bancada geraram os maiores valores de TCOe em relação aos outros lodos estudados e em contrapartida as concentrações que causaram efeito tóxico de 50% da TCOe foram as mais baixas, a partir de 18,4 até 39,4 mg/L. O efeito observado ocorreu provavelmente pelo fato do lodo ter sido aclimatado na ausência de compostos tóxicos, tornando-o mais suscetível a intoxicação.

- A caracterização microscópica dos lodos ativados indicou predominância de organismos do gênero *Arcella* e do gênero *Euglypha* tanto para os lodos reais quanto para o lodo sintético. Esses organismos podem indicar boa depuração do lodo e estabilidade do sistema. Nos lodos da indústria alimentícia e do reator piloto foi encontrado o metazoário Rotífero, que auxilia na clarificação do efluente pois se alimenta de bactérias que estão em suspensão e matéria orgânica particulada.
- O estudo de toxicidade aguda com o organismo-teste *Aliivibrio fischeri* determinou o CE_{50} do Cloreto de Benzalcônio = $0,28 \text{ mg/L} \pm 0,014$ após 15 minutos de exposição e $0,29 \text{ mg/L} \pm 0,011$ para 30 minutos de exposição, se mostrando mais tóxico que alguns surfactantes estudados por outros autores.
- Os resultados dos parâmetros físico-químicos analisados mostraram-se dentro do esperado e atendendo os limites de lançamento determinados pela Resolução 430/2011 do CONAMA para condições e padrões de lançamento de efluentes, o que contribuiu para que o estudo ocorresse de forma correta e com amostras representativas dos sistemas de tratamento selecionados.
- O teste de respirometria em lodos ativados e o teste de toxicidade aguda com organismo *Aliivibrio fischeri* são metodologias adequadas para o estudo de toxicidade por Cloreto de Benzalcônio.

RECOMENDAÇÕES

- Com objetivo de melhorar a qualidade do lodo ativado e consequentemente aumentar a taxa de consumo de oxigênio pelos organismos, sugere-se a aclimatação com efluente sintético por mais tempo sob as mesmas condições de operação.
- Caracterizar os microrganismos dos lodos ativados após adição de cada concentração de Cloreto de Benzalcônio estudada para avaliar quais as classes que sofrem danos na presença do intoxicante.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15411-3: Ecotoxicologia aquática – Determinação de efeito inibitório de amostras de água sobre a emissão de luz de *Vibrio fischeri* (Ensaio de bactéria luminescente) Parte 3: Método utilizando bactérias liofilizadas. 2012.
- ABREU, A. A. V. Identificação de Bactérias Filamentosas em Processos de Lamas Activadas através da Técnica de Hibridização in-situ de Fluorescência (FISH). 2004. 142 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2004.
- ADAMS, M. R.; MOSS, M. O. Food Microbiology. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. p.398. 1995.
- ANDRADE, N. J.; MACÊDO, J. A. B. Higienização na indústria de alimentos. São Paulo. 1996.
- ANDRADE, D. C. C.; ARAGÃO, C. C. V.; FURLAN, C.M. Avaliação da estabilidade físico-química da solução de hipoclorito de sódio a 0,5%, utilizada pela Farmauscs, e de sua eficácia bactericida sobre *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. Revista Brasileira de Ciências da Saúde, ano VII, nº 21, jul/set 2009.
- ANDREOTTOLA, G.; OLIVEIRA, E. L.; FOLADORI, P.; DALLAGO, L.; PETERLINI, R.; CADONNA, M. Método respirométrico para o monitoramento de processos. Artigo Técnico, Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 1, p. 14 -23. 2005.
- ANDREOTTOLA, G., FOLADORI, P., FERRAI, M., ZIGLIO, G. Respirometria applicata alla depurazione delle acque: principi e metodi. Collana scientifico-divulgativa Monographia, n. 3. Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Università degli Studi di Trento. 156p. 2002.
- ANVISA. Curso básico de controle de infecção hospitalar: Caderno C1 Limpeza, Esterilização e Desinfecção de artigos e Anti-sepsia. [on line] 2000. Disponível em: <<http://www.cvs.saude.sp.gov.br/pdf/CIHCadernoC.pdf> > Acesso em: 21/10/14 às 15:00.
- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater. 22 ed., Washington, 1108p., 2012.
- ARENZON, A.; PEREIRA NETO, T. J.; GERBER, W. Manual sobre toxicidade em efluentes industriais. Porto Alegre: CEP SENAI de Artes Gráficas Henrique d'Ávila Bertaso. 2011.
- AZUR. Microtox Manual, Vol. 1–4. AZUR Environmental (formerly Microbics Corporation), 2232 Rutherford Road, Carlsbad, CA. 1997.
- BENTO, A. P.; SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S.; REGINATTO, V.; LAPOLLI, F. R. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. Eng. Sanit. Ambient. vol. 10, n. 4, p. 329-338, out./dez.2005.

BERANGER, M. A. Avaliação da influência do pH na respiração de Lodos Ativados. Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. 113 p. 2009.

BITTON, G. Wastewater Microbiology, Willey-Liss, Inc., New York, 1994.

BITTON, G., DUTKA, B. J. Toxicity testing using microorganisms, vol.1 e 2, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1989.

BLOCK, S. S. Disinfection, Sterilization, and Preservation. 5th ed. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins, 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes, e dá outras providências. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2011

CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. M. G. A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. Bioresource Technology 97, p. 2195-2210. 2006.

CATUNDA, S. Y. C.; DEEP, G. S.; van HAANDEL, A. C.; FREIRE, R. C. S. Métodos alternativos para medição da taxa de consumo de oxigênio em sistemas de lodo ativado. SBA Controle & Automação, vol. 9, n. 2, Mai/Jun/Jul/Ago, 1998.

CAVALCANTI, J. E. W. de A. Manual de tratamento de efluentes industriais. São Paulo. 453 p. Editora Engenho. 2009.

CAVALLINI, G. S.; de CAMPOS, S. X.; de SOUZA, J. B.; VIDAL, C. M. S. Utilização do ácido peracético na desinfecção de esgoto sanitário: uma revisão. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v.33, n.1, p. 27-40, jan./jun. 2012.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Microbiologia de lodos ativados. Editora CETESB, São Paulo, 2000.

CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - NORMA TÉCNICA L1.025 – Manual técnico da microbiologia para sistemas de lodos ativados operando com esgotos domésticos. São Paulo, 43 páginas. Dez/ 1985.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – NORMA TÉCNICA L5.227 – Teste de Toxicidade com a bactéria luminescente *Vibrio fischeri*: método de ensaio, 13 páginas, dez/2001.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo- Manual de produtos químicos. Ácido peracético. Disponível em:

<http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=%C1CIDO%20PERAC%C9TICO>. Acesso em 13/03/2015 às 16:35.

CETESB – Manual de produtos químicos. Peróxido de hidrogênio. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=PER%D3XID O%20DE%20HIDROG%CANIO>. Acesso em 13/03/2015 às 16:40.

CHIERICI, E.; MADONI, P. Comparative analysis of the activated sludge microfauna in small municipal plants. Em: *Biological Approach to Sewage Treatment Process: Current Status and perspectives*, Madoni P. (ed) Centro Bazzucchi, Perugia, p. 83-87, 1991.

CORDI, L.; ASSALIN, M. R.; ALMEIDA, E. S.; de MORAES, S.G.; DURÁN, N. Impacto na microbiota do lodo ativado durante a aclimação com diferentes efluentes industriais. *Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal*, v. 7, n. 3, p. 003-011, jul./set. 2010.

CORDI, L.; ASSALIN, M. R.; DIEZ, M. C.; DURÁN, N. Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para tratamento de efluentes: parâmetros físico-químicos e biológicos. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 5, p. 97-115, 2008.

CORDI, L.; ALMEIDA, E. S.; ASSALIN, M. R. DURAN, N. Intumescimento filamentosos no processo de lodos ativados aplicado ao tratamento de soro de queijo: caracterização e uso de floculantes para melhorar a sedimentabilidade. *Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal*, v. 4, n. 2, p. 026-037, jul./dez. 2007.

COSTA, A. G.; FERREIRA, A. F.; VAN HAANDEL, A. Monitoramento da atividade bacteriana de um sistema de lodos ativados Bardenpho por meio da respirometria. Artigo Técnico, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 1, p. 17 -23. 2007.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. *Quim. Nova*. Vol.31, No. 7, p. 1820-1830, 2008.

COSTA, V. S. L. Avaliação de efeito tóxico utilizando o método respirométrico em processos de lodos ativados. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CHAPMAN, P. M. Whole effluent toxicity testing-usefulness, level of protection, and risk assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19 (1), p. 3-13. 2000.

DALZELL, D. J. B.; ALTE, S.; ASPICHUETA, E.; de la SOTA, A.; ETXEBARRIA, J.; GUTIERREZ, M.; HOFFMANN, C. C.; SALES, D.; OBST, U.; CHRISTOFI, N. A comparison of five rapid direct toxicity assessment methods to determine toxicity of pollutants to activated sludge. *Chemosphere* 47, p. 535-545, 2002.

EDWARDS, K. R.; LEPO, J. E.; LEWIS, M. A. Toxicity comparison of biosurfactants and synthetic surfactants used in oil spill remediation to two estuarine species. *Mar. Pollut. Bull.*, V. 46, p. 1309-1316, 2003.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Introduction to the National Pretreatment Program. Office of Wastewater Management (4203). EPA-833-B-98-002; 1999.

FAZLARA, A.; EKHTLAT, M. The Disinfectant Effects of Benzalkonium chloride on Some Important Foodborne Pathogens. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 12(1): 23-29, 2012.

FERNANDES, J. G. S.; VAN HAANDEL, A.; CAVALCANTI, P. F. F.; COURA, L. Utilização da respirometria no controle operacional de sistemas aeróbios de tratamento de águas residuárias: a experiência da CETREL. Artigo Técnico, Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 6, n. 3. 2001.

FERREIRA, E.D.S. Aplicação da respirometria na caracterização do esgoto doméstico afluente a uma ETE por processo de lodos ativados. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM - 53/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 140 p. 2002.

GARCÍA, M. T.; CAMPOS, E.; MARSAL, A.; RIBOSA, I. Biodegradability and toxicity of sulphonate-based surfactants in aerobic and anaerobic aquatic environments. Water Research, v. 43, p. 295-302. 2009.

GERARDI, M. H. Wastewater Bacteria. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 272 p. 2006.

GHOSH, S. K.; DOCTOR, P. B. Toxicity screening of phenol using Microtox. Environmental Toxicology and Water Quality: An International Journal. John Wiley & Sons, Inc., v. 7, p. 157 – 163. 1992.

GIORDANO, G. Tratamento e controle de efluentes industriais. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2014.

GIORDANO, G.; SURERUS, V. Efluentes industriais: estudo de tratabilidade. Rio de Janeiro: Editora Publit, v.1, p. 196, 2015.

HAMADA, N.; MESQUITA, L. C. A.; PEREIRA, I. W.; NAKANO, E.; BORRELY, S. I.; TALLARICO, L. F. Avaliação Ecotoxicológica da Estação de Tratamento de Esgotos de Suzano (São Paulo) utilizando *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri*. J. Braz. Soc. Ecotoxicol., v. 6, n. 1, 31-35, 2011.

HAMILTON, M. A; RUSSO, R. C; THURSTON, R. V. 1977. Trimmed Spearman – Karber method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays. Environ. Scien. Technol. v.11, n.7, p 714-719. Correction: v. 12, n.4. p 417. 1978

HARDMAN, A. M.; STEWART, G. S.; WILLIAMS, P. Quorum sensing and cell-cell communication dependent regulation of gene expression in pathogenic and non-pathogenic bacteria. Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology, Dordrecht. v. 74 (4), p.199-210, 1998.

HOFFMANN, C.; CHRISTOFI, N. Testing the Toxicity of Influent to Activated Sludge Plants with the *Vibrio fischeri* Bioassay Utilising a Sludge Matrix. Environ Toxicol. Oct;16(5):422-7. 2001.

IMHOFF, R. KARL; IMHOFF, R. KLAUS. Manual de tratamento de águas residuárias. Ed. Edgard Blücher. 26ª Ed. 1985.

INEA (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE) – Norma Técnica 202 R.10. Critérios e Padrões para Lançamentos de Efluentes Líquidos. Rio de Janeiro, 1986.

INEA (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE) – Diretriz 205 R.06. Diretriz de Controle de Carga Orgânica em Efluentes Líquidos de origem Industrial. Rio de Janeiro, 2007.

ISMAIL, Z. Z.; TEZEL, U.; PAVLOSTATHIS, S. G. Sorption of quaternary ammonium compounds to municipal sludge. *Water Research*, 44, pag. 2303-2013, 2010.

JENKINS, D; RICHARD, M. G.; DAIGGER, G. T. Manual on the causes and control of activated sludge, bulking, foaming and other solids separation problems. 3 ed., Lewis Publishers, Inc., Estados Unidos, 193p. 2003.

JÖNSSON, K.; ASPICHUETA, E.; de la SOTA, A. JANSEN, J. la. C. Evaluation of nitrification inhibition measurements. *Water Science and Technology* 29, p. 301–304. 2001.

JÖNSSON, K.; GRUNDITZ, C.; DALHAMMAR, G.; JANSEN, Jla C. Occurrence of nitrification inhibition in Swedish municipal wastewater. *Water Research*. P. 2455-2462. 2000.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 2005.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C.A. Tratamento de esgotos domésticos. 6º ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. ABES. Rio de Janeiro. 1050p. 2011.

KITIS, M. Disinfection of wastewater with peracetic acid: a review. *Environment International* 30: 47-55, 2004.

KOOPMAN, B.; BITTON, G. Toxicity screening in wastewater systems. In: Toxicity testing using microorganisms, v. 2. Bitton, G.; Dutka, B. J. (ed.), CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1989.

LI, H. Q. & SCHRÖDER, H. F. Surfactants - standard determination methods in comparison with substance specific mass spectrometric methods and toxicity testing by *Daphnia magna* and *Vibrio fischeri*. *Wat Sci. Technol.*, v. 42, p. 391-398, 2000.

LUUKKONEN, T.; TEERINIEMI, J.; PROKKOLA, H.; RAMO, J.; LASSI, U. Chemical aspects of peracetic acid based wastewater disinfection. Available on website <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v40i1.9>. *Water AS* Vol.40. n.1. Jan/2014.

MANAHAN, S. E. Environmental Chemistry. Lewis Publishers. 7th ed. New York. 2000.

MARTINEZ-CARBALLO, E., SITKA, A., GONZALEZ-BARREIRO, C., KREUZINGER, N., FURHACKER, M., SCHARF, S., GANS, O. Determination of selected quaternary ammonium compounds by liquid chromatography with mass spectrometry. Part I. Application to surface, waste and indirect discharge water samples in Austria. *Environ. Pollut.* 145 (2), 489e496. 2007

MATTOS, I. L.; SHIRAISHI, K. A.; BRAZ, A. D.; FERNANDES, J. R. Peróxido de hidrogênio: importância e determinação. *Rev. Quím Nova*. maio- jun; 26 (3): 373-380. 2003.

McDONNELL, G.; RUSSELL, A. D. Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action, and Resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, n. 1 , vol. 12, p. 147-179. Jan. 1999.

METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse, 3a ed., McGraw-Hill, Inc., New York, E.U.A., 1334 p. 1991.

MILOSKI, J. Caracterização de microbiota envolvida nos processos aeróbios (lodos ativados) e anaeróbios (UASB) de uma indústria de alimentos. 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

NASCIMENTO, H. M.; DELGADO, D. A.; BARBARIC, I. F. Avaliação da aplicação de agentes sanitizantes como controladores do crescimento microbiano na indústria alimentícia. *Revista Ceciliana* Jun 2(1): 11-13, 2010.

OLIVEIRA, M. M. M.; BRUGNERA, D. F.; PICOLLI, R. H. Biofilmes microbianos na indústria de alimentos: uma revisão. *Rev. Inst. Adolfo Lutz*, São Paulo, 69 (3): 277-84, 2010.

PAIVA, F. V. Monitoramento da estação de tratamento de esgoto do Hospital Geral Waldemar de Alcântara – Fortaleza (CE) como instrumento de gestão de efluentes. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2009.

PAPADIMITRIOU, CH.; PALASKA, G.; LAZARIDOU, M.; SAMARAS, P.; SAKELLAROPOULOS, G. P. The effects of toxic substances on the activated sludge microfauna. *Desalination* 211, p. 177-191, 2007.

PINTO, M. P. Avaliação da eficácia de dois protocolos de higienização em áreas de produção de alimentos de um supermercado. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 141p., Porto Alegre-RS, 2006.

PINTO, T. J. A. Peróxido de hidrogênio como agente despirogenizante de componentes para produtos médico-hospitalares. *Rev. Saúde Pública*; 29(1): 75-9, 1995.

PINTO, T. J. A.; KANEKO, T. M.; PINTO, A. F. Controle Biológico de Qualidade de Produtos Farmacêuticos, Correlatos e Cosméticos: Controle de produtos estéreis ênfase nos processos assépticos tecnologia de isoladores. 3 ed. São Paulo: Atheneu; 2010.

POOLE, J. E. A study of relationship between the mixed liquor fauna and plant performance for a variety of activated sludge sewage treatment works. *Water Research*, 18, p. 281-287, 1984.

Portaria nº 15, de 23 de agosto de 1988 do Ministério da Saúde.

Portaria nº 122, de 29 de novembro de 1993 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA

RAND, G. M. Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate, and risk assessment. 2nd ed. Taylor & Francis LTD, London, 1125p. 1995

Resolução ANVISA – MS/ANVS nº 211, de 18 de junho de 1999.

Resolução – RDC nº 14, de 28 de fevereiro de 2007

Resolução – RDC nº47, de 25 de outubro de 2013.

RICHARD, M. Activated Sludge Microbiology Problems and Their Control. 20th Annual USEPA National Operator Trainers Conference, Buffalo, NY. 2003.

ROHER, D. M. Effects of gamma radiation from ^{60}Co on dilute aqueous solutions of linear alkyi sulfonate surfactants and other organic pollutants. Radiation for a Clean Environment, Munich. Proceedings of a Symposium, p. 241-248. March 17-21, 1975.

ROMANELLI, M. F. Avaliação da toxicidade aguda e crônica dos surfactantes DSS e LAS submetidos à irradiação com feixes de elétrons. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 146p. 2004.

RUMJANEK, N. G.; CARDOSO da FONSECA, M. C.; XAVIERE, G. R. Quorum sensing em sistemas agrícolas. Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento. Edição nº 33. Julho/Dezembro 2004.

SANCHEZ LEAL, J., GONSALEZ, J.J., KAISER, K.L.E., PALABRICA, V.S., COMMELES, F., GARCIA, M.T. On the toxicity and biodegradation of cationic surfactants. Acta Hydrochim. Hydrobiol. 22 (1), 13–18. 1994.

SANT'ANNA, Jr., G. L. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro. Editora Interciência, 418 p., 2010.

SERVOS, M. R. Review of the aquatic toxicity, estrogenic responses and bioaccumulation of alkylphenols and alkylphenol polyethoxylates. Water Quality Research Journal of Canada 34, p. 123-177, 1999.

SHIJIN REN. Assessing wastewater toxicity to activated sludge: recent research and developments. Environmental International 30, p. 1151-1164, 2004.

SILVA, C. O. F. Assessing mixture toxicity of disinfectants in zebrafish. Dissertação de Mestrado em Biologia Aplicada – Toxicologia e Ecotoxicologia. Universidade de Aveiro. Dez/2011.

SILVA, G.; DUTRA, P. R. S.; CADIMA, I. M. Higiene na Indústria de alimentos. 134 p.:il. ISBN: 978-85-7946-068-5. Recife – EDUFRRPE, 2010.

SOARES, J. F.; ILHA, R.; de VASCONCELLOS, N. J. S.; SANTIAGO, M. R. Caracterização do floco biológico e da microfauna em sistemas de lodos ativados. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 36, n.1, p. 001-010, jan./abr. 2014.

SURERUS, V. C. L. Avaliação de efeito tóxico utilizando o método respirométrico em processos de lodos ativados. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Faculdade de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica - PUC, Rio de Janeiro. 2009.

SURERUS, V.; GIORDANO, G.; TEIXEIRA, L. A. C. Activated Sludge Inhibition Capacity Index. Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 31, n.2, p. 385-392, april – june. 2014.

SÜTTERLIN, H; ALEX, R.; KÜMEMERER, K. The toxicity of quaternary ammonium compound benzalkonium chloride alone and in mixtures with other anionic compounds to bacteria in test systems with *Vibrio fischeri* and *Pseudomonas putida*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 71, p. 498 -505, 2008.

TEZEL, U.; PAVLOSTATHIS, S.G., Transformation of benzalkonium chloride under nitrate reducing conditions. Environ. Sci. Technol. 43 (5), 1342e1348. 2009.

VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. v. R. O comportamento do sistema de lodo ativado em regiões de clima quente. Epgraf Campina Grande. Paraíba. 1999.

VAN HAANDEL, A.; CAVALCANTI, P. F. F.; CATUNDA, S.Y. C.; FERNANDES, J.G. S. Uso da respirometria para controle de Sistemas de Lodo Ativado. In: Seminário de Meio Ambiente em Indústrias de Processo. São Paulo, Brasil. p. 147-161. 1998.

VAZZOLLÈR, R. F.; GARCIA, A. D.; CONCEIÇÃO NETO, J. Microbiologia de lodos ativados – Série Manuais. CETESB- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo. p. 23, 1991.

VON SPERLING, M. Lodos ativados: princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias. DESA. 2ª Ed., 428p., Belo Horizonte – MG, 2002.

YANG, J., Fate and effect of alkyl benzyl dimethyl ammonium chloride in mixed aerobic and nitrifying cultures. MS Thesis. Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA. 2007.

ZAKRZEWSKI, S. F. Principles of Environmental Toxicology. American Chemical Society, 2ª Ed. Washington (DC), 1997.

ZHANG, C.; TEZEL, U.; LI, K.; LIU, D.; REN, R.; DU, J.; PAVLOSTATHIS, S. G. Evaluation and modeling of benzalkonium chloride inhibition and biodegradation in activated sludge. Water Research, 45, pag. 1238 – 1246, 2009.

APÊNDICE A**Planilhas de registro das leituras de oxigênio dissolvido no Teste de Respirometria**

Indústria Alimentícia

Tabela A.1 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 1 - Indústria Alimentícia

07/08/2015 – Experimento 1: Indústria Alimentícia																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	09:00	09:11	09:22	09:33	09:46	09:58	10:21	10:34	10:45	10:57	11:08	11:21	11:49	12:01	12:14	14:00	14:19	14:33
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	7,72	7,78	8,37	7,83	7,79	7,88	7,88	7,63	7,72	7,55	7,89	7,80	7,73	7,75	7,80	7,86	7,79	7,96
0:30	7,59	7,67	8,27	7,69	7,63	7,73	7,73	7,47	7,56	7,42	7,68	7,59	7,55	7,61	7,73	7,72	7,76	7,76
1:00	7,53	7,61	8,20	7,60	7,57	7,65	7,65	7,40	7,48	7,36	7,61	7,55	7,52	7,56	7,71	7,70	7,78	7,68
1:30	7,50	7,58	8,18	7,55	7,50	7,61	7,61	7,35	7,44	7,34	7,57	7,48	7,49	7,52	7,69	7,68	7,75	7,68
2:00	7,45	7,54	8,13	7,49	7,47	7,56	7,56	7,29	7,38	7,28	7,54	7,45	7,45	7,50	7,66	7,66	7,75	7,66
2:30	7,40	7,50	8,09	7,45	7,42	7,51	7,51	7,24	7,33	7,25	7,48	7,39	7,43	7,47	7,64	7,62	7,73	7,63
3:00	7,36	7,46	8,08	7,41	7,35	7,47	7,47	7,22	7,27	7,21	7,45	7,37	7,40	7,43	7,64	7,60	7,71	7,64
3:30	7,32	7,42	8,02	7,35	7,30	7,42	7,42	7,16	7,23	7,15	7,39	7,34	7,36	7,40	7,61	7,58	7,70	7,62
4:00	7,28	7,37	7,99	7,31	7,26	7,37	7,37	7,12	7,18	7,10	7,36	7,29	7,32	7,37	7,60	7,57	7,66	7,58
4:30	7,25	7,33	7,96	7,27	7,22	7,31	7,31	7,06	7,12	7,07	7,30	7,26	7,30	7,34	7,57	7,52	7,65	7,57
5:00	7,21	7,30	7,93	7,22	7,16	7,28	7,28	7,00	7,08	7,01	7,25	7,23	7,27	7,31	7,53	7,50	7,63	7,54
5:30	7,16	7,25	7,91	7,16	7,11	7,22	7,22	6,97	7,01	6,97	7,22	7,18	7,22	7,28	7,53	7,48	7,59	7,54
6:00	7,14	7,21	7,86	7,16	7,05	7,17	7,17	6,91	6,96	6,93	7,18	7,13	7,19	7,24	7,52	7,45	7,58	7,51
6:30	7,08	7,19	7,83	7,08	7,01	7,13	7,13	6,85	6,91	6,88	7,14	7,09	7,16	7,20	7,43	7,43	7,57	7,52
7:00	7,06	7,13	7,79	7,05	6,96	7,09	7,09	6,82	6,86	6,86	7,10	7,03	7,13	7,18	7,43	7,41	7,54	7,48
7:30	7,01	7,10	7,78	6,99	6,93	7,03	7,03	6,76	6,81	6,81	7,06	7,01	7,10	7,15	7,40	7,40	7,52	7,45
8:00	6,97	7,06	7,73	6,94	6,86	6,98	6,98	6,70	6,76	6,71	7,01	6,98	7,09	7,12	7,27	7,36	7,47	7,45
8:30	6,93	7,02	7,71	6,90	6,82	6,95	6,95	6,67	6,70	6,65	6,97	6,95	7,04	7,08	7,24	7,34	7,47	7,43
9:00	6,90	6,99	7,68	6,86	6,77	6,90	6,90	6,60	6,65	6,60	6,93	6,94	7,02	7,05	7,20	7,33	7,45	7,40
9:30	6,86	6,94	7,63	6,80	6,72	6,84	6,84	6,58	6,60	6,57	6,90	6,90	6,99	7,03	7,16	7,31	7,43	7,39
10:00	6,83	6,91	7,51	6,76	6,67	6,78	6,78	6,54	6,56	6,54	6,84	6,88	6,97	6,99	7,13	7,30	7,40	7,36
TCO	5,34	5,22	5,16	6,42	6,72	6,60	6,60	6,54	6,96	6,06	6,30	5,52	4,56	4,56	4,02	3,36	2,34	3,60
TCO média	5,24			6,58			6,70			5,96			4,38			3,10		
TCOe	4,68	4,57	4,52	5,62	5,88	5,78	5,78	5,73	6,09	5,31	5,52	4,83	3,99	3,99	3,52	2,94	2,05	3,15
TCOe média	4,59			5,76			5,87			5,22			3,83			2,71		

Tabela A.1 – Continuação do Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 1 - Indústria Alimentícia

(Continuação) 07/08/2015 – Experimento 1: Indústria Alimentícia																		
Intoxicante				Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio									Lodo			Lodo + Glicose		
Hora do ensaio	14:48	15:02	15:17	15:30	15:42	15:54	16:09	16:40	16:53	17:05	17:18	17:39	17:50	18:03	18:20	18:31	18:42	18:54
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L			Lodo			Lodo + Glicose		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,19	8,13	8,14	8,27	8,22	8,25	8,37	8,39	8,45	8,10	8,26	8,24	8,02	8,37	8,23	8,18	8,28	8,11
0:30	8,07	8,03	7,99	8,18	8,20	8,18	8,32	8,34	8,41	8,02	8,25	8,21	7,92	8,27	8,09	8,06	8,16	7,98
1:00	8,05	8,03	8,07	8,18	8,20	8,14	8,32	8,31	8,39	8,00	8,19	8,19	7,89	8,20	8,04	8,04	8,12	7,92
1:30	8,05	8,01	8,06	8,16	8,18	8,14	8,31	8,30	8,38	7,99	8,14	8,18	7,85	8,18	8,01	8,04	8,08	7,89
2:00	8,05	8,00	8,09	8,16	8,16	8,13	8,30	8,29	8,38	7,98	8,15	8,19	7,82	8,13	7,98	8,03	8,04	7,84
2:30	8,10	7,98	8,11	8,16	8,14	8,12	8,30	8,28	8,36	7,97	8,15	8,18	7,77	8,09	7,96	7,97	8,01	7,80
3:00	8,09	7,97	8,10	8,14	8,12	8,10	8,29	8,27	8,35	7,97	8,15	8,17	7,74	8,08	7,92	7,96	7,97	7,76
3:30	8,09	7,95	8,07	8,14	8,11	8,09	8,29	8,27	8,35	7,96	8,14	8,15	7,71	8,02	7,88	7,89	7,94	7,72
4:00	8,09	7,95	8,07	8,13	8,10	8,08	8,28	8,26	8,34	7,97	8,15	8,15	7,68	7,99	7,84	7,85	7,90	7,68
4:30	8,08	7,92	8,06	8,11	8,09	8,07	8,28	8,25	8,33	7,95	8,15	8,15	7,64	7,96	7,82	7,83	7,87	7,64
5:00	8,07	7,92	8,04	8,11	8,07	8,05	8,27	8,25	8,33	7,95	8,15	8,16	7,61	7,93	7,79	7,70	7,82	7,61
5:30	8,05	7,88	8,03	8,10	8,05	8,04	8,26	8,24	8,32	7,96	8,15	8,15	7,56	7,91	7,74	7,67	7,78	7,56
6:00	8,03	7,88	8,03	8,09	8,05	8,03	8,26	8,24	8,31	7,97	8,15	8,16	7,52	7,86	7,71	7,64	7,73	7,51
6:30	8,03	7,85	8,01	8,08	8,03	8,01	8,26	8,22	8,31	7,97	8,15	8,15	7,49	7,83	7,68	7,59	7,69	7,49
7:00	8,01	7,84	8,00	8,06	8,01	8,00	8,24	8,23	8,30	7,96	8,15	8,14	7,45	7,79	7,66	7,55	7,66	7,44
7:30	8,01	7,84	7,98	8,06	8,00	7,98	8,24	8,23	8,30	7,96	8,15	8,15	7,43	7,78	7,63	7,52	7,62	7,41
8:00	8,01	7,85	7,98	8,05	7,99	7,98	8,23	8,23	8,30	7,95	8,15	8,16	7,40	7,73	7,59	7,47	7,59	7,36
8:30	8,00	7,85	7,98	8,04	7,97	7,98	8,22	8,22	8,28	7,94	8,15	8,13	7,36	7,71	7,56	7,42	7,54	7,33
9:00	7,98	7,83	7,96	8,03	7,96	7,98	8,22	8,22	8,27	7,94	8,15	8,12	7,33	7,68	7,53	7,39	7,51	7,29
9:30	7,96	7,81	7,95	8,02	7,95	7,96	8,22	8,22	8,28	7,94	8,15	8,12	7,29	7,63	7,50	7,35	7,48	7,24
10:00	7,96	7,821	7,94	8,01	7,94	7,95	8,20	8,21	8,27	7,94	8,15	8,12	7,25	7,61	7,47	7,31	7,44	7,21
TCO	1,38	1,86	1,20	1,56	1,68	1,80	1,02	1,08	1,08	0,96	0,66	0,72	4,62	4,56	4,56	5,22	5,04	5,40
TCO média	1,48			1,68			1,06			0,78			4,58			5,22		
TCOe	1,21	1,63	1,05	1,37	1,47	1,58	0,89	0,95	0,95	0,84	0,58	0,63	4,04	3,99	3,99	4,57	4,41	4,73
TCOe média	1,30			1,47			0,93			0,68			4,01			4,57		

Tabela A.2 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 2 - Indústria Alimentícia

18/08/2015 – Experimento 2: Indústria Alimentícia																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	08:50	09:01	09:16	09:30	09:41	09:53	10:03	10:14	10:25	10:38	10:50	11:01	11:12	11:24	11:36	11:48	12:01	12:40
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,11	8,24	8,09	8,21	8,28	8,21	7,95	8,11	8,11	8,20	8,10	8,22	8,17	8,18	8,17	8,30	8,33	8,22
0:30	8,02	8,13	7,97	8,10	8,21	8,14	7,82	8,08	8,01	8,17	7,98	8,13	8,07	8,14	8,07	8,26	8,18	8,04
1:00	7,96	8,09	7,92	8,04	8,16	8,13	7,75	8,07	7,99	8,13	7,96	8,10	8,04	8,11	8,05	8,24	8,15	8,00
1:30	7,94	8,07	7,91	8,03	8,15	8,10	7,69	8,05	7,97	8,12	7,91	8,07	8,03	8,08	8,02	8,23	8,12	7,96
2:00	7,92	8,05	7,89	8,00	8,09	8,08	7,66	8,00	7,94	8,11	7,88	8,03	8,01	8,04	7,99	8,22	8,10	7,92
2:30	7,92	8,02	7,87	7,93	8,10	8,06	7,63	7,97	7,91	8,06	7,86	8,01	7,99	8,03	7,99	8,22	8,09	7,89
3:00	7,89	8,00	7,84	7,91	8,07	8,02	7,60	7,94	7,86	8,04	7,85	7,98	7,96	8,00	7,97	8,19	8,07	7,88
3:30	7,84	7,98	7,84	7,88	8,05	7,98	7,57	7,91	7,83	8,02	7,81	7,95	7,94	7,98	7,98	8,17	8,05	7,83
4:00	7,82	7,96	7,82	7,85	8,02	7,97	7,53	7,87	7,78	7,97	7,78	7,91	7,93	7,96	7,95	8,15	8,03	7,80
4:30	7,83	7,94	7,80	7,83	7,98	7,94	7,50	7,83	7,75	7,98	7,77	7,89	7,91	7,92	7,94	8,13	8,01	7,79
5:00	7,82	7,91	7,77	7,81	7,97	7,91	7,46	7,79	7,72	7,90	7,75	7,86	7,89	7,91	7,88	8,11	8,00	7,76
5:30	7,79	7,89	7,75	7,78	7,94	7,89	7,44	7,77	7,68	7,88	7,73	7,83	7,85	7,88	7,86	8,09	7,98	7,75
6:00	7,77	7,87	7,73	7,75	7,90	7,86	7,39	7,75	7,64	7,84	7,70	7,81	7,83	7,86	7,83	8,08	7,97	7,71
6:30	7,75	7,86	7,71	7,73	7,91	7,82	7,37	7,72	7,61	7,84	7,67	7,78	7,80	7,84	7,84	8,07	7,94	7,69
7:00	7,73	7,84	7,69	7,70	7,88	7,80	7,33	7,69	7,57	7,77	7,64	7,75	7,78	7,80	7,83	8,05	7,93	7,66
7:30	7,71	7,80	7,67	7,67	7,86	7,76	7,28	7,65	7,53	7,76	7,61	7,73	7,70	7,78	7,78	8,02	7,91	7,62
8:00	7,68	7,79	7,66	7,65	7,82	7,73	7,26	7,62	7,50	7,75	7,58	7,69	7,73	7,73	7,79	8,01	7,89	7,59
8:30	7,66	7,77	7,63	7,62	7,79	7,70	7,22	7,59	7,48	7,71	7,54	7,65	7,71	7,72	7,75	7,98	7,87	7,58
9:00	7,65	7,74	7,61	7,59	7,73	7,68	7,18	7,56	7,43	7,66	7,52	7,63	7,70	7,69	7,72	7,96	7,86	7,55
9:30	7,63	7,73	7,59	7,56	7,71	7,64	7,17	7,50	7,41	7,66	7,49	7,60	7,69	7,67	7,71	7,96	7,84	7,52
10:00	7,60	7,70	7,57	7,52	7,68	7,62	7,10	7,45	7,37	7,62	7,47	7,56	7,64	7,65	7,67	7,94	7,82	7,49
TCO	3,06	3,24	3,12	4,14	3,60	3,54	5,10	3,96	4,44	3,48	3,78	3,96	3,18	3,18	3,00	2,16	3,06	4,38
TCO média	3,14			3,76			4,50			3,74			3,12			3,20		
TCOe	2,27	2,40	2,31	3,07	2,67	2,62	3,78	2,93	3,29	2,58	2,80	2,93	2,36	2,36	2,22	1,60	2,27	3,24
TCOe média	2,33			2,78			3,33			2,77			2,31			2,37		

Tabela A.2 – Continuação Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 2 - Indústria Alimentícia

	(Continuação) 18/08/2015 – Experimento 2: Indústria Alimentícia																	
Intoxicante	Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio												Lodo			Lodo + Glicose		
Hora do ensaio	15:36	16:07	16:20	16:39	16:50	17:03	17:17	17:30	17:45	17:58	18:12	18:25	14:21	14:33	14:45	15:00	15:12	15:23
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L			Lodo			Lodo + Glicose		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	7,67	7,61	7,71	7,77	7,61	7,67	8,00	7,83	7,97	8,07	8,02	8,05	7,55	7,83	7,46	7,77	7,68	7,54
0:30	7,68	7,50	7,69	7,68	7,51	7,56	7,90	7,84	7,87	7,98	8,02	8,05	7,43	7,70	7,42	7,67	7,59	7,54
1:00	7,71	7,46	7,67	7,63	7,49	7,53	7,87	7,84	7,85	7,97	8,02	8,04	7,37	7,66	7,38	7,64	7,57	7,54
1:30	7,73	7,46	7,64	7,63	7,45	7,51	7,86	7,86	7,84	7,95	8,02	8,04	7,36	7,64	7,36	7,60	7,53	7,52
2:00	7,72	7,44	7,64	7,62	7,43	7,50	7,85	7,85	7,83	7,95	8,01	8,04	7,33	7,61	7,35	7,57	7,51	7,50
2:30	7,73	7,41	7,62	7,60	7,41	7,48	7,85	7,85	7,83	7,94	7,99	8,03	7,31	7,61	7,32	7,53	7,44	7,46
3:00	7,72	7,39	7,60	7,57	7,40	7,47	7,84	7,85	7,83	7,95	7,99	8,02	7,27	7,58	7,30	7,48	7,40	7,42
3:30	7,73	7,38	7,54	7,58	7,38	7,45	7,82	7,84	7,83	7,93	7,98	8,02	7,25	7,54	7,27	7,46	7,37	7,38
4:00	7,74	7,36	7,52	7,55	7,39	7,43	7,85	7,84	7,83	7,92	7,98	8,02	7,21	7,51	7,25	7,42	7,33	7,35
4:30	7,72	7,34	7,49	7,53	7,36	7,39	7,83	7,83	7,81	7,91	7,97	8,02	7,16	7,48	7,23	7,38	7,29	7,32
5:00	7,70	7,32	7,49	7,50	7,35	7,40	7,84	7,83	7,82	7,91	7,97	8,01	7,17	7,46	7,21	7,34	7,28	7,28
5:30	7,70	7,30	7,48	7,51	7,32	7,41	7,83	7,81	7,80	7,91	7,97	8,00	7,13	7,42	7,18	7,31	7,22	7,24
6:00	7,70	7,28	7,44	7,49	7,33	7,39	7,82	7,81	7,80	7,91	7,96	8,00	7,08	7,40	7,17	7,27	7,18	7,20
6:30	7,66	7,26	7,46	7,47	7,30	7,37	7,81	7,81	7,79	7,91	7,96	8,00	7,05	7,37	7,14	7,22	7,15	7,17
7:00	7,64	7,23	7,43	7,46	7,29	7,36	7,81	7,80	7,78	7,91	7,96	7,99	7,01	7,35	7,11	7,19	7,13	7,13
7:30	7,60	7,20	7,41	7,46	7,28	7,34	7,81	7,80	7,77	7,90	7,96	7,99	7,00	7,31	7,08	7,15	7,10	7,10
8:00	7,59	7,19	7,39	7,46	7,26	7,33	7,81	7,80	7,76	7,90	7,95	7,98	6,99	7,26	7,05	7,12	7,05	7,07
8:30	7,56	7,18	7,38	7,43	7,28	7,32	7,80	7,80	7,76	7,89	7,95	7,98	6,96	7,25	7,02	7,09	7,02	7,02
9:00	7,50	7,15	7,36	7,43	7,27	7,29	7,80	7,79	7,76	7,88	7,95	7,98	6,92	7,22	7,00	7,05	6,97	6,97
9:30	7,49	7,13	7,33	7,40	7,28	7,30	7,79	7,79	7,76	7,88	7,93	7,97	6,90	7,19	6,96	7,01	6,96	6,94
10:00	7,49	7,11	7,30	7,38	7,26	7,29	7,78	7,79	7,75	7,88	7,93	7,97	6,88	7,17	6,93	6,98	6,91	6,91
TCO	1,08	3,00	2,46	2,34	2,10	2,28	1,32	0,24	1,32	1,14	0,54	0,48	4,02	3,96	3,18	4,74	4,62	3,78
TCO média	2,18			2,24			0,96			0,72			3,72			4,38		
TCOe	0,80	2,22	1,82	1,73	1,56	1,69	0,98	0,18	0,98	0,84	0,40	0,36	2,98	2,93	2,36	3,51	3,42	2,80
TCOe média	1,61			1,66			0,71			0,53			2,76			3,24		

Tabela A.3 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 3 - Indústria Alimentícia

10/09/2015 – Experimento 3: Indústria Alimentícia																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	08:54	09:05	09:22	09:38	09:51	10:06	10:20	10:35	10:48	11:17	11:30	11:45	11:57	12:09	12:21	12:33	12:45	12:57
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	7,88	7,71	8,14	8,19	8,17	7,87	8,05	8,16	7,99	8,17	7,78	8,11	7,86	7,83	8,04	7,91	7,79	7,79
0:30	7,72	7,71	8,07	8,06	8,07	7,85	7,98	8,00	7,98	8,02	7,78	7,96	7,83	7,83	7,90	7,89	7,74	7,72
1:00	7,65	7,69	8,02	8,01	8,02	7,84	7,97	7,92	7,97	7,92	7,78	7,90	7,84	7,86	7,85	7,87	7,70	7,78
1:30	7,59	7,68	7,97	7,96	7,97	7,81	7,96	7,86	7,95	7,89	7,77	7,85	7,83	7,87	7,82	7,90	7,69	7,84
2:00	7,56	7,66	7,93	7,91	7,93	7,77	7,94	7,80	7,92	7,85	7,72	7,81	7,83	7,86	7,78	7,91	7,66	7,87
2:30	7,51	7,63	7,89	7,86	7,89	7,73	7,93	7,75	7,89	7,81	7,69	7,77	7,82	7,85	7,76	7,95	7,65	7,90
3:00	7,47	7,60	7,86	7,82	7,85	7,70	7,90	7,70	7,87	7,79	7,65	7,75	7,80	7,84	7,70	7,94	7,63	7,93
3:30	7,44	7,58	7,83	7,78	7,82	7,66	7,87	7,66	7,83	7,77	7,61	7,71	7,78	7,83	7,68	7,92	7,60	7,93
4:00	7,41	7,55	7,79	7,75	7,77	7,62	7,84	7,62	7,79	7,72	7,59	7,67	7,73	7,80	7,65	7,92	7,60	7,92
4:30	7,38	7,52	7,77	7,71	7,74	7,59	7,82	7,57	7,76	7,70	7,55	7,62	7,72	7,78	7,62	7,90	7,57	7,92
5:00	7,34	7,49	7,74	7,67	7,72	7,55	7,79	7,53	7,72	7,65	7,51	7,59	7,71	7,75	7,58	7,85	7,55	7,90
5:30	7,31	7,46	7,71	7,67	7,69	7,51	7,75	7,49	7,68	7,60	7,48	7,56	7,70	7,74	7,54	7,84	7,53	7,88
6:00	7,28	7,43	7,67	7,64	7,66	7,47	7,71	7,44	7,64	7,58	7,45	7,52	7,67	7,70	7,53	7,80	7,51	7,85
6:30	7,26	7,40	7,64	7,61	7,62	7,43	7,68	7,40	7,60	7,52	7,42	7,49	7,65	7,67	7,48	7,79	7,49	7,82
7:00	7,23	7,37	7,61	7,58	7,58	7,40	7,64	7,37	7,56	7,49	7,38	7,45	7,63	7,64	7,46	7,78	7,46	7,82
7:30	7,18	7,34	7,58	7,54	7,55	7,35	7,59	7,32	7,52	7,46	7,36	7,42	7,60	7,61	7,43	7,77	7,44	7,80
8:00	7,16	7,31	7,55	7,51	7,51	7,31	7,56	7,28	7,48	7,43	7,32	7,38	7,59	7,58	7,40	7,76	7,42	7,77
8:30	7,14	7,28	7,52	7,48	7,47	7,26	7,52	7,24	7,44	7,38	7,29	7,36	7,57	7,55	7,37	7,72	7,39	7,75
9:00	7,10	7,25	7,50	7,44	7,44	7,23	7,49	7,20	7,40	7,35	7,25	7,33	7,54	7,52	7,35	7,71	7,38	7,72
9:30	7,06	7,22	7,47	7,39	7,40	7,19	7,45	7,15	7,36	7,31	7,22	7,29	7,52	7,49	7,32	7,68	7,36	7,70
10:00	7,04	7,20	7,44	7,36	7,37	7,17	7,42	7,11	7,32	7,28	7,19	7,26	7,49	7,46	7,28	7,67	7,34	7,67
TCO	5,04	3,06	4,20	4,98	4,80	4,20	3,78	6,30	4,02	5,34	3,54	5,10	2,22	2,22	4,56	1,44	2,70	0,72
TCO média	4,10			4,66			4,70			4,66			3,00			1,62		
TCOe	3,91	2,37	3,26	3,86	3,72	3,26	2,93	4,88	3,12	4,14	2,74	3,95	1,72	1,72	3,53	1,12	2,09	0,56
TCOe média	3,18			3,61			3,64			3,61			2,33			1,26		

Tabela A.3 – Continuação do Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 3 - Indústria Alimentícia

(Continuação) 10/09/2015 – Experimento 3: Indústria Alimentícia															
Intoxicante	Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio												Lodo + Glicose		
Hora do ensaio	13:09	13:21	13:34	15:37	15:49	16:00	16:12	16:23	16:35	16:49	17:01	17:13	15:01	15:13	15:24
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L			Lodo + Glicose		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	7,64	7,95	7,59	7,46	7,70	7,71	7,75	7,85	7,83	7,93	7,99	7,99	7,77	7,37	7,59
0:30	7,64	8,02	7,60	7,32	7,64	7,60	7,76	7,80	7,85	7,90	8,00	7,98	7,57	7,26	7,48
1:00	7,64	8,04	7,59	7,27	7,67	7,56	7,79	7,78	7,86	7,90	7,99	7,97	7,49	7,20	7,45
1:30	7,63	8,02	7,59	7,25	7,63	7,54	7,77	7,77	7,86	7,88	7,99	7,96	7,43	7,15	7,42
2:00	7,63	8,01	7,59	7,23	7,61	7,52	7,77	7,76	7,86	7,88	7,98	7,94	7,38	7,10	7,37
2:30	7,61	8,00	7,59	7,20	7,59	7,49	7,77	7,75	7,85	7,87	7,97	7,95	7,31	7,07	7,32
3:00	7,60	8,00	7,58	7,17	7,60	7,48	7,76	7,75	7,88	7,87	7,97	7,92	7,26	7,01	7,27
3:30	7,59	7,99	7,58	7,16	7,55	7,47	7,72	7,72	7,89	7,85	7,95	7,93	7,23	6,97	7,23
4:00	7,58	7,98	7,55	7,14	7,57	7,45	7,72	7,72	7,85	7,85	7,95	7,90	7,17	6,91	7,18
4:30	7,56	7,95	7,52	7,11	7,53	7,44	7,70	7,72	7,84	7,83	7,93	7,89	7,06	6,86	7,12
5:00	7,54	7,92	7,49	7,12	7,53	7,42	7,70	7,70	7,84	7,83	7,93	7,88	6,99	6,80	7,08
5:30	7,52	7,89	7,47	7,08	7,51	7,41	7,71	7,71	7,82	7,83	7,92	7,87	6,93	6,76	7,02
6:00	7,50	7,87	7,44	7,07	7,50	7,40	7,68	7,71	7,80	7,81	7,91	7,86	6,87	6,71	6,96
6:30	7,50	7,84	7,46	7,06	7,49	7,38	7,66	7,69	7,80	7,81	7,91	7,85	6,83	6,66	6,91
7:00	7,47	7,79	7,44	7,05	7,47	7,36	7,68	7,68	7,79	7,81	7,90	7,83	6,78	6,62	6,86
7:30	7,45	7,78	7,42	7,04	7,47	7,35	7,65	7,67	7,78	7,80	7,88	7,83	6,73	6,57	6,81
8:00	7,43	7,77	7,41	7,02	7,42	7,34	7,65	7,67	7,76	7,80	7,87	7,80	6,69	6,51	6,76
8:30	7,42	7,76	7,39	7,00	7,39	7,32	7,63	7,66	7,76	7,78	7,87	7,81	6,64	6,45	6,70
9:00	7,40	7,74	7,37	6,99	7,37	7,31	7,62	7,64	7,76	7,78	7,85	7,80	6,59	6,41	6,67
9:30	7,38	7,72	7,35	6,98	7,37	7,30	7,61	7,63	7,74	7,78	7,85	7,79	6,53	6,35	6,62
10:00	7,35	7,70	7,34	6,97	7,35	7,28	7,60	7,63	7,73	7,78	7,85	7,79	6,50	6,30	6,57
TCO	1,74	1,50	1,50	2,94	2,10	2,58	0,90	1,32	0,60	0,90	0,84	1,20	7,62	6,42	6,12
TCO média	1,58			2,54			0,94			0,98			6,72		
TCOe	1,35	1,16	1,16	2,28	1,63	2,00	0,70	1,02	0,47	0,70	0,65	0,93	5,91	4,98	4,74
TCOe média	1,22			1,97			0,73			0,76			5,21		

Tabela A.4 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 4 - Indústria Alimentícia

23/09/2015 – Experimento 4: Indústria Alimentícia																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	08:50	09:01	09:14	09:31	09:43	09:54	10:05	10:17	10:28	10:43	10:54	11:17	11:30	11:41	11:53	12:04	12:16	12:30
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,38	8,67	8,34	8,62	8,17	8,16	8,21	8,17	8,09	8,30	8,17	8,08	8,26	8,47	8,90	8,43	8,50	8,78
0:30	8,29	8,67	8,18	8,45	7,91	8,07	8,16	8,10	8,07	8,05	8,19	8,10	8,30	8,39	8,86	8,48	8,42	8,70
1:00	8,24	8,67	8,10	8,38	7,77	8,02	8,13	8,05	8,05	7,91	8,11	8,09	8,29	8,31	8,84	8,47	8,38	8,66
1:30	8,23	8,66	8,05	8,33	7,71	7,96	8,10	8,03	8,02	7,80	8,00	8,06	8,28	8,27	8,82	8,45	8,33	8,61
2:00	8,21	8,64	7,99	8,27	7,65	7,92	8,06	7,99	8,00	7,71	7,88	8,01	8,27	8,21	8,79	8,38	8,28	8,58
2:30	8,16	8,64	7,96	8,25	7,59	7,87	8,02	7,95	7,96	7,63	7,75	7,97	8,26	8,20	8,77	8,32	8,26	8,57
3:00	8,16	8,63	7,92	8,20	7,54	7,83	7,99	7,91	7,92	7,55	7,61	7,92	8,25	8,15	8,74	8,28	8,23	8,55
3:30	8,15	8,62	7,87	8,17	7,50	7,77	7,96	7,87	7,87	7,48	7,50	7,88	8,24	8,11	8,70	8,20	8,21	8,54
4:00	8,14	8,60	7,83	8,15	7,45	7,75	7,92	7,83	7,84	7,43	7,40	7,84	8,19	8,07	8,67	8,14	8,18	8,52
4:30	8,13	8,58	7,80	8,11	7,40	7,71	7,88	7,79	7,80	7,37	7,29	7,80	8,13	8,03	8,64	8,07	8,14	8,48
5:00	8,10	8,56	7,77	8,08	7,36	7,66	7,84	7,75	7,76	7,31	7,24	7,76	8,12	7,97	8,62	8,02	8,11	8,47
5:30	8,08	8,53	7,75	8,06	7,31	7,61	7,80	7,72	7,73	7,26	7,18	7,71	8,07	7,94	8,60	7,95	8,07	8,44
6:00	8,07	8,53	7,71	8,01	7,26	7,56	7,76	7,68	7,68	7,21	7,14	7,68	8,04	7,89	8,57	7,90	8,03	8,40
6:30	8,05	8,50	7,68	7,99	7,23	7,52	7,72	7,64	7,65	7,16	7,11	7,66	8,00	7,86	8,55	7,83	7,98	8,37
7:00	8,04	8,49	7,64	7,96	7,19	7,48	7,68	7,60	7,62	7,11	7,08	7,62	7,97	7,83	8,53	7,75	7,95	8,33
7:30	8,03	8,47	7,61	7,93	7,16	7,44	7,63	7,56	7,58	7,07	7,01	7,60	7,92	7,79	8,50	7,70	7,90	8,30
8:00	8,01	8,44	7,58	7,89	7,11	7,39	7,59	7,52	7,54	7,02	6,97	7,58	7,91	7,76	8,48	7,68	7,86	8,27
8:30	7,99	8,42	7,56	7,86	7,08	7,34	7,56	7,48	7,50	6,98	6,93	7,54	7,88	7,72	8,45	7,65	7,83	8,24
9:00	7,97	8,39	7,53	7,83	7,04	7,31	7,52	7,45	7,48	6,94	6,89	7,51	7,83	7,67	8,42	7,63	7,80	8,22
9:30	7,97	8,36	7,51	7,81	7,00	7,28	7,47	7,42	7,44	6,91	6,87	7,48	7,80	7,65	8,39	7,58	7,77	8,20
10:00	7,94	8,34	7,49	7,77	6,96	7,24	7,44	7,39	7,41	6,87	6,85	7,44	7,76	7,62	8,34	7,54	7,76	8,18
TCO	2,64	1,98	5,10	5,10	7,26	5,52	4,62	4,68	4,08	8,58	7,92	3,84	3,00	5,10	3,36	5,34	4,44	3,60
TCO média	3,24			5,96			4,46			6,78			3,82			4,46		
TCOe	1,84	1,38	3,55	3,55	5,05	3,84	3,21	3,26	2,84	5,97	5,51	2,67	2,09	3,55	2,34	3,72	3,09	2,50
TCOe média	2,25			4,15			3,10			4,72			2,66			3,10		

Tabela A.4 – Continuação da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 4 - Indústria Alimentícia

(Continuação) 23/09/2015 – Experimento 4: Indústria Alimentícia															
Intoxicante	Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio												Lodo + Glicose		
Hora do ensaio	15:20	15:34	15:48	16:00	16:14	16:28	16:40	16:54	17:06	17:18	17:31	17:42	14:39	14:49	15:07
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L			Lodo + Glicose		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	7,84	8,08	7,83	8,10	7,66	8,32	8,41	8,39	8,47	8,49	8,43	8,59	7,98	7,33	7,63
0:30	7,76	7,98	7,76	8,02	7,47	8,28	8,37	8,39	8,46	8,46	8,41	8,56	7,82	7,02	7,39
1:00	7,72	7,94	7,72	7,98	7,43	8,24	8,35	8,42	8,46	8,47	8,40	8,55	7,76	6,92	7,31
1:30	7,67	7,89	7,67	7,95	7,40	8,23	8,34	8,43	8,47	8,45	8,41	8,55	7,72	6,84	7,24
2:00	7,59	7,84	7,64	7,93	7,36	8,22	8,36	8,42	8,46	8,45	8,40	8,54	7,68	6,78	7,08
2:30	7,57	7,79	7,58	7,89	7,34	8,20	8,35	8,41	8,46	8,44	8,39	8,53	7,64	6,73	7,12
3:00	7,53	7,74	7,54	7,86	7,29	8,18	8,35	8,41	8,46	8,43	8,38	8,53	7,60	6,67	7,06
3:30	7,49	7,71	7,48	7,83	7,28	8,18	8,35	8,41	8,41	8,42	8,39	8,52	7,57	6,61	7,00
4:00	7,44	7,66	7,43	7,80	7,26	8,17	8,33	8,40	8,39	8,42	8,38	8,51	7,53	6,57	6,96
4:30	7,40	7,62	7,39	7,77	7,23	8,16	8,32	8,37	8,38	8,41	8,38	8,50	7,50	6,51	6,89
5:00	7,34	7,59	7,33	7,73	7,21	8,14	8,32	8,38	8,37	8,41	8,38	8,50	7,45	6,47	6,84
5:30	7,29	7,54	7,30	7,71	7,18	8,14	8,32	8,36	8,35	8,40	8,37	8,50	7,42	6,43	6,80
6:00	7,25	7,51	7,23	7,68	7,15	8,11	8,32	8,35	8,35	8,40	8,36	8,49	7,38	6,38	6,75
6:30	7,20	7,44	7,19	7,64	7,14	8,11	8,31	8,34	8,34	8,37	8,35	8,48	7,34	6,33	6,70
7:00	7,16	7,41	7,15	7,61	7,11	8,08	8,31	8,35	8,32	8,37	8,34	8,48	7,29	6,27	6,65
7:30	7,10	7,37	7,10	7,57	7,09	8,08	8,28	8,35	8,31	8,37	8,35	8,48	7,26	6,23	6,61
8:00	7,03	7,31	7,02	7,54	7,06	8,08	8,28	8,33	8,30	8,37	8,34	8,46	7,24	6,19	6,56
8:30	6,99	7,27	7,01	7,51	7,03	8,07	8,28	8,32	8,29	8,38	8,35	8,47	7,20	6,12	6,52
9:00	6,92	7,21	6,99	7,48	7,02	8,07	8,27	8,30	8,30	8,37	8,37	8,48	7,16	6,09	6,48
9:30	6,89	7,16	6,95	7,44	6,99	8,05	8,26	8,30	8,28	8,37	8,35	8,47	7,11	6,04	6,43
10:00	6,83	7,11	6,93	7,42	6,97	8,03	8,27	8,29	8,28	8,36	8,34	8,48	7,07	6,00	6,39
TCO	6,06	5,82	5,40	4,08	4,14	1,74	0,84	0,60	1,14	0,78	0,54	0,66	5,46	7,98	7,44
TCO média	5,76			3,32			0,86			0,66			6,96		
TCOe	4,22	4,05	3,76	2,84	2,88	1,21	0,58	0,42	0,79	0,54	0,38	0,46	3,80	5,55	5,18
TCOe média	4,01			2,31			0,60			0,46			4,84		

Indústria Farmacêutica

Tabela A.5 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 5 - Indústria Farmacêutica

27/08/2015 – Experimento 5: Indústria Farmacêutica																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	09:24	09:36	09:48	09:59	10:10	10:21	10:34	10:46	10:57	11:10	11:20	11:31	11:42	11:53	12:04	12:15	12:26	12:49
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,06	8,18	8,15	8,22	8,18	8,22	8,17	8,20	8,10	8,23	8,11	8,22	8,12	8,14	8,11	8,08	8,15	8,12
0:30	7,86	7,96	8,04	8,13	8,05	8,09	8,02	8,02	7,91	8,06	7,93	8,08	7,97	8,13	7,98	7,97	8,06	7,97
1:00	7,78	7,91	8,00	8,09	8,00	8,06	7,97	7,95	7,85	8,00	7,88	8,00	7,91	8,09	7,93	7,94	8,01	7,91
1:30	7,73	7,87	7,98	8,06	7,98	8,02	7,93	7,93	7,79	7,95	7,83	8,00	7,88	8,09	7,91	7,91	8,01	7,89
2:00	7,69	7,88	7,97	8,04	7,96	8,00	7,90	7,89	7,77	7,93	7,80	7,96	7,85	8,07	7,91	7,90	8,00	7,87
2:30	7,68	7,85	7,96	8,02	7,93	8,00	7,88	7,88	7,75	7,91	7,78	7,96	7,83	8,05	7,89	7,89	7,99	7,85
3:00	7,68	7,83	7,94	8,00	7,91	7,96	7,85	7,85	7,72	7,89	7,77	7,94	7,82	8,03	7,88	7,87	7,97	7,83
3:30	7,67	7,82	7,94	7,98	7,90	7,95	7,82	7,83	7,70	7,87	7,74	7,91	7,82	8,02	7,82	7,87	7,95	7,83
4:00	7,65	7,80	7,92	7,97	7,87	7,93	7,80	7,80	7,68	7,84	7,71	7,90	7,80	8,01	7,81	7,86	7,94	7,83
4:30	7,66	7,79	7,91	7,95	7,86	7,91	7,79	7,79	7,67	7,83	7,70	7,89	7,79	8,00	7,81	7,84	7,94	7,81
5:00	7,66	7,77	7,90	7,93	7,84	7,90	7,77	7,78	7,64	7,81	7,68	7,87	7,79	7,99	7,82	7,84	7,92	7,79
5:30	7,63	7,77	7,89	7,91	7,81	7,85	7,75	7,76	7,61	7,79	7,65	7,84	7,78	7,97	7,81	7,83	7,92	7,79
6:00	7,64	7,76	7,88	7,88	7,78	7,85	7,73	7,71	7,58	7,77	7,64	7,84	7,77	7,97	7,80	7,80	7,91	7,78
6:30	7,62	7,75	7,87	7,86	7,78	7,85	7,71	7,71	7,57	7,75	7,61	7,83	7,75	7,96	7,77	7,80	7,87	7,76
7:00	7,62	7,74	7,85	7,85	7,76	7,83	7,68	7,68	7,56	7,74	7,61	7,80	7,73	7,94	7,76	7,80	7,89	7,76
7:30	7,60	7,73	7,84	7,83	7,74	7,81	7,65	7,66	7,54	7,73	7,60	7,80	7,73	7,94	7,77	7,79	7,88	7,76
8:00	7,62	7,71	7,85	7,81	7,72	7,78	7,63	7,65	7,52	7,71	7,58	7,79	7,73	7,93	7,75	7,77	7,88	7,74
8:30	7,58	7,70	7,84	7,79	7,69	7,76	7,60	7,64	7,49	7,70	7,57	7,78	7,71	7,92	7,71	7,77	7,87	7,75
9:00	7,58	7,68	7,83	7,76	7,68	7,75	7,60	7,61	7,48	7,68	7,54	7,75	7,69	7,90	7,71	7,76	7,85	7,74
9:30	7,56	7,68	7,82	7,75	7,66	7,73	7,58	7,59	7,46	7,65	7,54	7,72	7,69	7,89	7,70	7,76	7,85	7,73
10:00	7,57	7,66	7,80	7,73	7,65	7,71	7,55	7,56	7,44	7,65	7,52	7,70	7,66	7,89	7,69	7,74	7,84	7,71
TCO	2,94	3,12	2,10	2,94	3,18	3,06	3,72	3,84	3,96	3,48	3,54	3,12	2,76	1,50	2,52	2,04	1,86	2,46
TCO média	2,72			3,06			3,84			3,38			2,26			2,12		
TCOe	2,60	2,76	1,86	2,60	2,81	2,71	3,29	3,40	3,50	3,08	3,13	2,76	2,44	1,33	2,23	1,80	1,65	2,18
TCOe média	2,41			2,71			3,40			2,99			2,00			1,88		

Tabela A.5 – Continuação do Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 5 - Indústria Farmacêutica

(Continuação) 27/08/2015 – Experimento 5: Indústria Farmacêutica															
Intoxicante	Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio												Lodo + Glicose		
Hora do ensaio	13:00	13:24	13:34	15:28	15:40	15:54	16:11	16:24	16:37	15:03	15:28	15:46	14:47	15:02	15:14
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L			Lodo + Glicose		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,00	8,20	8,22	8,19	8,29	8,17	8,33	8,15	8,32	8,18	8,28	8,14	8,07	8,11	8,04
0:30	7,99	8,10	8,15	8,05	8,02	8,04	8,19	8,05	8,21	8,14	8,21	8,14	7,89	7,96	7,90
1:00	7,96	8,06	8,14	8,00	8,00	7,98	8,11	8,03	8,16	8,15	8,19	8,14	7,85	7,93	7,86
1:30	7,92	8,04	8,12	8,00	8,00	7,97	8,08	8,02	8,15	8,13	8,18	8,14	7,81	7,88	7,83
2:00	7,90	8,02	8,11	7,99	7,98	7,93	8,08	8,02	8,13	8,13	8,19	8,13	7,79	7,85	7,81
2:30	7,86	8,01	8,07	7,98	7,96	7,94	8,08	8,01	8,13	8,14	8,19	8,13	7,75	7,83	7,78
3:00	7,87	8,00	8,03	7,97	7,95	7,93	8,05	7,99	8,12	8,14	8,17	8,13	7,74	7,81	7,77
3:30	7,84	7,98	8,03	7,96	7,94	7,92	8,05	7,98	8,12	8,13	8,16	8,14	7,72	7,79	7,72
4:00	7,82	7,97	8,05	7,96	7,93	7,90	8,05	7,98	8,10	8,11	8,16	8,13	7,69	7,76	7,71
4:30	7,79	7,97	8,05	7,94	7,92	7,89	8,04	7,99	8,10	8,12	8,17	8,12	7,65	7,76	7,70
5:00	7,76	7,95	8,05	7,94	7,92	7,88	8,03	7,99	8,08	8,13	8,17	8,11	7,64	7,73	7,67
5:30	7,75	7,94	7,93	7,94	7,90	7,88	8,03	7,97	8,08	8,12	8,16	8,12	7,62	7,70	7,66
6:00	7,74	7,93	7,91	7,93	7,91	7,88	8,03	7,97	8,07	8,12	8,15	8,11	7,59	7,70	7,64
6:30	7,71	7,92	7,89	7,92	7,89	7,87	8,03	7,96	8,08	8,12	8,16	8,12	7,57	7,65	7,59
7:00	7,69	7,91	7,89	7,91	7,88	7,86	8,03	7,97	8,05	8,12	8,14	8,09	7,54	7,63	7,57
7:30	7,67	7,90	7,87	7,91	7,86	7,85	8,01	7,97	8,05	8,11	8,15	8,10	7,53	7,61	7,54
8:00	7,67	7,89	7,86	7,91	7,88	7,83	8,02	7,95	8,04	8,12	8,17	8,11	7,49	7,59	7,53
8:30	7,66	7,89	7,86	7,91	7,89	7,83	8,01	7,96	8,06	8,11	8,15	8,10	7,48	7,57	7,51
9:00	7,64	7,88	7,86	7,89	7,86	7,82	8,02	7,96	8,07	8,10	8,15	8,09	7,45	7,55	7,49
9:30	7,62	7,87	7,84	7,89	7,86	7,82	8,00	7,95	8,05	8,09	8,16	8,09	7,43	7,53	7,47
10:00	7,62	7,86	7,84	7,87	7,86	7,81	8,00	7,95	8,05	8,10	8,16	8,09	7,40	7,51	7,44
TCO	2,28	2,04	2,28	1,92	2,58	2,16	1,98	1,20	1,62	0,48	0,72	0,30	4,02	3,60	3,60
TCO média	2,20			2,22			1,60			0,50			3,74		
TCOe	2,02	1,80	2,02	1,70	2,28	1,91	1,75	1,06	1,43	0,42	0,64	0,27	3,56	3,19	3,19
TCOe média	1,95			1,96			1,42			0,44			3,31		

Tabela A.6 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 6 - Indústria Farmacêutica

11/09/2015 – Experimento 6: Indústria Farmacêutica																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	10:43	10:55	11:08	11:21	11:39	11:51	12:04	12:15	12:27	12:38	12:50	13:02	13:30	13:43	13:54	14:05	14:17	14:29
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,19	8,13	7,94	7,84	8,16	7,97	7,83	8,05	8,08	7,97	8,01	7,93	8,13	8,12	8,02	8,10	8,12	8,15
0:30	8,07	8,03	7,94	7,86	8,07	7,97	7,92	8,01	8,04	8,00	8,02	7,90	8,06	8,05	8,00	8,03	8,03	8,08
1:00	8,02	8,00	7,96	7,87	8,03	7,94	7,94	7,99	8,02	7,99	8,02	7,89	8,03	8,00	7,97	8,00	8,02	8,05
1:30	7,96	7,98	7,96	7,89	8,00	7,92	7,95	7,98	7,97	7,96	8,00	7,89	8,00	7,98	7,96	7,97	7,97	8,01
2:00	7,93	7,96	7,93	7,85	7,97	7,91	7,93	7,95	7,95	7,94	7,98	7,88	7,98	7,97	7,94	7,96	7,96	8,01
2:30	7,93	7,95	7,94	7,84	7,94	7,88	7,92	7,93	7,94	7,92	7,96	7,86	7,96	7,95	7,94	7,94	7,95	7,99
3:00	7,91	7,94	7,94	7,81	7,92	7,85	7,90	7,90	7,92	7,91	7,94	7,84	7,95	7,94	7,91	7,93	7,94	7,97
3:30	7,90	7,92	7,92	7,83	7,88	7,83	7,87	7,87	7,90	7,88	7,93	7,80	7,93	7,91	7,90	7,92	7,92	7,97
4:00	7,89	7,90	7,91	7,80	7,87	7,81	7,85	7,84	7,86	7,86	7,91	7,79	7,91	7,90	7,89	7,91	7,92	7,96
4:30	7,87	7,89	7,90	7,78	7,84	7,79	7,84	7,82	7,85	7,85	7,88	7,78	7,90	7,89	7,87	7,90	7,91	7,95
5:00	7,86	7,88	7,89	7,73	7,82	7,77	7,81	7,80	7,83	7,83	7,87	7,78	7,90	7,88	7,85	7,89	7,88	7,93
5:30	7,85	7,87	7,87	7,69	7,79	7,75	7,79	7,77	7,80	7,81	7,85	7,77	7,88	7,87	7,84	7,88	7,89	7,93
6:00	7,84	7,86	7,86	7,67	7,76	7,72	7,76	7,76	7,78	7,79	7,83	7,75	7,87	7,85	7,83	7,86	7,88	7,92
6:30	7,83	7,86	7,85	7,64	7,75	7,71	7,75	7,73	7,77	7,78	7,82	7,74	7,85	7,84	7,82	7,85	7,87	7,92
7:00	7,82	7,84	7,84	7,62	7,72	7,66	7,72	7,70	7,74	7,76	7,80	7,72	7,85	7,83	7,81	7,83	7,85	7,91
7:30	7,82	7,82	7,82	7,60	7,71	7,63	7,70	7,69	7,72	7,74	7,78	7,70	7,82	7,82	7,79	7,83	7,83	7,90
8:00	7,81	7,82	7,80	7,58	7,69	7,61	7,67	7,66	7,68	7,72	7,77	7,69	7,82	7,81	7,77	7,81	7,83	7,89
8:30	7,78	7,81	7,78	7,56	7,66	7,60	7,64	7,64	7,67	7,70	7,76	7,69	7,80	7,79	7,76	7,81	7,82	7,87
9:00	7,78	7,79	7,77	7,54	7,63	7,58	7,61	7,62	7,64	7,67	7,74	7,68	7,80	7,79	7,76	7,80	7,82	7,86
9:30	7,77	7,78	7,76	7,52	7,61	7,56	7,60	7,59	7,62	7,66	7,73	7,65	7,79	7,78	7,75	7,80	7,80	7,86
10:00	7,75	7,77	7,74	7,49	7,59	7,56	7,57	7,57	7,60	7,65	7,71	7,63	7,77	7,76	7,73	7,78	7,80	7,84
TCO	2,64	2,16	1,20	2,10	3,42	2,46	1,56	2,88	2,88	1,92	1,80	1,80	2,16	2,16	1,74	1,92	1,92	1,86
TCO média	2,00			2,66			2,44			1,84			2,02			1,90		
TCOe	2,27	1,86	1,03	1,81	2,95	2,12	1,34	2,48	2,48	1,65	1,55	1,55	1,86	1,86	1,50	1,65	1,65	1,60
TCOe média	1,72			2,29			2,10			1,58			1,74			1,64		

Tabela A.6 – Continuação do Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 6 - Indústria Farmacêutica

(Continuação) 11/09/2015 – Experimento 6: Indústria Farmacêutica															
Intoxicante	Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio												Lodo + Glicose		
Hora do ensaio	14:40	14:52	15:04	16:16	16:27	16:39	16:54	17:05	17:18	17:29	15:42	15:54	15:39	15:52	16:04
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L			Lodo + Glicose		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,09	8,16	8,22	8,06	8,08	8,06	8,16	7,98	8,11	8,09	8,10	8,10	7,85	8,00	8,02
0:30	8,09	8,09	8,15	7,97	8,01	8,02	8,11	7,94	8,07	8,01	8,03	8,05	7,86	7,94	7,94
1:00	8,09	8,07	8,12	7,96	7,99	8,00	8,10	7,92	8,03	7,98	8,01	8,03	7,90	7,91	7,91
1:30	8,07	8,03	8,10	7,94	7,96	7,97	8,08	7,90	8,03	7,97	8,00	8,02	7,90	7,87	7,88
2:00	8,07	8,04	8,07	7,93	7,95	7,94	8,05	7,90	8,01	7,96	7,99	8,02	7,87	7,87	7,85
2:30	8,05	8,03	8,06	7,92	7,92	7,93	8,03	7,89	8,00	7,94	7,98	8,00	7,84	7,84	7,83
3:00	8,05	8,02	8,05	7,92	7,91	7,92	8,01	7,89	8,00	7,92	7,98	8,00	7,84	7,81	7,80
3:30	8,03	8,01	8,04	7,90	7,91	7,91	8,01	7,88	7,99	7,92	7,98	8,00	7,82	7,77	7,78
4:00	8,03	8,00	8,04	7,89	7,90	7,88	8,01	7,88	7,99	7,91	7,98	7,99	7,79	7,75	7,76
4:30	8,02	7,98	8,03	7,88	7,89	7,88	8,00	7,87	7,97	7,90	7,97	7,98	7,77	7,73	7,74
5:00	8,02	7,97	8,02	7,89	7,87	7,87	7,99	7,86	7,96	7,89	7,96	7,98	7,74	7,72	7,72
5:30	8,01	7,98	8,00	7,87	7,86	7,87	7,99	7,86	7,97	7,88	7,96	7,99	7,72	7,70	7,68
6:00	8,00	7,96	7,98	7,87	7,86	7,85	7,99	7,85	7,95	7,88	7,95	7,98	7,70	7,68	7,66
6:30	7,99	7,95	7,97	7,86	7,85	7,85	7,99	7,84	7,97	7,88	7,95	7,98	7,68	7,64	7,65
7:00	7,98	7,94	7,96	7,85	7,85	7,84	7,98	7,84	7,94	7,87	7,95	7,98	7,66	7,61	7,63
7:30	7,99	7,94	7,95	7,84	7,81	7,83	7,98	7,83	7,93	7,86	7,95	7,97	7,64	7,60	7,60
8:00	7,98	7,93	7,94	7,83	7,82	7,82	7,97	7,83	7,94	7,86	7,94	7,97	7,61	7,58	7,59
8:30	7,96	7,92	7,92	7,83	7,81	7,80	7,97	7,82	7,93	7,85	7,93	7,96	7,59	7,56	7,56
9:00	7,96	7,92	7,93	7,82	7,80	7,78	7,96	7,82	7,93	7,85	7,92	7,95	7,56	7,54	7,54
9:30	7,95	7,91	7,91	7,79	7,80	7,79	7,97	7,82	7,93	7,85	7,91	7,94	7,55	7,52	7,52
10:00	7,94	7,89	7,90	7,79	7,78	7,78	7,96	7,81	7,92	7,84	7,91	7,94	7,52	7,50	7,49
TCO	0,90	1,62	1,92	1,62	1,80	1,68	1,20	1,02	1,14	1,50	1,14	0,96	1,98	3,00	3,18
TCO média	1,48			1,70			1,12			1,20			2,72		
TCOe	0,78	1,40	1,65	1,40	1,55	1,45	1,03	0,88	0,98	1,29	0,98	0,83	1,71	2,58	2,74
TCOe média	1,27			1,46			0,96			1,03			2,34		

Tabela A.7 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 7 - Indústria Farmacêutica

24/09/2015 – Experimento 7: Indústria Farmacêutica																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	09:53	10:04	10:15	11:58	12:09	12:20	12:32	12:44	12:55	13:07	13:19	13:31	13:43	14:07	14:58	14:19	14:31	15:10
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	9,07	8,98	8,91	7,76	7,66	7,65	7,63	7,61	7,59	7,59	7,58	7,50	7,56	7,33	7,04	7,27	7,16	6,90
0:30	9,02	8,93	8,86	7,68	7,66	7,67	7,61	7,58	7,58	7,58	7,58	7,51	7,53	7,33	6,98	7,26	7,12	6,86
1:00	8,99	8,93	8,85	7,65	7,64	7,62	7,59	7,56	7,55	7,54	7,56	7,48	7,53	7,28	6,93	7,24	7,09	6,84
1:30	8,93	8,94	8,83	7,62	7,61	7,60	7,56	7,54	7,52	7,52	7,53	7,44	7,49	7,24	6,89	7,21	7,06	6,81
2:00	8,91	8,88	8,80	7,58	7,58	7,56	7,53	7,52	7,50	7,50	7,51	7,43	7,48	7,23	6,83	7,21	7,03	6,79
2:30	8,89	8,88	8,78	7,55	7,55	7,51	7,50	7,48	7,47	7,48	7,48	7,40	7,46	7,18	6,80	7,18	6,97	6,77
3:00	8,87	8,86	8,76	7,53	7,53	7,48	7,48	7,45	7,44	7,45	7,46	7,38	7,45	7,16	6,75	7,16	6,95	6,74
3:30	8,87	8,85	8,75	7,49	7,50	7,45	7,44	7,42	7,41	7,43	7,44	7,36	7,44	7,13	6,72	7,12	6,90	6,72
4:00	8,87	8,84	8,74	7,45	7,47	7,43	7,42	7,40	7,38	7,41	7,40	7,33	7,38	7,11	6,68	7,12	6,86	6,70
4:30	8,83	8,82	8,72	7,42	7,42	7,40	7,39	7,37	7,35	7,39	7,39	7,29	7,37	7,08	6,65	7,09	6,83	6,69
5:00	8,83	8,82	8,71	7,38	7,40	7,37	7,36	7,34	7,32	7,37	7,36	7,28	7,36	7,06	6,62	7,07	6,80	6,67
5:30	8,81	8,79	8,69	7,36	7,37	7,34	7,33	7,31	7,28	7,34	7,34	7,26	7,32	7,03	6,59	7,05	6,77	6,65
6:00	8,79	8,77	8,68	7,33	7,36	7,33	7,31	7,28	7,27	7,32	7,32	7,24	7,30	7,01	6,57	7,04	6,74	6,63
6:30	8,77	9,75	8,66	7,28	7,34	7,28	7,27	7,26	7,23	7,29	7,28	7,21	7,30	6,98	6,54	7,01	6,70	6,61
7:00	8,77	8,73	8,64	7,26	7,30	7,26	7,25	7,23	7,19	7,26	7,27	7,18	7,26	6,97	6,51	7,00	6,62	6,58
7:30	8,75	8,72	8,62	7,23	7,26	7,22	7,22	7,16	7,17	7,23	7,24	7,15	7,26	6,96	6,48	6,99	6,60	6,57
8:00	8,72	8,70	8,61	7,18	7,21	7,19	7,19	7,14	7,15	7,21	7,20	7,15	7,23	6,94	6,46	6,96	6,56	6,56
8:30	8,71	8,69	8,61	7,17	7,21	7,16	7,15	7,11	7,10	7,18	7,18	7,12	7,21	6,91	6,44	6,95	6,54	6,53
9:00	8,70	8,67	8,58	7,12	7,16	7,12	7,12	7,08	7,06	7,17	7,16	7,12	7,18	6,90	6,41	6,93	6,51	6,52
9:30	8,69	8,65	8,55	7,10	7,13	7,10	7,09	7,04	7,05	7,15	7,12	7,09	7,16	6,86	6,38	6,92	6,48	6,49
10:00	8,68	8,64	8,54	7,05	7,10	7,07	7,05	7,01	7,01	7,11	7,10	7,07	7,14	6,82	6,36	6,89	6,44	6,48
TCO	2,34	2,04	2,22	4,26	3,36	3,48	3,48	3,60	3,48	2,88	2,88	2,58	2,52	3,06	4,08	2,28	4,32	2,52
TCO média	2,20			3,70			3,52			2,78			3,22			3,04		
TCOe	1,98	1,73	1,88	3,61	2,85	2,95	2,95	3,05	2,95	2,44	2,44	2,19	2,14	2,59	3,46	1,93	3,66	2,14
TCOe média	1,86			3,13			2,98			2,36			2,73			2,58		

Tabela A.7 – Continuação do Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 7 - Indústria Farmacêutica

(Continuação) 24/09/2015 – Experimento 7: Indústria Farmacêutica															
Intoxicante	Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio												Lodo + Glicose		
Hora do ensaio	16:50	17:01	17:13	17:24	17:47	17:59	18:10	18:22	18:43	18:54	19:06	19:18	16:10	16:22	16:36
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L			Lodo + Glicose		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	6,45	6,61	6,65	6,62	6,52	6,49	6,54	6,99	7,05	7,20	7,56	7,65	6,44	6,45	6,50
0:30	6,41	6,56	6,59	6,57	6,44	6,50	6,53	6,99	7,04	7,19	7,56	7,67	6,38	6,40	6,47
1:00	6,39	6,52	6,55	6,54	6,42	6,48	6,52	6,99	7,02	7,20	7,56	7,67	6,34	6,38	6,45
1:30	6,39	6,49	6,50	6,52	6,40	6,47	6,51	6,99	7,01	7,19	7,55	7,69	6,32	6,36	6,38
2:00	6,36	6,45	6,47	6,50	6,38	6,46	6,50	7,00	7,02	7,20	7,55	7,70	6,29	6,35	6,36
2:30	6,35	6,41	6,43	6,46	6,36	6,44	6,49	6,99	7,02	7,20	7,55	7,68	6,26	6,32	6,35
3:00	6,33	6,39	6,39	6,43	6,34	6,42	6,47	7,01	7,02	7,20	7,55	7,69	6,22	6,30	6,33
3:30	6,33	6,37	6,35	6,41	6,32	6,40	6,46	7,01	7,01	7,20	7,56	7,69	6,19	6,27	6,28
4:00	6,31	6,34	6,31	6,38	6,30	6,36	6,45	6,99	7,00	7,20	7,56	7,68	6,15	6,24	6,25
4:30	6,29	6,31	6,26	6,37	6,28	6,34	6,43	7,00	6,99	7,19	7,56	7,68	6,12	6,21	6,22
5:00	6,26	6,28	6,23	6,35	6,26	6,31	6,43	7,00	6,99	7,19	7,56	7,66	6,09	6,19	6,21
5:30	6,24	6,24	6,19	6,30	6,24	6,30	6,42	6,99	6,99	7,19	7,56	7,66	6,06	6,16	6,20
6:00	6,21	6,22	6,16	6,28	6,22	6,28	6,41	6,99	6,97	7,17	7,55	7,65	6,03	6,14	6,19
6:30	6,19	6,18	6,13	6,28	6,20	6,26	6,40	6,97	6,97	7,17	7,55	7,65	6,01	6,11	6,18
7:00	6,16	6,14	6,09	6,28	6,19	6,24	6,40	6,94	6,96	7,16	7,54	7,64	5,98	6,09	6,18
7:30	6,13	6,11	6,06	6,27	6,16	6,22	6,40	6,90	6,94	7,15	7,54	7,64	5,95	6,06	6,15
8:00	6,11	6,07	6,01	6,25	6,15	6,18	6,39	6,84	6,93	7,14	7,54	7,63	5,93	6,03	6,10
8:30	6,10	6,05	5,98	6,23	6,14	6,16	6,39	6,81	6,93	7,12	7,54	7,62	5,90	6,01	6,03
9:00	6,07	6,01	5,95	6,22	6,12	6,13	6,38	6,81	6,93	7,10	7,54	7,62	5,87	5,97	5,97
9:30	6,06	5,98	5,92	6,20	6,09	6,12	6,38	6,78	6,92	7,07	7,54	7,62	5,85	5,97	5,93
10:00	6,04	5,95	5,89	6,18	6,08	6,11	6,37	6,77	6,91	7,06	7,54	7,61	5,82	5,94	5,90
TCO	2,46	3,96	4,56	2,64	2,64	2,28	1,02	1,32	0,84	0,84	0,12	0,24	3,72	3,06	3,60
TCO média	3,66			2,52			1,06			0,40			3,46		
TCOe	2,08	3,36	3,86	2,24	2,24	1,93	0,86	1,12	0,71	0,71	0,10	0,20	3,15	2,59	3,05
TCOe média	3,10			2,14			0,90			0,34			2,93		

Tabela A.8 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 8 - Indústria Farmacêutica

16/10/2015 – Experimento 8: Indústria Farmacêutica																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	09:43	10:01	10:14	10:33	10:44	10:56	11:09	11:21	11:34	11:47	11:58	12:10	12:23	12:34	12:48	13:01	13:14	13:27
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	7,58	7,82	7,72	7,45	7,80	7,63	7,38	7,46	7,96	7,92	8,07	8,07	8,06	7,69	8,10	8,02	8,37	8,28
0:30	7,55	7,81	7,71	7,45	7,77	7,61	7,37	7,43	7,93	7,88	8,05	8,05	8,03	7,68	8,08	7,99	8,36	8,27
1:00	7,52	7,79	7,71	7,46	7,74	7,57	7,34	7,40	7,92	7,86	8,03	8,03	7,99	7,65	8,06	7,98	8,35	8,26
1:30	7,49	7,76	7,70	7,46	7,70	7,53	7,30	7,38	7,90	7,84	7,99	8,01	7,97	7,62	8,02	7,97	8,33	8,25
2:00	7,46	7,75	7,68	7,44	7,68	7,50	7,29	7,35	7,87	7,82	7,95	7,97	7,96	7,60	8,00	7,95	8,32	8,25
2:30	7,43	7,73	7,64	7,42	7,63	7,48	7,27	7,33	7,85	7,79	7,93	7,95	7,95	7,58	7,97	7,94	8,30	8,23
3:00	7,39	7,71	7,60	7,40	7,60	7,46	7,25	7,30	7,84	7,77	7,90	7,93	7,93	7,54	7,95	7,93	8,29	8,22
3:30	7,37	7,68	7,58	7,38	7,57	7,44	7,22	7,28	7,83	7,74	7,87	7,89	7,92	7,53	7,94	7,91	8,27	8,20
4:00	7,33	7,65	7,56	7,35	7,51	7,41	7,19	7,26	7,83	7,71	7,86	7,86	7,90	7,51	7,90	7,90	8,25	8,17
4:30	7,30	7,63	7,54	7,33	7,48	7,38	7,26	7,25	7,80	7,69	7,83	7,83	7,89	7,48	7,87	7,89	8,23	8,15
5:00	7,28	7,60	7,51	7,30	7,47	7,35	7,14	7,22	7,79	7,67	7,81	7,80	7,87	7,47	7,84	7,86	8,20	8,14
5:30	7,24	7,59	7,47	7,26	7,44	7,33	7,10	7,19	7,77	7,65	7,80	7,78	7,86	7,47	7,83	7,82	8,17	8,11
6:00	7,23	7,57	7,45	7,24	7,42	7,31	7,07	7,13	7,75	7,63	7,76	7,75	7,85	7,45	7,80	7,80	8,15	8,09
6:30	7,19	7,55	7,42	7,21	7,39	7,29	7,03	7,11	7,72	7,59	7,74	7,72	7,84	7,45	7,77	7,79	8,14	8,06
7:00	7,15	7,53	7,39	7,17	7,37	7,28	7,00	7,08	7,69	7,57	7,71	7,69	7,82	7,43	7,75	7,78	8,12	8,05
7:30	7,12	7,50	7,38	7,13	7,35	7,25	6,98	7,06	7,66	7,54	7,70	7,67	7,80	7,40	7,75	7,77	8,10	8,03
8:00	7,10	7,47	7,36	7,07	7,33	7,23	6,94	7,04	7,63	7,52	7,66	7,66	7,77	7,37	7,73	7,74	8,07	8,00
8:30	7,07	7,45	7,32	7,06	7,31	7,20	6,93	7,01	7,60	7,50	7,65	7,64	7,73	7,34	7,71	7,71	8,05	7,99
9:00	7,05	7,41	7,29	7,01	7,29	7,17	6,91	6,98	7,57	7,48	7,62	7,63	7,70	7,31	7,69	7,69	8,03	7,95
9:30	7,05	7,38	7,27	6,97	7,27	7,15	6,89	6,96	7,54	7,46	7,60	7,60	7,68	7,30	7,65	7,64	8,00	7,92
10:00	7,05	7,35	7,25	6,93	7,25	7,10	6,87	6,93	7,50	7,44	7,58	7,58	7,65	7,27	7,65	7,62	7,98	7,90
TCO	3,18	2,82	2,82	3,12	3,30	3,18	3,06	3,18	2,76	2,88	2,94	2,94	2,46	2,52	2,70	2,40	2,34	2,28
TCO média	2,94			3,20			3,00			2,92			2,56			2,34		
TCOe	3,15	2,79	2,79	3,09	3,27	3,15	3,03	3,15	2,73	2,85	2,91	2,91	2,44	2,49	2,67	2,38	2,32	2,26
TCOe média	2,91			3,17			2,97			2,89			2,53			2,32		

Tabela A.8 – Continuação do Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 8 - Indústria Farmacêutica

(Continuação) 16/10/2015 – Experimento 8: Indústria Farmacêutica												
Intoxicante	Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	13:39	13:51	14:03	15:26	16:04	16:16	16:28	16:39	16:50	17:05	17:18	17:30
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,47	8,26	8,43	7,60	7,50	7,46	7,50	7,51	7,43	7,57	7,54	7,58
0:30	8,45	8,24	8,40	7,47	7,37	7,38	7,42	7,49	7,37	7,48	7,48	7,53
1:00	8,43	8,23	8,39	7,48	7,36	7,36	7,41	7,42	7,37	7,46	7,46	7,51
1:30	8,40	8,22	8,37	7,48	7,35	7,34	7,40	7,43	7,36	7,45	7,45	7,49
2:00	8,37	8,20	8,35	7,47	7,34	7,32	7,41	7,42	7,35	7,45	7,44	7,49
2:30	8,35	8,19	8,33	7,46	7,33	7,30	7,40	7,41	7,35	7,44	7,43	7,48
3:00	8,33	8,18	8,30	7,48	7,31	7,28	7,39	7,41	7,34	7,43	7,43	7,48
3:30	8,30	8,17	8,29	7,46	7,30	7,28	7,39	7,40	7,33	7,44	7,42	7,49
4:00	8,27	8,16	8,28	7,46	7,28	7,28	7,38	7,38	7,33	7,42	7,41	7,48
4:30	8,25	8,14	8,27	7,44	7,27	7,26	7,37	7,39	7,32	7,42	7,41	7,47
5:00	8,24	8,13	8,27	7,46	7,26	7,25	7,37	7,38	7,31	7,42	7,40	7,47
5:30	8,23	8,10	8,25	7,43	7,25	7,24	7,36	7,37	7,31	7,42	7,41	7,46
6:00	8,20	8,09	8,24	7,46	7,24	7,21	7,36	7,36	7,30	7,42	7,39	7,47
6:30	8,18	8,07	8,23	7,44	7,24	7,20	7,35	7,36	7,30	7,41	7,39	7,46
7:00	8,16	8,06	8,20	7,41	7,22	7,17	7,32	7,35	7,29	7,40	7,39	7,46
7:30	8,15	8,05	8,17	7,42	7,21	7,16	7,33	7,33	7,29	7,40	7,38	7,45
8:00	8,14	8,03	8,15	7,41	7,20	7,15	7,33	7,34	7,28	7,39	7,39	7,45
8:30	8,14	8,00	8,13	7,40	7,18	7,15	7,32	7,34	7,27	7,40	7,39	7,45
9:00	8,13	7,97	8,13	7,42	7,18	7,14	7,31	7,34	7,26	7,40	7,38	7,45
9:30	8,12	7,93	8,11	7,40	7,17	7,13	7,31	7,31	7,25	7,39	7,37	7,44
10:00	8,12	7,90	8,09	7,40	7,17	7,13	7,31	7,30	7,24	7,40	7,37	7,44
TCO	2,10	2,16	2,04	1,20	1,98	1,98	1,14	1,26	1,14	1,02	1,02	0,84
TCO média	2,10			1,72			1,18			0,96		
TCOe	2,08	2,14	2,02	1,19	1,96	1,96	1,13	1,25	1,13	1,01	1,01	0,83
TCOe média	2,08			1,70			1,17			0,95		

Reator Alimentado com Efluente Sintético

Tabela A.9 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 9 – Reator Sintético

28/10/2015 – Experimento 9: Reator Sintético																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	08:52	09:10	09:22	09:33	09:44	09:55	10:07	10:18	10:30	10:43	10:54	11:07	11:18	11:30	11:54	11:42	12:09	12:21
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	7,95	7,91	7,89	7,77	7,63	7,61	7,78	7,72	7,80	7,84	8,04	7,92	8,02	8,05	7,90	8,07	7,97	7,92
0:30	7,82	7,79	7,83	7,58	7,58	7,53	7,63	7,61	7,65	7,80	7,94	7,83	7,99	7,97	7,74	8,00	7,95	7,89
1:00	7,79	7,75	7,83	7,45	7,50	7,44	7,55	7,51	7,54	7,76	7,89	7,79	7,99	7,93	7,74	7,96	7,95	7,87
1:30	7,76	7,71	7,75	7,39	7,41	7,34	7,45	7,42	7,45	7,73	7,81	7,76	7,92	7,90	7,70	7,95	7,95	7,86
2:00	7,73	7,67	7,67	7,29	7,29	7,25	7,35	7,32	7,35	7,68	7,76	7,73	7,91	7,88	7,71	7,93	7,95	7,85
2:30	7,66	7,64	7,63	7,19	7,19	7,14	7,27	7,24	7,25	7,64	7,72	7,70	7,89	7,86	7,71	7,91	7,95	7,84
3:00	7,61	7,60	7,58	7,08	7,08	7,03	7,16	7,13	7,16	7,62	7,70	7,64	7,87	7,83	7,70	7,92	7,95	7,84
3:30	7,56	7,56	7,56	6,97	6,95	6,92	7,06	7,01	7,06	7,58	7,67	7,61	7,84	7,82	7,70	7,88	7,94	7,84
4:00	7,53	7,53	7,50	6,87	6,86	6,83	6,97	6,90	6,96	7,52	7,62	7,58	7,82	7,80	7,69	7,87	7,94	7,84
4:30	7,50	7,50	7,47	6,77	6,76	6,72	6,88	6,81	6,87	7,46	7,58	7,53	7,81	7,79	7,69	7,86	7,92	7,83
5:00	7,45	7,47	7,41	6,66	6,65	6,60	6,78	6,71	6,75	7,44	7,53	7,50	7,79	7,77	7,68	7,86	7,92	7,83
5:30	7,42	7,42	7,37	6,56	6,54	6,50	6,68	6,63	6,67	7,40	7,49	7,46	7,76	7,75	7,67	7,85	7,90	7,81
6:00	7,39	7,38	7,34	6,44	6,41	6,38	6,58	6,54	6,58	7,36	7,46	7,42	7,76	7,74	7,63	7,84	7,88	7,81
6:30	7,36	7,35	7,30	6,34	6,32	6,28	6,48	6,44	6,48	7,32	7,40	7,38	7,75	7,72	7,63	7,83	7,88	7,78
7:00	7,32	7,31	7,23	6,24	6,21	6,18	6,37	6,35	6,40	7,26	7,36	7,34	7,72	7,70	7,63	7,82	7,86	7,78
7:30	7,29	7,28	7,18	6,13	6,10	6,08	6,29	6,26	6,30	7,21	7,31	7,30	7,71	7,69	7,63	7,80	7,84	7,77
8:00	7,26	7,25	7,17	6,02	6,00	5,97	6,19	6,15	6,19	7,18	7,27	7,25	7,69	7,68	7,62	7,77	7,83	7,76
8:30	7,23	7,22	7,14	5,91	5,87	5,85	6,09	6,07	6,12	7,15	7,23	7,23	7,67	7,66	7,62	7,78	7,82	7,74
9:00	7,20	7,17	7,10	5,81	5,78	5,73	6,00	5,96	6,02	7,10	7,18	7,19	7,66	7,65	7,62	7,78	7,81	7,74
9:30	7,16	7,14	7,06	5,70	5,65	5,63	5,91	5,88	5,92	7,06	7,16	7,14	7,65	7,62	7,56	7,77	7,80	7,73
10:00	7,12	7,10	7,02	5,59	5,56	5,52	5,81	5,80	5,83	7,02	7,12	7,11	7,62	7,61	7,56	7,77	7,80	7,71
TCO	4,98	4,86	5,22	13,08	12,42	12,54	11,82	11,52	11,82	4,92	5,52	4,86	2,40	2,64	2,04	1,80	1,02	1,26
TCO média	5,02			12,68			11,72			5,10			2,36			1,36		
TCOe	4,15	4,05	4,35	10,89	10,34	10,44	9,84	9,59	9,84	4,10	4,60	4,05	2,00	2,20	1,70	1,50	0,85	1,05
TCOe média	4,18			10,56			9,76			4,25			1,96			1,13		

Tabela A.9 – Continuação do Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 9 – Reator Sintético

(Continuação) 28/10/2015 – Experimento 9: Reator Sintético															
Intoxicante	Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio												Lodo + Glicose		
Hora do ensaio	12:34	12:48	13:01	15:08	15:20	15:32	15:46	16:02	16:17	16:30	16:44	16:56	14:33	14:45	14:56
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L			Lodo + Glicose		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,03	8,20	8,13	8,00	8,03	8,04	8,00	8,12	7,94	7,95	7,97	8,00	7,92	7,71	7,77
0:30	8,02	8,20	8,07	7,95	8,00	8,02	7,94	8,04	7,87	7,93	7,93	7,94	7,75	7,59	7,67
1:00	8,00	8,19	8,04	7,95	7,98	8,01	7,94	8,04	7,86	7,91	7,92	7,92	7,64	7,51	7,57
1:30	8,00	8,18	8,00	7,96	7,98	8,01	7,93	8,04	7,86	7,90	7,93	7,92	7,55	7,43	7,48
2:00	8,00	8,15	8,00	7,97	7,98	8,00	7,92	8,03	7,86	7,89	7,92	7,92	7,46	7,33	7,38
2:30	7,99	8,13	8,00	7,97	7,97	8,00	7,91	8,05	7,85	7,89	7,92	7,92	7,37	7,25	7,30
3:00	7,99	8,13	7,98	7,94	7,97	7,99	7,91	8,04	7,85	7,89	7,91	7,92	7,29	7,15	7,20
3:30	7,98	8,12	7,98	7,94	7,97	7,99	7,91	8,04	7,85	7,88	7,91	7,91	7,18	7,03	7,10
4:00	7,97	8,12	7,97	7,94	7,95	7,99	7,91	8,05	7,85	7,86	7,91	7,92	7,10	6,97	6,98
4:30	7,97	8,10	7,95	7,96	7,95	7,99	7,88	8,05	7,82	7,88	7,91	7,92	7,03	6,87	6,95
5:00	7,97	8,10	7,93	7,94	7,95	7,99	7,88	8,04	7,81	7,88	7,90	7,91	6,93	6,77	6,81
5:30	7,97	8,08	7,93	7,94	7,94	7,98	7,88	8,04	7,81	7,87	7,90	7,90	6,85	6,67	6,70
6:00	7,91	8,07	7,92	7,94	7,94	7,98	7,88	8,03	7,81	7,87	7,91	7,90	6,75	6,60	6,63
6:30	7,89	8,06	7,90	7,93	7,93	7,98	7,89	8,03	7,80	7,87	7,89	7,90	6,66	6,51	6,53
7:00	7,88	8,05	7,89	7,92	7,93	7,97	7,89	8,03	7,81	7,87	7,90	7,91	6,58	6,41	6,42
7:30	7,86	8,05	7,88	7,91	7,92	7,97	7,90	8,03	7,81	7,87	7,90	7,90	6,47	6,31	6,30
8:00	7,86	8,03	7,87	7,91	7,90	7,96	7,88	8,02	7,80	7,87	7,90	7,90	6,39	6,23	6,20
8:30	7,86	8,03	7,86	7,90	7,90	7,96	7,88	8,03	7,80	7,86	7,89	7,89	6,30	6,11	6,10
9:00	7,86	8,01	7,86	7,88	7,90	7,95	7,87	8,02	7,80	7,85	7,89	7,90	6,21	6,03	6,00
9:30	7,84	8,01	7,86	7,88	7,90	7,95	7,87	8,02	7,81	7,85	7,89	7,90	6,13	5,93	5,91
10:00	7,84	7,99	7,86	7,88	7,90	7,94	7,87	8,02	7,81	7,85	7,88	7,90	6,03	5,83	5,81
TCO	1,14	1,26	1,62	0,72	0,78	0,60	0,78	0,60	0,78	0,60	0,54	0,60	11:34	11:28	11:76
TCO média	1,34			0,70			0,72			0,58			11:46		
TCOe	0,95	1,05	1,35	0,60	0,65	0,50	0,65	0,50	0,65	0,50	0,45	0,50	9,44	9,39	9,79
TCOe média	1,12			0,58			0,60			0,48			9,54		

Tabela A.10 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 10 – Reator Sintético

12/11/2015 – Experimento 10: Reator Sintético																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	09:00	09:14	09:40	09:59	10:11	10:23	10:47	11:02	11:13	11:40	11:52	12:05	12:17	12:30	12:42	12:53	13:05	13:17
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	7,79	8,19	8,13	8,10	8,04	8,18	8,08	8,09	7,97	8,17	7,89	8,02	8,16	8,08	8,09	8,07	8,03	8,04
0:30	7,78	8,05	8,06	7,92	7,87	7,98	7,94	7,94	7,94	8,02	7,88	7,90	8,09	8,03	8,06	8,03	8,03	8,03
1:00	7,77	7,98	8,04	7,81	7,78	7,86	7,83	7,80	7,86	7,90	7,83	7,80	8,02	8,01	8,03	8,02	8,02	8,02
1:30	7,72	7,92	7,94	7,68	7,67	7,76	7,75	7,69	7,78	7,80	7,72	7,71	7,98	7,95	7,99	7,98	7,97	7,99
2:00	7,66	7,84	7,90	7,57	7,59	7,64	7,67	7,58	7,67	7,69	7,64	7,62	7,92	7,92	7,95	7,94	7,93	7,95
2:30	7,60	7,77	7,86	7,46	7,47	7,54	7,58	7,47	7,58	7,58	7,56	7,53	7,88	7,88	7,92	7,91	7,91	7,92
3:00	7,54	7,71	7,82	7,36	7,35	7,43	7,52	7,41	7,46	7,48	7,47	7,44	7,84	7,83	7,85	7,87	7,87	7,89
3:30	7,49	7,65	7,76	7,24	7,26	7,32	7,40	7,32	7,36	7,38	7,38	7,35	7,78	7,79	7,83	7,85	7,83	7,86
4:00	7,45	7,60	7,69	7,14	7,13	7,22	7,30	7,22	7,23	7,28	7,26	7,24	7,73	7,74	7,77	7,81	7,80	7,84
4:30	7,39	7,55	7,64	7,04	7,04	7,10	7,22	7,11	7,13	7,17	7,18	7,15	7,69	7,72	7,75	7,78	7,77	7,80
5:00	7,32	7,48	7,60	6,92	6,94	7,00	7,14	7,06	7,04	7,10	7,02	7,06	7,64	7,69	7,69	7,77	7,72	7,77
5:30	7,27	7,42	7,54	6,81	6,83	6,88	7,05	6,96	6,91	6,99	6,894	6,96	7,59	7,63	7,66	7,76	7,69	7,74
6:00	7,21	7,37	7,49	6,70	6,71	6,77	6,98	6,87	6,81	6,91	6,86	6,85	7,54	7,61	7,60	7,70	7,66	7,70
6:30	7,16	7,31	7,44	6,59	6,60	6,66	6,88	6,74	6,71	6,81	6,82	6,78	7,48	7,58	7,56	7,66	7,63	7,68
7:00	7,11	7,26	7,37	6,47	6,51	6,56	6,75	6,65	6,60	6,72	6,71	6,66	7,45	7,55	7,49	7,63	7,61	7,65
7:30	7,04	7,18	7,28	6,36	6,39	6,45	6,67	6,58	6,47	6,66	6,62	6,60	7,39	7,53	7,47	7,61	7,56	7,62
8:00	6,99	7,13	7,27	6,24	6,27	6,35	6,59	6,50	6,38	6,60	6,53	6,55	7,32	7,48	7,46	7,58	7,53	7,59
8:30	6,93	7,08	7,16	6,13	6,15	6,26	6,55	6,42	6,25	6,52	6,57	6,46	7,30	7,48	7,42	7,54	7,50	7,56
9:00	6,89	7,02	7,11	6,01	6,06	6,09	6,43	6,33	6,15	6,46	6,43	6,39	7,23	7,45	7,39	7,50	7,46	7,54
9:30	6,83	6,97	7,09	5,89	5,95	6,05	6,35	6,24	6,03	6,40	6,36	6,32	7,20	7,43	7,35	7,50	7,43	7,51
10:00	6,78	6,91	7,05	5,81	5,85	5,94	6,28	6,16	5,92	6,38	6,29	6,27	7,15	7,40	7,32	7,45	7,41	7,48
TCO	6,06	7,68	6,48	13,74	13,14	13,44	10,80	11,58	12,30	10,74	9,60	10,50	6,06	4,08	4,62	3,73	3,72	3,36
TCO média	6,74			13,44			11,56			10,28			4,92			3,60		
TCOe	5,06	6,41	5,41	11,48	10,98	11,23	9,02	9,67	10,27	8,97	8,02	8,77	5,06	3,41	3,86	3,11	3,11	2,81
TCOe média	5,63			11,23			9,66			8,59			4,11			3,01		

Tabela A.10 – Continuação do Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 10 – Reator Sintético

(Continuação) 12/11/2015 – Experimento 10: Reator Sintético															
Intoxicante	Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio												Lodo + Glicose		
Hora do ensaio	15:21	15:32	15:43	15:57	16:989	16:20	16:38	16:51	17:03	17:15	17:27	17:40	14:50	15:01	15:12
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L			Lodo + Glicose		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,09	8,15	8,12	8,21	8,20	8,20	8,20	8,17	8,13	8,08	8,17	8,17	8,01	8,11	8,17
0:30	8,09	8,12	8,08	8,15	8,14	8,17	8,15	8,11	8,10	8,05	8,17	8,15	7,85	7,90	8,04
1:00	8,07	8,11	8,06	8,15	8,13	8,16	8,12	8,10	8,09	8,05	8,17	8,15	7,75	7,80	7,96
1:30	8,07	8,09	8,02	8,13	8,12	8,15	8,14	8,11	8,08	8,04	8,18	8,17	7,67	7,69	7,85
2:00	8,04	8,07	8,02	8,14	8,13	8,15	8,12	8,10	8,07	8,02	8,17	8,17	7,56	7,61	7,75
2:30	8,03	8,03	7,98	8,15	8,11	8,15	8,12	8,07	8,06	8,03	8,15	8,17	7,46	7,49	7,65
3:00	8,01	8,01	8,00	8,15	8,12	8,14	8,11	8,08	8,05	8,04	8,18	8,17	7,31	7,38	7,55
3:30	7,99	8,00	7,95	8,13	8,12	8,14	8,12	8,06	8,05	8,02	8,18	8,09	7,26	7,30	7,44
4:00	7,97	7,99	7,95	8,13	8,11	8,13	8,11	8,06	8,07	8,03	8,18	8,09	7,14	7,19	7,34
4:30	7,94	7,96	7,92	8,14	8,12	8,12	8,10	8,06	8,06	8,01	8,11	8,09	7,04	7,08	7,23
5:00	7,93	7,94	7,92	8,11	8,12	8,12	8,11	8,06	8,05	8,01	8,10	8,08	6,95	6,99	7,11
5:30	7,92	7,93	7,90	8,12	8,11	8,12	8,11	8,06	8,05	8,03	8,10	8,08	6,85	6,88	7,02
6:00	7,90	7,91	7,88	8,14	8,10	8,12	8,10	8,05	8,03	8,02	8,07	8,08	6,75	6,78	6,93
6:30	7,89	7,90	7,88	8,12	8,10	8,10	8,10	8,04	8,03	7,98	8,05	8,08	6,64	6,67	6,83
7:00	7,86	7,89	7,87	8,09	8,08	8,10	8,09	8,04	8,02	8,00	8,07	8,06	6,55	6,56	6,72
7:30	7,85	7,88	7,85	8,06	8,09	8,10	8,09	8,04	8,02	8,00	8,08	8,04	6,45	6,44	6,61
8:00	7,84	7,85	7,84	8,08	8,08	8,09	8,10	8,04	8,02	7,98	8,05	8,04	6,31	6,34	6,51
8:30	7,82	7,84	7,82	8,08	8,07	8,09	8,09	8,03	8,02	7,98	8,05	8,05	6,20	6,24	6,41
9:00	7,81	7,83	7,80	8,08	8,06	8,08	8,09	8,03	8,02	7,99	8,05	8,05	6,11	6,12	6,30
9:30	7,80	7,83	7,79	8,07	8,05	8,06	8,08	8,03	8,00	7,97	8,04	8,06	6,03	6,03	6,21
10:00	7,79	7,80	7,79	8,06	8,06	8,06	8,08	8,03	8,00	7,98	8,05	8,06	5,92	5,92	6,10
TCO	1,80	2,10	1,98	0,90	0,84	0,84	0,72	0,84	0,78	0,60	0,72	0,66	12,54	13,14	12,42
TCO média	1,96			0,86			0,78			0,66			12,70		
TCOe	1,50	1,75	1,65	0,75	0,70	0,70	0,60	0,70	0,65	0,50	0,60	0,55	10,47	10,98	10,37
TCOe média	1,64			0,72			0,65			0,55			10,61		

Tabela A.11 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 11 – Reator Sintético

26/11/2015 – Experimento 11: Reator Sintético																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	09:07	09:28	09:46	10:00	10:13	10:24	10:37	10:50	11:01	11:12	11:23	11:36	11:47	11:58	12:10	12:21	12:34	12:46
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,39	8,40	8,41	8,35	8,51	8,42	8,30	8,41	8,42	8,28	8,29	8,33	8,44	8,48	8,30	8,45	8,49	8,28
0:30	8,37	8,25	8,36	8,30	8,35	8,33	8,17	8,31	8,33	8,19	8,28	8,28	8,36	8,39	8,22	8,37	8,39	8,21
1:00	8,32	8,20	8,31	8,25	8,28	8,25	8,11	8,24	8,28	8,15	8,28	8,26	8,31	8,36	8,17	8,33	8,36	8,16
1:30	8,28	8,16	8,28	8,18	8,22	8,19	8,04	8,18	8,22	8,11	8,24	8,20	8,28	8,34	8,15	8,30	8,35	8,13
2:00	8,18	8,11	8,23	8,12	8,15	8,12	7,97	8,13	8,15	8,08	8,20	8,21	8,25	8,31	8,12	8,27	8,33	8,11
2:30	8,13	8,07	8,20	8,06	8,10	8,06	7,94	8,05	8,09	8,08	8,18	8,16	8,20	8,29	8,11	8,24	8,31	8,09
3:00	8,09	8,03	8,17	8,00	8,03	7,99	7,90	7,99	8,04	8,04	8,14	8,12	8,16	8,26	8,08	8,22	8,30	8,07
3:30	8,05	8,00	8,11	7,93	7,95	7,93	7,82	7,93	7,97	8,03	8,12	8,09	8,12	8,23	8,05	8,18	8,28	8,04
4:00	8,02	7,95	8,09	7,87	7,89	7,86	7,78	7,87	7,91	8,00	8,09	8,07	8,10	8,20	8,04	8,15	8,26	8,03
4:30	7,97	7,89	8,05	7,80	7,79	7,78	7,70	7,80	7,85	7,97	8,02	8,03	8,05	8,19	8,01	8,15	8,24	8,00
5:00	7,93	7,87	8,00	7,73	7,72	7,70	7,66	7,74	7,79	7,95	7,99	8,01	8,04	8,17	7,98	8,13	8,23	7,98
5:30	7,89	7,82	7,97	7,65	7,66	7,62	7,62	7,65	7,72	7,93	7,96	7,96	8,01	8,14	7,97	8,11	8,20	7,97
6:00	7,85	7,79	7,93	7,59	7,59	7,56	7,56	7,60	7,65	7,92	7,93	7,93	7,98	8,12	7,95	8,11	8,19	7,94
6:30	7,81	7,75	7,89	7,50	7,48	7,49	7,49	7,55	7,59	7,90	7,90	7,91	7,95	8,09	7,92	8,09	8,17	7,92
7:00	7,77	7,70	7,85	7,46	7,45	7,43	7,44	7,47	7,53	7,87	7,87	7,87	7,92	8,06	7,89	8,07	8,15	7,90
7:30	7,72	7,66	7,82	7,38	7,39	7,37	7,38	7,41	7,47	7,84	7,84	7,84	7,88	8,04	7,87	8,05	8,14	7,88
8:00	7,69	7,62	7,78	7,30	7,34	7,31	7,34	7,35	7,40	7,81	7,82	7,81	7,87	8,02	7,84	8,04	8,13	7,88
8:30	7,64	7,58	7,74	7,27	7,26	7,23	7,27	7,28	7,34	7,79	7,80	7,78	7,84	7,98	7,83	8,02	8,11	7,85
9:00	7,61	7,54	7,71	7,20	7,19	7,18	7,21	7,21	7,27	7,75	7,79	7,74	7,83	7,97	7,80	8,00	8,10	7,84
9:30	7,57	7,51	7,68	7,13	7,12	7,11	7,18	7,16	7,21	7,72	7,78	7,71	7,81	7,96	7,78	8,00	8,09	7,83
10:00	7,54	7,47	7,63	7,07	7,04	7,03	7,11	7,10	7,15	7,70	7,73	7,68	7,78	7,93	7,76	7,98	8,08	7,81
TCO	5,10	5,58	4,68	7,68	8,82	8,34	7,14	7,86	7,62	3,48	3,36	3,90	3,96	3,30	3,24	2,82	2,46	2,82
TCO média	5,12			8,28			7,54			3,58			3,50			2,70		
TCOe	4,40	4,81	4,04	6,63	7,61	7,19	6,16	6,78	6,57	3,00	2,90	3,36	3,42	2,85	2,79	2,43	2,12	2,43
TCOe média	4,42			7,14			6,50			3,09			3,02			2,33		

Tabela A.11 – Continuação do Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 11 – Reator Sintético

(Continuação) 26/11/2015 – Experimento 11: Reator Sintético															
Intoxicante	Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio												Lodo + Glicose		
Hora do ensaio	15:53	16:05	16:16	16:28	16:40	16:54	17:19	17:58	18:10	18:28	18:40	18:51	15:16	15:30	15:41
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L			Lodo + Glicose		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,21	8,23	8,20	8,21	8,26	8,27	8,18	8,10	8,17	8,09	7,92	8,09	8,30	8,25	8,24
0:30	8,21	8,22	8,20	8,21	8,26	8,25	8,16	8,03	8,16	8,05	7,89	8,08	8,11	8,05	8,04
1:00	8,18	8,21	8,19	8,20	8,23	8,24	8,15	8,03	8,16	8,05	7,88	8,09	8,06	8,00	7,99
1:30	8,15	8,20	8,19	8,18	8,20	8,25	8,16	8,03	8,17	8,06	7,88	8,08	8,01	7,95	7,99
2:00	8,10	8,18	8,19	8,18	8,20	8,25	8,15	8,02	8,17	8,06	7,87	8,08	7,96	7,90	7,93
2:30	8,09	8,18	8,17	8,17	8,19	8,25	8,14	8,03	8,17	8,07	7,88	8,09	7,92	7,85	7,92
3:00	8,10	8,17	8,16	8,16	8,19	8,25	8,14	8,03	8,16	8,07	7,86	8,08	7,87	7,77	7,84
3:30	8,09	8,16	8,14	8,15	8,18	8,23	8,14	8,03	8,17	8,06	7,87	8,07	7,83	7,73	7,77
4:00	8,07	8,14	8,16	8,14	8,17	8,23	8,11	8,01	8,11	8,04	7,88	8,07	7,78	7,68	7,72
4:30	8,07	8,14	8,14	8,14	8,16	8,22	8,11	8,02	8,09	8,06	7,88	8,06	7,70	7,64	7,65
5:00	8,07	8,14	8,12	8,15	8,16	8,21	8,11	8,03	8,09	8,08	7,88	8,06	7,65	7,58	7,57
5:30	8,08	8,13	8,12	8,14	8,16	8,21	8,12	8,02	8,08	8,06	7,89	8,09	7,60	7,51	7,54
6:00	8,09	8,13	8,11	8,13	8,15	8,21	8,11	8,00	8,08	8,05	7,87	8,09	7,53	7,45	7,46
6:30	8,11	8,11	8,08	8,14	8,15	8,20	8,10	8,01	8,08	8,06	7,86	8,06	7,48	7,37	7,42
7:00	8,09	8,11	8,08	8,14	8,14	8,19	8,10	8,02	8,07	8,05	7,87	8,05	7,43	7,30	7,37
7:30	8,08	8,10	8,06	8,12	8,13	8,14	8,10	8,01	8,07	8,06	7,86	8,05	7,37	7,24	7,30
8:00	8,05	8,05	8,05	8,13	8,13	8,14	8,10	8,01	8,08	8,05	7,85	8,05	7,33	7,19	7,25
8:30	8,02	8,03	8,03	8,11	8,13	8,13	8,09	8,01	8,08	8,06	7,86	8,04	7,29	7,13	7,20
9:00	8,01	8,02	8,04	8,11	8,12	8,13	8,09	8,01	8,08	8,07	7,85	8,03	7,21	7,07	7,14
9:30	8,00	8,02	8,02	8,12	8,11	8,12	8,09	8,00	8,08	8,06	7,85	8,03	7,16	7,01	7,08
10:00	8,00	8,01	8,00	8,09	8,11	8,11	8,08	8,01	8,08	8,05	7,85	8,03	7,07	6,93	6,92
TCO	1,26	1,32	1,20	0,72	0,90	0,96	0,60	0,54	0,54	0,24	0,42	0,36	7,38	7,92	7,92
TCO média	1,26			0,86			0,56			0,34			7,74		
TCOe	1,09	1,14	1,04	0,62	0,78	0,83	0,52	0,47	0,47	0,21	0,36	0,31	6,37	6,83	6,83
TCOe média	1,09			0,74			0,48			0,29			6,68		

Tabela A.12 – Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 12 – Reator Sintético

03/12/2015 – Experimento 12: Reator Sintético																		
Intoxicante	Lodo			Lodo + Glicose			Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio											
Hora do ensaio	09:23	09:34	09:45	09:56	10:08	10:19	10:31	10:43	10:56	11:11	11:24	11:36	11:49	12:00	12:12	12:26	12:39	12:50
Concentração	Lodo			Lodo + Glicose			4,95mg/L			19,8mg/L			49,5mg/L			79,2mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,10	7,87	7,98	8,05	8,03	8,09	7,97	8,18	8,10	8,17	8,06	8,01	8,13	8,18	8,10	8,13	8,15	8,20
0:30	7,93	7,84	7,93	7,90	7,91	7,95	7,92	8,02	7,98	8,13	8,04	8,01	8,09	8,13	8,05	8,12	8,12	8,19
1:00	7,85	7,81	7,90	7,85	7,86	7,87	7,86	7,94	7,88	8,11	8,04	8,00	8,07	8,10	8,04	8,10	8,11	8,16
1:30	7,79	7,75	7,84	7,78	7,80	7,80	7,79	7,88	7,81	8,09	8,02	7,97	8,06	8,08	8,03	8,10	8,08	8,15
2:00	7,75	7,72	7,82	7,71	7,73	7,75	7,73	7,82	7,78	8,06	7,99	7,93	8,04	8,07	8,01	8,08	8,05	8,14
2:30	7,69	7,68	7,75	7,63	7,68	7,68	7,68	7,76	7,72	8,02	7,96	7,88	8,00	8,03	7,99	8,08	8,03	8,13
3:00	7,65	7,64	7,70	7,58	7,61	7,62	7,61	7,69	7,64	8,00	7,94	7,86	7,99	8,03	7,97	8,05	8,03	8,11
3:30	7,60	7,60	7,65	7,50	7,54	7,55	7,53	7,62	7,60	7,98	7,91	7,86	7,98	8,00	7,96	8,04	8,01	8,09
4:00	7,54	7,56	7,61	7,44	7,50	7,47	7,49	7,56	7,53	7,96	7,89	7,86	7,97	7,99	7,94	8,03	8,00	8,08
4:30	7,49	7,52	7,59	7,37	7,44	7,40	7,44	7,51	7,48	7,93	7,87	7,84	7,96	7,98	7,93	8,01	7,99	8,06
5:00	7,45	7,48	7,53	7,31	7,38	7,33	7,37	7,45	7,42	7,89	7,84	7,80	7,94	7,95	7,92	7,99	7,98	8,04
5:30	7,40	7,43	7,50	7,24	7,33	7,26	7,31	7,40	7,35	7,87	7,81	7,78	7,92	7,93	7,90	7,99	7,97	8,03
6:00	7,35	7,41	7,44	7,17	7,26	7,20	7,25	7,32	7,30	7,85	7,79	7,74	7,92	7,93	7,89	7,98	7,95	8,01
6:30	7,31	7,36	7,40	7,09	7,19	7,11	7,19	7,26	7,25	7,82	7,76	7,72	7,90	7,91	7,86	7,98	7,94	7,99
7:00	7,28	7,32	7,37	7,04	7,13	7,08	7,11	7,20	7,18	7,79	7,74	7,68	7,89	7,90	7,86	7,95	7,92	7,99
7:30	7,23	7,29	7,33	6,97	7,07	7,02	7,07	7,14	7,13	7,76	7,72	7,65	7,88	7,88	7,84	7,94	7,92	7,95
8:00	7,19	7,24	7,27	6,90	7,02	6,95	6,99	7,07	7,05	7,72	7,70	7,63	7,88	7,86	7,83	7,92	7,90	7,94
8:30	7,13	7,20	7,24	6,83	6,93	6,88	6,93	7,02	6,99	7,68	7,67	7,62	7,86	7,85	7,81	7,91	7,88	7,94
9:00	7,10	7,17	7,19	6,76	6,88	6,80	6,88	6,97	6,94	7,65	7,62	7,59	7,84	7,84	7,81	7,90	7,88	7,94
9:30	7,08	7,14	7,15	6,70	6,80	6,75	6,82	6,90	6,87	7,64	7,61	7,58	7,83	7,82	7,80	7,90	7,88	7,92
10:00	7,06	7,08	7,12	6,63	6,70	6,65	6,76	6,82	6,80	7,63	7,58	7,54	7,81	7,81	7,78	7,89	7,88	7,92
TCO	6,24	4,74	5,16	8,52	7,98	7,98	7,26	8,16	7,80	3,24	2,88	2,82	1,92	2,22	1,92	1,44	1,62	1,68
TCO média	5,38			8,38			7,74			2,98			2,02			1,58		
TCOe	5,58	4,24	4,61	7,62	7,14	7,73	6,49	7,30	6,98	2,90	2,58	2,52	1,72	1,99	1,72	1,29	1,45	1,50
TCOe média	4,81			7,49			6,92			2,66			1,81			1,41		

Tabela A.12 – Continuação do Registro da leitura de oxigênio dissolvido do experimento 12 – Reator Sintético

(Continuação) 03/12/2015 – Experimento 12: Reator Sintético															
Intoxicante	Lodo + Glicose + Cloreto de Benzalcônio												Lodo + Glicose		
Hora do ensaio	14:57	15:09	15:21	15:59	16:11	16:23	16:35	16:46	16:59	17:25	17:40	17:52	14:23	14:33	14:45
Concentração	158mg/L			317mg/L			634mg/L			1267mg/L			Lodo + Glicose		
Tempo (min)	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	8,13	8,19	8,13	8,17	8,01	7,94	8,18	8,09	8,16	8,15	8,14	8,08	8,05	8,07	8,04
0:30	8,12	8,18	8,09	8,12	7,99	7,88	8,14	8,06	8,11	8,14	8,13	8,06	7,83	7,94	7,95
1:00	8,08	8,16	8,09	8,12	7,99	7,86	8,14	8,05	8,10	8,14	8,11	8,04	7,71	7,85	7,85
1:30	8,08	8,16	8,08	8,12	7,98	7,88	8,14	8,06	8,10	8,14	8,12	8,03	7,60	7,80	7,80
2:00	8,09	8,14	8,06	8,11	7,97	7,85	8,13	8,03	8,10	8,14	8,12	8,05	7,51	7,73	7,73
2:30	8,09	8,14	8,07	8,11	7,97	7,85	8,15	8,04	8,10	8,13	8,11	8,03	7,43	7,67	7,68
3:00	8,07	8,14	8,06	8,10	7,97	7,85	8,14	8,04	8,09	8,13	8,12	8,04	7,36	7,61	7,61
3:30	8,06	8,14	8,06	8,09	7,96	7,85	8,13	8,03	8,09	8,12	8,12	8,05	7,28	7,54	7,55
4:00	8,04	8,13	8,06	8,10	7,96	7,83	8,13	8,02	8,08	8,11	8,11	8,04	7,21	7,48	7,47
4:30	8,06	8,13	8,04	8,10	7,96	7,82	8,13	8,03	8,09	8,11	8,12	8,03	7,18	7,41	7,42
5:00	8,04	8,11	8,04	8,08	7,96	7,84	8,13	8,02	8,09	8,11	8,11	8,03	7,09	7,36	7,36
5:30	8,04	8,12	8,05	8,09	7,95	7,84	8,13	8,04	8,08	8,11	8,12	8,05	7,03	7,29	7,29
6:00	8,03	8,12	8,05	8,08	7,95	7,83	8,12	8,02	8,07	8,11	8,11	8,04	6,96	7,23	7,23
6:30	8,02	8,11	8,02	8,07	7,95	7,81	8,12	8,03	8,05	8,11	8,11	8,04	6,89	7,18	7,17
7:00	8,01	8,09	8,03	8,07	7,95	7,81	8,13	8,02	8,05	8,10	8,11	8,04	6,83	7,10	7,11
7:30	8,01	8,09	8,02	8,07	7,94	7,81	8,12	8,03	8,05	8,10	8,11	8,05	6,73	7,05	7,06
8:00	8,01	8,09	8,01	8,07	7,92	7,80	8,12	8,03	8,05	8,10	8,11	8,04	6,70	6,98	7,01
8:30	7,98	8,06	8,00	8,07	7,92	7,82	8,11	8,03	8,04	8,10	8,11	8,04	6,64	6,94	6,94
9:00	7,98	8,07	7,99	8,06	7,92	7,80	8,10	8,03	8,04	8,10	8,11	8,04	6,58	6,88	6,89
9:30	7,98	8,05	7,98	8,06	7,92	7,80	8,09	8,03	8,06	8,10	8,10	8,04	6,52	6,82	6,80
10:00	7,97	8,04	7,97	8,06	7,91	7,80	8,10	8,03	8,06	8,10	8,10	8,03	6,44	6,75	6,78
TCO	0,96	0,90	0,96	0,66	0,60	0,84	0,48	0,36	0,60	0,30	0,24	0,30	9,66	7,92	7,56
TCO média	0,94			0,70			0,48			0,28			8,38		
TCOe	0,86	0,80	0,86	0,59	0,54	0,75	0,43	0,32	0,54	0,27	0,21	0,27	8,64	7,08	6,76
TCOe média	0,84			0,63			0,43			0,25			7,49		

APÊNDICE B

Gráficos dos Testes de Respirometria

Os gráficos de TCO e TCOe representam a média dos resultados de três réplicas para cada concentração de Cloreto de Benzalcônio estudada.

Nos gráficos de OD x Tempo, cada curva representa o decaimento de oxigênio dissolvido de uma réplica. Ou seja, cada gráfico possui três curvas representando as três réplicas.

Indústria Alimentícia

Experimento 1 – 07/08/2015

Figura B.1- Gráfico de TCO e TCOe do experimento 1 – Indústria Alimentícia

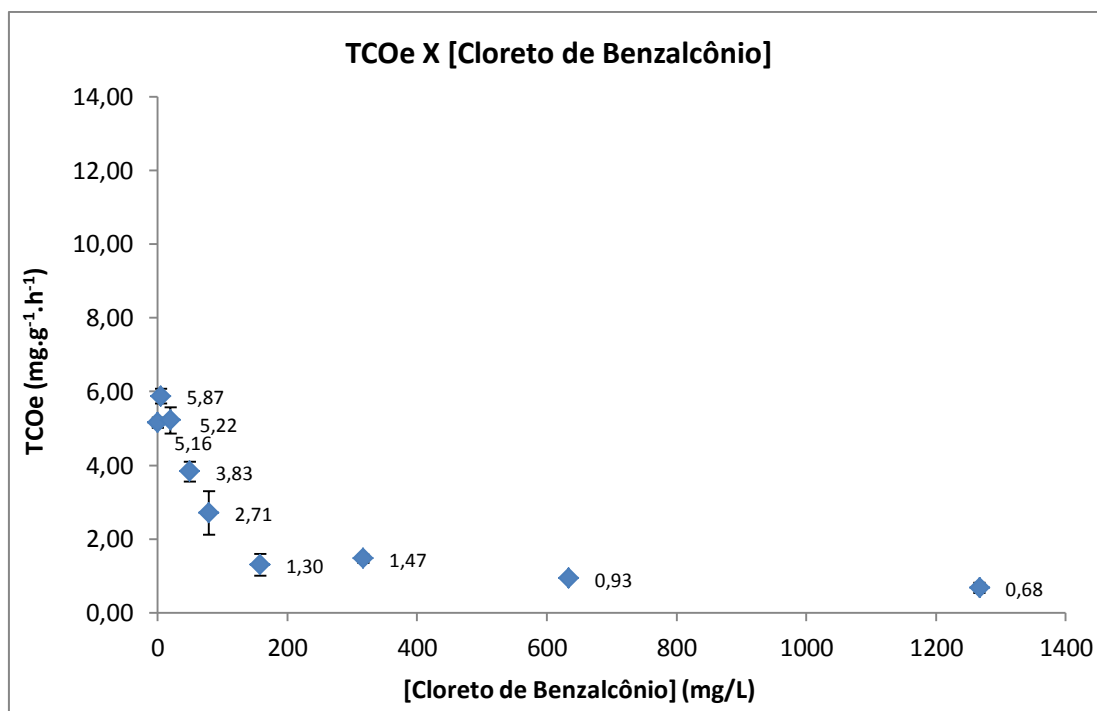
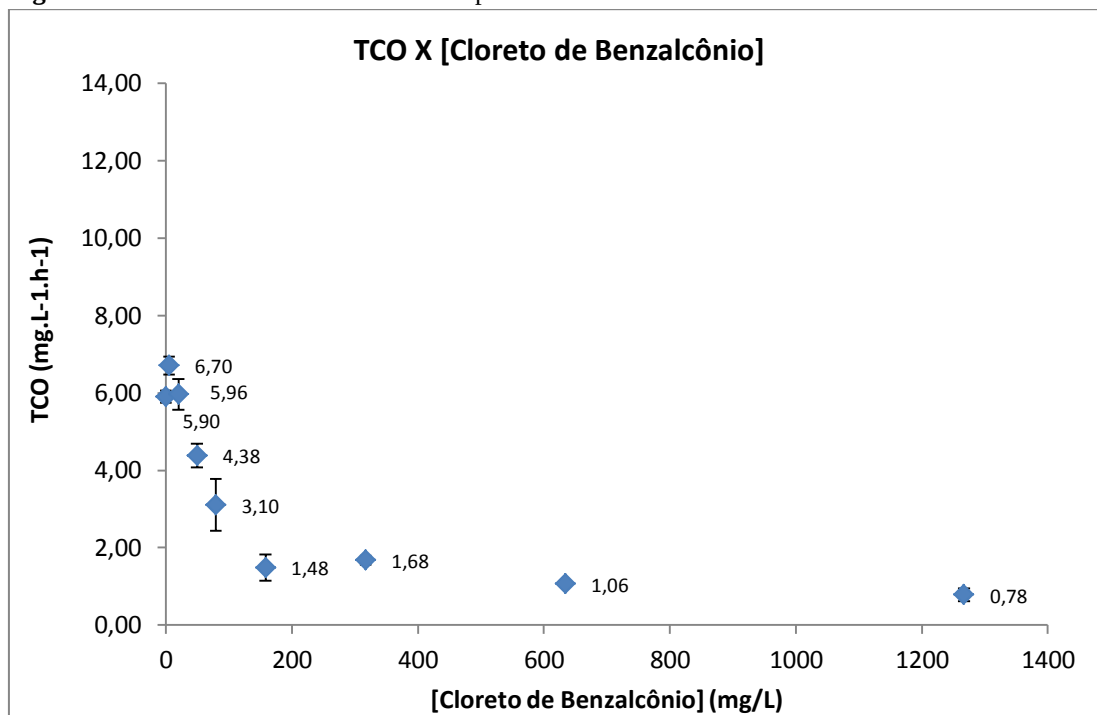


Figura B.2- Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 1 – Indústria Alimentícia

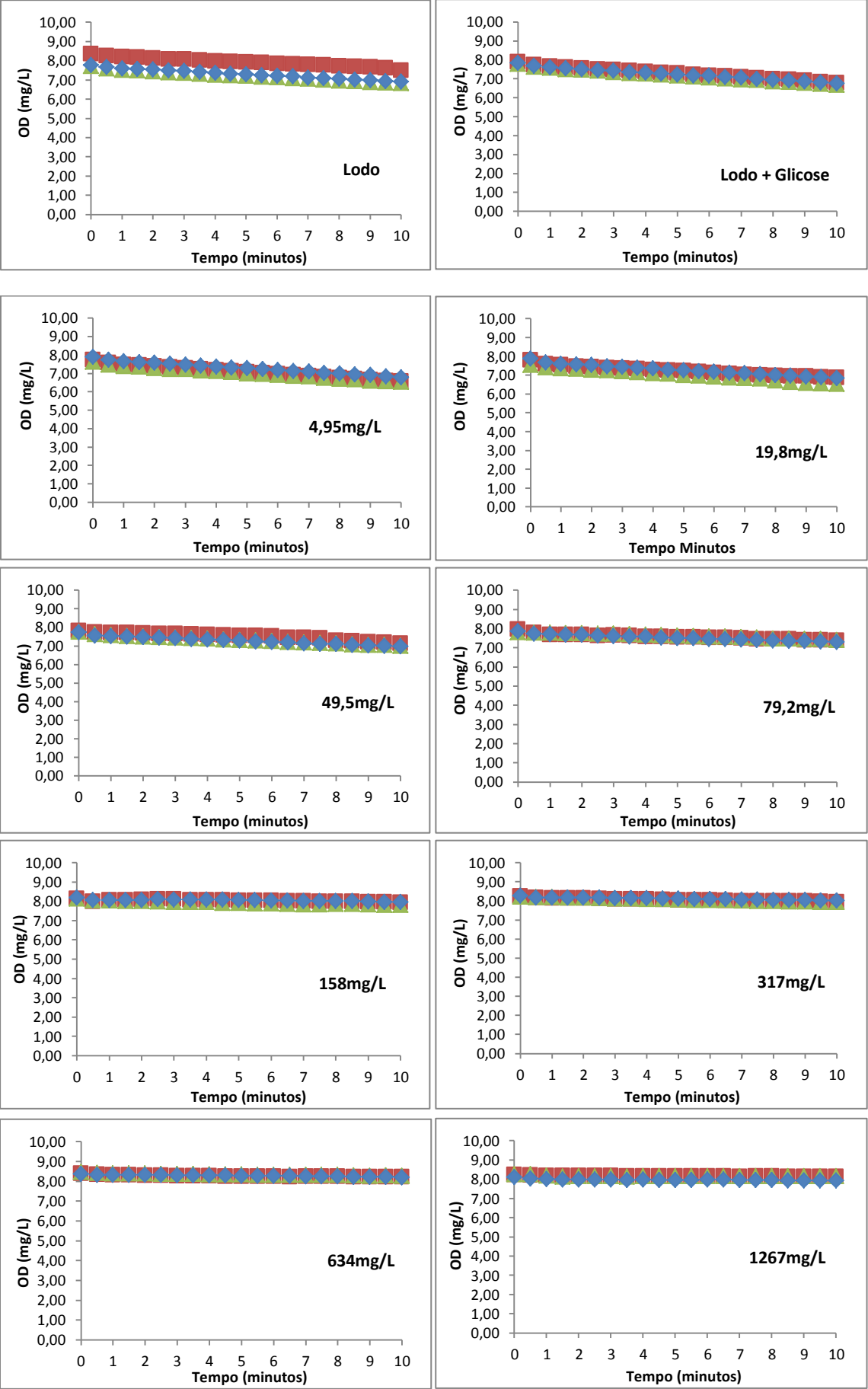


Figura B.3- Gráfico de TCO e TCOe do experimento 2 – Indústria Alimentícia

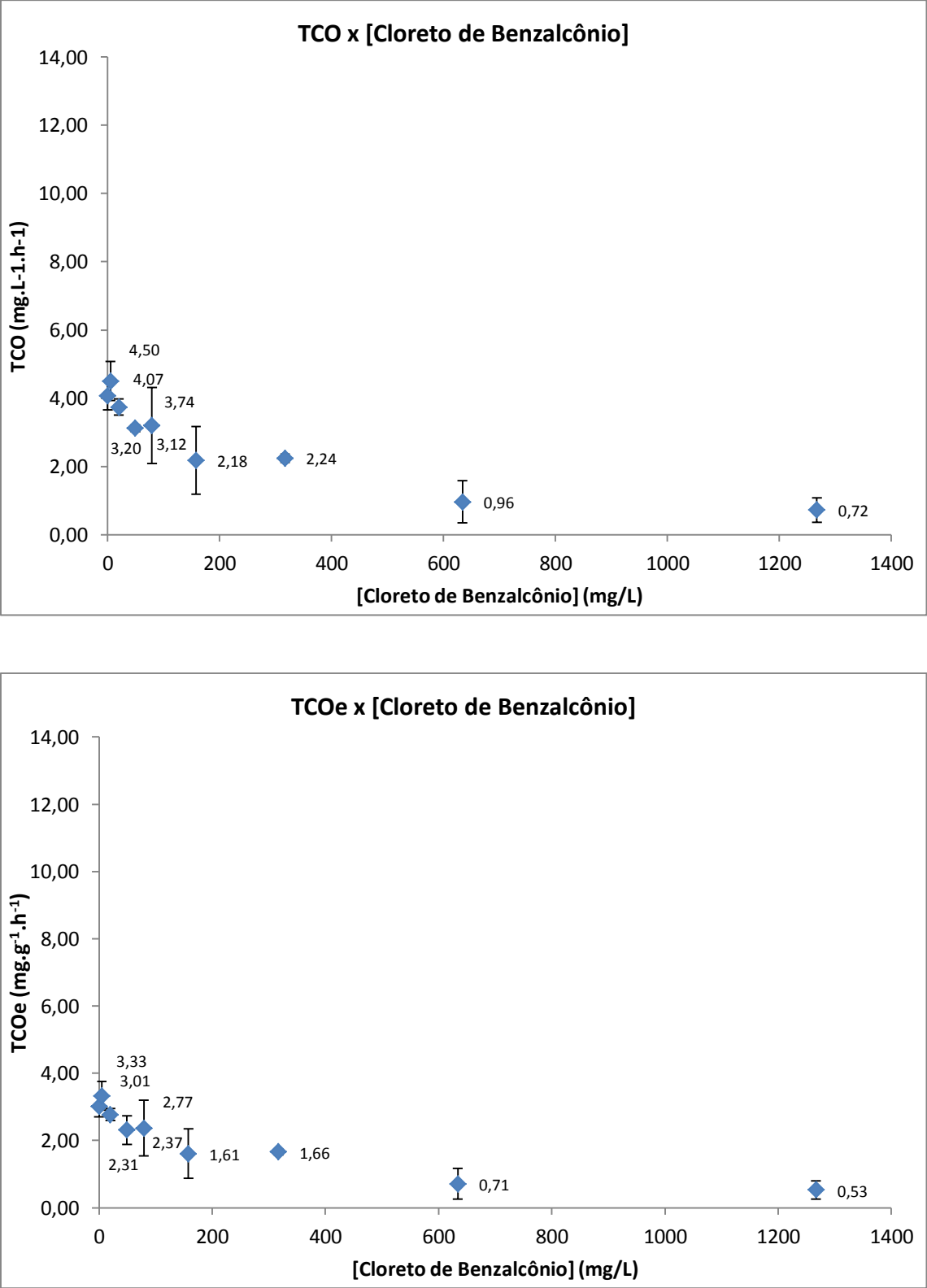
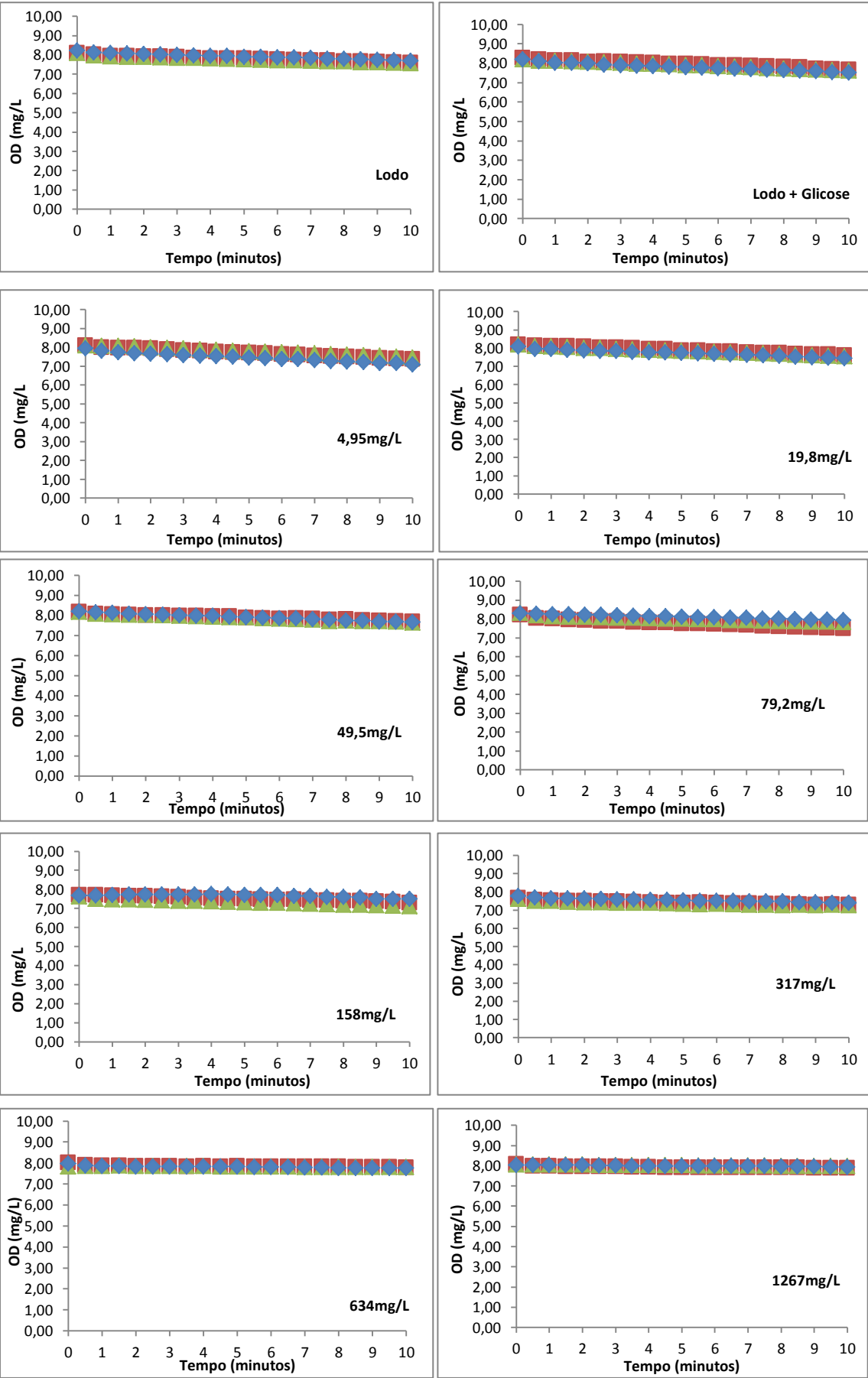


Figura B.4- Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 2 – Indústria Alimentícia



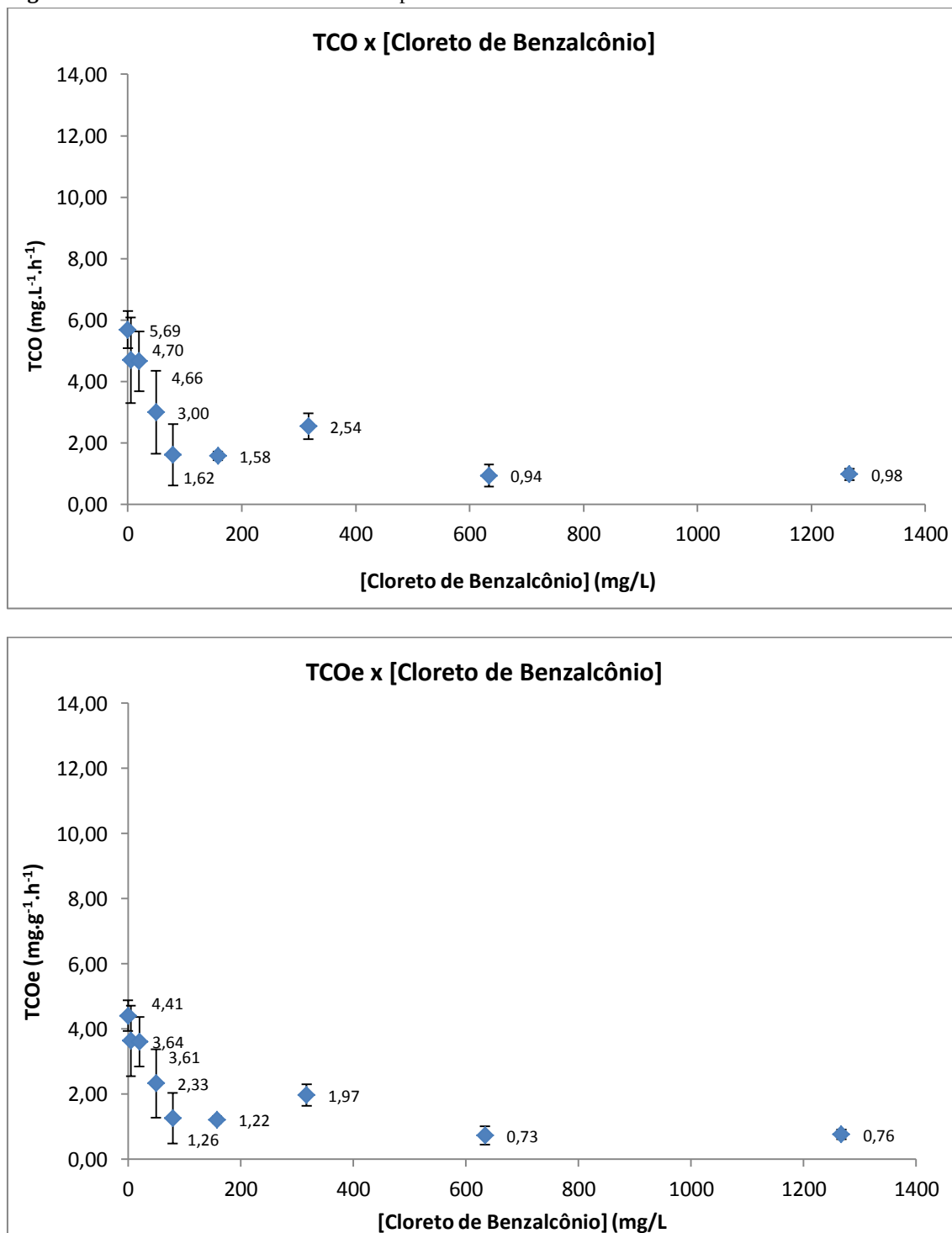
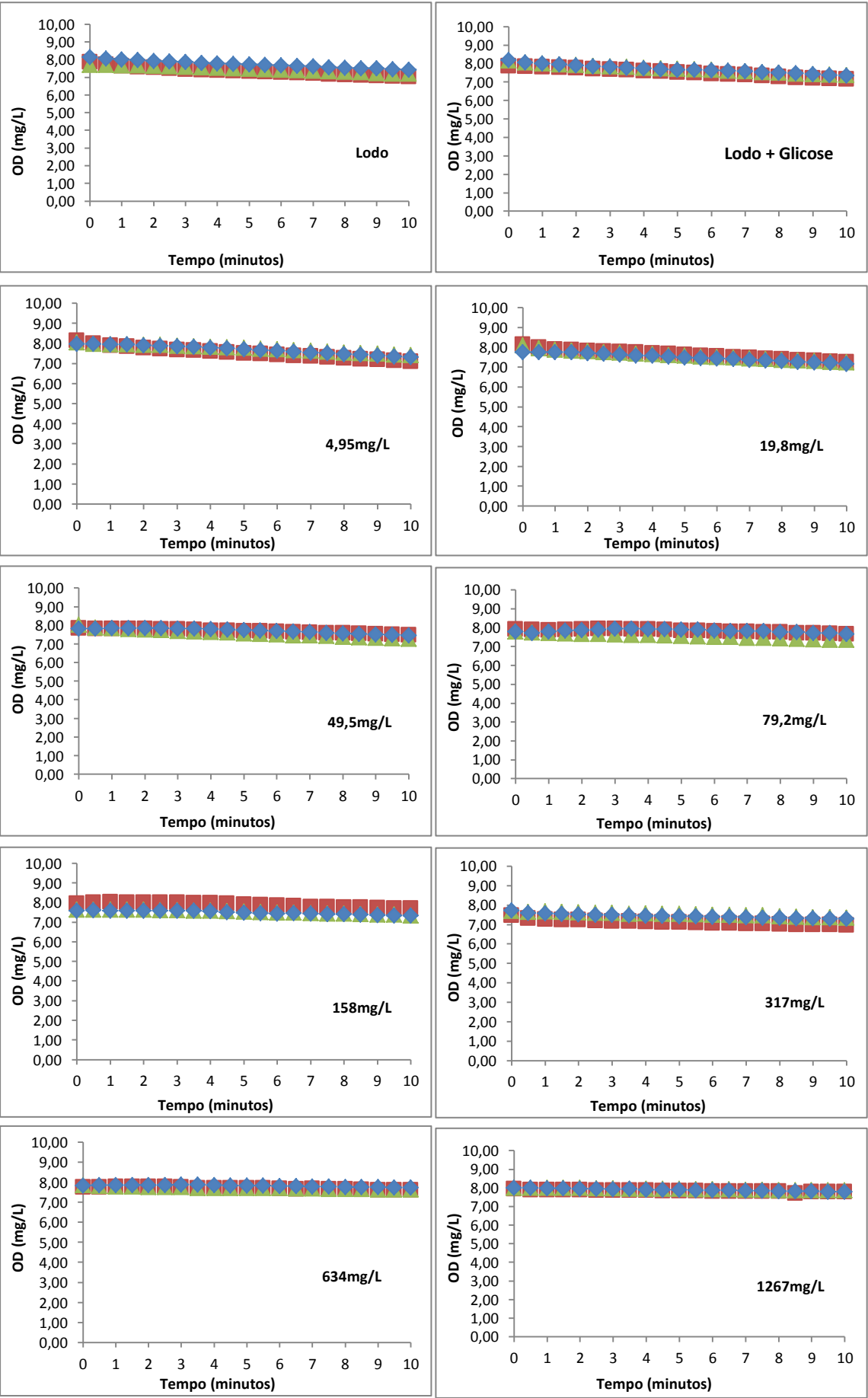
Experimento 3 – 10/09/2015**Figura B.5-** Gráfico de TCO e TCOe do experimento 3 – Indústria Alimentícia

Figura B.6- Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 3 – Indústria Alimentícia



Experimento 4 – 23/09/2015

Figura B.7- Gráfico de TCO e TCOe do experimento 4 – Indústria Alimentícia

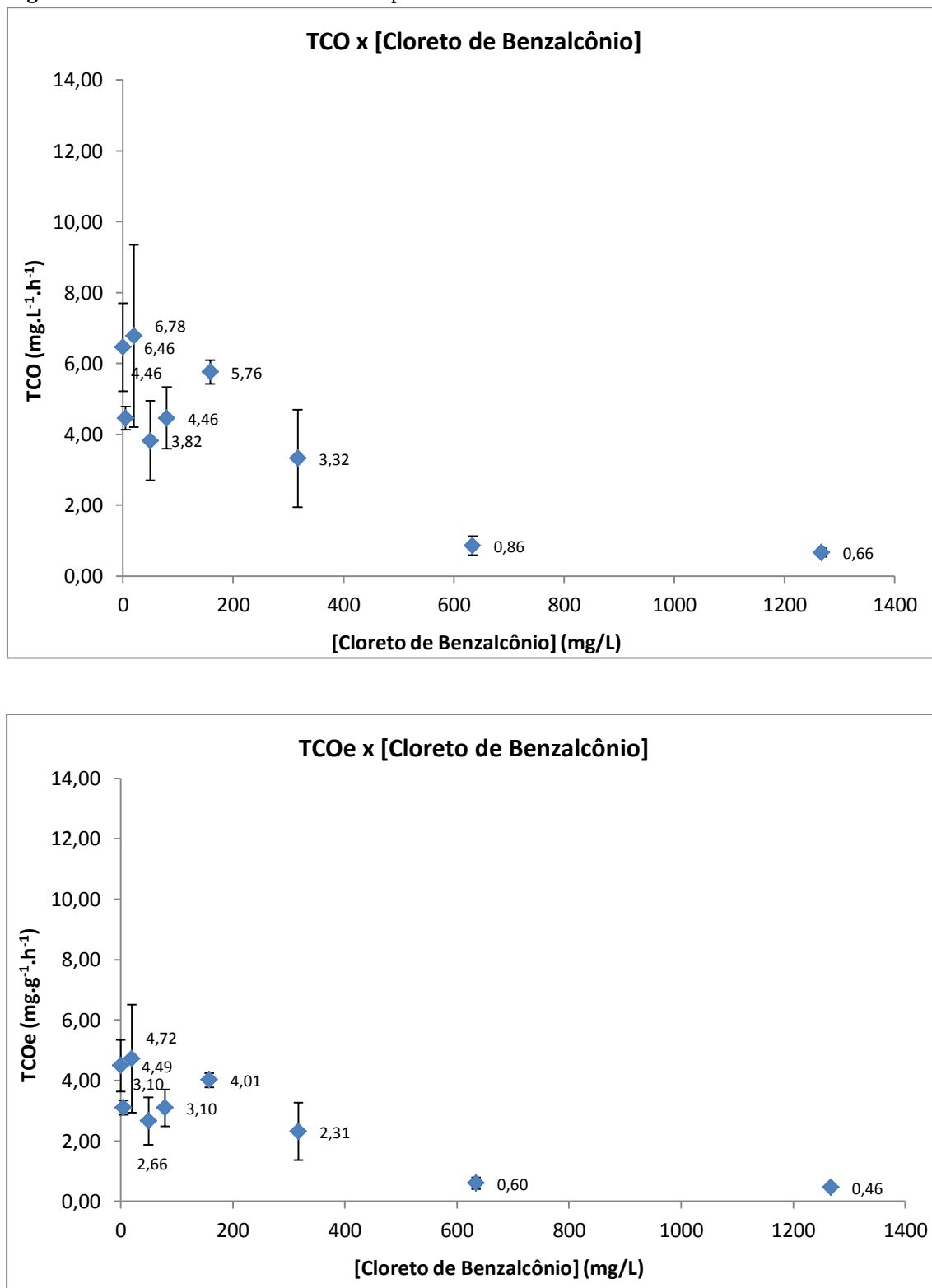
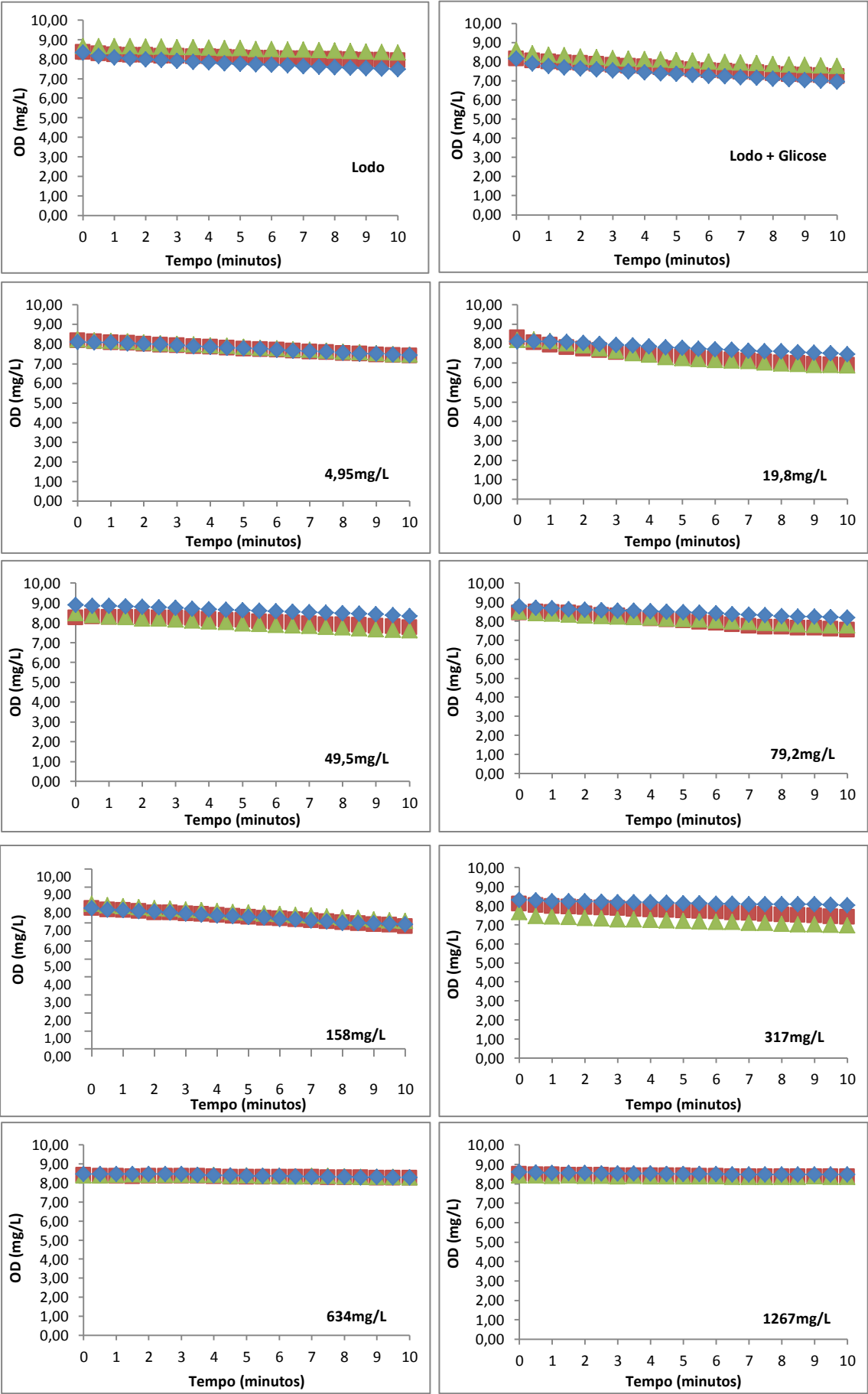


Figura B.8- Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 4 – Indústria Alimentícia



Indústria Farmacêutica

Experimento 5 – 27/08/2015

Figura B.9- Gráfico de TCO e TCOe do experimento 5 – Indústria Farmacêutica

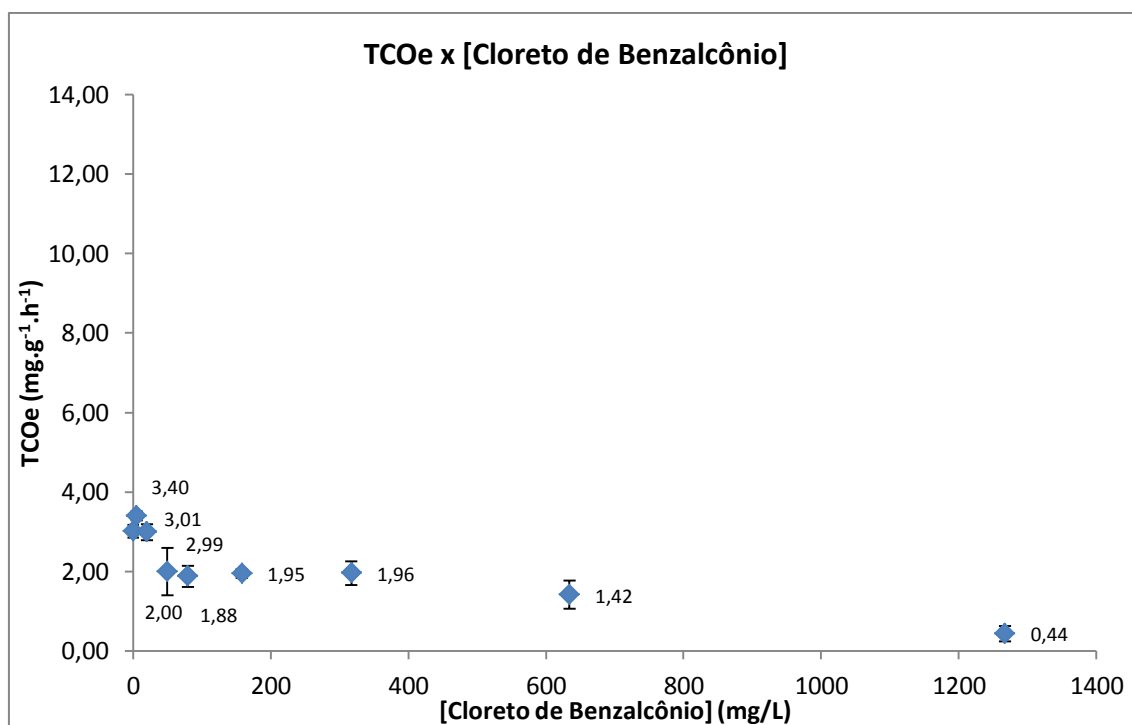
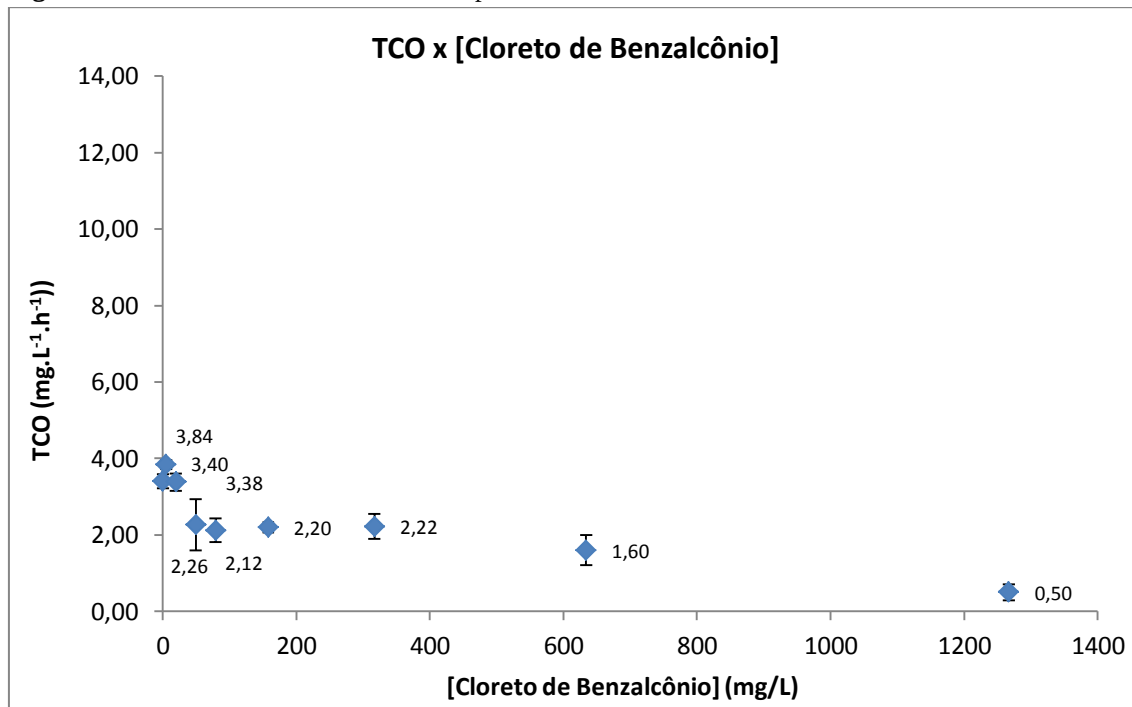
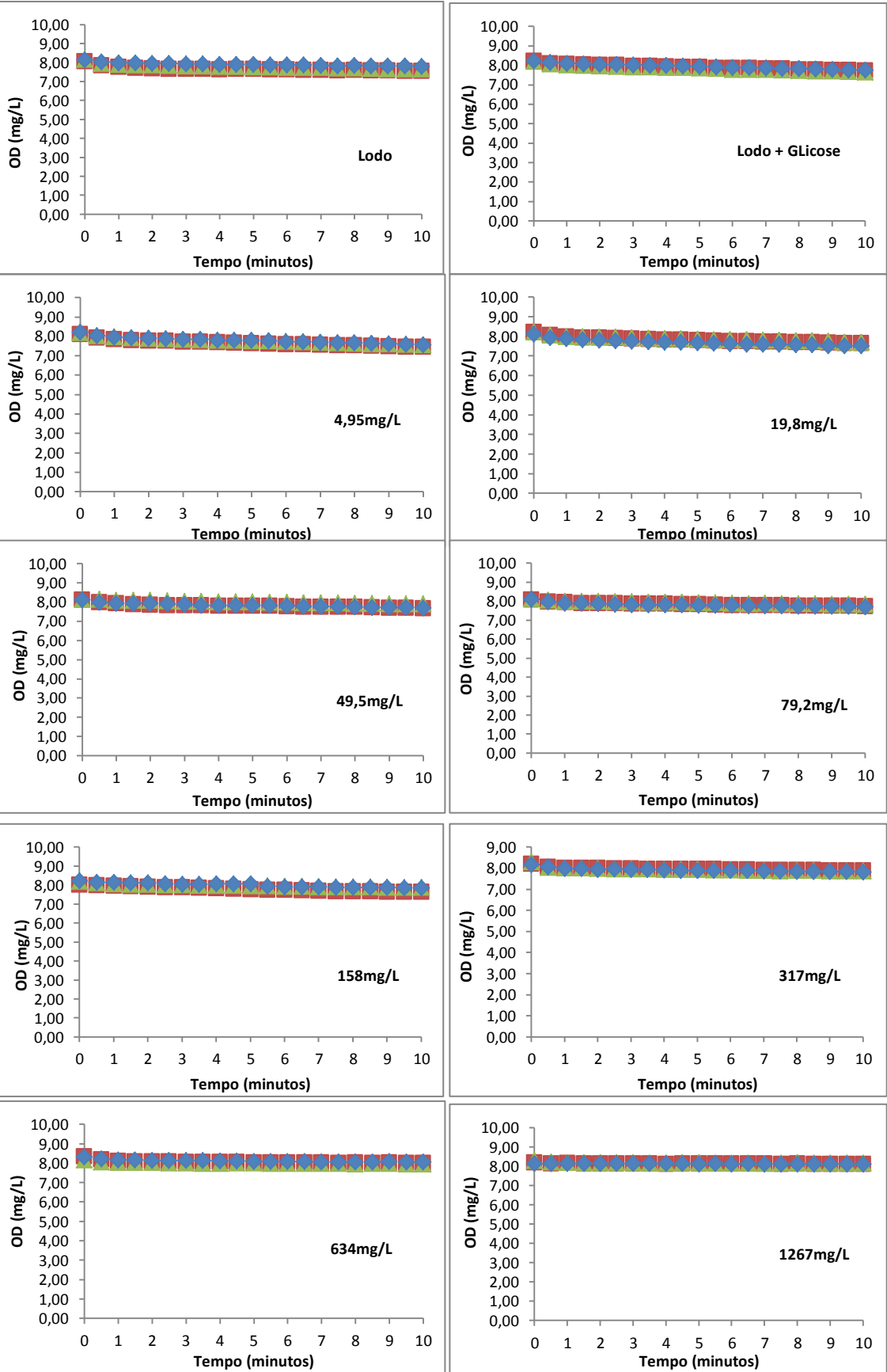


Figura B.10- Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 5 – Indústria Farmacêutica



Experimento 6 – 11/09/2015

Figura B.11- Gráfico de TCO e TCOe do experimento 6– Indústria Farmacêutica

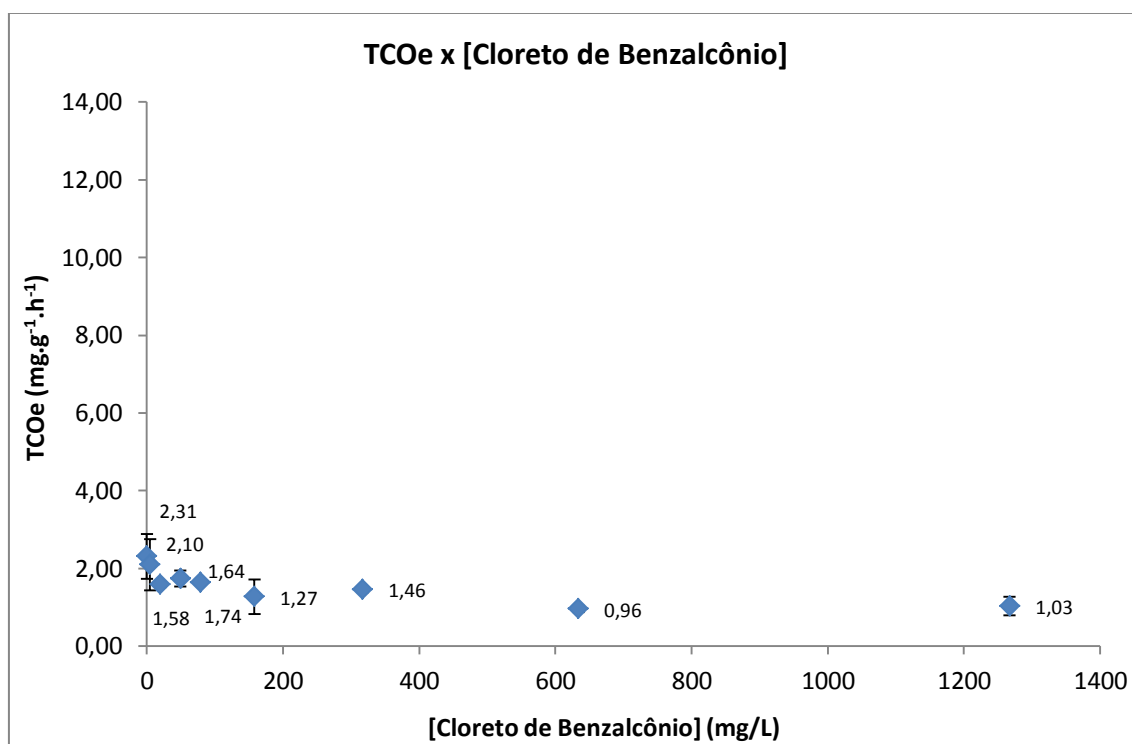
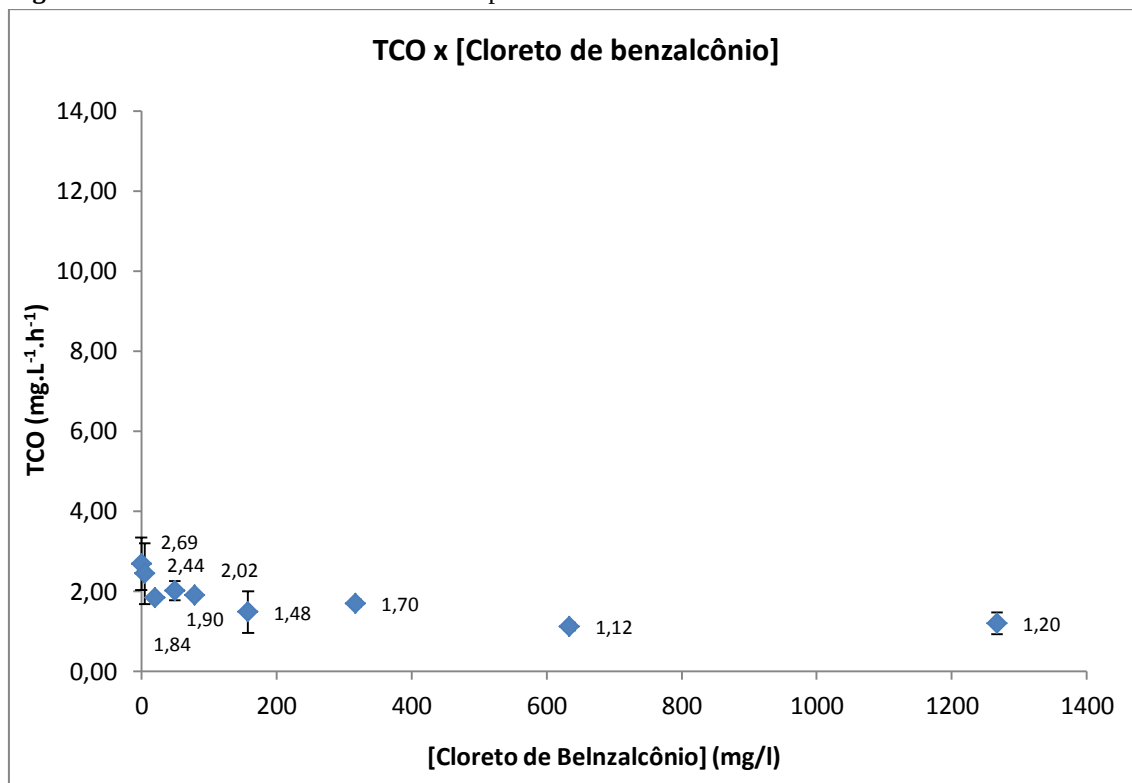
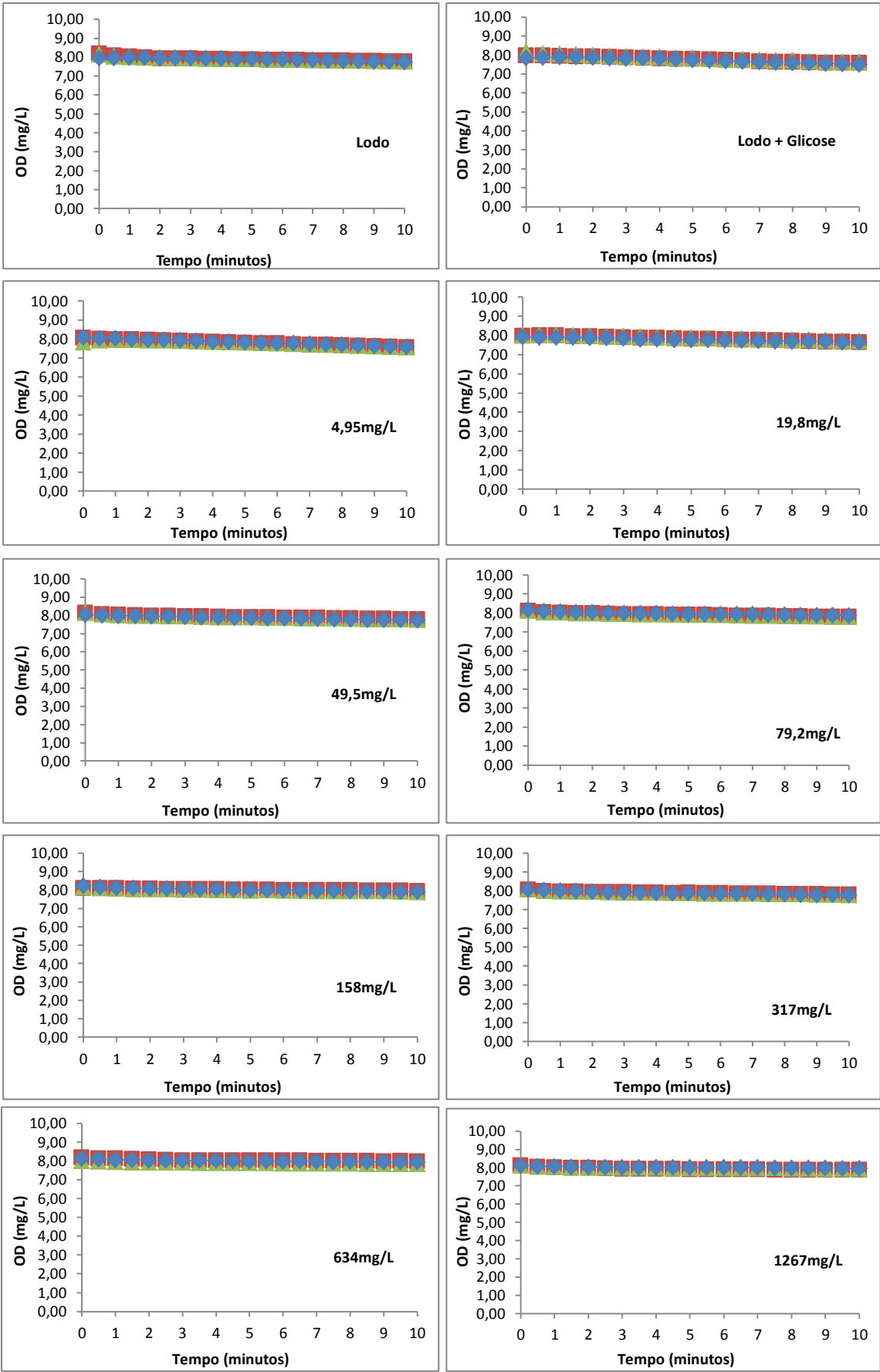


Figura B.12- Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 6 – Indústria Farmacêutica



Experimento 7 – 24/09/2015

Figura B.13- Gráfico de TCO e TCOe do experimento 7– Indústria Farmacêutica

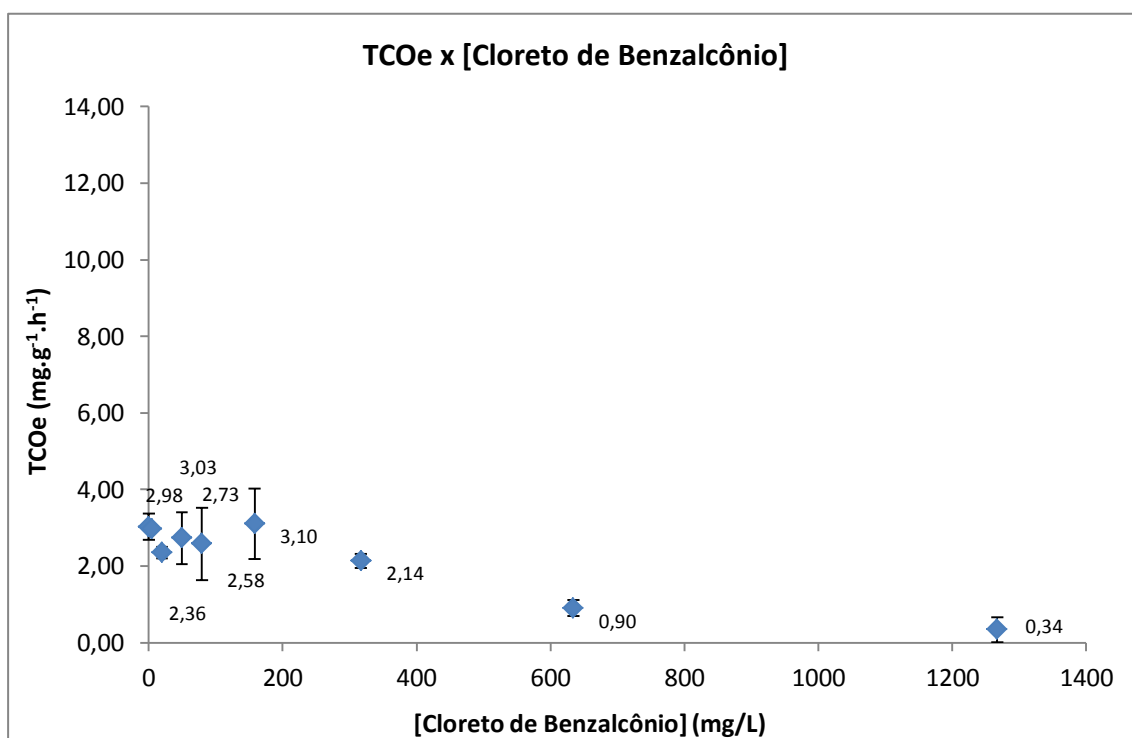
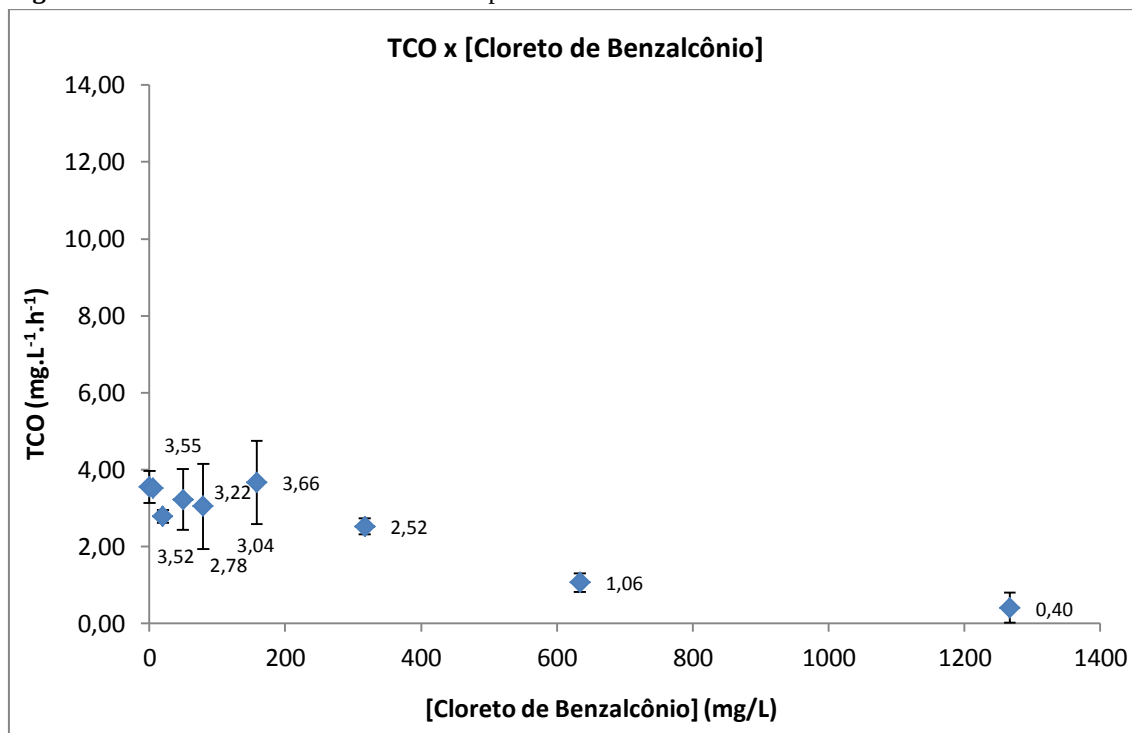
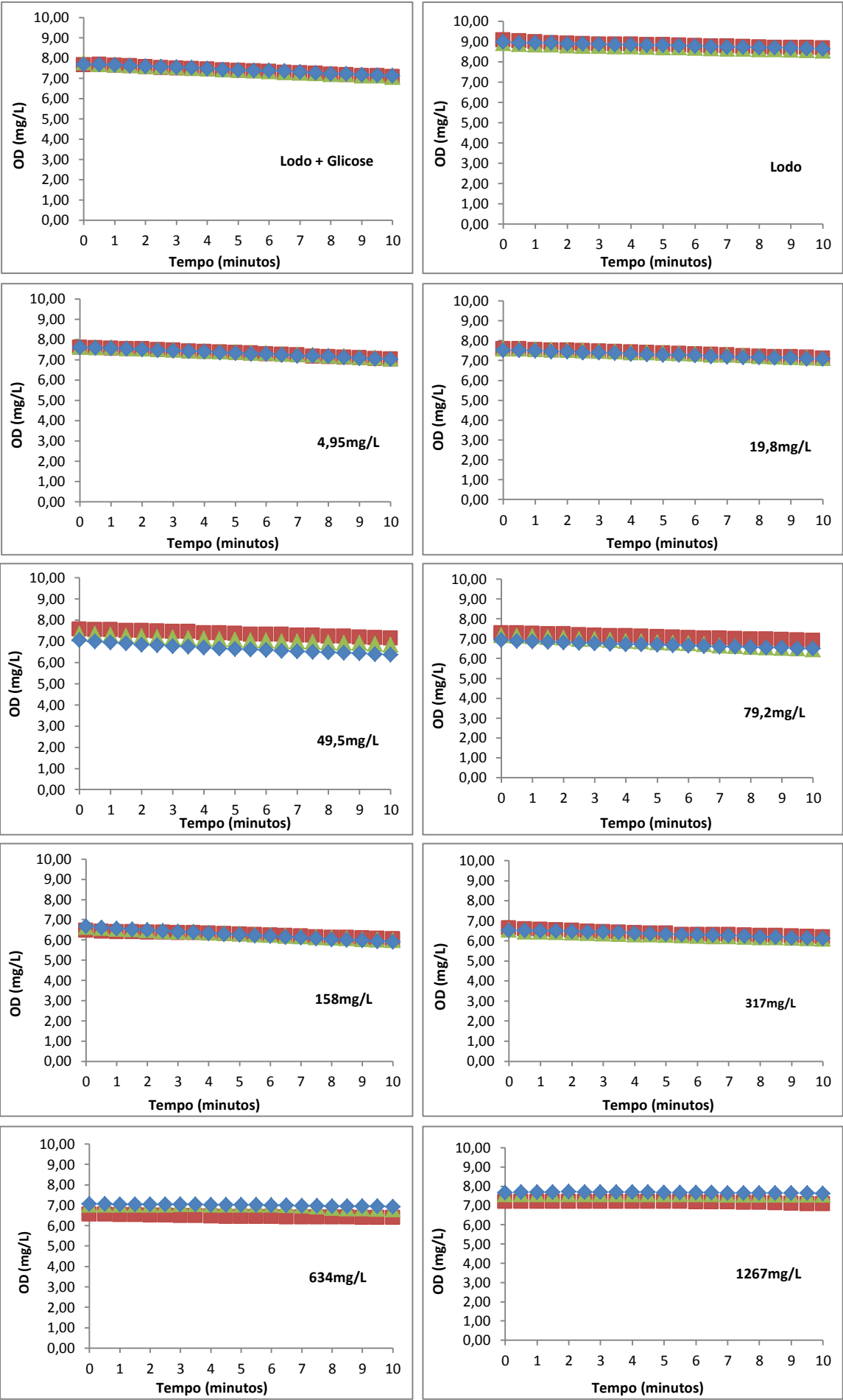


Figura B.14 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 7 – Indústria Farmacêutica



Experimento 8 – 16/10/2015

Figura B.15- Gráfico de TCO e TCOe do experimento 8– Indústria Farmacêutica

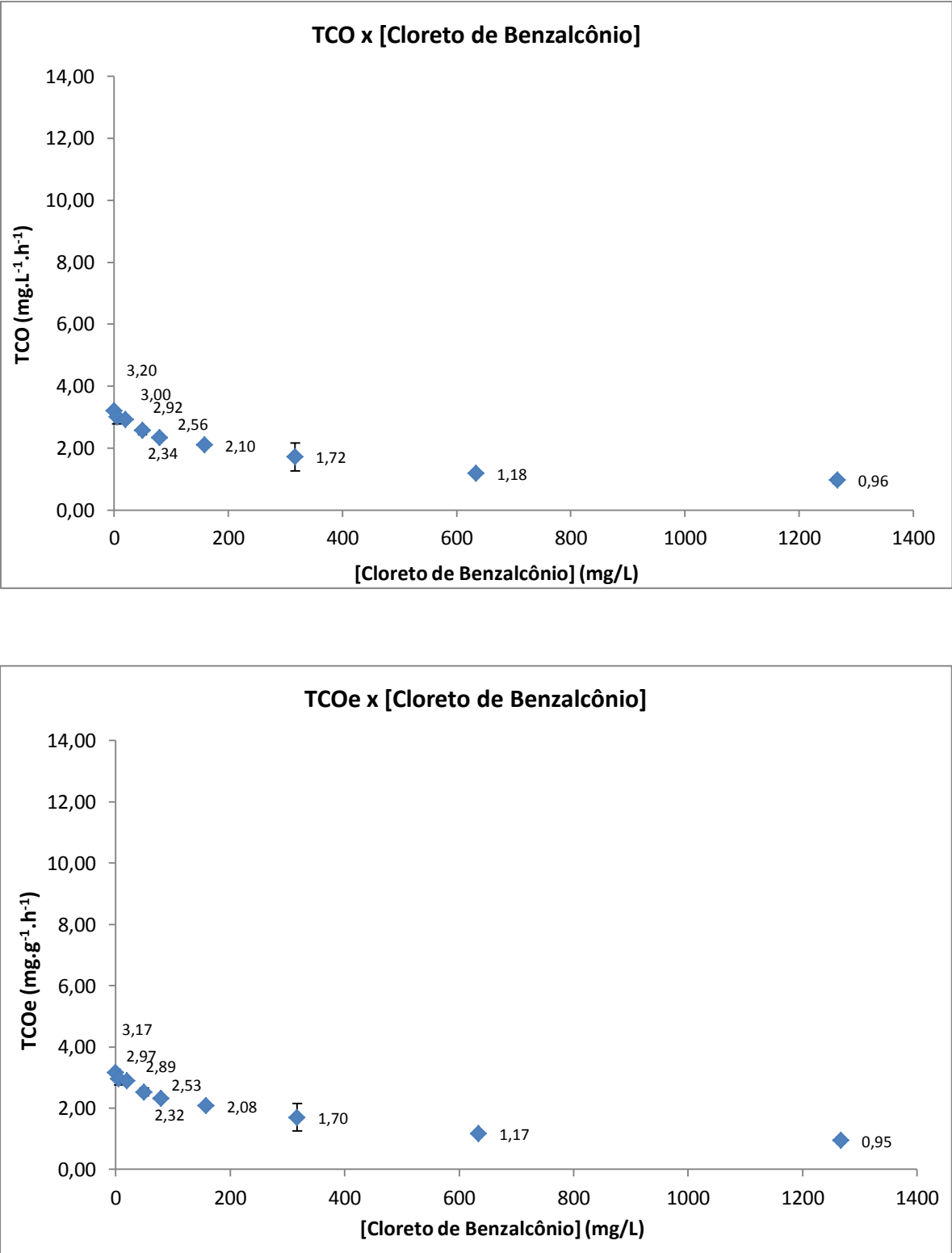
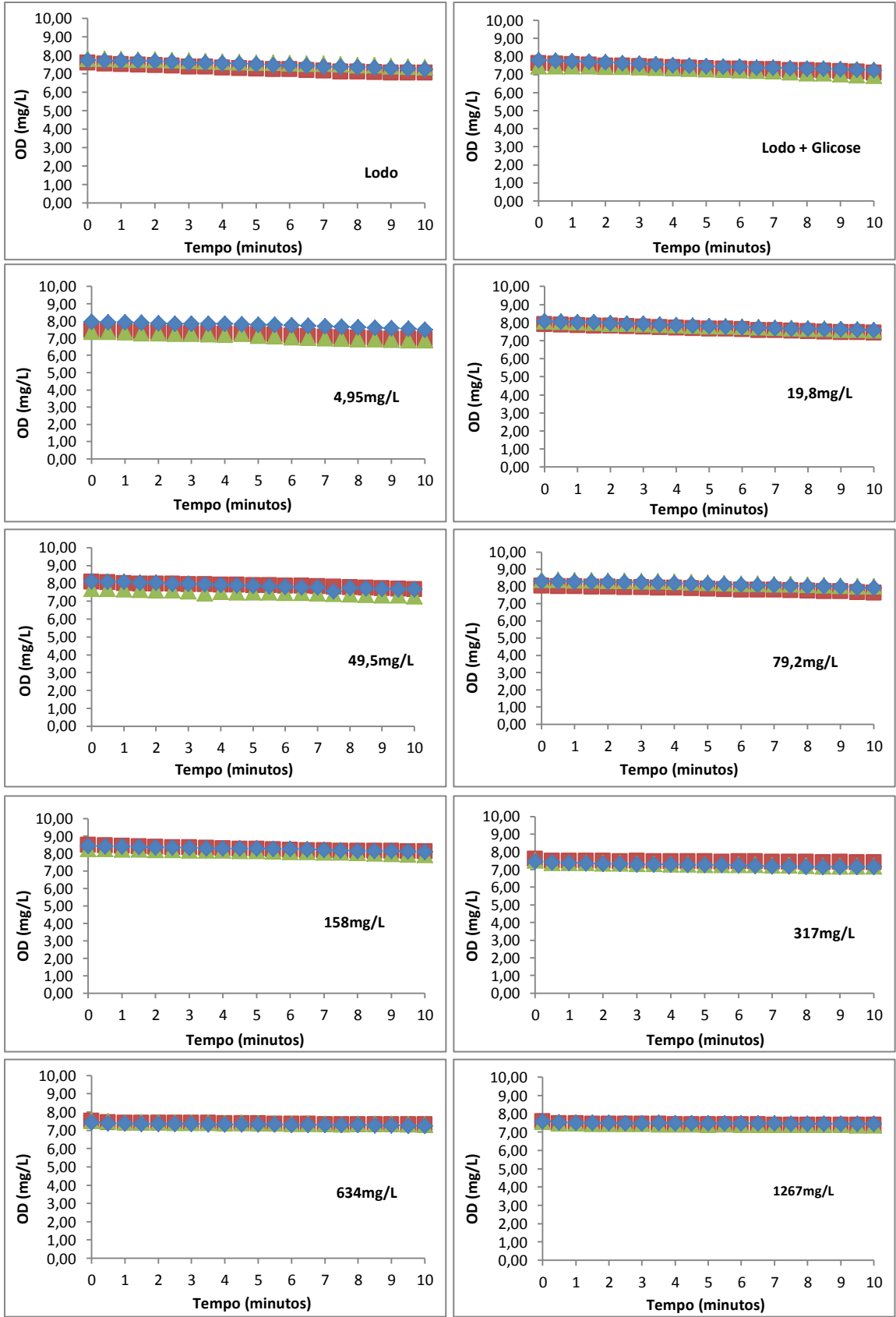


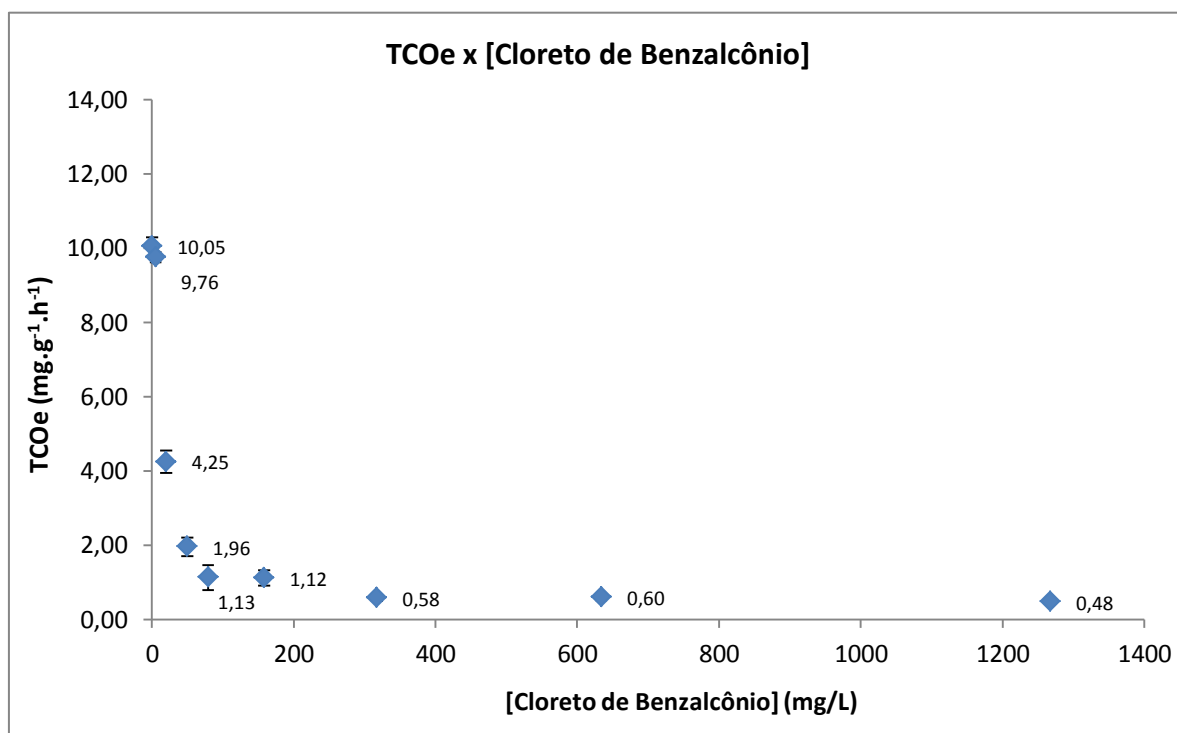
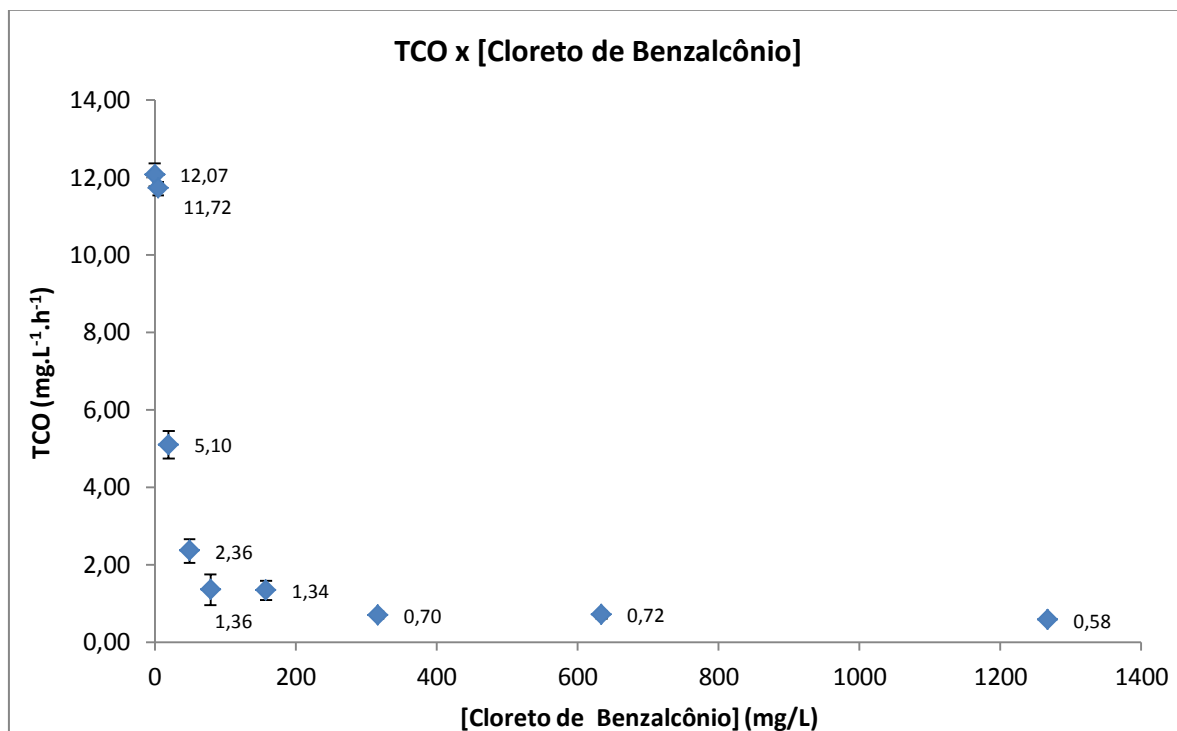
Figura B.16 Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 8 – Indústria Farmacêutica



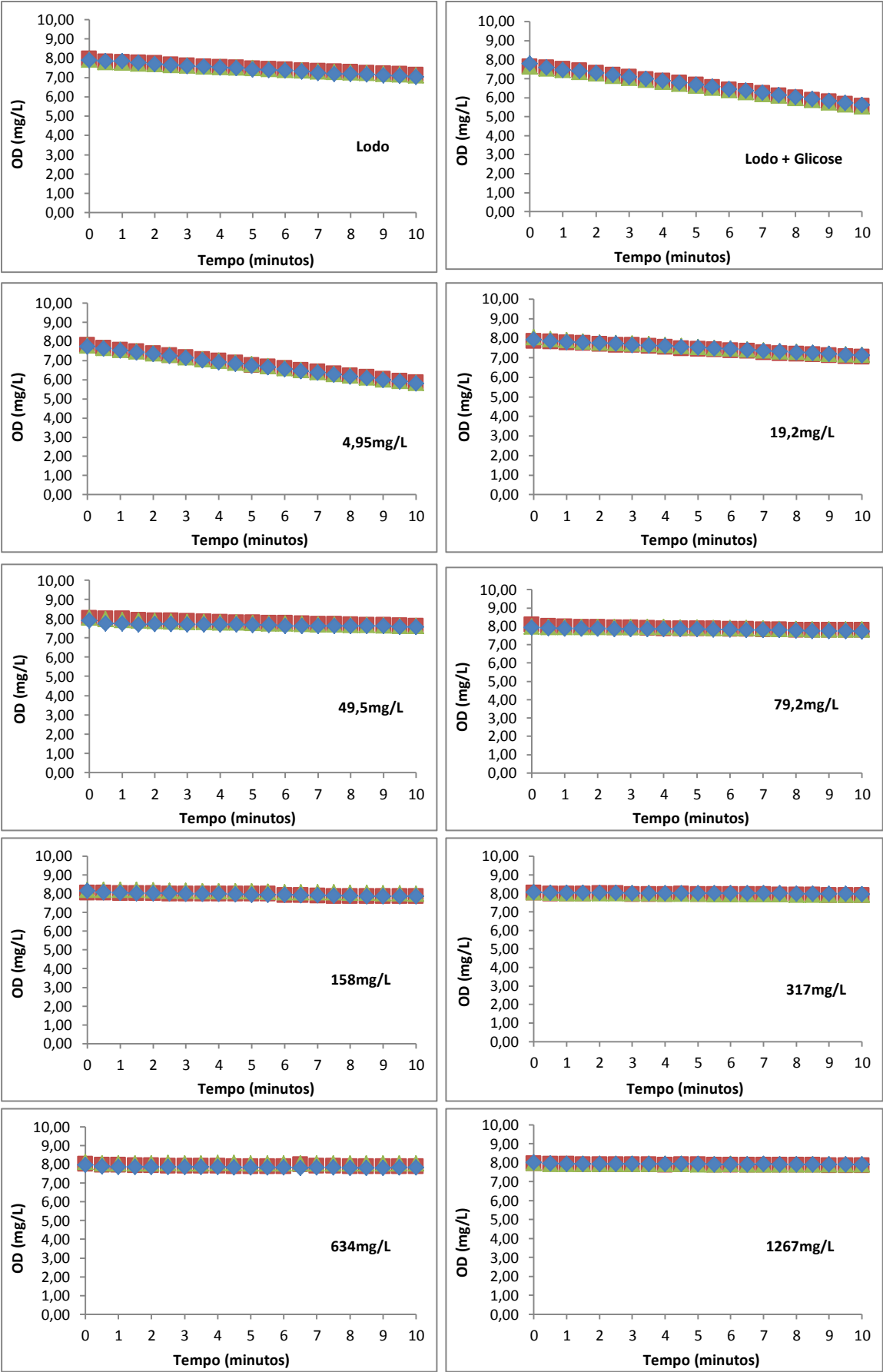
Reator Sintético

Experimento 9 – 28/10/2015

Figura B.17- Gráfico de TCO e TCOe do experimento 9– Reator Sintético



B.18 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 9 – Reator Sintético



Experimento 10 – 12/11/2015

Figura B.19- Gráfico de TCO e TCOe do experimento 10– Reator Sintético

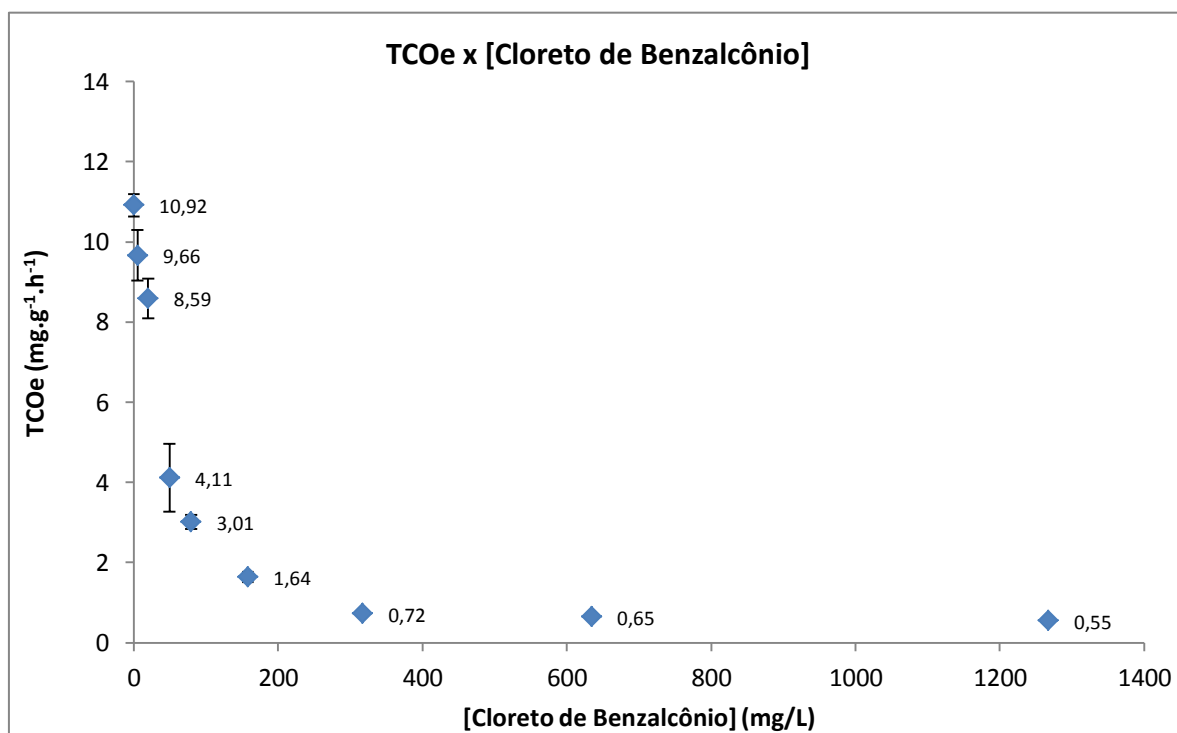
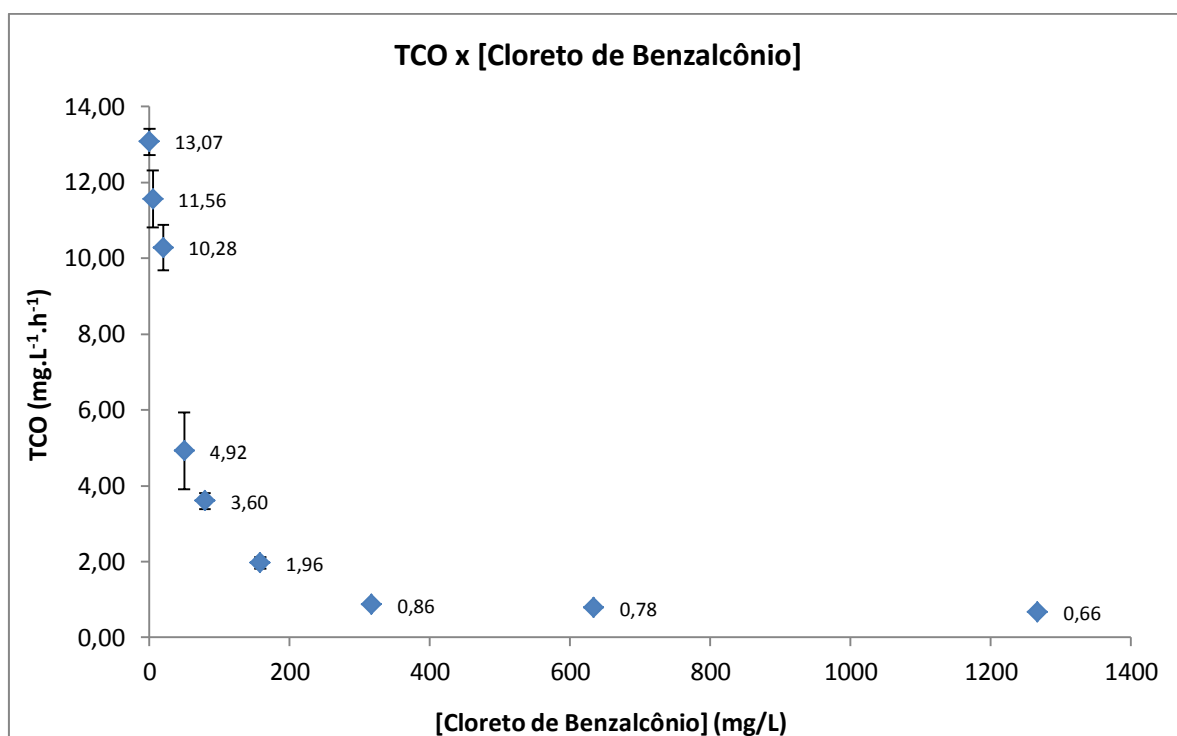
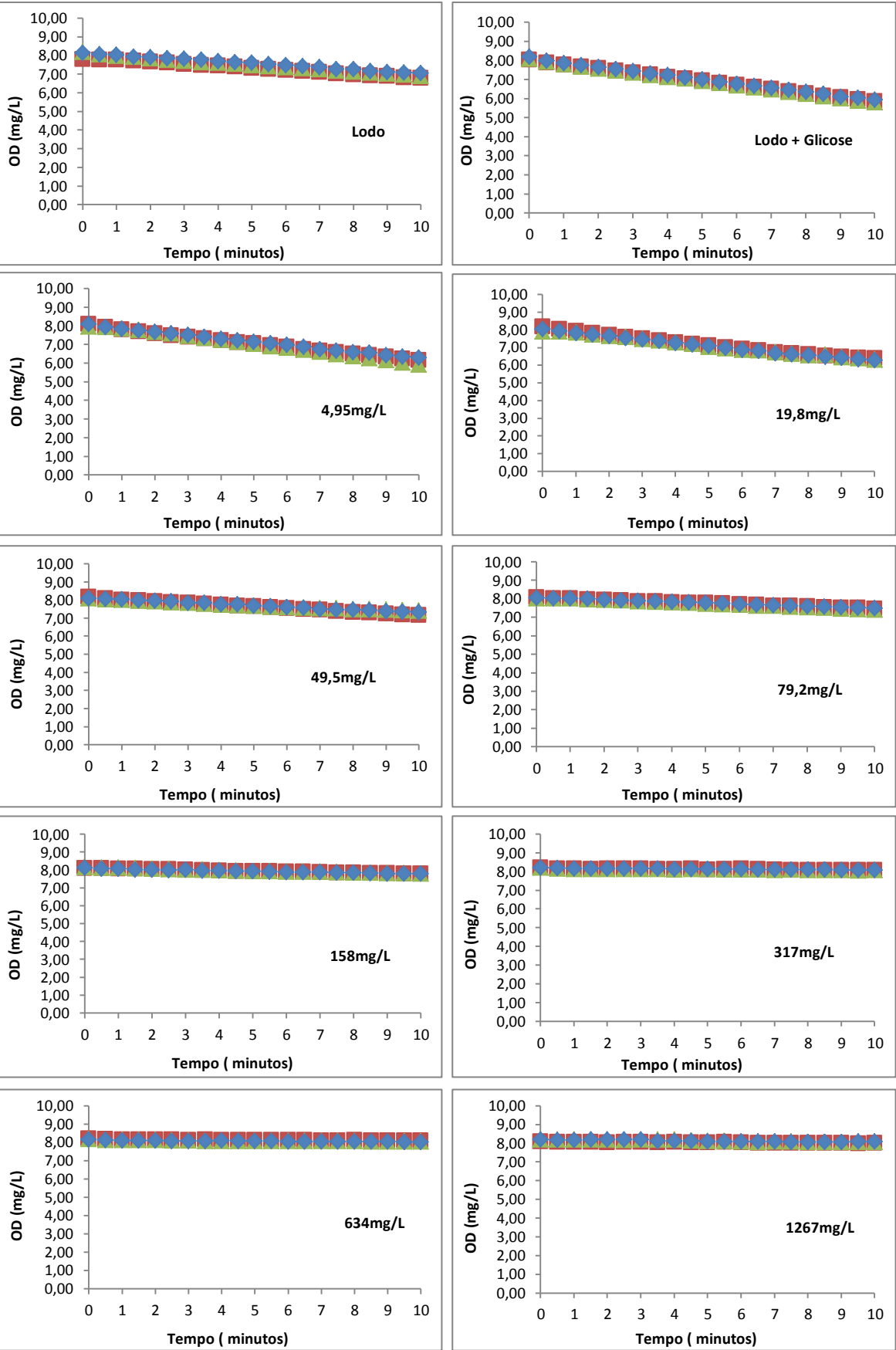


Figura B.20 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 10– Reator Sintético



Experimento 11 – 26/11/2015

Figura B.21- Gráfico de TCO e TCOe do experimento 11– Reator Sintético

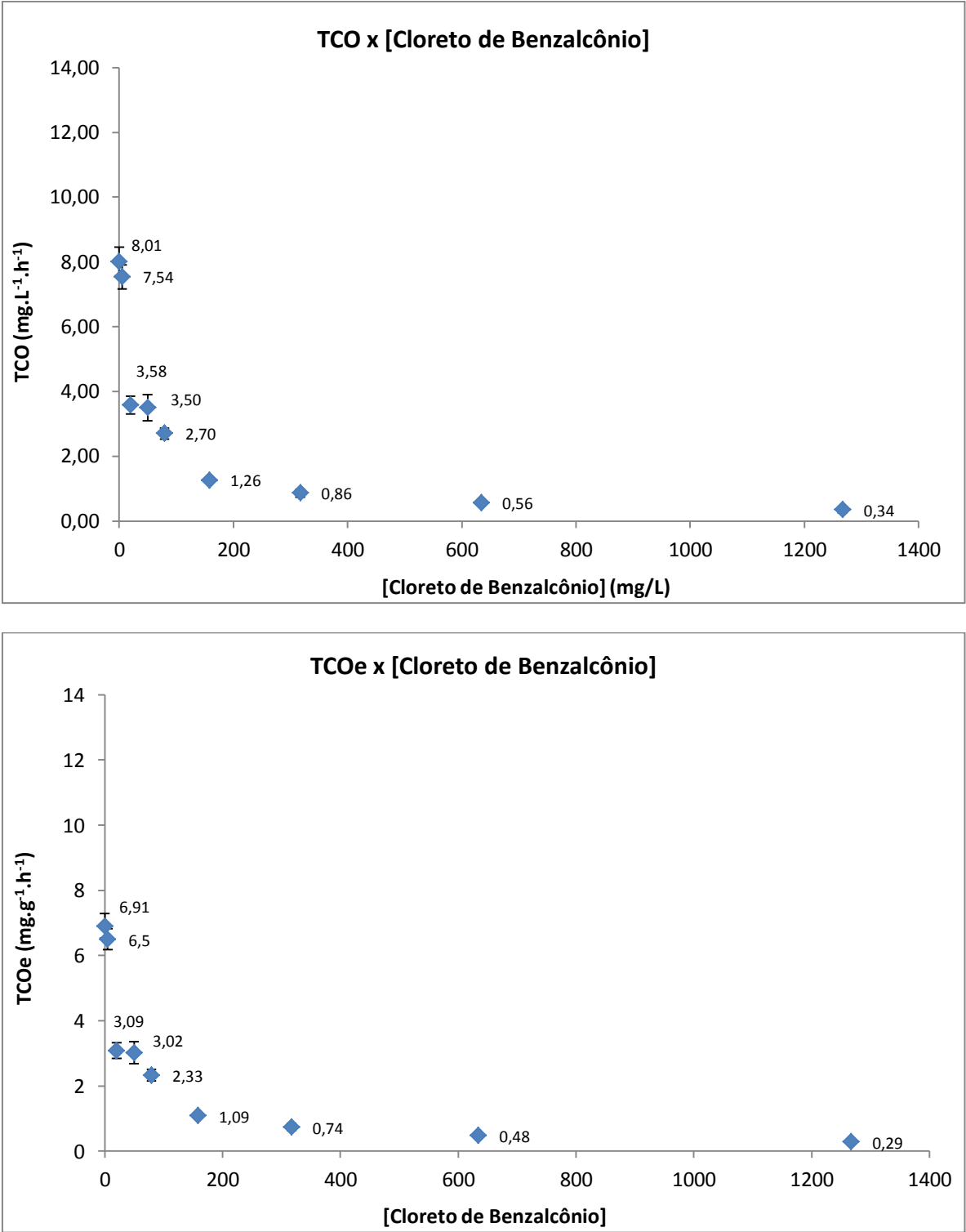
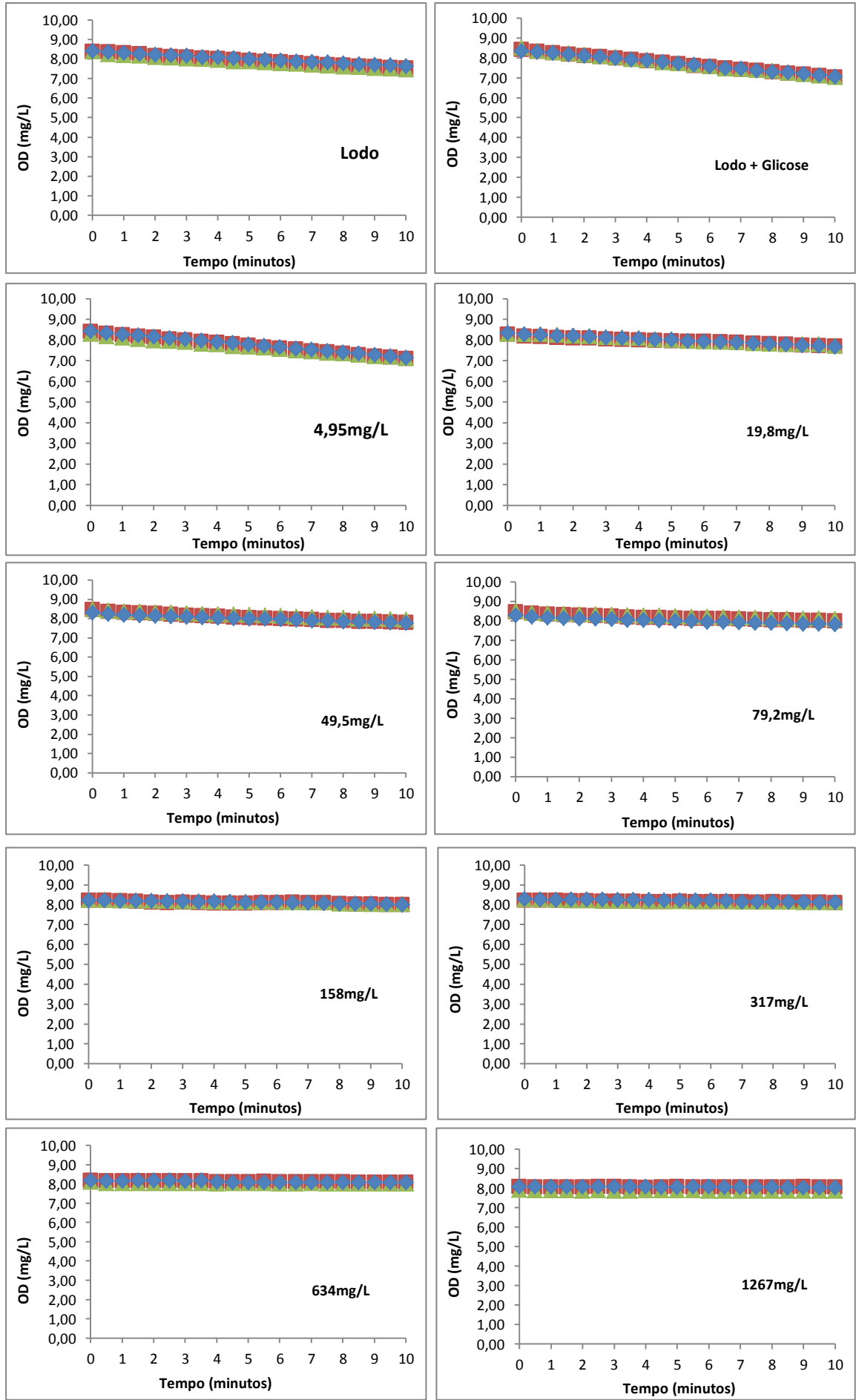


Figura B.22 Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 11– Reator Sintético



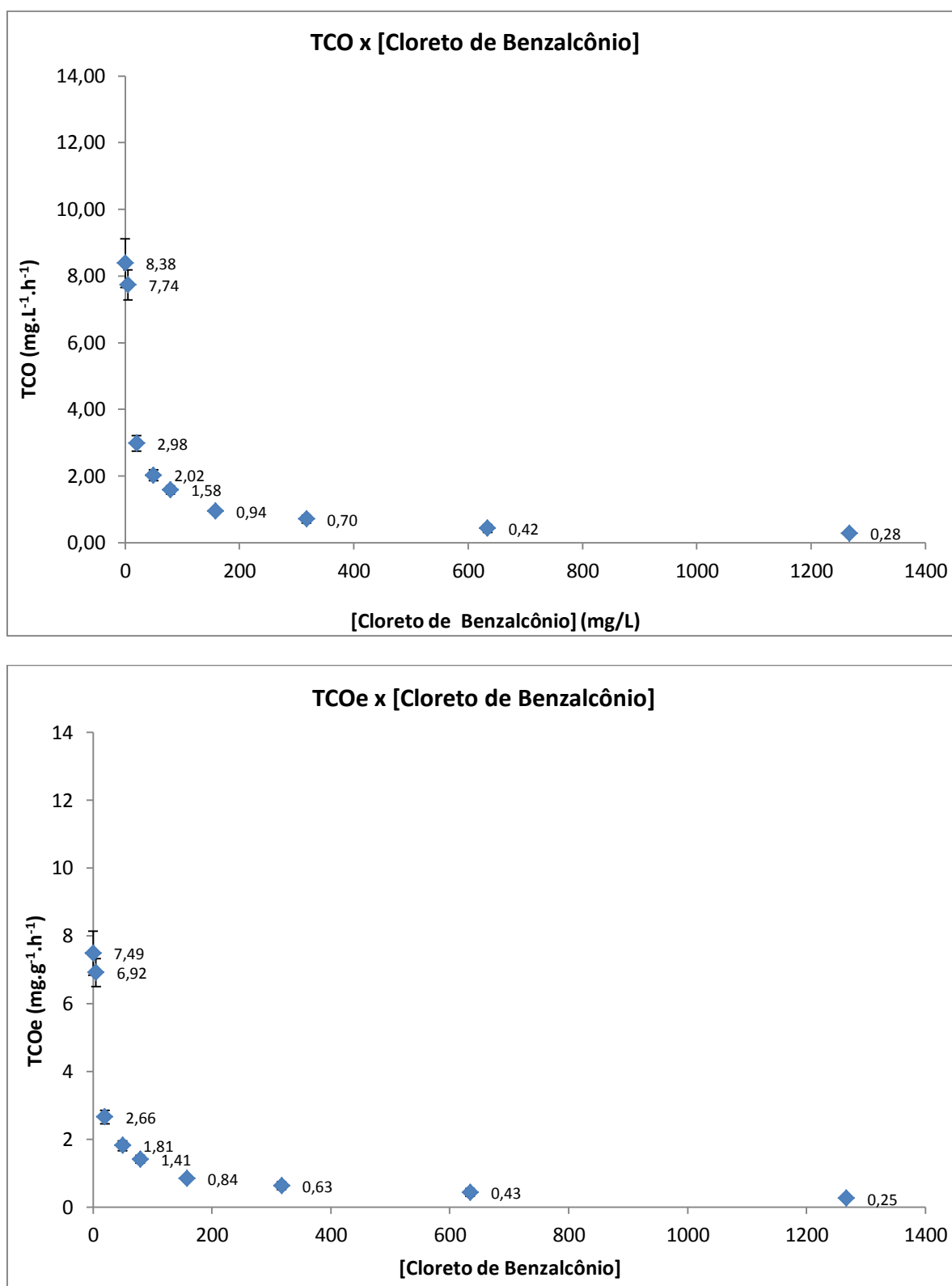
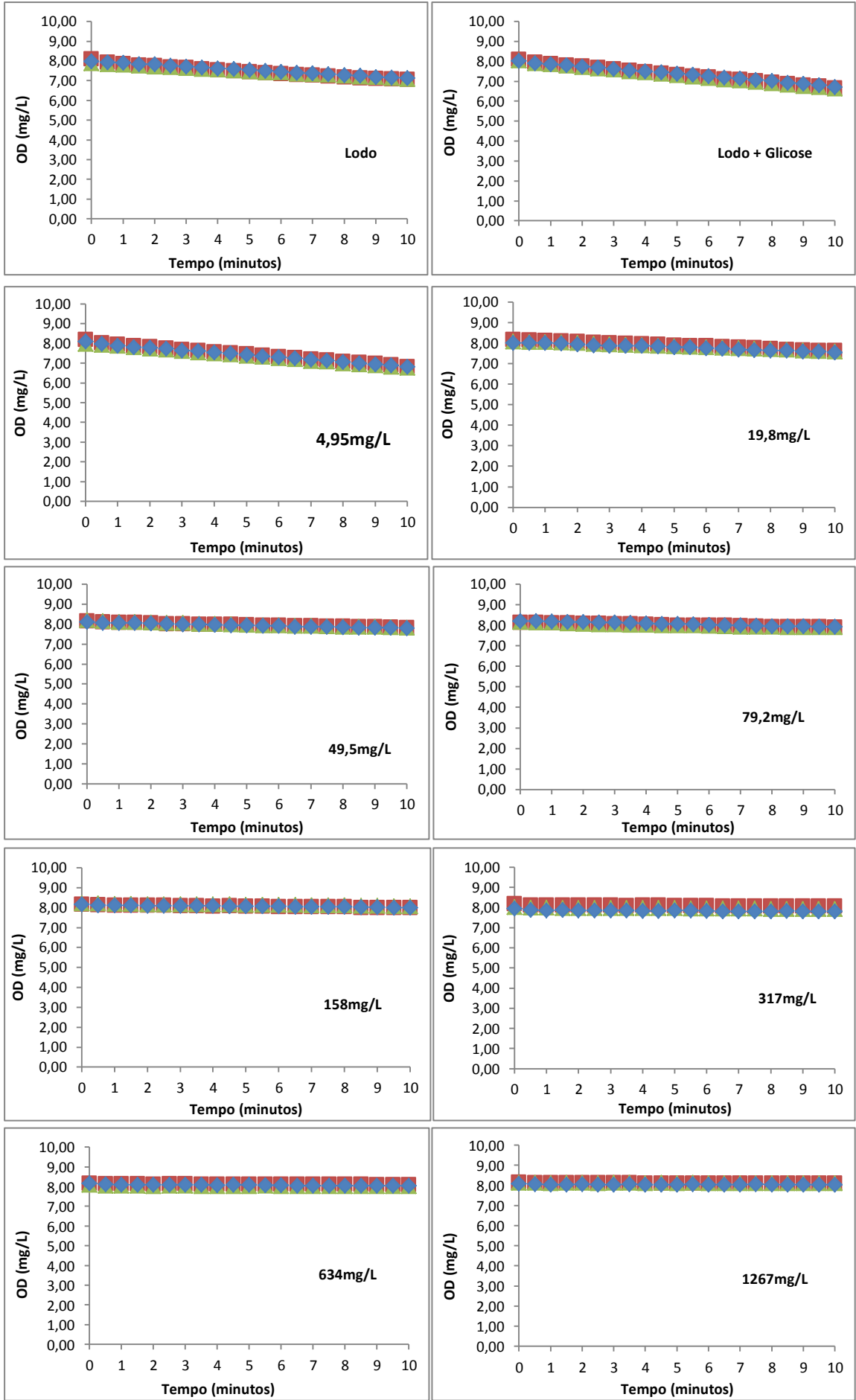
Experimento 12 – 03/12/2015**Figura B.23** - Gráfico de TCO e TCOe do experimento 12– Reator Sintético

Figura B.24 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido pelo tempo do experimento 12– Reator Sintético



APÊNDICE C**Planilhas de acompanhamento dos parâmetros físico-químicos**

Indústria Alimentícia

Tabela C.1 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 1 – Indústria Alimentícia

07/08/2015 – Experimento 1: Indústria Alimentícia						
Parâmetros	Efluente bruto	Saída do primário	Saída do UASB	Tanque de aeração	Efluente final	Outras condições
DBO, mg/L em O ₂	2349	1786	199	-	4	-
DQO, mg/L em O ₂	2405	2305	261	-	15	-
Oxigênio Dissolvido, mg/L O ₂	-	-	-	5,53	-	-
Detergentes (MBAS), mg/L	-	-	-	-	<0,4	-
Materiais Sedimentáveis, mL/L	-	-	-	-	<5	-
Óleos e Graxas, mg/L	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio Total	-	-	-	-	0,7	-
Fósforo total	-	-	-	-	0,3	-
pH	-	-	-	7,0	7,0	-
Temperatura, °C	-	-	-	27,4	25,5	-
Temperatura da Sala de Experimento, °C	-	-	-	-	-	22,0
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	-	-	25,4
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído, mg/L	-	-	-	4285	-	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído, mg/L	-	-	-	3365	5	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído, mg/L	-	-	-	1474	-	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído, mg/L	-	-	-	1142	-	-

Tabela C.2 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 2 – Indústria Alimentícia

18/08/2015 – Experimento 2: Indústria Alimentícia						
Parâmetros	Efluente bruto	Saída do primário	Saída do UASB	Tanque de aeração	Efluente final	Outras condições
DBO, mg/L em O ₂	-	-	-	-	-	-
DQO, mg/L em O ₂	5689	3399	148	-	24	-
Oxigênio Dissolvido, mg/L O ₂	-	-	-	7,52	-	-
Detergentes (MBAS), mg/L	-	-	-	-	<0,4	-
Materiais Sedimentáveis, mL/L	-	-	-	-	<5	-
Óleos e Graxas, mg/L	-	<6,0	-	-	-	-
Nitrogênio Total	-	-	-	-	11	-
Fósforo total	-	1,3	-	-	0,9	-
pH	-	-	-	7,0	7,0	-
Temperatura, °C	-	-	-	27,7	26,0	-
Temperatura da Sala de Experimento, °C	-	-	-	-	-	21,5
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	-	-	22,6
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído, mg/L	-	-	-	4590	16	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído, mg/L	-	-	-	3590	-	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído, mg/L	-	-	-	1746	-	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído, mg/L	-	-	-	1350	-	-

Tabela C.3 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 3 – Indústria Alimentícia

10/09/2015 – Experimento 3: Indústria Alimentícia						
Parâmetros	Efluente bruto	Saída do primário	Saída do UASB	Tanque de aeração	Efluente final	Outras condições
DBO, mg/L em O ₂	-	-	-	-	-	-
DQO, mg/L em O ₂	4393	2596	579	-	<15	-
Oxigênio Dissolvido, mg/L O ₂	-	-	-	6,96	-	-
Detergentes (MBAS), mg/L	-	-	-	-	<0,4	-
Materiais Sedimentáveis, mL/L	-	-	-	-	-	-
Óleos e Graxas, mg/L	-	10	-	-	<6,0	-
Nitrogênio Total	-	-	-	-	-	-
Fósforo total	-	-	1,3	-	0,9	-
pH	-	-	-	7,0	7,0	-
Temperatura, °C	-	-	-	27,8	26,8	-
Temperatura da Sala de Experimento, °C	-	-	-	-	-	22,3
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	-	-	23,6
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído, mg/L	-	-	-	4470	6	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído, mg/L	-	-	-	3675	-	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído, mg/L	-	-	-	1587	-	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído, mg/L	-	-	-	1290	-	-

Tabela C.4 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 4 – Indústria Alimentícia

23/09/2015 – Experimento 4: Indústria Alimentícia						
Parâmetros	Efluente bruto	Saída do primário	Saída do UASB	Tanque de aeração	Efluente final	Outras condições
DBO, mg/L em O ₂	-	-	-	-	-	-
DQO, mg/L em O ₂	4808	1982	649	-	23	-
Oxigênio Dissolvido, mg/L O ₂	-	-	-	7,47	-	-
Detergentes (MBAS), mg/L	-	-	-	-	<0,4	-
Materiais Sedimentáveis, mL/L	-	-	-	-	<0,5	-
Óleos e Graxas, mg/L	-	<6,0	-	-	<6,0	-
Nitrogênio Total	-	-	-	-	-	-
Fósforo total	-	-	1,3	-	0,5	-
pH	-	-	-	7,5	7,0	-
Temperatura, °C	-	-	-	29,3	27,2	-
Temperatura da Sala de Experimento, °C	-	-	-	-	-	21,0
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	-	-	21,7
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído, mg/L	-	-	-	4085	9	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído, mg/L	-	-	-	3315	-	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído, mg/L	-	-	-	1747	-	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído, mg/L	-	-	-	1437	-	-

Indústria Farmacêutica

Tabela C.5 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 5 – Indústria Farmacêutica

27/08/2015 – Experimento 5: Indústria Farmacêutica					
Parâmetros	Afluente	Tanque Aeração1	Tanque Aeração2	Efluente final	Outras condições
DBO, mg/L em O ₂	133	-	-	4	-
DQO, mg/L em O ₂	441	-	-	<15	-
Óleos e Graxas, mg/L	-	-	-	<6	-
Fenóis	<0,08	-	-	<0,08	-
Fósforo total	-	-	-	0,3	-
pH	-	-	-	7,0	-
Temperatura, °C	-	-	-	26,0	-
Temperatura da Sala de Experimento, °C	-	-	-	-	27,0
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	-	23,4
pH do reator teste	-	-	-	-	7,3
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído , mg/L	-	4630	5005	3	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído , mg/L	-	2815	2930	-	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído , mg/L	-	1435		-	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído , mg/L	-	1130		-	-
Nit. Kjeld	-	-	-	0,602	-
Sulfeto	-	-	-	<0,1	-

Tabela C.6 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 6 – Indústria Farmacêutica

11/09/2015 – Experimento 6: Indústria Farmacêutica					
Parâmetros	Afluente	Tanque Aeração1	Tanque Aeração 2	Efluente final	Outras condições
DBO, mg/L em O ₂	169	-	-	<3	-
DQO, mg/L em O ₂	699	-	-	<15	-
Óleos e Graxas, mg/L	-	-	-	<6	-
Fenóis	-	-	-	<0,08	-
Fósforo total	-	-	-	0,479	-
pH	-	-	-	7,0	-
Temperatura, °C	-	-	-	27,0	-
Temperatura da Sala de Experimento, °C	-	-	-	-	25,9
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	-	24,2
pH do reator teste	-	-	-	-	7,95
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído , mg/L	-	5160	6095	4	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído , mg/L	-	3180	3790	-	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído , mg/L	-	1355		-	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído , mg/L	-	1161		-	-
Nit. Kjeld	-	-	-	0,275	-
Sulfeto	-	-	-	<0,1	-

Tabela C.7 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 7 – Indústria Farmacêutica

24/09/2015 – Experimento 7: Indústria Farmacêutica					
Parâmetros	Afluente	Tanque Aeração1	Tanque Aeração 2	Efluente final	Outras condições
DBO, mg/L em O ₂	105	-	-	<3	-
DQO, mg/L em O ₂	559	-	-	<15	-
Óleos e Graxas, mg/L	-	-	-	<6	-
Fenóis	-	-	-	<0,08	-
Fósforo total	-	-	-	0,479	-
pH	-	-	-	7,0	-
Temperatura, °C	-	-	-	27,0	-
Temperatura da Sala de Experimento, °C	-	-	-	-	24,9
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	-	24,2
pH do reator teste	-	-	-	-	7,41
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído , mg/L	-	5675	5675	4	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído , mg/L	-	3422	3435	-	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído , mg/L	-	1887		-	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído , mg/L	-	1180		-	-
Nit. Kjeld	-	-	-	0,203	-
Sulfeto	-	-	-	<0,1	-

Tabela C.8 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 8 – Indústria Farmacêutica

16/10/2015 – Experimento 8: Indústria Farmacêutica					
Parâmetros	Afluente	Tanque Aeração1	Tanque Aeração 2	Efluente final	Outras condições
DBO, mg/L em O ₂	138	-	-	<3	-
DQO, mg/L em O ₂	582	-	-	<15	-
Óleos e Graxas, mg/L	-	-	-	<6	-
Fenóis	-	-	-	<0,08	-
Fósforo total	-	-	-	0,699	-
pH	-	-	-	7,0	-
Temperatura, °C	-	-	-	29,0	-
Temperatura da Sala de Experimento, °C	-	-	-	-	26,5
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	-	25,8
pH do reator teste	-	-	-	-	7,88
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído , mg/L	-	6655	6130	8	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído , mg/L	-	4495	3732	-	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído , mg/L	-	1575		-	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído , mg/L	-	1010		-	-
Nit. Kjeld	-	-	-	0,287	-
Sulfeto	-	-	-	<0,1	-

Reator Alimentado com Efluente Sintético

Tabela C.9 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados da coleta da Indústria Alimentícia para dar partida do reator sintético

Lodo para dar partida no reator. Coletado da indústria alimentícia em 22/10/2015					
Parâmetros	Efluente bruto	Saída do primário	Saída do UASB	Tanque de aeração	Efluente final
DBO, mg/L em O ₂	2147	-	-	-	3
DQO, mg/L em O ₂	4168	2811	297	-	30
Detergentes (MBAS), mg/L	-	-	-	-	<0,4
Materiais Sedimentáveis, mL/L	-	-	-	-	<0,5
Óleos e Graxas, mg/L	-	<6,0	-	-	<6,0
Nitrogênio Total	-	-	-	-	1,7
Fósforo total	-	-	1,0	-	0,2
pH	-	-	-	-	7,0
Temperatura, °C	-	-	-	-	28,3
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	-	-	-	3215	12
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L	-	-	-	2655	

Tabela C.10 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 9 – Reator Sintético

28/10/2015 – Experimento 9: Reator Sintético				
Parâmetros	Afluente	Efluente	Lodo	Outras Condições
DQO, mg/L em O ₂	2356	245	-	-
Oxigênio Dissolvido, mg/L de O ₂	-	-	7,19	-
pH	-	-	8,03	-
Temperatura, °C	-	-	23,4	-
Temperatura da sala de experimento, °C	-	-	-	26,0
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	23,0
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído, mg/L	-	-	4064	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído, mg/L	-	-	3558	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído, mg/L	-	-	1397	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído, mg/L	-	-	1201	-

Tabela C.11 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados da coleta da Indústria Alimentícia para dar partida do reator sintético

Lodo para dar partida no reator. Coletado da indústria alimentícia em 06/11/2015					
Parâmetros	Efluente bruto	Saída do primário	Saída do UASB	Tanque de aeração	Efluente final
DBO, mg/L em O ₂	1520	1783	5	-	5
DQO, mg/L em O ₂	2688	3360	40	-	38
Detergentes (MBAS), mg/L	-	-	-	-	<0,4
Materiais Sedimentáveis, mL/L	-	-	-	-	<0,5
Óleos e Graxas, mg/L	-	-	-	-	<6,0
Nitrogênio Total	-	-	-	-	1,7
Fósforo total	-	-	-	-	0,3
pH	-	-	-	-	8,1
Temperatura, °C	-	-	-	-	29,0
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	-	-	-	4465	15
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L	-	-	-	3745	-

Tabela C.12 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 10 – Reator Sintético

12/11/2015 – Experimento 10: Reator Sintético				
Parâmetros	Afluente	Efluente	Lodo	Outras Condições
DQO, mg/L em O ₂	2356	300	-	-
Oxigênio Dissolvido, mg/L de O ₂	-	-	5,78	-
pH	-	-	8,07	-
Temperatura, °C	-	-	26,0	-
Temperatura da sala de experimento, °C	-	-	-	28,0
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	25,0
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído, mg/L	-	-	4638	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído, mg/L	-	-	3876	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído, mg/L	-	-	1454	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído, mg/L	-	-	1197	-

Tabela C.13 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados da coleta da Indústria Alimentícia para dar partida do reator sintético

Lodo para dar partida no reator. Coletado da indústria alimentícia em 19/11/2015					
Parâmetros	Efluente bruto	Saída do primário	Saída do UASB	Tanque de aeração	Efluente final
DBO, mg/L em O ₂	2911	-	-	-	6
DQO, mg/L em O ₂	5324	2969	727	-	61
Detergentes (MBAS), mg/L	-	-	-	-	<0,4
Materiais Sedimentáveis, mL/L	-	-	-	-	<0,5
Óleos e Graxas, mg/L	-	34	-	-	<6,0
Nitrogênio Total	-	-	-	-	4,0
Fósforo total	-	-	3,9	-	4,4
pH	-	-	-	-	7,0
Temperatura, °C	-	-	-	-	29,0
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	-	-	-	3960	26
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L	-	-	-	3145	-

Tabela C.14 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 11 – Reator Sintético

26/11/2015 – Experimento 11: Reator Sintético				
Parâmetros	Afluente	Efluente	Lodo	Outras Condições
DQO, mg/L em O ₂	2356	263	-	-
Oxigênio Dissolvido, mg/L de O ₂	-	-	6,05	-
pH	-	-	7,98	-
Temperatura, °C	-	-	23,7	-
Temperatura da sala de experimento, °C	-	-	-	26,0
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	23,1
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído, mg/L	-	-	3856	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído, mg/L	-	-	3142	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído, mg/L	-	-	1419	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído, mg/L	-	-	1159	-

Tabela C.15 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados da coleta da Indústria Alimentícia para dar partida do reator sintético

Lodo para dar partida no reator. Coletado da indústria alimentícia em 27/11/2015					
Parâmetros	Efluente bruto	Saída do primário	Saída do UASB	Tanque de aeração	Efluente final
DBO, mg/L em O ₂	-	-	-	-	-
DQO, mg/L em O ₂	3836	2606	82	-	56
Detergentes (MBAS), mg/L	-	-	-	-	<0,4
Materiais Sedimentáveis, mL/L	-	-	-	-	<0,5
Óleos e Graxas, mg/L	-	51	-	-	<6,0
Nitrogênio Total	-	-	-	-	4,0
Fósforo total	-	-	1,4	-	1,0
pH	-	-	-	-	7,53
Temperatura, °C	-	-	-	-	30,0
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	-	-	-	3485	17
Resíduo Não Filtrável Volátil, mg/L	-	-	-	2790	-

Tabela C.16 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados no experimento 12 – Reator Sintético

03/12/2015 – Experimento 12: Reator Sintético				
Parâmetros	Afluente	Efluente	Lodo	Outras Condições
DQO, mg/L em O ₂	2356	222	-	-
Oxigênio Dissolvido, mg/L de O ₂	-	-	6,10	-
pH	-	-	8,05	-
Temperatura, °C	-	-	23,7	-
Temperatura da sala de experimento, °C	-	-	-	23,7
Temperatura do reator teste, °C	-	-	-	24,3
Resíduo Não Filtrável Total lodo não diluído, mg/L	-	-	3706	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo não diluído, mg/L	-	-	3060	-
Resíduo Não Filtrável Total lodo diluído, mg/L	-	-	1350	-
Resíduo Não Filtrável Volátil lodo diluído, mg/L	-	-	1118	-

APÊNDICE D

Informações Adicionais sobre a operação das ETEI's e Reator Sintético

Indústria Alimentícia

Tabela D.1 – Informações sobre operação da ETEI – Indústria Alimentícia – Experimento 1

Experimento 1- 07/08/2015	
Eficiência da estação	99%
Eficiência do tratamento biológico aeróbio	94%
Vazão	60 m ³ /dia
Volume de glicose utilizado	2,2 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,78
Relação RNFV/RNFT diluído	0,77
A/M da indústria alimentícia	0,03
A/M utilizada no teste	0,08

Tabela D.2 – Informações sobre operação da ETEI – Indústria Alimentícia – Experimento 2

Experimento 2 – 18/08/2015	
Eficiência da estação	100%
Eficiência do tratamento biológico aeróbio	84%
Vazão	60 m ³ /dia
Volume de glicose utilizado	2,2 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,78
Relação RNFV/RNFT diluído	0,77
A/M da indústria alimentícia	0,01
A/M utilizada no teste	0,04

Tabela D.3 – Informações sobre operação da ETEI – Indústria Alimentícia – Experimento 3

Experimento 3 - 10/09/2015	
Eficiência da estação	100%
Eficiência do tratamento biológico aeróbio	97%
Vazão	70 m ³ /dia
Volume de glicose utilizado	1,9 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,82
Relação RNFV/RNFT diluído	0,81
A/M da indústria alimentícia	0,06
A/M utilizada no teste	0,20

Tabela D.4 – Informações sobre operação da ETEI – Indústria Alimentícia – Experimento 4

Experimento 4 – 23/09/2015	
Eficiência da estação	99%
Eficiência do tratamento biológico aeróbio	96%
Vazão	60 m ³ /dia
Volume de glicose utilizado	2,0 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,81
Relação RNFV/RNFT diluído	0,82
A/M da indústria alimentícia	0,07
A/M utilizada no teste	0,17

Indústria Farmacêutica

Tabela D.5 – Informações sobre operação da ETEI – Indústria Farmacêutica – Experimento 5

Experimento 5 – 27/08/2015	
Eficiência da estação	97%
Vazão	305,52 m ³ /dia
Volume de glicose utilizado	1,8 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,60
Relação RNFV/RNFT diluído	0,79
A/M da indústria farmacêutica	0,16
A/M utilizada no teste	0,41

Tabela D.6 – Informações sobre operação da ETEI – Indústria Farmacêutica – Experimento 6

Experimento 6 – 11/09/2015	
Eficiência da estação	98%
Vazão	305,52 m ³ /dia
Volume de glicose utilizado	1,8 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,62
Relação RNFV/RNFT diluído	0,86
A/M da indústria farmacêutica	0,21
A/M utilizada no teste	0,63

Tabela D.7 – Informações sobre operação da ETEI – Indústria Farmacêutica – Experimento 7

Experimento 7 – 24/09/2015	
Eficiência da estação	97%
Vazão	305,52 m ³ /dia
Volume de glicose utilizado	1,7 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,60
Relação RNFV/RNFT diluído	0,62
A/M da indústria farmacêutica	0,17
A/M utilizada no teste	0,50

Tabela D.8 – Informações sobre operação da ETEI – Indústria Farmacêutica – Experimento 8

Experimento 8 – 16/10/2015	
Eficiência da estação	97%
Vazão	305,52 m ³ /dia
Volume de glicose utilizado	1,9 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,64
Relação RNFV/RNFT diluído	0,64
A/M da indústria farmacêutica	0,15
A/M utilizada no teste	0,61

Reator sintético**Experimento 9 – 28/10/2015****Lodo para dar partida no reator coletado da indústria alimentícia em 22/10/2015****Tabela D.9** – Informações sobre operação da ETEI Indústria Alimentícia

Eficiência da estação	99%
Eficiência do tratamento biológico aeróbio	90%
Vazão	60 m ³ /dia
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,82
A/M da indústria alimentícia	0,04

Tabela D.10 – Informações sobre operação do Reator Sintético – Experimento 9

Experimento 9 – 28/10/2015	
Eficiência do reator piloto	90%
Vazão de alimentação do reator	1,8 L
Volume de glicose utilizado	2,25 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,87
Relação RNFV/RNFT diluído	0,86
A/M do reator	0,15
A/M utilizada no teste	0,44

Experimento 10 – 12/11/2015**Lodo para dar partida no reator coletado da indústria alimentícia em 06/11/2015****Tabela D.11** – Informações sobre operação da ETEI Indústria Alimentícia

Eficiência da estação	99%
Eficiência do tratamento biológico aeróbio	5%
Vazão	80 m ³ /dia
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,84
A/M da indústria alimentícia	0,005

Tabela D.12 – Informações sobre operação do Reator Sintético – Experimento 10

Experimento 10 – 12/11/2015	
Eficiência do reator piloto	87%
Vazão de alimentação do reator	1,8 L
Volume de glicose utilizado	2,25 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,83
Relação RNFV/RNFT diluído	0,82
A/M do reator	0,14
A/M utilizada no teste	0,44

Experimento 11 – 26/11/2015**Lodo para dar partida no reator coletado da indústria alimentícia em 19/11/2015****Tabela D.13** – Informações sobre operação da ETEI Indústria Alimentícia

Eficiência da estação	99%
Eficiência do tratamento biológico aeróbio	92%
Vazão	40 m ³ /dia
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,79
A/M da indústria alimentícia	0,06

Tabela D.14 – Informações sobre operação do Reator Sintético – Experimento 11

Experimento 11 – 26/11/2015	
Eficiência do reator piloto	89%
Vazão de alimentação do reator	1,8 L
Volume de glicose utilizado	2,25 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,81
Relação RNFV/RNFT diluído	0,82
A/M do reator	0,17
A/M utilizada no teste	0,46

Experimento 12 –03/12/2015

Lodo para dar partida no reator coletado da indústria alimentícia em 27/11/2015

Tabela D.15 – Informações sobre operação da ETEI Indústria Alimentícia

Eficiência da estação	98%
Eficiência do tratamento biológico aeróbio	32%
Vazão	40 m ³ /dia
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,80
A/M da indústria alimentícia	0,007

Tabela D.16 – Informações sobre operação do Reator Sintético – Experimento 12

Experimento 12 –03/12/2015	
Eficiência do reator piloto	90%
Vazão de alimentação do reator	1,8 L
Volume de glicose utilizado	2,25 mL
Relação RNFV/RNFT não diluído	0,82
Relação RNFV/RNFT diluído	0,83
A/M do reator	0,17
A/M utilizada no teste	0,47

APÊNDICE E

Determinação de CE_{50} dos testes de respirometria pelo método Trimmed Spearman-Kärber utilizando o programa GWBasic.

Tabela E.1 – 07/08/2015 – Experimento 1: Indústria Alimentícia

DATA	07/08/20	Nr. do TESTE	1	DURACAO	10 min
PRODUTO/AMOSTRA	Cloro de Benzalconio	ORGANISMO	Lodo Ativado		
DADOS DO TESTE					
CONCENTRACAO(mg/L)	4.95	19.80	49.50	79.20	158.00 317.00 634.00 12
67.00					
NUM DE ORGANISMOS EXPOSTOS	516	516	516	516	516
516	516				
ORGANISMOS MORTOS	0	0	133	245	386 369 423
448					
AJUSTE SPERMAN-KARBER		13.18			
SPEARMAN-KARBER ESTIMATES		eC50	106.8693390		
		LIMITE INFERIOR-95% CONFIANCA		98.90	
		LIMITE SUPERIOR-95% CONFIANCA		115.49	
OBSERVAR QUE A PROPORCAO DE MORTES NAO TEVE AUMENTO MONOTONICO					
AJUSTES FORAM FEITOS ANTERIORES A ESTIMATIVA SPERMAN-KABER.					

Tabela E.2 – 18/08/2015 – Experimento 2: Indústria Alimentícia

DATA	18/08/20	Nr. do TESTE	2	DURACAO	10 min
PRODUTO/AMOSTRA	Cloro de Benzalconio	ORGANISMO	Lodo Ativado		
DADOS DO TESTE					
CONCENTRACAO(mg/L)	4.95	19.80	49.50	79.20	158.00 317.00 634.00 12
67.00					
NUM DE ORGANISMOS EXPOSTOS	301	301	301	301	301
301	301				
ORGANISMOS MORTOS	0	24	70	64	140 135 230
248					
AJUSTE SPERMAN-KARBER		17.61			
SPEARMAN-KARBER ESTIMATES		eC50	244.3564148		
		LIMITE INFERIOR-95% CONFIANCA		217.09	
		LIMITE SUPERIOR-95% CONFIANCA		275.05	
OBSERVAR QUE A PROPORCAO DE MORTES NAO TEVE AUMENTO MONOTONICO					
AJUSTES FORAM FEITOS ANTERIORES A ESTIMATIVA SPERMAN-KABER.					

Tabela E.3 – 10/09/2015 – Experimento 3: Indústria Alimentícia

DATA	10/09/20	Nr. do TESTE	3	DURACAO	10 min
PRODUTO/AMOSTRA	Cloro de Benzalconio	ORGANISMO	Lodo Ativado		
DADOS DO TESTE					
CONCENTRACAO(mg/L)	4.95	19.80	49.50	79.20	158.00 317.00 634.00 12
67.00					
NUM DE ORGANISMOS EXPOSTOS	441	441	441	441	441
441	441				
ORGANISMOS MORTOS	77	80	208	315	319 244 368
365					
AJUSTE SPERMAN-KARBER		17.46			
SPEARMAN-KARBER ESTIMATES		eC50	73.3253174		
		LIMITE INFERIOR-95% CONFIANCA		64.93	
		LIMITE SUPERIOR-95% CONFIANCA		82.81	
OBSERVAR QUE A PROPORCAO DE MORTES NAO TEVE AUMENTO MONOTONICO					
AJUSTES FORAM FEITOS ANTERIORES A ESTIMATIVA SPERMAN-KABER.					

Tabela E.4 – 23/09/2015 – Experimento 4: Indústria Alimentícia

DATA	23/09/20	Nr. do TESTE	4	DURACAO	10 min
PRODUTO/AMOSTRA	Cloro de Benzalconio	ORGANISMO	Lodo Ativado		
DADOS DO TESTE					
CONCENTRACAO(mg/L)	4.95	19.80	49.50	79.20	158.00 317.00 634.00 1267.00
NUM DE ORGANISMOS EXPOSTOS	449	449	449	449	449
ORGANISMOS MORTOS	139	0	183	139	48 218 389
AJUSTE SPERMAN-KARBER		15.48			
SPEARMAN-KARBER ESTIMATES		eC50	226.1232910		
LIMITE INFERIOR-95% CONFIANCA				207.01	
LIMITE SUPERIOR-95% CONFIANCA				247.00	
OBSERVAR QUE A PROPORCAO DE MORTES NAO TEVE AUMENTO MONOTONICO					
AJUSTES FORAM FEITOS ANTERIORES A ESTIMATIVA SPERMAN-KABER.					

Tabela E.5 – 27/08/2015 – Experimento 5: Indústria Farmacêutica

DATA	27/08/20	Nr. do TESTE	5	DURACAO	10 min
PRODUTO/AMOSTRA	Cloro de Benzalconio	ORGANISMO	Lodo Ativado		
DADOS DO TESTE					
CONCENTRACAO(mg/L)	4.95	19.80	49.50	79.20	158.00 317.00 634.00 1267.00
NUM DE ORGANISMOS EXPOSTOS	301	301	301	301	301
ORGANISMOS MORTOS	0	2	101	113	106 105 159
AJUSTE SPERMAN-KARBER		14.62			
SPEARMAN-KARBER ESTIMATES		eC50	298.6446838		
LIMITE INFERIOR-95% CONFIANCA				265.63	
LIMITE SUPERIOR-95% CONFIANCA				335.76	
OBSERVAR QUE A PROPORCAO DE MORTES NAO TEVE AUMENTO MONOTONICO					
AJUSTES FORAM FEITOS ANTERIORES A ESTIMATIVA SPERMAN-KABER.					

Tabela E.6 – 11/09/2015 – Experimento 6: Indústria Farmacêutica

DATA	11/09/20	Nr. do TESTE	6	DURACAO	10 min
PRODUTO/AMOSTRA	Cloro de Benzalconio	ORGANISMO	Lodo Ativado		
DADOS DO TESTE					
CONCENTRACAO(mg/L)	4.95	19.80	49.50	79.20	158.00 317.00 634.00 1267.00
NUM DE ORGANISMOS EXPOSTOS	231	231	231	231	231
ORGANISMOS MORTOS	21	73	57	67	104 85 135
AJUSTE SPERMAN-KARBER		43.07			
SPEARMAN-KARBER ESTIMATES		eC50	469.8013306		
LIMITE INFERIOR-95% CONFIANCA				364.02	
LIMITE SUPERIOR-95% CONFIANCA				606.33	
OBSERVAR QUE A PROPORCAO DE MORTES NAO TEVE AUMENTO MONOTONICO					
AJUSTES FORAM FEITOS ANTERIORES A ESTIMATIVA SPERMAN-KABER.					

Tabela E.7 – 24/09/2015 – Experimento 7: Indústria Farmacêutica

DATA	24/09/20	Nr. do TESTE	7	DURACAO	10 min
PRODUTO/AMOSTRA	Cloreto de Benzalconio	ORGANISMO	Lodo Ativado		
DADOS DO TESTE					
CONCENTRACAO(mg/L)	4.95	19.80	49.50	79.20	158.00 317.00 634.00 1267.00
NUM DE ORGANISMOS EXPOSTOS	303	303	303	303	303
ORGANISMOS MORTOS	5	67	30	45	0 89 213
AJUSTE SPERMAN-KARBER		11.22			
SPEARMAN-KARBER ESTIMATES		eC50	442.4221802		
LIMITE INFERIOR-95% CONFIANCA				404.05	
LIMITE SUPERIOR-95% CONFIANCA				484.44	
OBSERVAR QUE A PROPORCAO DE MORTES NAO TEVE AUMENTO MONOTONICO					
AJUSTES FORAM FEITOS ANTERIORES A ESTIMATIVA SPERMAN-KABER.					

Tabela E.8 – 16/10/2015 – Experimento 8: Indústria Farmacêutica

DATA	16/10/20	Nr. do TESTE	8	DURACAO	10 min
PRODUTO/AMOSTRA	Cloreto de Benzalconio	ORGANISMO	Lodo Ativado		
DADOS DO TESTE					
CONCENTRACAO(mg/L)	4.95	19.80	49.50	79.20	158.00 317.00 634.00 1267.00
NUM DE ORGANISMOS EXPOSTOS	317	317	317	317	317
ORGANISMOS MORTOS	20	28	64	85	109 147 200
AJUSTE SPERMAN-KARBER		29.97			
SPEARMAN-KARBER ESTIMATES		eC50	357.9669800		
LIMITE INFERIOR-95% CONFIANCA				303.24	
LIMITE SUPERIOR-95% CONFIANCA				422.57	

Tabela E.9 – 28/10/2015 – Experimento 9: Efluente Sintético

DATA	28/10/20	Nr. do TESTE	9	DURACAO	10 min
PRODUTO/AMOSTRA	Cloreto de Benzalconio	ORGANISMO	Lodo Ativado		
DADOS DO TESTE					
CONCENTRACAO(mg/L)	4.95	19.80	49.50	79.20	158.00 317.00 634.00 1267.00
NUM DE ORGANISMOS EXPOSTOS	1005	1005	1005	1005	1005
ORGANISMOS MORTOS	29	580	809	892	893 947 945
AJUSTE SPERMAN-KARBER		4.78			
SPEARMAN-KARBER ESTIMATES		eC50	20.1656151		
LIMITE INFERIOR-95% CONFIANCA				19.15	
LIMITE SUPERIOR-95% CONFIANCA				21.24	
OBSERVAR QUE A PROPORCAO DE MORTES NAO TEVE AUMENTO MONOTONICO					
AJUSTES FORAM FEITOS ANTERIORES A ESTIMATIVA SPERMAN-KABER.					

