



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Mariane Rodrigues dos Santos

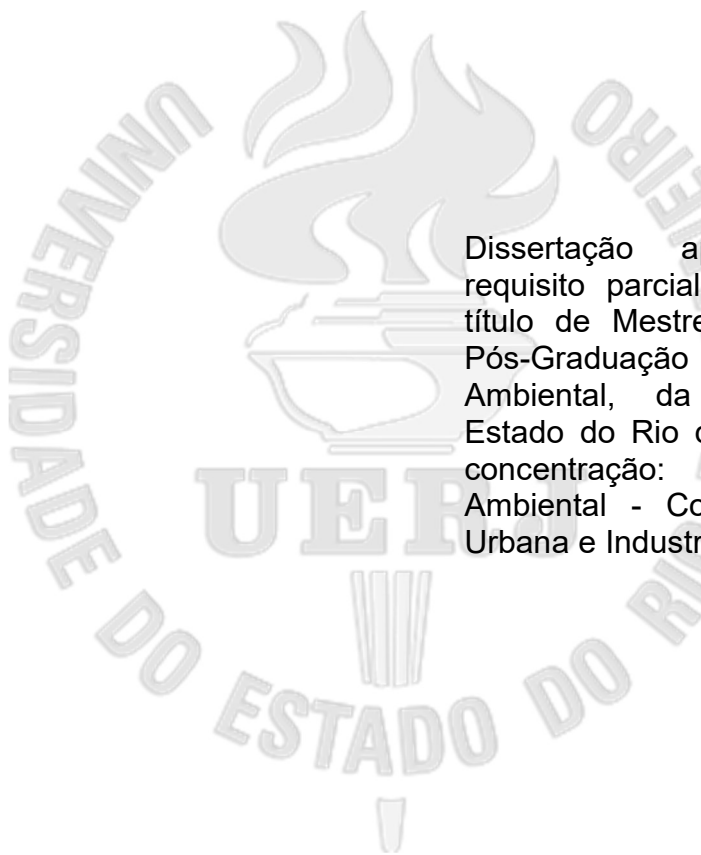
**Avaliação da Toxicidade de Surfactantes ao Lodo Ativado de
Indústrias de Alimentos, Utilizando o Método Respirométrico**

Rio de Janeiro

2016

Mariane Rodrigues dos Santos

Avaliação da toxicidade de surfactantes ao lodo ativado de indústrias de alimentos, utilizando o método respirométrico



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.^a Dr.^a Daniele Maia Bila

Rio de Janeiro

2016

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

S237 Santos, Mariane Rodrigues dos.

Avaliação da toxicidade de surfactantes ao lodo ativado de indústrias de alimentos, utilizando o método respirométrico / Mariane Rodrigues dos Santos. – 2016.
149f.

Orientador: Gandhi Giordano.

Coorientador: Daniele Maia Bila.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

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

CDU 628.51

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

Assinatura

Data

Mariane Rodrigues dos Santos

Avaliação da toxicidade de surfactantes ao lodo ativado de indústrias de alimentos, utilizando o método respirométrico

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.

Aprovada em 13 de abril de 2016.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gandhi Giordano (Orientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof^a. Dr^a. Daniele Maia Bila (Coorientadora)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof^a. Dr^a. Ana Silvia Pereira Santos
Faculdade de Engenharia - UERJ

Dr^a. Sarah Dario Alves Daflon
LABTOX - UFRJ

Rio de Janeiro
2016

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Telma e Edson e ao meu irmão, Edson Júnior.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por cuidar de mim.

À minha mãe, por tanta dedicação e por tanto amor.

Ao meu pai, por me educar e preparar para o mundo.

Ao meu irmão, por toda ajuda e companheirismo.

Ao meu noivo, por acreditar em mim e me motivar sempre.

As minhas irmãs, por me proporcionarem meu berço familiar com o qual sempre posso contar.

Ao meu orientador, Gandhi, pela oportunidade, pelos ensinamentos e por abrir as portas da Tecma para contribuir para a produção do conhecimento acadêmico.

A minha coorientadora, Daniele, por todo carinho, atenção e compreensão. Por ser mais que uma orientadora, mas também uma amiga. Por me aceitar como orientanda e providenciar a compra dos recursos necessários para realização deste estudo.

Ao professor Geraldo, pelo zelo e pelas diversas vezes que dedicou seu tempo para esclarecer as minhas dúvidas.

Ao João Paulo, por toda assistência desde o início do estudo buscando sempre atender a todas as demandas que surgiam.

Ao Leandro operador da ETEI, por disponibilizar seu espaço de trabalho e compartilhar seu conhecimento sobre o funcionamento da estação.

Ao Olegário, por toda gentileza e presteza em esclarecer minhas dúvidas de química.

A toda equipe de profissionais da TECMA que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao Sidney por toda paciência para me ensinar métodos de análise e cálculos.

A Louise, pela colaboração com os ensaios de toxicidade aguda.

A Amanda, que vivenciou comigo dia após dia da fase experimental deste estudo, compartilhando as ansiedades e me ajudando sempre.

A Ana Silvia e a Sarah Dario por aceitarem fazer parte da banca de mestrado, pelas críticas e contribuições.

Aos meus alunos por despertarem em mim a cada aula a vontade de ser uma profissional sempre melhor.

A todos os amigos que compreenderam minha ausência durante este período,
que torcem por mim e vibram com cada passo dado.

Muito obrigada!

A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em
procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos.

Marcel Proust

RESUMO

SANTOS, Mariane Rodrigues. *Avaliação da toxicidade de surfactantes ao lodo ativado de indústrias de alimentos, utilizando o método respirométrico*. 2016. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

O tratamento de efluentes industriais por lodos ativados é amplamente empregado em todo o mundo devido a sua alta eficiência e tecnologia acessível. Entretanto, em determinadas indústrias, como na alimentícia, que necessita atender padrões rígidos de higienização, o efluente gerado é composto por muitos produtos químicos de limpeza, como os surfactantes. A presença de surfactantes potencialmente tóxicos pode comprometer o metabolismo bacteriano necessário para a estabilização da matéria orgânica e, assim, diminuir a eficiência do tratamento biológico. Para compreender melhor este impacto causado no processo de lodos ativados, o presente estudo se propôs a avaliar a influência de elevadas concentrações de surfactantes na atividade biológica do lodo ativado utilizando o método respirométrico, que consiste na medição da taxa de consumo de oxigênio específica (TCOe) pela biomassa microbiana. Os surfactantes investigados neste estudo foram o lauril éter sulfato de (LESS) e o alquilbenzeno sulfonato linear (LAS). O lauril éter sulfato de sódio foi aplicado em lodo ativado de uma indústria alimentícia e em lodo ativado aclimatado com efluente sintético em um reator de bancada, enquanto o alquilbenzeno sulfonato linear, somente em lodo ativado da indústria alimentícia. Os resultados de respirometria mostraram que o lauril éter sulfato de sódio não apresentou toxicidade, enquanto o alquilbenzeno sulfonato linear apresentou toxicidade aos microrganismos do lodo ativado. No teste de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri*, o alquilbenzeno sulfonato linear apresentou maior toxicidade do que o lauril éter sulfato de sódio. Os resultados sugerem que os testes de respirometria são aplicáveis e eficientes para detectar o efeito de surfactantes no processo de lodos ativados.

Palavras-chave: Indústria alimentícia; Respirometria; Toxicidade; Microtox; Lauril éter sulfato de sódio; Alquilbenzeno sulfonato linear.

ABSTRACT

SANTOS, Mariane Rodrigues. *Evaluation of the toxicity of surfactants to the activated sludge of the food industries, using the respirometric method*. 2016. 149f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Treatment of industrial wastewater by activated sludge is widely used throughout the world due its high efficiency and affordable technology. However, in certain industries such as food, which needs to meet strict hygiene standards, the effluent is composed of many chemical cleaners such as surfactants. The presence of potentially toxic surfactants can compromise bacterial metabolism necessary for the stabilization of organic matter and thus decrease the efficiency of the biological treatment. To better understand this impact on the activated sludge process, the present study aimed to evaluate the influence of high surfactant concentrations in biological activity of activated sludge using respirometric method, which consists in measuring the specific oxygen consumption rate (TCO_e) by microbial biomass. The surfactants investigated in this study were lauryl ether sodium sulfate and linear alkylbenzene sulfonate. Lauryl ether sodium sulfate was applied to an activated sludge of a food industry and to an activated sludge acclimated with synthetic effluent in a bench reactor. While the linear alkyl benzene sulfonate was applied only in activated sludge from the food industry. The results of respirometry show that lauryl ether sodium sulfate caused no toxic effect on the microorganisms in the activated sludge. While the linear alkyl benzene sulfonate showed remarkable toxic effect to the microorganisms of the activated sludge. In acute toxicity tests using Microtox, the linear alkylbenzene sulfonate also showed a higher toxic effect to a *Aliivibrio fischeri* bacteria than lauryl ether sodium sulfate. The results even suggest that respirometry tests are applicable and efficient on detecting effects of surfactants on the activated sludge process.

Keywords: Food Industry; Respirometry; Acute toxicity; Microtox; *Aliivibrio fischeri*; Sodium lauryl ether sulfate; Linear alkyl benzene sulfonate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Representação esquemática do princípio de funcionamento do sistema de lodos ativados.....	29
Figura 1.2 Representação esquemática de um floco de lodo ativado.....	31
Figura 1.3 Gráfico de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Tempo(minutos).....	36
Figura 1.4 Representação esquemática dos equipamentos utilizados no método respirométrico simplificado.....	40
Figura 1.5 Bactéria <i>Allivibrio fischeri</i> em vida livre.....	43
Figura 1.6 Tubo de ensaio contendo bactéria luminescente <i>Allivibrio fischeri</i>	43
Figura 1.7 Estrutura química do Alquilbenzeno sulfonato linear.....	47
Figura 1.8 Estrutura química do Lauril éter sulfato de sódio.....	48
Figura 2.1 Fluxograma detalhado da ETEI.....	51
Figura 2.2 Foto do lodo ativado da ETEI em um béquer com o lodo em suspensos na amostra (à esquerda) e com lodo sedimentado (à direita).	53
Figura 2.3 Foto do reator de bancada.....	55
Figura 2.4 Fluxograma do procedimento experimental dos testes de respirometria.....	58
Figura 2.5 Representação dos materiais e equipamentos utilizados nos testes de respirometria.....	59
Figura 2.6 Foto dos materiais e equipamentos utilizados durante os testes de respirometria.....	60
Figura 2.7 Microscópio óptico utilizado para a observação qualitativa do lodo.....	63
Figura 2.8 Câmera acoplada ao microscópio (à esquerda) Câmera digital Sony Cyber-shot (DSC-W350) e suporte de apoio (à direita).....	64
Figura 2.9 Equipamento Microtox®.....	66
Figura 2.10 Aparência visual do LESS.....	68
Figura 2.11 Aparência visual do LAS.....	69
Figura 3.1 Eficiência média de redução dos valores de DQO ao longo das etapas de tratamento da ETEI, durante o período de outubro a dezembro.....	73
Figura 3.2 Relação TCOe (mg.L ⁻¹ .h ⁻¹) x LESS (mg.L ⁻¹). Experimento 1, realizado com lodo ativado do reator de bancada. Cada ponto representa a média da	

triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.1.....	77
Figura 3.3 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 2, realizado com lodo ativado do reator de bancada. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.2.....	79
Figura 3.4 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 3, realizado com lodo ativado do reator de bancada. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.3.....	81
Figura 3.5 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 1,2 e 3 realizado com lodo ativado do reator de bancada. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata.....	82
Figura 3.6 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Média entre os experimentos 1, 2 e 3 realizado com lodo ativado do reator de bancada. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata.....	83
Figura 3.7 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 4, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.4.	85
Figura 3.8 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 5, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.5.	86
Figura 3.9 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 6, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.6.	88
Figura 3.10 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 4, 5 e 6 realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a	

média da triplicata de cada concentração.....	89
Figura 3.11 Relação TCOe (mg.L ⁻¹ .h ⁻¹) x LESS (mg.L ⁻¹). Média entre os experimento 4, 5 e 6, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata.....	90
Figura 3.12 Relação TCOe (mg.L ⁻¹ .h ⁻¹) x LESS (mg.L ⁻¹). Média entre experimento 1, 2 e 3, realizados com lodo ativado do reator de bancada. Média entre experimento 4,5 e 6, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração.....	91
Figura 3.13 Relação TCOe (mg.L ⁻¹ .h ⁻¹) x LAS (mg.L ⁻¹). Experimento 7, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.7.....	93
Figura 3.14 Relação TCOe (mg.L ⁻¹ .h ⁻¹) x LAS (mg.L ⁻¹). Experimento 8, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.8.....	94
Figura 3.15 Relação TCOe (mg.L ⁻¹ .h ⁻¹) x LAS (mg.L ⁻¹). Experimento 9, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.9.....	95
Figura 3.16 Relação TCOe (mg.L ⁻¹ .h ⁻¹) x LAS (mg.L ⁻¹). Experimento 7,8 e 9, realizado com lodo ativado do reator da ETEI.....	96
Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração.....	97
Figura 3.17 Relação TCOe (mg.L ⁻¹ .h ⁻¹) x LAS (mg.L ⁻¹). Média entre os experimentos 7,8 e 9, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto	

representa a média da triplicata de cada concentração.....	98
Figura 3.18 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS e LAS. Experimento 4, 5 e 6, realizado com lodo ativado do reator de bancada e LAS (mg.L^{-1}). Experimento 7,8 e 9, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração.....	100
Figura 3.19 Valores médios de TCO e TCOe dos testes de respirometria sem a presença dos surfactantes na amostra de lodo ativado.....	104
Figura 3.20 Fotomicrografias <i>in vivo</i> da biota encontrada no lodo ativado do tanque de aeração da ETEI. Aumento 40x.....	105
Figura 3.21 Fotomicrografias <i>in vivo</i> de tecamebas (amebas com carapaça) e micrometazoários encontrados no lodo ativado do tanque de aeração. Aumento 40x.....	124
Figura B.1 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 1.....	125
Figura B.2 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 2.....	125
Figura B.3 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 3.....	126
Figura B.4 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 4.....	127
Figura B.5 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 5.....	128
Figura B.6 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 6.....	129
Figura B.7 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 7.....	130
Figura B.8 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 8.....	131
Figura B.9 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 9.....	132
Figura C.1 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) x Tempo(minutos) do experimento 1, realizado com o lodo ativado do reator de bancada	

	submetido ao LESS. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.....	133
Figura C.2	- Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) x Tempo(minutos) do experimento 2, realizado com o lodo ativado do reator de bancada submetido ao LESS. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.....	134
Figura C.3	- Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) x Tempo(minutos) do experimento 3, realizado com o lodo ativado do reator de bancada submetido ao LESS. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.....	135
Figura C.4	- Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) x Tempo(minutos) do experimento 4, realizado com o lodo ativado do reator da ETEI submetido ao LESS. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.....	136
Figura C.5	- Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) x Tempo(minutos) do experimento 5, realizado com o lodo ativado do reator da ETEI submetido ao LESS. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.....	137
Figura C.6	- Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) x Tempo(minutos) do experimento 6, realizado com o lodo ativado do reator da ETEI submetido ao LESS. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.....	138
Figura C.7	- Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) x Tempo(minutos) do experimento 7, realizado com o lodo ativado do reator da ETEI submetido ao LAS. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.....	139

Figura C.8 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) x Tempo(minutos) do experimento 8, realizado com o lodo ativado do reator da ETEI submetido ao LAS. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.....	140
Figura C.9 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg.L^{-1}) x Tempo(minutos) do experimento 9, realizado com o lodo ativado do reator da ETEI submetido ao LAS. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.....	141
Figura D.1 - Gráficos de Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) x LESS (mg.L^{-1}) dos experimentos 1, 2 e 3 e da média entre os experimento 1, 2 e 3.....	142
Figura D.2 - Gráficos de Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) x LESS (mg.L^{-1}) dos experimentos 4, 5 e 6 e da média entre os experimento 4, 5 e 6.....	143
Figura D.3 - Gráficos de Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) x LESS (mg.L^{-1}) dos experimentos 7, 8 e 9 e da média entre os experimento 7,8 e 9.....	144
Figura E.1 Resultado da análise de normalidade pelo método de Qui-quadrado, dados do Experimento 7.....	145
Figura E.2 Resultado da análise de homogeneidade pelo método de Bartlett, dados do Experimento 7.....	145
Figura E.3 Resultado da análise de variância (ANOVA) pelo método paramétrico de Dunnett, dados do Experimento 7.....	145
Figura E.4 Resultado da análise de normalidade pelo método de Qui-quadrado, dados do Experimento 8.....	146
Figura E.5 Resultado da análise de homogeneidade pelo método de Bartlett, dados do Experimento 8.....	146
Figura E.6 Resultado da análise de variância (ANOVA) pelo método paramétrico de Dunnett, dados do Experimento 8.....	146
Figura E.7 Resultado da análise de normalidade pelo método de Qui-quadrado, dados do Experimento 9.....	147

Figura E.8 Resultado da análise de homogeneidade pelo método de Bartlett, dados do Experimento 9.....	147
Figura E.9 Resultado da análise de variância (ANOVA) pelo método paramétrico de Dunnett, dados do Experimento 9.....	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 Parâmetros de projeto e operação de processos de lodos ativados.....	30
Tabela 1.2 Massa molar dos isômeros internos e externos de LAS.....	47
Tabela 2.1 Nomenclatura dos experimentos de respirometria.....	49
Tabela 2.2 Etapas do tratamento da ETEI.....	50
Tabela 2.3 Parâmetros físico-químicos analisados por etapa de tratamento.....	52
Tabela 2.4 Parâmetros físico-químicos e suas respectivas metodologias descritas em APHA (2012).....	53
Tabela 2.5 Período de operação dos reatores de bancada.....	55
Tabela 2.6 Composição química do efluente sintético utilizado na operação do reator em batelada.....	56
Tabela 2.7 Equipamentos utilizado durante a fase experimental do estudo.....	66
Tabela 2.8 Especificações do LESS.....	68
Tabela 2.9 Especificações do LAS.....	69
Tabela 2.10 Concentrações investigadas de cada surfactante nos testes de respirometria.....	70
Tabela 3.1 Valores mínimos, máximos, média de cada SSV, SST, SSV/SST, DQO, relação A/M, eficiência de redução de DQO, temperatura e pH do tanque de aeração da ETEI.....	72
Tabela 3.2 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do reator de bancada.....	75
Tabela 3.3 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.....	76
Tabela 3.4 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do reator de bancada operado no experimento 1.....	76
Tabela 3.5 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.....	78
Tabela 3.6 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO reator de bancada operado no experimento 2.....	78
Tabela 3.7 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.....	80

Tabela 3.8 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO reator de bancada operado no experimento 3.....	80
Tabela 3.9 Resultado da concentração de detergente na amostra do lodo ativado ao final dos testes respirométricos.....	83
Tabela 3.10 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.....	84
Tabela 3.11 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.....	86
Tabela 3.12 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.....	87
Tabela 3.13 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.....	92
Tabela 3.14 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.....	93
Tabela 3.15 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.....	95
Tabela 3.16 Valor de CE50 (30 minutos) dos testes de toxicidade do LESS e do LAS (mg.L ⁻¹) com bactéria <i>Aliivibrio fischeri</i>	101
Tabela A.1 - Resultado dos parâmetros físico-químicos monitorados nos dias de coleta do lodo usado para partida do reator de bancada.....	121
Tabela A.2 - Resultado dos parâmetros físico-químicos monitorados nos dias de realização dos testes 4,5 e 6.....	122
Tabela A.3 - Resultado dos parâmetros físico-químicos monitorados nos dias de realização dos testes 7, 8 e 9.....	123

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.1 Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO)

Equação 1.2 Taxa de Consumo de Oxigênio específica (TCOe)

Equação 2.1 Vazão média de alimentação do reator de bancada

Equação 2.2 Vazão média de alimentação do reator teste

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/M Relação alimento / microrganismos
ABIA Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação
ABS Alquilbenzeno sulfonato não linear
APHA American Public Health Association
CAS Chemical Abstracts Service
CCL Certificado de Credenciamento de Laboratório
CE(I)50 Concentração efetiva mediana
CEMA Conselho Estadual do Meio Ambiente
CENO Concentração de Efeito Não Observado
CEO Concentração de Efeito Observado
CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CETREL Empresa de Proteção Ambiental S/A
CL(I)50 Concentração letal mediana
COD Carbono Orgânico Dissolvido
COT Carbono Orgânico Total
DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO Demanda Química de Oxigênio
ETE Estação de Tratamento de Esgoto
ETEI Estação de Tratamento de Efluente Industrial
FAB Fabricação
FT Fator de Toxicidade
INEA Instituto Estadual do Ambiente
INMETRO Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPMCA Parâmetros Mínimos para a Preservação da Vida Aquática
ISO International Organization for Standardization
IVL Índice Volumétrico do Lodo
LAB Alquilbenzeno Linear
LAS Alquilbenzeno Sulfonato Linear
LES Laboratório de Engenharia Sanitária
LESS Lauril Éter Sulfato de Sódio

LTDA Limitada

MBA Substância ativa para azul de metileno

O₂ Oxigênio

OD Oxigênio Dissolvido

OG Óleos e Graxas

pH Potencial hidrogeniônico

Q Vazão

SSF Sólidos Suspensos Fixos

SST Sólidos Suspensos Totais

SSV Sólidos Suspensos Voláteis

TCO Taxa de Consumo de Oxigênio

TCOe Taxa de Consumo de Oxigênio Específica

TDH Tempo de Detenção Hidráulica

TECMA Empresa Tecnologia em Meio Ambiente

UASB Upflow Anaerobic Sludge Blanket

UERJ Universidade do Estado do Rio de Janeiro

VRM Volume útil do Reator de Manutenção

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	23
Objetivo geral	24
Objetivos específicos	24
1 REFERENCIAL TEÓRICO	26
1.1 Indústria alimentícia	26
1.2 Processo de lodos ativados	28
1.2.1 Microbiologia de lodos ativados	30
1.2.2 Fatores ambientais que influenciam o desempenho do processo de lodos ativados	34
1.3 Testes de Respirometria	34
1.3.1 Respirômetros	38
1.4 Ensaio de toxicidade aguda com <i>Aliivibrio fischeri</i> utilizando Microtox®	42
1.5 Surfactantes	45
1.5.1 Alquilbenzeno sulfonato linear	46
1.5.2 Lauril éter sulfato de sódio	48
2 METODOLOGIA	49
2.1 Introdução	49
2.2 Caracterização da ETEI objeto do estudo	50
2.3 Plano de amostragem	51
2.4 Experimentos realizados na ETEI	53
2.5 Experimentos realizados em laboratório	54
2.6 Procedimento experimental dos testes de respirometria	57
2.7 Observação microscópica qualitativa do lodo biológico	62
2.8 Ensaio de toxicidade aguda com o organismo-teste <i>Aliivibrio fischeri</i>	64
2.9 Relação dos equipamentos e materiais utilizados na fase experimental	66
2.10 Surfactantes investigados	67
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
3.1 Caracterização físico-química	71
3.2 Experimentos de respirometria	74

3.2.1	Experimentos com o Lauril éter sulfato de sódio (LESS) - Reator de bancada.....	74
3.2.1.1	Experimento 1.....	75
3.2.1.2	Experimento 2.....	77
3.2.1.3	Experimento 3.....	79
3.2.2	Experimentos com o Lauril éter sulfato de sódio (LESS) - Reator da ETEI.....	84
3.2.2.1	Experimento 4.....	84
3.2.2.2	Experimento 5.....	85
3.2.2.3	Experimento 6.....	87
3.2.3	Experimentos com o Alquilbenzeno sulfonato linear (LAS) - Reator da ETEI.....	91
3.2.3.1	Experimento 7.....	92
3.2.3.2	Experimento 8.....	93
3.2.3.3	Experimento 9.....	94
3.5	Ensaio de toxicidade aguda com o organismo-teste <i>Aliivibrio fischeri</i>	101
3.6	Observação microscópica qualitativa do lodo biológico.....	103
	CONCLUSÕES	107
	RECOMENDAÇÕES	109
	REFERÊNCIAS	110
	APÊNDICE A - Monitoramento de parâmetros físico-químicos.....	121
	APÊNDICE B - Planilhas de registro (Respirometria).....	124
	APÊNDICE C - Gráficos de OD x Tempo (Respirometria).....	133
	APÊNDICE D - Gráficos de TCO (Respirometria).....	142
	APÊNDICE E - Análise estatística (Respirometria).....	145

INTRODUÇÃO

Com a expansão industrial das últimas décadas, aumentaram também os impactos ambientais causados a natureza, como, a geração de efluentes líquidos. Os principais problemas causados pelo lançamento de efluentes sem tratamento nos corpos hídricos é a presença de poluentes, como a matéria orgânica e os nutrientes que em excesso causam a depleção de oxigênio, a eutrofização e o desequilíbrio do ambiente aquático (BRUM; SANTOS JÚNIOR; BENEDETTIC, 2009).

Como forma de minimizar este impacto ao meio ambiente os órgãos competentes estabelecem legislações ambientais que exigem um tratamento adequado do efluente antes de seu lançamento no corpo receptor. Por conseguinte, tem-se um grande interesse daqueles envolvidos no tema em alcançar um tratamento efetivo e economicamente viável do efluente gerado. Dessa forma, diversas tecnologias de tratamento vêm sendo desenvolvidas buscando aprofundar o conhecimento sobre os processos de tratamento de efluentes industriais (SPERLING, 2002).

Dentre os processos de tratamento mais comumente utilizados, destaca-se o tratamento por lodos ativados, um processo biológico no qual o esgoto ou sanitário ou efluente industrial é misturado com microrganismos, em condição aeróbia, que biodegradam a matéria orgânica (GIORDANO & SURERUS, 2015).

O setor alimentício representa uma importante parcela das indústrias do Brasil (ABIA, 2014). Por produzir alimentos, este tipo de indústria necessita atender rígidos padrões de higienização e para isso muitos produtos químicos são utilizados nos processos de limpeza das instalações, como detergentes e desinfetantes. Os surfactantes lauril éter sulfato de sódio (LESS) e o alquilbenzeno sulfonato linear (LAS) estão entre as principais substâncias utilizadas nas formulações de detergentes comerciais.

Os surfactantes exercem um importante papel nos produtos de limpeza, entretanto, por serem tóxicos ou de difícil assimilação, a sua presença em efluentes industriais pode reduzir a capacidade metabólica das comunidades microbianas prejudicando a qualidade do efluente final. Nesse contexto, torna-se relevante estudar a influência de surfactante no processo de lodos ativados.

A respirometria é uma técnica que fornece a taxa de consumo de oxigênio pelos microrganismos presentes da amostra (SILVA FILHO *et al.*, 2015). Por

consequente, esta técnica vem sendo aplicada para o conhecimento da respiração dos microrganismos do lodo ativado, na detecção de compostos tóxicos e na avaliação do desempenho de sistemas de lodos ativados.

Ademais das vantagens práticas como facilidade, rapidez e baixo custo, a respirometria é uma alternativa complementar as análises convencionais por viabilizar medições em tempo real e *in loco* das condições reais em que se encontra o lodo ativado. Devido as suas vantagens, a respirometria é uma ferramenta útil na gestão de estações de tratamento de efluentes, permitindo identificar o potencial tóxico de um composto, antes que o mesmo seja lançado na ETEI e provoque distúrbios no tratamento por lodos ativados e consequentemente ao corpo hídrico receptor.

Objetivo geral

Avaliar a toxicidade dos surfactantes lauril éter sulfato de sódio e o alquilbenzeno sulfonato linear ao lodo ativado de indústrias de alimentos e ao lodo ativado aclimatado com efluente sintético em um reator de bancada utilizando o método respirométrico.

Objetivos específicos

- Avaliar a aplicabilidade do teste de respirometria na investigação da influência de elevadas concentrações de surfactantes na respiração dos microrganismos do lodo ativado;
- Investigar a influência da variação da concentração de surfactantes na respiração dos microrganismos do lodo ativado;
- Comparar o efeito de cada surfactante na respiração dos microrganismos do lodo ativado;
- Comparar a taxa de consumo de oxigênio do lodo ativado do reator de uma ETEI com um lodo ativado aclimatado com efluente sintético em reator de bancada;
- Analisar a toxicidade aguda de cada surfactante a bactéria *Aliivibrio fischeri* utilizando o Microtox®.

- Relacionar os resultados dos testes respirométricos com os resultados dos testes de toxicidade com a bactéria *Aliivibrio fischeri*;
- Contribuir para uma melhor compreensão de estações de tratamento de efluentes industriais que recebem efluente com surfactantes;

No capítulo 1, é apresentado o referencial teórico, que embasou o desenvolvimento deste estudo, com explicações sobre indústria alimentícia, processo de lodos ativados, respirometria, teste de toxicidade aguda com a bactéria *Aliivibrio fischeri* e surfactantes.

No capítulo 2, é descrita a metodologia adotada para o desenvolvimento do presente estudo, sendo descritas as atividades e os procedimentos laboratoriais realizados durante a fase experimental, tais como: coleta e transporte do lodo ativado da ETEI, plano de amostragem, implantação e partida do reator de bancada, testes de respirometria, testes de toxicidade aguda utilizando o Microtox®, observação microscópica qualitativa do lodo ativado, e por fim os equipamentos e materiais utilizados.

No capítulo 3, são apresentados e discutidos os resultados dos testes de respirometria, dos ensaios de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri* e da observação microscópica qualitativa do lodo biológico.

Por fim, são apresentadas as conclusões referentes aos resultados encontrados no decorrer e ao final do estudo, como também as recomendações para futuros trabalhos a fim de contribuir para o maior conhecimento do processo de lodos ativados.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Indústria alimentícia

A indústria alimentícia nacional é um importante segmento da atividade econômica do país. O setor conta com cerca de 40 mil estabelecimentos, distribuídos por todo o país sendo responsável por cerca de 1.660.000 postos de trabalho. A produção é realizada por vários sub-setores interdependentes: laticínios, óleos e gorduras, derivados de carne, do trigo, de frutas e vegetais, chocolates, entre outros, que produzem mais de 850 tipos de produtos diferentes. No ano de 2014 o setor cresceu cerca de 9,27% em relação ao ano anterior e faturou R\$ 428,5 bilhões em venda de alimentos (ABIA, 2014),

As indústrias que fabricam chocolates, sorvetes, sopas instantâneas podem ser consideradas derivadas da indústria de laticínios por conter lactose na composição de seus produtos. A quantidade e a carga poluente das águas residuárias das indústrias variam bastante, dependendo da água utilizada, do produto fabricado, do tipo de processo de fabricação e do controle exercido sobre as várias descargas de resíduos (NIRENBERG & FERREIRA *et al.*, 2005). Contudo, de um modo geral, o efluente gerado no processo de fabricação de derivados lácteos é constituído principalmente por quantidades variáveis de hidratos de carbono (lactose), proteínas e gordura (substâncias graxas) (ADULKAR & RATHOD, 2014). O valor característico da DQO para efluente industrial de laticínio encontrado por Brião (2000) é de aproximadamente de 2000 mgO₂.L⁻¹.

Além do alto potencial poluidor do efluente gerado no processo de fabricação, as indústrias de alimentos têm se caracterizado pelo consumo excessivo de água. Este consumo chega a representar mais de 80% da água utilizada nas etapas de processamento das indústrias (BRUM; SANTOS JÚNIOR; BENEDETTIC, 2009).

O efluente alimentício inclui ainda, a água e os produtos utilizados na lavagem e manutenção das instalações, como detergentes e desinfetantes, além do esgoto sanitário dos funcionários da indústria. Assim, o efluente caracteriza-se por moléculas orgânicas de difícil decomposição, elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), óleos, graxas e sólidos suspensos (NAIME & GARCIA, 2005; PARENTE & SILVA, 2002).

Se lançado sem tratamento estes efluentes líquidos são capazes de alterar as características físico-químicas e biológicas dos cursos d'água causando a depleção do oxigênio dissolvido e modificações da biota local (ANDRADE; SOUZA; COUTO, 1998).

Poluentes inorgânicos, sobretudo, nitrogênio e fósforo, também são gerados em grande quantidade em processadoras de derivados de laticínios, pois o leite possui cerca de 3% de proteínas e 1.000 mg.L⁻¹ de fósforo. Esses nutrientes, em excesso, causam a eutrofização dos rios (BRUM; SANTOS JÚNIOR; BENEDETTIC, 2009). Quando o efluente apresenta forte coloração atua ainda de modo a diminuir a capacidade de penetração da radiação ultravioleta no corpo receptor (MARMITT; PIROTTA; STÜLP, 2010).

Da Motta (1993) estudou as fontes de poluição hídrica em 13 estados do Brasil (SP, RJ, MG, ES, RS, SC, PR, GO, BA, PE, CE, MA, PA), e encontrou que 40% das emissões de carga orgânica correspondem a esgoto doméstico e 60% são de fonte industrial, desses, o setor alimentício está entre os principais poluidores.

A introdução de compostos poluentes na água potencializa a necessidade do tratamento prévio de seus efluentes antes do lançamento para disposição final nos cursos d'água (NIRENBERG & FERREIRA, 2005). A resolução CONAMA nº 430 (Brasil, 2011) determina que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências aplicáveis pelo órgão ambiental competente. Dessa forma, visando atender a legislação e a proteção dos corpos hídricos, existe um esforço para o desenvolvimento de tecnologias eficientes e que possam ser aplicadas em grande escala nas estações de tratamento para tratar os efluentes gerados pelas indústrias (NAIME & GARCIA, 2005).

As Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) são grandes sistemas não lineares sujeitos a perturbações significativas de fluxo e de carga em conjunto com a variação da composição do efluente de entrada (HOLENDA *et al.*, 2008). Dentre as diversas formas de tratamento, o tratamento biológico aeróbio é o mais utilizado para tratar efluentes com elevada carga orgânica biodegradável, principalmente o tratamento por lodos ativados (BODZEK *et al.*, 1996).

O sistema de lodos ativados está baseado no uso de biomassa microbiana altamente complexa, em que as bactérias através de seu metabolismo

desempenham um papel importante na remoção de poluentes orgânicos (YADAV; KHARDENAVIS; KAPLEY, 2014).

Katayon *et al.* (2004) para tratar efluente de indústria alimentícia utilizaram o processo de lodos ativados em conjunto com microfiltração com membrana de fibra oca e alcançou 99,2% de tratamento em termos de remoção de sólidos suspensos e 99,73% de remoção de turbidez em baixas concentrações de sólidos suspensos voláteis no lodo ativado.

Peralta *et al.* (2015) estudaram melhorias no tratamento de efluente de uma indústria de doces perante a variação de concentração do floculante Metil Azoteto de Glicidila. O floculante utilizado não demonstrou efetividade na remoção de cor, turbidez e DQO. Já guzel-seydim, Greene e Eydin (2004), alcançaram bons resultados de tratamento de efluente de indústria alimentícia utilizando a tecnologia que emprega ozônio para tratar efluente de indústria alimentícia. No entanto, esta ainda é uma tecnologia pouco acessível e cara para a realidade das indústrias do setor. A literatura aponta para a dificuldade de tratamento para determinados tipos de efluentes da indústria alimentícia o que fortalece a necessidade da realização de estudos que colaborem para a melhor caracterização e compreensão do efluente de origem industrial alimentícia e suas formas eficazes de tratamento.

1.2 Processo de lodos ativados

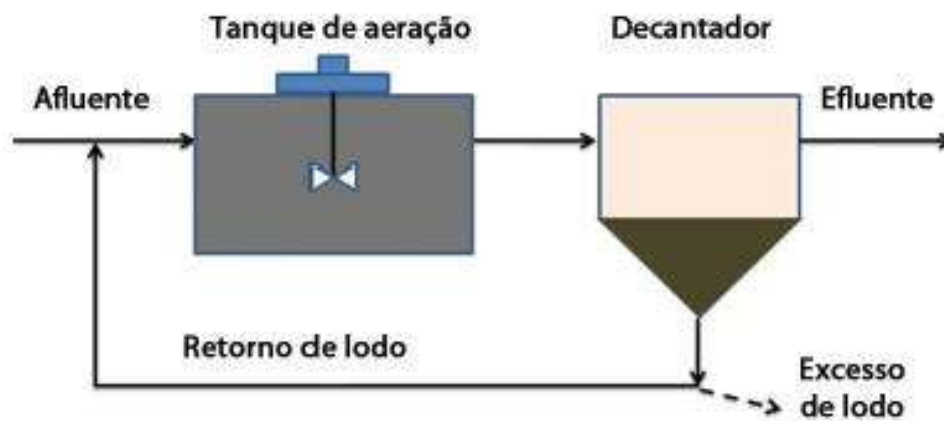
O sistema de lodos ativados foi desenvolvido em 1914 em Manchester, Inglaterra por Arden e Lockett para o tratamento de esgotos (JORDÃO & PESSOA, 2005). Desde então o crescente interesse pelo processo de lodos ativados tem estimulado a realização de pesquisa, contribuindo para melhorias técnicas do processo (SPERLING, 2002), um dos mais utilizados mundialmente para o tratamento de efluentes domésticos e industriais atingindo eficiência entre 95 e 98% de remoção da carga orgânica biodegradável (WIESMANN *et al.*, 2007).

O tratamento biológico visa reproduzir, em condições ambientais controladas e aceleradas, o fenômeno biológico de estabilização da matéria orgânica que ocorre naturalmente nos sistemas aquáticos (SANT'ANNA, 2011). Nos processos de lodos ativados a remoção da matéria orgânica ocorre por meio da ação de microrganismos, principalmente bactérias, capazes de metabolizar substratos

biodegradáveis presentes no meio. A matéria orgânica complexa é biodegradada em substâncias simples, como gás carbônico e sais minerais, possibilitando assim, a depuração de efluentes. O processo de lodos ativados também é capaz de remover nutrientes, principalmente os provenientes do nitrogênio orgânico (HENZE *et al.*, 2002).

O sistema de lodos ativados com biomassa suspensa é constituído basicamente por: decantador primário, reator biológico aerado, decantador secundário, sistema de descarte e de recirculação de lodo. Um esquema básico de um sistema de lodos ativados operado continuamente está apresentado na Figura 1.1.

Figura 1.1 Representação esquemática do princípio de funcionamento do sistema de lodos ativados.



Fonte: Revista TAE

- Reator biológico ou tanque de aeração: é um reator biológico com alimentação e aeração contínua, no qual uma biomassa microbiana sob a forma de aglomerados celulares é mantida em contato com o efluente. No tanque de aeração, as bactérias aeróbias e facultativas oxidam a matéria orgânica a compostos mais simples, como nitratos, sulfatos e gás carbônico, e transformam o material orgânico remanescente em novas células. A injeção do ar promove também uma agitação completa no tanque evitando a sedimentação da biomassa.

Para a aeração pode-se utilizar aeradores de diversas configurações, superficiais, fixos ou flutuantes. Em relação ao eixo de rotação, podem ser horizontais ou verticais. Há ainda o aerador por ar difuso, composto por difusores submersos no líquido, tubulações distribuidoras de ar, tubulações de transporte de ar e sopradores. Nestes o ar é introduzido próximo ao fundo do tanque, e o oxigênio

é transferido ao meio líquido à medida que a bolha se eleva à superfície (METCALF & EDDY, 2003).

- Decantador secundário e retorno do lodo: separa o efluente tratado da biomassa microbiana através da decantação. A maior parte da biomassa decantada é recirculada para o tanque de aeração para suprir o mesmo com uma quantidade suficiente de microrganismos e manter uma relação alimento/microrganismo favorável à decomposição eficiente da matéria orgânica. Uma baixa concentração da biomassa deve ser extraída e tratada separadamente (VON SPERLING, 1997). Uma separação rápida e eficiente entre a biomassa e o efluente é fundamental para o bom desempenho global do sistema de lodos ativados (FIGUEIREDO, 2005).

Existem diversas variantes do processo de lodos ativados, classificadas, principalmente, de acordo com as características hidráulicas e o tipo de aeração realizado (ALBERTO, 2000). A Tabela 1.1 resume as principais características do processo de lodos ativados nas suas três variantes. Vale ressaltar que os dados são mais consolidados para o tratamento de esgotos domésticos e não para efluentes industriais (SANT'ANNA, 2011).

Tabela 1.1 Parâmetros de projeto e operação de processos de lodos ativados.

Parâmetro/processo	Aeração prolongada	Convencional	Forte carga
SSV (mg.L ⁻¹)	3000 - 6000	2000 - 4000	1500 - 3000
A/M (kgDBO/kgSSV.d)	0,05 - 0,15	0,2 - 0,5	1 - 5
Idade do lodo (d)	20 - 30	5 - 15	5 - 10
Redução de DBO₅ (%)	>90	80 - 95	50 - 70

(A/M: relação alimento/microrganismo; SSV: sólidos suspensos voláteis)

Fonte: Adaptado de SANT'ANNA (2011).

1.2.1 Microbiologia dos lodos ativados

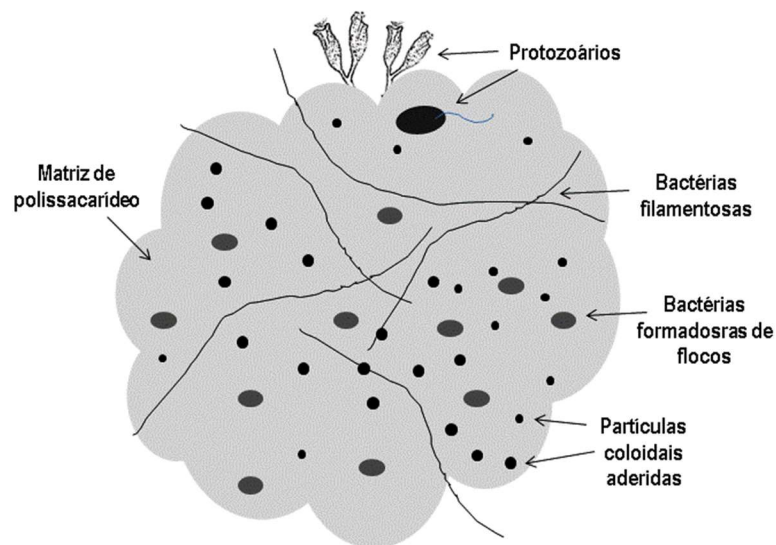
O lodo ativado é formado por uma microfauna bastante heterogênea, composta por bactérias, protozoários, fungos e micrometazoários agregados sob a forma de flocos biologicamente ativos. As bactérias heterotróficas predominam na fração ativa do lodo biológico e são os microrganismos de maior importância para o processo, por serem as principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (DAVIES, 2005).

Dezotti (2003) divide a remoção do material poluente biodegradável pela biomassa microbiana nas seguintes etapas:

- Adsorção e absorção de poluentes orgânicos coloidais ou solúveis pelos flocos bacterianos (fenômeno físico-químico).
- Degradação das substâncias adsorvidas pela ação de enzimas extracelulares que transformam estruturas moleculares complexas em moléculas simples assimiláveis.
- Metabolização de substratos no interior das células. Essas reações bioquímicas fornecem energia para a síntese celular.
- Auto-oxidação progressiva dos conteúdos celulares, fenômeno que é acentuado em carência de substrato e que provoca a devolução ao meio de diversos produtos orgânicos.

A população microbiana varia conforme a composição química do efluente e as condições do ambiente, constituindo-se num importante parâmetro do estado de funcionamento do processo, e um bom indicador da qualidade biológica do sistema. O equilíbrio entre as populações de microrganismos produz flocos com boa decantação e compressão, fornecendo um efluente final de alta qualidade. Uma ilustração de um floco de lodo ativado é apresentada na Figura 1.2.

Figura 1.2 Representação esquemática de um floco de lodo ativado.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (1997).

O estudo das comunidades microbianas, através da identificação de protozoários por análise microscópica assim como a quantificação das bactérias filamentosas responsáveis pelo intumescimento do lodo, tem sido aplicado em estações de tratamento de efluentes na Europa e nos Estados Unidos, pois estes procedimentos são capazes de fornecer informações que auxiliam o controle das estações de tratamento de efluentes (MESQUITA; AMARAL; FERREIRA, 2013).

Os microrganismos importantes no sistema de lodos ativados e considerados importantes indicadores das condições do processo são descritos a seguir.

Bactérias

As bactérias são organismos procarióticos unicelulares. As formas mais comuns desses microrganismos são bacilos, cocos e espirilos (TORTORA; FUNKE; CASE, 1998). Para o crescimento bacteriano a faixa de pH ótimo é entre 6,5 e 7,5. Quanto à nutrição, podem ser autótrofas (fotossintetizantes ou quimiossintetizantes) ou heterótrofas (METCALF & EDDY, 1991). Dentre as principais bactérias heterótrofas frequentemente presentes em sistemas de lodos ativados, são citadas as dos gêneros *Achromobacterium*, *Chromobacterium* e *Pseudomonas* (JENKINS; RICHARD; DAIGGER, 1993).

No processo de lodos ativados, as bactérias podem ser classificadas em filamentosas e não filamentosas. Dentre os microrganismos filamentosos, *Sphaerotilus natans* é o mais frequente (CETESB, 1989). Quando organismos filamentosos dominam a competição entre as espécies, é formada uma microestrutura filamentosa, diminuindo a velocidade de decantação e a compactação do lodo no decantador. Este fenômeno, conhecido como intumescimento ou *bulking* do lodo, é um problema complexo que atinge de 20 a 40% das estações de tratamento de efluentes (PUJOL & CANLER, 1992). Caso contrário, se a proporção de filamentosos for muito baixa, os flocos se desagregarão com facilidade aumentando a turbidez do efluente (DA MOTTA; PONS; ROCHE, 2001).

Protozoários

Os protozoários são protistas microscópicos móveis ou sésseis, geralmente unicelulares e aeróbios heterótrofos. Quando em boas condições de operação, os

protozoários são os organismos mais numerosos no lodo ativado depois das bactérias. Segundo WEF (1995), os protozoários representam aproximadamente 5% do peso seco dos sólidos em suspensão presentes no tanque de aeração, o que representa cerca de 50.000 organismos/mL. O principal grupo encontrado no lodo ativado é ciliado. A classificação taxonômica dos protozoários, segundo CETESB (1989), é descrita a seguir.

Filo Protozoa:

- Classe Ciliata: ciliados livres, fixos e rastejantes
- Classe Mastigophora: flagelados
- Classe Sarcodina (rizópodes): amebas e tecamebas

Metazoários:

São organismos pluricelulares. Dentre os metazoários, somente os micrometazoários possuem condições para se desenvolverem num ambiente com turbulência, como ocorre no processo de lodos ativados. Os metazoários mais comuns no processo são os rotíferos, em particular as espécies *Philodina roseolla* e *Rotaria citrinus*. Os rotíferos são organismos aeróbios, heterótrofos e multicelulares e consomem bactérias dispersas e pequenas partículas de matéria orgânica sendo por isso, geralmente associados a sistemas com bom nível de depuração.

Fungos

Os fungos são organismos eucariontes unicelulares ou multicelulares, não fotossintéticos e heterótrofos, sendo sua maioria, aeróbios estritos. Ocorrem em baixo pH e nitrogênio, condições estas pouco verificadas no processo de lodos ativados. O pH ótimo para a maioria das espécies é 5,6, porém o extenso intervalo de variação situa-se entre 2 e 9 (METCALF & EDDY, 1991). Para a estabilização da matéria orgânica, os fungos são tão eficientes quanto às bactérias. Entretanto, quando se apresentam como organismos predominantes, podem causar intumescimento do lodo, prejudicando a qualidade final do efluente (ALEM SOBRINHO & KATO, 1999). Dentre os mais encontrados, destaca-se o gênero *Geotrichum* (CETESB, 1989).

1.2.2 Fatores ambientais que influenciam no desempenho do processo de lodos ativados

Mudanças nas condições ambientais provenientes da composição do afluente do reator, ou mesmo da operação da estação, podem levar a alterações na comunidade do lodo, influenciando os processos de biodegradação (MADONI, 1994; FORNEY *et al*, 2001; DALZELL *et al.*, 2002).

Fatores como pH, temperatura, disponibilidade de oxigênio e nutrientes e substrato influenciam diretamente o desenvolvimento dos microrganismos (MENDONÇA, 2002). Sendo assim, para propiciar condições adequadas à microbiota envolvida no tratamento, deve-se controlar com rigor os fatores ambientais e parâmetros de projeto (FERREIRA & CORAIOLA, 2008). A presença de gorduras, medida pelo parâmetro óleos e graxas presentes no afluente ao reator pode levar a intoxicação do lodo biológico com a consequente redução de sua atividade metabólica (GIORDANO, 2004).

Outros parâmetros como tempo de retenção celular (Δc), tempo de detenção hidráulica (TDH), relação alimento/microrganismo (A/M) e a própria configuração do sistema também têm grande importância na concepção da estação de tratamento de efluentes (PIVELI & SECKLER, 2002).

Dentre diversas possibilidades, o teste de toxicidade que está mais estabelecido é o que monitora a inibição da respiração, atividade essencial de bactérias aeróbias. Por isto, a inibição da respiração é um importante critério para avaliar o risco ecotoxicológico de substâncias químicas em águas e efluentes. O teste de inibição da respiração do lodo ativado (em curto intervalo de tempo) é uma ferramenta apropriada para determinação da toxicidade bacteriana de combinações químicas (ANDREOTTOLA *et al.*, 2005).

1.3 Testes de Respirometria

Os primeiros estudos utilizando a respirometria foram relatados por Jenkins (1960), Montgomery (1967) e Eckenfelder & Musterman (1995), com trabalhos sobre a quantificação do consumo de oxigênio dissolvido em sistemas de lodos ativados (ANDREOTTOLA, 2005). Spanjers *et al.* (1998) relatou poucas pesquisas

realizadas e pouca utilização da respirometria na operação de estações de tratamento de efluentes. No entanto, o que se observa é o crescente número de trabalhos publicados sobre o tema, novos modelos de respirômetros desenvolvidos e diversas formas de aplicação da técnica respirométrica no controle de estações de tratamento de esgotos no diagnóstico de eventuais problemas de operação, bem como na detecção de cargas tóxicas presentes no esgoto afluente a ETE (BERNARDES, 2000).

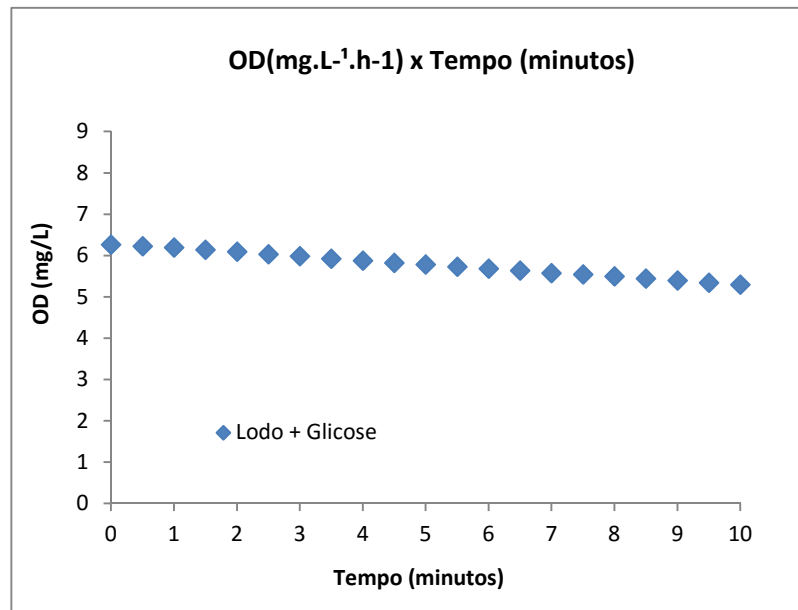
A respirometria é uma técnica que mede o consumo de algum oxidante mediante pulso anterior de um substrato específico que será metabolizado (SILVA FILHO *et al.*, 2015). Tratando-se da respirometria aeróbia, o oxigênio é o oxidante. A respiração celular está diretamente relacionada à conversão do substrato e ao crescimento celular, porém, como não é possível medir a velocidade de respiração no interior da célula, recorre-se à medição da taxa de consumo de oxigênio (TCO) (VANROLLEGHEM, 2002). Portanto, o princípio da técnica respirométrica está baseado na taxa de consumo de oxigênio pelos microrganismos aeróbios durante a degradação da matéria orgânica.

O teste inicia-se com a adição de um substrato facilmente biodegradável, após um tempo de carência de substrato. Os microrganismos consomem rapidamente o oxigênio dissolvido no meio para gerar energia e estocar reservas celulares. Em virtude disso, as taxas de consumo de oxigênio tendem a ser maiores nos primeiros instantes do teste. Andreottolla (2005) divide o processo de assimilação do oxigênio em duas fases:

- Respiração endógena do lodo: representa o oxigênio necessário aos microrganismos, para a manutenção de suas funções celulares vitais.
- Degradação do substrato: é conhecida como fase exógena da taxa de absorção de oxigênio e representa o oxigênio necessário aos microrganismos para a degradação da matéria orgânica presente no afluente que chega ao sistema. Nesta fase pode ser utilizado substrato rapidamente biodegradável, tendo este uma alta velocidade de consumo de O_2 e substratos lentamente biodegradáveis.

O gráfico que representa o comportamento do oxigênio dissolvido, ($mg.L^{-1}.h^{-1}$) em função do período de tempo da medição (h) é chamado respirograma (Figura) e indica como a biomassa responde à presença de determinado substrato, que pode ser o próprio efluente ou algum composto investigado.

Figura 1.3 - Gráfico de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Tempo(minutos)



O cálculo do consumo de oxigênio ocorre durante o período de tempo em que não há oferta ativa de oxigênio por aeração e o resultado do teste é expresso em miligramas de oxigênio por litro de lodo ativado em função do tempo, podendo ser segundos, minutos ou horas. Vários estudos na literatura utilizam diferentes unidades de tempos, variando de testes respirométricos que duram poucos segundos até testes de 24 horas (FERNANDES *et al.* 2001). O cálculo da taxa de consumo de oxigênio é bastante simples e está apresentado na Equação 1.1.

$$TCO = \frac{(ODi - ODf)}{\Delta t} \quad (\text{Equação 1.1})$$

Onde ODi representa a concentração de oxigênio dissolvido no instante inicial do teste (mg.L⁻¹), ODf representa a concentração de oxigênio dissolvido no instante final do teste (mg.L⁻¹) e Δt é a duração do tempo (h). A unidade da TCO é mg.L⁻¹.h⁻¹. O valor da TCO pode variar substancialmente entre indústrias, conforme a quantidade disponível de substrato, nutrientes, micronutrientes e fatores físicos.

Para quantificar a taxa de respiração pelos microrganismos do lodo utiliza-se a taxa de consumo de oxigênio específica (TCOe) (GERARDI, 2006; HENRIQUES & LOVE, 2007). De acordo com o princípio da respirometria aeróbia, a velocidade de consumo de oxigênio está associada à velocidade de consumo de substrato. Quando a velocidade é representada por unidade mássica de biomassa, avalia-se

então a velocidade de consumo específica de oxigênio, TCOe, a qual é mais consistente, pois independe da concentração de biomassa utilizada nos testes (VANROLLEGHEM, 2002). A TCOe pode ser utilizada como indicador de toxicidade através da inibição da atividade respiratória (HENRIQUES & LOVE, 2007). O cálculo da TCOe foi realizado seguindo a Equação 1.2.

$$TCOe = \frac{TCO}{SSV} \quad (\text{Equação 1.2})$$

Onde TCO representa a taxa de consumo de oxigênio ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) e SSV representa os resíduos não filtráveis voláteis (g.L^{-1}). A unidade de TCOe é $\text{mgO}_2.\text{g}^{-1}.\text{SSV}.\text{h}^{-1}$.

No processo de lodos ativados, o monitoramento de SSV (Sólido Suspenso Volátil) do tanque de aeração é o parâmetro de análise de concentração de biomassa mais difundida para estimar a concentração de microrganismos do lodo. Considera-se que estes microrganismos são, por conseguinte, compostos orgânicos e estão presentes formando flocos biológicos nos reatores aeróbios de tratamento biológico. Apesar de não representarem precisamente a porção ativa da biomassa presente, pois o resultado inclui células ativas e inativas, sólidos em suspensão inertes e matéria orgânica absorvida nos flocos biológicos, os sólidos suspensos voláteis têm sido utilizados de forma a atender as necessidades práticas do monitoramento, devido a rapidez com que fornece informações do lodo ativado.

Os testes de respirometria podem ser utilizados em diversos tipos de controles operacionais, adaptando o método para cada objetivo. Van Haandel e Marais (1999) sugerem a respirometria como o teste mais adequado para o melhor entendimento sobre os processos aeróbios de tratamento. Uma diminuição do valor da TCO, quando não há remoção de carga orgânica, pode representar falta de OD; temperatura inadequada ou algum outro fator que inviabilize a geração de energia pela biomassa, por exemplo, o efeito tóxico ao metabolismo celular em contato com algum componente poluente presente no afluente. Diversos estudos utilizando a técnica respirométrica comprovam sua eficácia na detecção de compostos tóxicos em lodos ativados Fernandes *et al.* (2001); Ricco *et al.* (2004); Cokgor *et al.* (2007).

1.3.1 Respirômetros

A medição da taxa de consumo de oxigênio sob condições controladas é realizada utilizando-se aparatos denominados respirômetros. Um respirômetro consiste, basicamente, de um reator teste e de um oxímetro, equipamento capaz de medir a variação de oxigênio no sistema. No reator, coloca-se em contato o lodo junto com o efluente a ser tratado, o oxigênio dissolvido por meio da aeração, o composto rapidamente biodegradável e o substrato a ser investigado.

Várias configurações de respirômetros já foram desenvolvidas e testadas, desde as mais simples, manuais e de fácil operação, como, garrafas de DBO vedadas com sensores de oxigênio, até equipamentos totalmente automatizados, que realizam amostragens, calibrações e cálculos, em alguns casos, com o próprio tanque de aeração funcionando como câmara de reação. Spanjers *et al.* (1998) relatam que em pesquisas é mais comum o uso de arranjos de respirômetros desenvolvidos em escala de laboratório, e baseados, usualmente, em medidas da taxa de respiração a partir de sensores de OD.

A configuração de um respirômetro é composta necessariamente por um reator, onde os compostos são colocados em contato. É necessário também um agitador magnético para promover a mistura dos constituintes da solução (SPANJERS *et al.*, 1996). A medida de oxigênio deve ser feita por modelos profissionais de medidores de OD (oxigênio dissolvido), com capacidade de detectar pequenas variações de concentração de oxigênio. Todos estes aparatos juntos formam um respirômetro os quais permitem determinar a velocidade com que os microrganismos consomem o oxigênio.

Ros (1993) classifica os respirômetros em abertos ou fechados. Os respirômetros abertos permitem trocas gasosas entre a amostra e o meio externo, podem ser de medição contínua ou semicontínua. Para Fernandes *et al.* (2001) a TCO é um parâmetro particularmente adequado para avaliar o desempenho de um sistema de tratamento justamente pela possibilidade de obtenção de dados continuamente ou semi continuamente.

Os respirômetros abertos têm vantagem em relação aos fechados pelo fato de possibilitar a medição da TCO diretamente do reator de lodo ativado. Os respirômetros abertos são mais práticos que os respirômetros fechados, principalmente quando se trata de determinar a toxicidade de efluentes e quando

esta toxicidade é variável (VAN HAANDEL *et al*, 1999), além disso não há necessidade de suspensão da operação do sistema.

Os respirômetros fechados evitam trocas gasosas entre a amostra e o meio externo. Assim, a variação da concentração de oxigênio dissolvido é decorrente apenas do consumo microbiano, não havendo acréscimo da transferência da fase gasosa para a fase líquida. Como exemplo de respirômetro fechado tem-se o frasco de DBO. Estes respirômetros só podem ser usadas em regime de batelada e permite a determinação da demanda de oxigênio apenas de uma amostra, coletada num determinado instante. Os respirômetros fechados podem ser classificados em:

- Manométricos: medem a diferença de pressão no sistema enquanto o oxigênio é consumido;
- Volumétricos: operados à pressão constante, registram o oxigênio consumido por meio de uma célula eletrolítica que libera oxigênio quando a pressão interna no sistema decresce;
- Combinados: medem a diferença de pressão a diferentes volumes e pressões no sistema.

Além dos diferentes tipos de respirômetros, existem também diferentes metodologias de medição da taxa de consumo de oxigênio dos testes respirométricos. São elas, medição direta no sistema de tratamento, medição em uma amostra ou num reator de bancada com alimentação contínua. Nas estações de tratamento de efluentes em escala real não é possível determinar a TCO diretamente no tanque de aeração, pois não é interessante para o funcionamento da estação que a aeração seja interrompida. Sendo assim, determina-se a TCO utilizando uma amostra do lodo retirada do tanque de aeração (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999).

Santos (2013) comparou o método contínuo e semi contínuo para determinação da TCO. Os resultados não mostraram diferença significativa entre os métodos testados, indicando que a escolha do método a ser utilizado fica a critério do usuário. O método semicontínuo é mais facilmente aplicável e dá respostas mais rápidas, é uma boa alternativa para o desenvolvimento de ensaios laboratoriais e em pequena escala.

Fernandes *et al.* (2001) afirmaram que a determinação da TCO, medida continuamente, é um bom parâmetro para avaliar a atividade biológica do sistema de

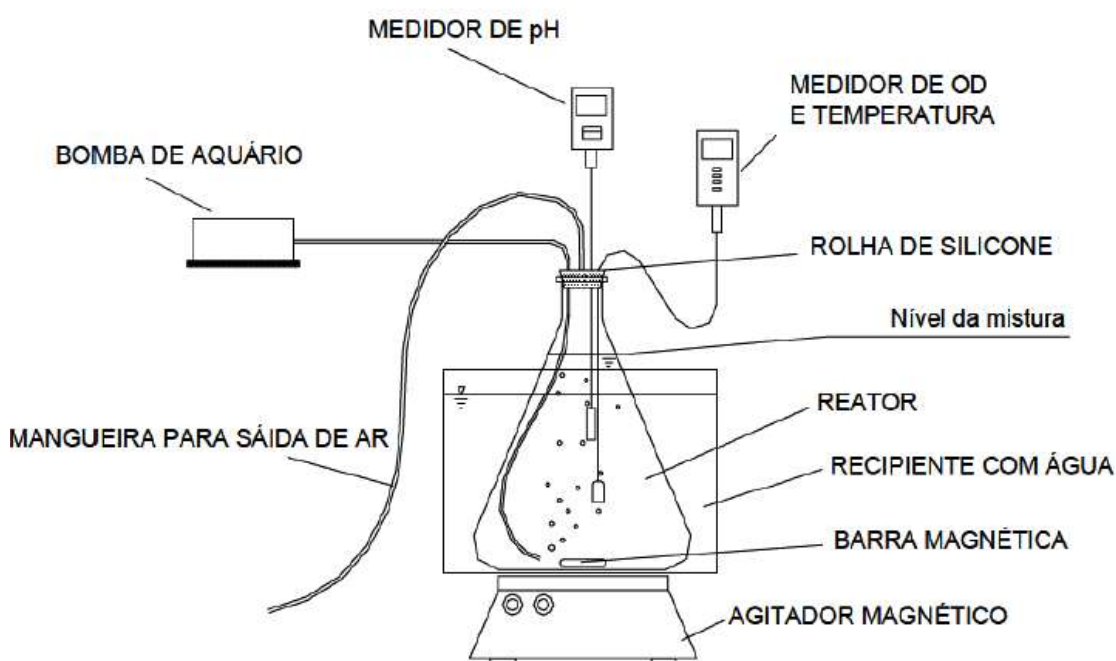
lodo ativado, se comparado com os demais testes que se conhece até o momento como, por exemplo, a turbidez ou a concentração de material orgânico do afluente ou ainda a produção de lodo no sistema.

Alguns métodos simplificados para o uso da respirometria encontram-se reportados na literatura. Miloski (2015), Santos (2012), Araújo (2010), Costa (2013) e Beranger (2009) utilizaram a técnica respirométrica para avaliar a influência de variações de pH, salinidade, metais e outros compostos tóxicos na respiração dos microrganismos do lodo ativado. Todos estes autores utilizaram um método experimental simplificado com base em protótipo de equipamento de medida respirométrica, montado em escala de bancada, desenvolvido por Ferreira (2002). De acordo com Spanjers *et al.* (1998), um respirômetro deve possuir as seguintes características principais:

- Operação do reator em regime de batelada;
- Técnica de medida de oxigênio dissolvido realizada na fase líquida;
- Funcionamento em regime estático, ou seja, sem fluxo de ar no sistema durante as medidas de respiração.

O arranjo do respirômetro utilizado é apresentado na Figura 1.3.

Figura 1.4 Representação esquemática dos equipamentos utilizados no método respirométrico simplificado.



Fonte: Ferreira (2002)

Algumas condições de realização dos testes respirométricos são de grande relevância na produção de resultados corretos, são eles: a fonte de biomassa, o tipo de alimento, o tempo de medição, e a relação entre alimento e microrganismo (SPANJERS *et al.*, 1998).

Quanto à biomassa utilizada em medidas respirométricas, pode-se utilizar mistura lodo/efluente ou biomassa cultivada. A primeira corresponde à mistura em suspensão do tanque de aeração da ETEI. A segunda corresponde à biomassa cultivada em escala de laboratório, neste caso ocorre a seleção natural dos organismos mais adaptados ao substrato com o qual foram cultivados. Cada tipo de biomassa tem, assim, suas especificidades.

O pH e a temperatura, também são fatores que interferem nos resultados das medidas respirométricas. No entanto, é comum os estudos assumirem que estas condições sendo similares às da estação de tratamento não influenciem os resultados (SPANJERS *et al.*, 1998).

Outra importante variável é a relação alimento/microrganismo (A/M). Baixas relações A/M não fornecem bons resultados, pois o substrato é rapidamente degradado e é insuficiente para promover um crescimento significativo da biomassa, assim, durante o teste, o estado fisiológico da biomassa permanece pouco alterado. Por outro lado em relações de A/M muito elevadas, a atividade metabólica dos microrganismos é aumentada e o crescimento da biomassa pode tornar mais difícil a interpretação da cinética de degradação.

No Brasil, a técnica respirométrica vem sendo cada vez mais estudada e aplicada em estações de tratamento de efluentes. No Pólo Petroquímico de Camaçari, a empresa de proteção ambiental CETREL passou a adotar a respirometria no monitoramento e na avaliação da toxicidade dos efluentes subsidiado pelo estudo de Oliveira *et al.* (2007) que através de ensaios de respirometria determinaram com eficiência o nível de tratamento de efluentes industriais, após tratamento por lodos ativados em tanques de aeração.

Na Universidade Federal de Campina Grande a respirometria já foi utilizada em diversos estudos para avaliar a influência de interrupções de oxigenação sobre a atividade do lodo ativado (COSTA, 2001), avaliação da atividade das bactérias heterotróficas (RODRIGUES, 2005) e autotróficas nitrificantes (FERREIRA, 2002,

SOUZA, 2005), composição da matéria orgânica em águas residuárias (SILVA, 2003), influência da concentração de oxigênio dissolvido sobre o desempenho de sistemas de lodo ativado tratando efluentes da indústria petroquímica (MEDEIROS, 2004), Influência de fatores ambientais sobre a cinética de nitrificação (DERKS, 2007), o grau de toxicidade de poluentes prioritários em sistemas biológicos de tratamento de águas residuárias (SANTOS, 2007), caracterização da atividade metabólica de bactérias Heterotróficas (PORTO, 2007).

Todos utilizaram um respirômetro Beluga modelo S32c, desenvolvido no Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG consistindo em um respirômetro automatizado acoplado a um computador que faz a aquisição dos dados de oxigênio dissolvido de forma automática.

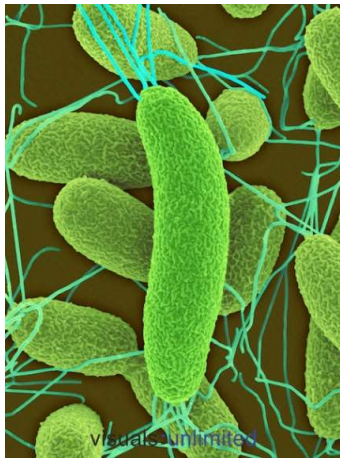
1.4 Ensaio de toxicidade aguda com *Aliivibrio fischeri* utilizando Microtox®

Microtox® é um teste de toxicidade aguda baseado na inibição natural de bioluminescência da bactéria marinha *Allivibrio fischeri* NRRL B 11177. É uma marca registrada por Microbics Corporation, em seguida por Azur Environmental e hoje é de propriedade da Strategic Diagnostic Inc. (GHIRARDINI *et al.*, 2009).

Allivibrio fischeri (BEIJERINCK, 1889) é uma bactéria marinha luminescente, gram-negativa, anaeróbia facultativa. É considerado um organismo resistente e não patogênico (BAUMGARTNER & CHRISTOPHER, 2011). Em condições ambientais favoráveis essa bactéria emite luz naturalmente em concentração de oxigênio acima de 0,5 mg.L⁻¹(Figura 1.5) (KNIE & LOPES, 2004). *Aliivibrio fischeri* ocorre em águas marinhas e em simbiose com lulas, principalmente em seus órgãos luminosos.

Na literatura *Allivibrio fischeri* é comumente citada como *Vibrio fischeri*, sua nomenclatura antiga, pois Urbanczyk *et al.* (2007) reclassificaram a espécie num novo gênero, *Allivibrio*, com base em resultados de análises filogenéticas. A Figura 1.4 apresenta a bactéria *Allivibrio fischeri* em vida livre e a Figura 1.5 apresenta um tubo de ensaio contendo bactéria luminescente *Allivibrio fischeri*.

Figura 1.5 Bactéria *Allivibrio fischeri* em vida livre.



FONTE: Copyright 2010 Dennis Kunkel Microscopy, Inc. 2101022C

Figura 1.6 Tubo de ensaio contendo bactéria luminescente *Allivibrio fischeri*.



Fonte: Berton (2014)

A bioluminescência microbiana é um processo catalítico enzimático que envolve sistemas de transporte de elétrons associados à produção de luz, e que são diretamente afetados por fatores ambientais prejudiciais à atividade metabólica e à integridade celular da bactéria. As bactérias luminescentes produzem luz quando oxidam simultaneamente a Flavina Mononucleotídeo reduzido (FMNH₂) e um aldeído alifático de cadeia longa (RCHO), na presença de oxigênio e uma enzima do tipo flavina monoxigenase chamada luciferase (SANTOS & SANTOS, 1993). Para ativar a luminescência, a célula depende de um status de energia e reações da luciferase (enzima), que depende de ATP, O₂ e FMNH₂ (flavina mononucleotídeo reduzida), por meio da oxidação da substância luciferina, e a partir daí é emitido um fóton, exibido por meio de produção de luz. Se algum distúrbio manifesta-se sobre a cadeia de transporte de elétrons ocorre uma redução na emissão de luminescência (HARMEL, 2004)

O fenômeno da bioluminescência tem sido a base para vários bioensaios de toxicidade com bactérias luminescentes. O teste que utiliza a bactéria *Allivibrio fischeri* liofilizada como organismos-teste recebe o nome de Microtox®, e é amplamente utilizado (WADHIA & THOMPSON, 2007). Microtox® é um bioensaio que mede a luminescência emitida naturalmente pela bactéria *Allivibrio fischeri*, o parâmetro testado é a luminescência perdida a diferentes diluições em um determinado período de tempo quando comparada a amostra-controle. Caso haja toxicidade na amostra, o sistema enzimático da bactéria será atingido e a luz emitida

irá diminuir. O tempo de exposição da bactéria a uma amostra é avaliado por um período de 15 ou 30 minutos, e luminescência é medida através de um luminômetro (KNIE & LOPES, 2004).

Por ser uma bactéria de origem marinha, tanto a suspensão bacteriana quanto as amostras analisadas precisam estar dentro de uma faixa ótima de salinidade, temperatura e pH. Caso as amostras não se enquadrem nas condições ótimas para o ensaio, devem ser realizados ajustes antes da execução do bioensaio, o que é usualmente obtido pela adição de cloreto de sódio para ajustar a salinidade e ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH) para ajustar o pH (UMBUZEIRO *et al.*, 2010).

Waters e Lloyd (1985) avaliaram a influência das condições de pH, temperatura e salinidade na expressão da bioluminescência em *Allivibrio fischeri*. A bioluminescência foi observada em todas as temperaturas que suportaram o crescimento das bactérias (10°C, 15°C, 20°C e 25°C), e mesmo em baixos teores de NaCl. O estudo verificou ainda que quanto mais alta a temperatura de crescimento, maiores concentrações de sal no meio as bactérias requeriam para produzir luminescência. Enquanto baixos valores de pH (<7) e altas concentrações de NaCl favoreceram a expressão da bioluminescência. Fulladosa *et al.* (2005) em seus estudos não observaram diferença significativa entre os resultados de toxicidade em pH 6 e pH 7.

O teste de toxicidade com *Allivibrio fischeri* é considerado uma alternativa valiosa na avaliação de toxicidade aguda (GIROTTI *et al.* 2008), por apresentar as vantagens de ser um teste rápido, reprodutível, validado, de alta sensibilidade, não ter necessidade de cultivo em laboratório, ser fácil estocagem e com boa relação custo-benefício. É um método eficiente na detecção da toxicidade de um amplo espectro de contaminantes químicos, especialmente quando se pretende avaliar misturas complexas contendo diferentes compostos orgânicos e inorgânicos (HERNANDO *et al.*, 2006). Para Parvez; Venkataraman e Mukherji (2006) os resultados dos testes apresentam uma boa correlação com outros testes de toxicidade aguda realizados com organismos aquáticos.

Fulladosa *et al.* (2005) compararam os limites de alguns agentes tóxicos permitidos pela legislação do órgão ambiental da Espanha com os resultados obtidos em seu estudo com a bactéria *Allivibrio fischeri*, e apontou que alguns

metais, Hg, Cd, Cr, As e As apresentaram toxicidade acima do limite permitido pela legislação.

1.5 Surfactantes

Os surfactantes são constituídos por duas frações, porções hidrofílicas (polar) e hidrofóbicas (apolar), esta estrutura molecular lhes confere o fenômeno da atividade superficial (RIOJA, 2009), que ocasiona uma redução na energia livre da superfície diminuindo a tensão superficial e facilitando a difusão dos agentes surfactantes na superfície da massa líquida. Dessa forma, os surfactantes são substâncias que mesmo em pequenas quantidades são capazes de alterar as propriedades dos líquidos.

Os surfactantes podem ser classificados de acordo com a carga da cabeça hidrofílica em aniônicos, catiônicos, não-iônicos, e anfóteros. O principal surfactante aniônico sintético, o alquilbenzeno sulfonato (ABS), surgiu na década de 40, a partir de precursores derivados do petróleo (benzeno e tetrâmero de propileno) (SAOUTER; PITTINGER; FEIJTEL, 2001). O ABS foi incorporado com sucesso no mercado de detergentes e passou a ser consumido mundialmente em larga escala, devido ao seu melhor desempenho em relação ao sabão comum.

No entanto, a utilização deste surfactante em detergentes causou sérios prejuízos ao tratamento de efluentes, devido à formação de camadas densas de espumas nos processos que aplicam aeração. Investigando o impacto do ABS nas estações foi descoberto que o mesmo é resistente à biodegradação devido, principalmente, à presença de carbonos quaternários na sua cadeia hidrofóbica. Esta constatação provocou a sua substituição por surfactantes com cadeias alquílicas lineares, os quais são biodegradáveis (PENTEADO; EL SEOUD; CARVALHO, 2006). Por esta razão a legislação brasileira apresenta o decreto nº79094 de 1977, que proíbe a fabricação, comercialização ou importação de surfactante aniônico não biodegradável.

Presentemente, os surfactantes aniônicos mais utilizados são o Alquilbenzeno sulfonato linear (LAS) e álcoois graxos etoxilados e sulfatados (SCOTT & JONES, 2000). Os surfactantes estão presentes na formulação de vários produtos auxiliares,

tais como carreadores, retardantes, antiespumantes, umectantes, dispersantes e principalmente em detergentes e amaciantes (STEINHART, 2000).

No Brasil a produção de detergentes sintéticos tem crescido notadamente, chegando a distribuir cerca de 80 mil t/ano de LAS no mercado consumidor (KAPLAN *et al.*, 2003). Essa produção coloca o Brasil entre os principais produtores mundiais, responsável por quase metade das vendas de produtos de limpeza da América Latina (ABIPLA, 2013)

Utilizados para diversos fins de limpeza, os surfactantes são descartados na rede coletora de esgoto e chegam até as estações de tratamento de efluentes. Na etapa biológica do tratamento os surfactantes causam alteração na permeabilidade da membrana celular e no processo de fosforilação prejudicando o desenvolvimento microbiano. A presença de surfactantes em concentrações relativamente baixas pode, portanto, reduzir a microfauna nos sistemas de lodos ativados (RAND, 1995). Carvalho *et al.*, (2004) apontaram que mesmo uma ligeira alteração no conteúdo surfactante de águas residuais pode afetar a eficiência de redução de DQO .

Estudos sugerem que em geral as ETEs conseguem reduzir cerca de um terço do total de surfactantes dispostos nas águas e o restante atinge águas e sedimento de rio, mar e ambiente terrestre. Nos corpos d'água os surfactantes causam eutrofização, a formação de espumas e a redução nas trocas gasosas.

A comunidade econômica européia tem uma regulamentação mais completa para detergentes (EC nº 648/2002 de março de 2004), listando surfactantes e detergentes com especificação de biodegradabilidade, rotulagem do produto, informações de segurança e descrição dos testes realizados no produto.

Em virtude da expressiva utilização dos surfactantes aniônicos nas formulações de detergentes e do elevado consumo industrial em larga escala, esses compostos tem sido alvo de interesse de pesquisadores na área de tratamento de efluentes. Os surfactantes aniônicos Linear Alquil benzeno Sulfonato (LAS) e Lauril Éter Sulfato de Sódio (LESS) estão entre as principais substâncias utilizadas nas formulações de detergentes comerciais (DOS SANTOS *et al.*, 2016).

1.5.1 Alquilbenzeno sulfonato linear

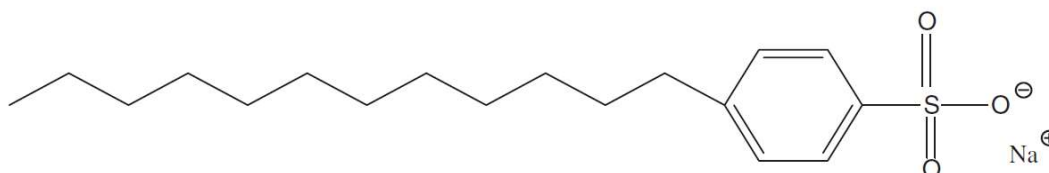
Atualmente, o surfactante mais utilizado no mercado mundial de detergentes é o Ácido Sulfônico 90%, também chamado de LAS - Alquilbenzeno sulfonato linear. Trata-se de um ácido orgânico forte, obtido do processo de sulfonação de alquilateros, cujas principais vantagens são:

- Grande poder removedor de sujeiras;
- Excelente solubilidade mesmo a baixas temperaturas;
- Elevado poder de espuma e
- Biodegradabilidade.

O Ácido Sulfônico é empregado em diversos tipos de formulações de detergentes líquidos, pastas e detergentes para lavar roupas (líquidos e pó). No setor industrial é utilizado na lavagem de roupas, em limpeza de superfícies, na preparação de emulsões para fluidos lubrificantes, pesticidas agrícolas e desengraxantes, e na aeração do concreto (MASSANBANI, 2011)

Um dos fatores que influenciam a biodegradação do alquilbenzeno sulfonato linear é a sua estrutura (Figura 1.7).

Figura 1. 7 Estrutura química do alquilbenzeno sulfato de sódio.



Fonte: SÜTTERLIN, ALEXY e KÜMMERER, 2008.

De acordo com a posição do grupo fenila na cadeia carbônica, tem-se os diversos isômeros de um determinado homólogo (Tabela 1.2).

Tabela 1.2 Massa molar dos isômeros internos e externos de LAS.

	Alquilbenzeno sulfonato linear							
	C ₁₀	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₃
Isômero	IE ^a	II ^b	IE	II	IE	II	IE	II
Massa molar	320	320	334	334	348	348	362	362

Fonte: Adaptado de Penteado; El Seoud e Carvalho, 2006.

Os isômeros externos (IE) são aqueles em que o grupo fenila está mais próximo ao átomo de carbono terminal da cadeia alquílica, enquanto que os

isômeros internos (II) são aqueles que o grupo fenila está mais distante. (PENTEADO; EL SEOUD; CARVALHO, 2006).

1.5.2 Lauril Éter Sulfato de Sódio

O lauril éter sulfato de sódio, também chamado de LESS, é um surfactante aniônico amplamente utilizado em produtos de higiene e produtos saneantes (detergentes domissanitários). Seu uso tem sido motivado em razão das suas propriedades detergente, molhante, espumógena, emulsificante e solubilizante.

A parte lipofílica é geralmente formada de uma cadeia 12 a 14 átomos de carbonos e a parte hidrofílica é formada pelo grupo sulfato, o qual em conjunto com os grupos oxetilênicos, estão localizados entre a cauda e a cabeça do surfactante (Figura 1.8).

Figura 1. 8 Estrutura química do lauril éter sulfato de sódio.



Fonte: CAROLEI, 2005

O número de mols de óxido de eteno pode variar numa faixa muito ampla, o que vai depender da aplicação e propriedades almejadas para o surfactante. A cadeia carbônica presente em maior proporção no LESS é C12 (70% aproximadamente) e o número médio para os mols de óxido de eteno é 2 (CAROLEI, 2005)

2. METODOLOGIA

2.1 Introdução

Neste capítulo, estão descritos os procedimentos laboratoriais, materiais e métodos utilizados para execução dos experimentos de campo e de bancada realizados durante a fase experimental deste estudo.

Com o objetivo de avaliar a influência de surfactantes na atividade biológica de lodos ativados, foram realizados testes de respirometria com o lodo ativado de uma Estação de Tratamento de Efluente Industrial (ETEI) submetido a variadas concentrações de lauril éter sulfato de sódio (LESS) e de alquilbenzeno sulfonato linear (LAS), para observação da respiração dos microrganismos presentes no lodo ativado. Os testes de respirometria com o lodo ativado da ETEI foram realizados no laboratório da própria ETEI, nos dias 17, 23 e 30 do mês de dezembro de 2015.

Para efeito de comparação foram realizados testes de respirometria com o LESS em lodo ativado aclimatado com efluente sintético em reator de bancada operado em regime de batelada e inoculado com o lodo ativado da ETEI estudada. Estes testes foram realizados no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), nos dias 29 de outubro, 27 de novembro e 04 de dezembro de 2015.

A Tabela 2.1 apresenta a nomenclatura atribuída a cada conjunto de testes respirométricos realizados ao longo do período de estudo.

Tabela 2.1 Nomenclatura dos experimentos de respirometria.

Surfactante	Origem do lodo	Experimento	Data
LESS	Reator de bancada (Efluente sintético)	1	29/10/2015
		2	27/11/2015
		3	04/12/2015
	Reator da ETEI (Efluente real)	4	17/12/2015
		5	23/12/2015
		6	30/12/2015
LAS	Reator da ETEI (Efluente real)	7	17/12/2015
		8	23/12/2015
		9	30/12/2015

De forma complementar ao estudo respirométrico, foram ainda realizadas outras etapas com o objetivo de permitir o melhor entendimento do efeito dos dois surfactantes investigados, na atividade metabólica microbiana em processos de lodo ativado de efluente de indústria alimentícia:

- Caracterização da ETEI objeto do estudo
- Plano de amostragem
- Experimentos realizados na ETEI
- Experimentos realizados em laboratório
- Procedimento experimental do teste de respirometria
- Observação microscópica qualitativa do lodo biológico
- Ensaio de toxicidade aguda com o organismo-teste *Aliivibrio fischeri*

2.2 Caracterização da ETEI objeto do estudo

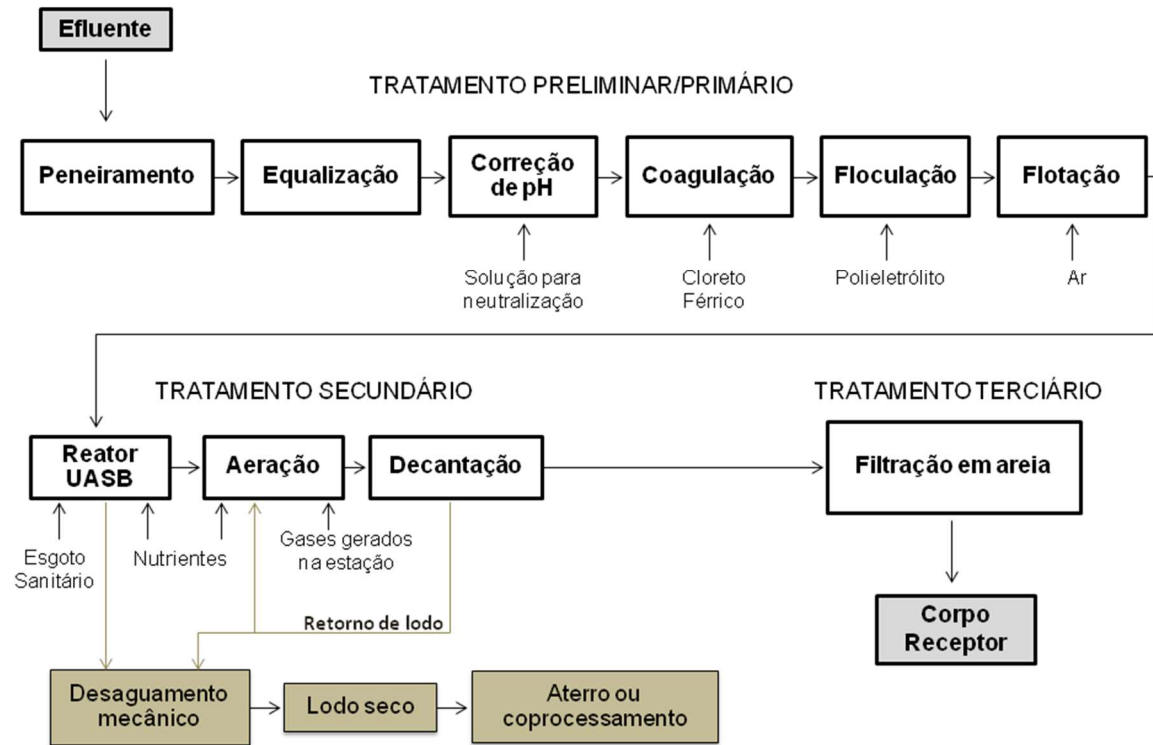
A matriz investigada neste estudo foi o lodo ativado proveniente de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) de um condomínio de indústrias de alimentos localizado no município do Rio de Janeiro, RJ. A ETEI é responsável pelo tratamento do efluente gerado no processo de fabricação de chocolates sorvetes, tortas, embalagem de queijo, molhos e temperos, como também, do esgoto sanitário dos funcionários. O tratamento é constituído pelas etapas descritas na Tabela 2.2 e o fluxograma de tratamento é apresentado na Figura 2.1.

Tabela 2.2 Etapas do tratamento da ETEI.

Etapas do tratamento	
Preliminar	Gradeamento Peneiramento Equalização Controle de vazões
Primário	Controle e correção de pH Coagulação Floculação Flotação por ar dissolvido
Secundário	Reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) Reator aeróbio (lodos ativados) Decantação secundária

Terciário	Filtração com areia
Tratamento do lodo	Desaguamento mecânico utilizando centrífuga tipo decanter

Figura 2.1 Fluxograma detalhado da ETEI.



Fonte: Autora, 2016.

2.3 Plano de amostragem

Nos dias de coleta do lodo ativado, foram também coletadas amostras das etapas de tratamento da ETEI, para análises laboratoriais, a fim de averiguar as condições de funcionamento da ETEI. As amostras coletadas foram encaminhadas para a empresa TECMA - Tecnologia em Meio Ambiente LTDA, onde foram realizadas as análises físico-químicas.

Localizada no município do Rio de Janeiro, a TECMA, possui laboratórios credenciados pelo INEA – Instituto Estadual do Ambiente, atualmente sob o Certificado CCL Nº IN024080 e é também acreditada pelo INMETRO sob o Certificado CRL 0200. Os Ensaios Laboratoriais e os serviços de amostragem

realizados atendem aos critérios da Norma NBR ISO/IEC 17.025 (ABNT, 2005) que estabelece os Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio, obedecendo aos princípios de Qualidade, Confiabilidade e Confidencialidade. Os parâmetros físico-químicos monitorados e o número amostral de coleta de cada etapa do tratamento estão apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Parâmetros físico-químicos monitorados com o número amostral de coleta por etapa do tratamento durante o período de coleta (outubro a dezembro de 2015).

PARÂMETROS	NÚMERO AMOSTRAL				
	Efluente bruto	Saída do primário	Saída do UASB	Tanque de aeração	Efluente final
DQO (mg.L ⁻¹ em O ₂)	6	5	5		6
DBO (mg.L ⁻¹ em O ₂)	3				3
Óleos e Graxas Totais (mg.L ⁻¹)		6	1		6
Fósforo Total (mg.L ⁻¹ em P)			5		6
Sólidos Sedimentáveis (mg.L ⁻¹)					6
Nitrogênio Kjeldahl (mg.L ⁻¹ em N)					4
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)				6	6
Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L ⁻¹)				6	
Detergentes (MBAs) (mg.L ⁻¹)					6
Temperatura (°C)				6	
pH				6	

Todas as amostras foram armazenadas e transportadas em caixa de isopor com gelo para o laboratório onde foram preservadas em temperatura inferior a 4 °C. As análises foram realizadas conforme o APHA (2012) (Tabela 2.4).

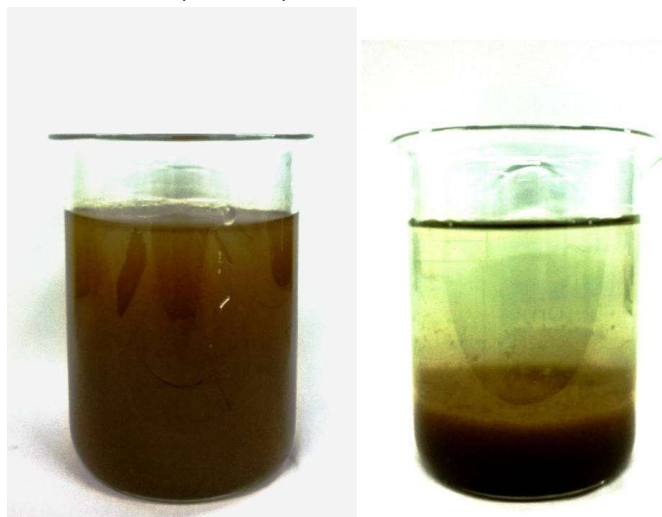
Tabela 2.4 Parâmetros físico-químicos e suas respectivas metodologias descritas em APHA (2012).

Parâmetro	Metodologia
DQO	5220 (B)
DBO ₅	5210 (B)
Óleos e Graxas Totais	5520 (B)
Fósforo Total	4500 – P(A)
	4500 – P(B)
Sólidos Sedimentáveis	2540 (F)
Nitrogênio Kjeldahl	4500 N _{org} (B)
Sólidos Suspensos Totais	2540 (D)
Sólidos Suspensos	
Voláteis	2540 (E)
Detergentes (MBAs)	5540C
Temperatura	2500 (A)
pH	4500 H ⁺ (A)

2.4 Experimentos realizados na ETEI

Para os testes de respirometria realizados com o lodo ativado da ETEI, as amostras foram coletadas no período da manhã, sempre no mesmo ponto do tanque de aeração (Reator Aeróbio). Foram coletados, com béquer de polietileno, 7,5 litros de lodo ativado e levado para o laboratório da própria ETEI. O tempo máximo de transporte entre a coleta e o armazenamento do lodo ativado foi de dez minutos. No laboratório da ETEI, o lodo foi mantido sob aeração durante todo o período de realização dos testes. A aparência do lodo coletado na indústria alimentícia é apresentada na Figura 2.2.

Figura 2.2 Foto do lodo ativado da ETEI em um béquer com o lodo em suspensão na amostra (à esquerda) e com lodo sedimentado (à direita).



2.5 Experimentos realizados em laboratório

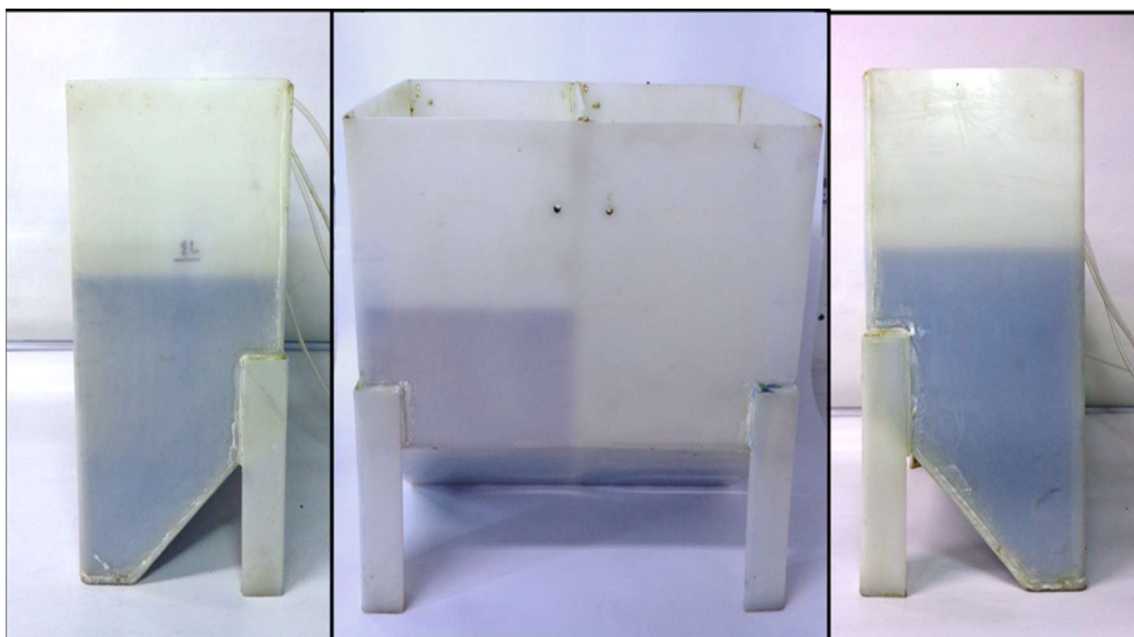
Para a realização dos testes de respirometria com o lodo ativado aclimatado com efluente sintético, foi necessário a montagem de um reator de bancada operado em regime de batelada, este reator foi inoculado com o lodo ativado proveniente do tanque de aeração da ETEI. O lodo ativado foi coletado sempre no período da tarde e no mesmo ponto do tanque de aeração, armazenados em bombonas de polietileno com capacidade para 20 litros e transportados para as dependências do laboratório de engenharia sanitária (LES) da UERJ. O tempo máximo de transporte do lodo durou em média duas horas.

No laboratório, o lodo coletado no tanque de aeração da ETEI foi acondicionado no reator de bancada (Figura 2.3). Após a inoculação do reator com o lodo ativado da ETEI, iniciou-se a aeração e a alimentação do lodo com efluente sintético.

O reator utilizado é feito de polipropileno, possui volume útil de 10 litros, com 35 centímetros de altura e 20 centímetros de largura. O fundo do reator possui uma pequena declividade que juntamente com uma compressor de ar (bomba de aquário) garante a homogeneização e a aeração do lodo em todo o reator. O ar bombeado é conduzido ao reator por uma mangueira flexível com uma pedra porosa acoplada em sua extremidade de saída de ar.

O compressor de ar foi utilizado visando fornecer o oxigênio necessário para manutenção do ambiente aeróbio exigido nas reações biológicas do lodo ativado. O reator utilizado (Figura 2.3) possui dois tanques, porém somente um deles foi utilizado.

Figura 2.3 Foto do reator biológico de bancada.



Os testes ocorreram após sete dias de aclimação do lodo biológico no reator em regime de batelada. No total foram realizados cinco experimentos, utilizando o lodo ativado aclimatado no reator de bancada, sendo assim o reator foi iniciado, finalizado e novamente iniciado por cinco vezes. No entanto, somente 3 experimentos foram selecionados para discussão dos resultados, devido ao elevado desvio padrão apresentado pelos outros experimentos, provavelmente devido a erros metodológicos. A Tabela 2.5 apresenta o cronograma de funcionamento de cada reator. O período de operação de cada reator foi determinado a partir da data de coleta do lodo e partida do reator, até o dia de realização do experimento de respirometria, quando então o reator foi finalizado.

Tabela 2.5 Período de operação dos reatores de bancada.

REATOR	Data da coleta do lodo ativado e partida do reator	Data dos testes com o lodo ativado do Reator	Tempo de operação do reator
Experimento 1	22/10/2015	29/10/2015	7 dias
Experimento 2	19/11/2015	27/11/2015	8 dias
Experimento 3	27/11/2015	04/12/2015	7 dias

Durante todo o período de operação o reator de bancada foi mantido em condições de pH próximo a faixa de neutralidade (6,5-8,5) e na temperatura ambiente do laboratório (22 a 24°C).

A alimentação do lodo foi realizada diariamente em regime de batelada. Para a alimentação do reator foi utilizado efluente sintético, produzido de acordo com Papadimitriou *et al.* (2007) (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 Composição química do efluente sintético utilizado na operação do reator em batelada.

EFLUENTE SINTÉTICO	
Concentração (mg.L ⁻¹)	Substância química
2000	Acetato de sódio
833	Sacarose
600	Cloreto de amônio
333	Difosfato de potássio hidratado
100	Cloreto de sódio
50	Cloreto de cálcio di-hidratado
20	Cloreto de potássio

Para que o volume do reator de bancada se mantivesse constante, antes da alimentação, foram retiradas alíquotas de efluente clarificado, em volumes semelhantes ao volume calculado para a alimentação do reator, como mostra a Equação 2.1.

$$Q = \frac{VR \times (A/M) \times SSV}{DQO_{\text{afluente}}} \quad \text{Equação 2.1}$$

Sendo:

Q = Vazão Média de Alimentação (L/dia)

VR = Volume Útil do Reator (L)

A/M = Relação Alimento/Microrganismo (Kg DQO/ Kg SSV)

SSV= Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L⁻¹)

DQO_{afluente} = Demanda Química de Oxigênio do afluente (mg.L⁻¹)

O Volume Útil do Reator com a mistura lodo/efluente foi de 10 L. A relação Alimento/Microrganismo foi definida como 0,15 kgDQO/kgSSV.d⁻¹, para operar em

regime de aeração prolongada. A concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) foi calculada a partir da média obtida dos resultados mais recentes da concentração de SSV do tanque de aeração que foi de 3500 mg.L⁻¹. O valor de DQO do afluente (efluente sintético) foi de 2356 mg.L⁻¹. Nas condições citadas foi necessário um volume de 2,22 L de efluente sintético. Logo, diariamente a aeração foi pausada por 1 hora e uma alíquota de 2,22L de efluente clarificado foi retirada e uma alíquota de 2,22L de efluente sintético foi adicionada ao reator e em seguida a aeração foi reestabelecida. Para facilitar a operação do reator preparou-se um total de 20 litros de efluente sintético.

2.6 Procedimento experimental do teste de respirometria

Como procedimento experimental utilizado para a realização dos testes de respirometria optou-se pelo emprego de metodologia simplificada, desenvolvido por Ferreira (2002) através da adaptação dos trabalhos de Gernaey *et al.*, (1997). O respirômetro desenvolvido é do tipo descontínuo por ser operado em regime de batelada, estático, ou seja, sem trocas gasosas com o meio externo e com medições de oxigênio dissolvido (OD) realizada na fase líquida. O método respirométrico utilizado neste estudo foi o mesmo realizado por Beranger (2009), Araújo (2010), Santos (2012), Braga (2013), Surerus (2009) e Miloski (2015).

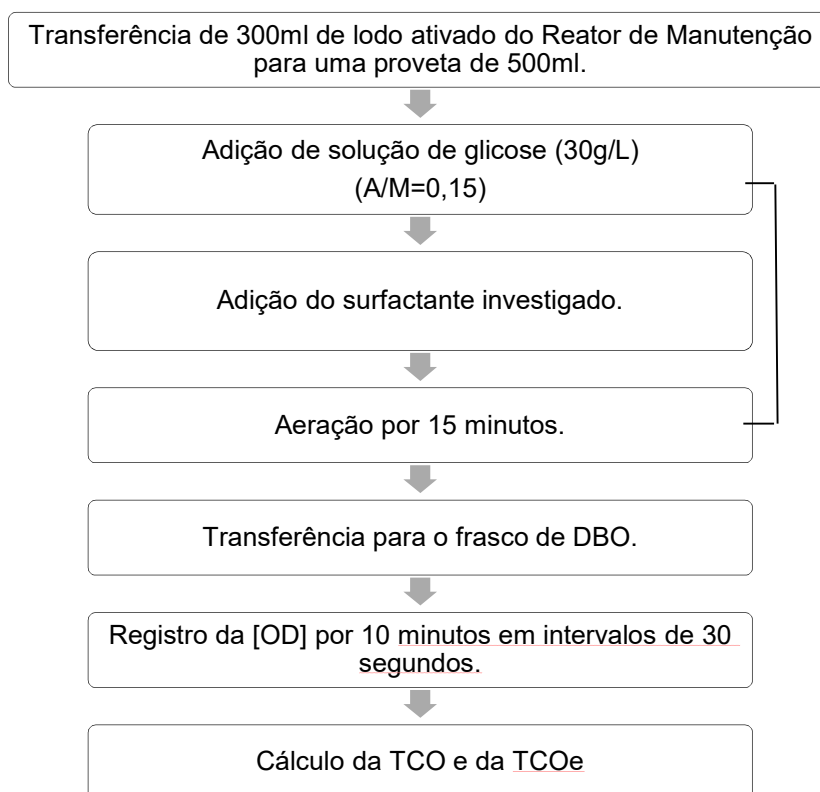
O procedimento experimental para realização dos testes está representado no fluxograma apresentado na Figura 2.4. A metodologia consistiu na transferência de 300 mL de lodo ativado do reator de bancada para uma proveta de 500 mL, onde foi adicionado composto rapidamente biodegradável (solução de glicose na concentração de 30 g/L) e a devida concentração do surfactante investigado. Nas réplicas do teste controle não foi adicionado o surfactante, somente a solução de glicose.

Em contato com estes compostos, o lodo foi aerado por 15 minutos na proveta, o tempo foi cronometrado com auxílio de um cronometro digital. Após 15 minutos de aeração o lodo foi transferido para um frasco de DBO de 300 mL com uma barra magnética dentro e apoiado sobre um agitador magnético e iniciou-se a leitura de OD da amostra. O agitador magnético é responsável pela constante

homogeneização do lodo durante todo o período de leitura do teste. O fluxograma metodológico está apresentada na Figura 2.4.

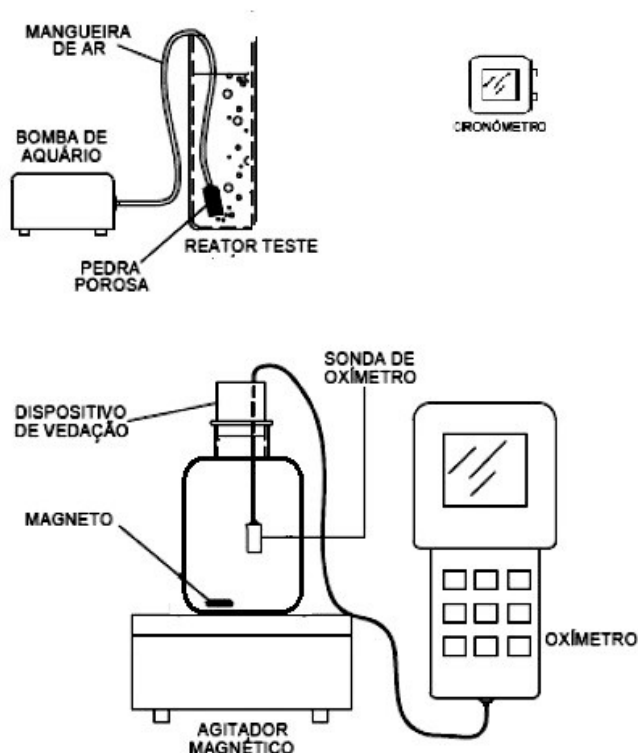
O arranjo dos equipamentos utilizados para realização dos testes está representado na Figura 2.5. Para a medição das concentrações de oxigênio dissolvido no lodo, foi utilizado um oxímetro portátil, acoplado de forma hermética ao frasco de DBO. O bocal do frasco de DBO tem a medida exata para o encaixe do eletrodo do oxímetro de maneira que não ocorre troca de gases do interior do frasco com a atmosfera.

Figura 2.4 Fluxograma do procedimento experimental dos testes de respirometria.



Fonte: Adaptado de Surerus, Giordano e Teixeira, (2014)

Figura 2.5 Representação dos materiais e equipamentos utilizados nos testes de respirometria.



Fonte: Adaptado de Surerus (2009)

A Figura 2.6 apresenta o reator de bancada e os equipamentos e materiais utilizados para realização dos testes de respirometria. Alguns cuidados foram tomados durante a realização dos testes para a aquisição de resultados fiáveis, foram eles:

- Evitar a sedimentação do lodo no decorrer do teste, para que a difusão do oxigênio dissolvido fosse a mais homogênea possível. Para isso definiu-se um número ótimo de rotações por minuto do agitador magnético, o qual foi mantido durante a realização de todos os testes.
- O eletrodo com o sensor de oxigênio dissolvido foi completamente mergulhado na amostra de maneira que não houvesse acúmulo de bolhas sobre a membrana do sensor, pois o mesmo influenciaria a leitura, não representando as condições reais do meio;
- Evitou-se o derramamento do conteúdo para atender a padronização do volume das amostras utilizadas no ensaio evitando a alteração do volume padrão;

- A fonte de carbono e sua concentração de DQO utilizada como substrato durante o teste foi sempre a mesma, para viabilizar a comparação entre os testes realizados.
- No início do teste, ao iniciar a aeração da amostra ocorreu a formação de espuma devido a adição de surfactante. Para minimizar a formação de espuma optou-se por diminuir a intensidade de aeração e realizar a etapa de aeração da amostra numa proveta, pois dessa forma as bolhas de ar expelidas pela pedra porosa no fundo da proveta teriam mais tempo de contato com a amostra até serem expelidas na superfície.

Figura 2.6 Foto dos materiais e equipamentos utilizados durante os testes de respirometria.



. Fonte: Autora (2016).

Dentre as possíveis fontes de carbono, a glicose foi utilizada como substrato, devido a sua estrutura simplificada e fácil degradação, o que propicia uma taxa máxima de consumo de oxigênio dos microrganismos. Outro aspecto importante para a escolha da glicose é que o substrato utilizado deve estar disponível no

efluente do qual o lodo teve origem, pois dessa forma apresentará alta afinidade. Sendo assim como o lodo ativado utilizado neste estudo é proveniente de um condomínio de indústria alimentícia, sugere-se esteja aclimatado com a glicose.

O cálculo da vazão de substrato (glicose) que foi adicionado ao frasco de 300 mL para alimentar o lodo durante os 15 minutos que antecedem o teste de respiração, ocorreu, de acordo com a Equação 2.2.

$$Q = \frac{VRM \times (A/M) \times SSV}{DQO_{\text{afluente}}} \quad (\text{Equação 2.2})$$

Sendo:

Q = Vazão Média de Alimentação (L/dia)

V = Volume da mistura(L)

A/M = Relação Alimento/Microrganismo (kgDQO/kgSSV.d⁻¹.)

SSV = Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L⁻¹)

DQO_{afluente} = Demanda Química de Oxigênio do Afluente (mg.L⁻¹)

O Volume de lodo ativado utilizado foi de 0,3 L. A relação Alimento/Microrganismo ideal foi definida como 0,15 kgDQO/kgSSV.d⁻¹. A concentração de SSV foi calculada a partir da média obtida dos resultados mais recentes, que foi em média 3500 mg.L⁻¹. A DQO da solução de glicose foi de 30000 mg.L⁻¹. Nas condições citadas foram necessários 5,25 mL de solução de glicose.

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) foram registradas a partir do tempo de 0 segundos e a cada 30 segundos, fixou-se o tempo máximo de dez minutos para a duração dos testes, pois a opção pelo registro de OD durante dez minutos e com intervalos curtos permite o melhor acompanhamento da respiração do lodo ativado ao longo do tempo de medição. Todos os experimentos foram realizados em triplicatas.

Nos testes de respirometria foi obtida a taxa de consumo de oxigênio (TCO) e posteriormente a taxa de consumo de oxigênio específica (TCOe mg.g⁻¹.h⁻¹). Os cálculos da TCO e TCOe de cada teste foram realizados de acordo com as Equações 1.1 e 1.2, (Seção 1.3).

$$TCO = \frac{(OD_i - OD_f)}{\Delta t}$$

Sendo:

TCO = Taxa de Consumo de Oxigênio, (mg.L⁻¹.h⁻¹)

ODi = concentração de oxigênio dissolvido no início do teste, (mg.L⁻¹)

ODf = concentração de oxigênio dissolvido no final do teste, (mg.L⁻¹)

Δ t = tempo de duração do teste, (h)

$$TCOe = \frac{TCO}{SSV}$$

Sendo:

TCOe = Taxa de Consumo de Oxigênio, (mg.g⁻¹.h⁻¹)

TCO = Taxa de Consumo de Oxigênio, (mg.L⁻¹.h⁻¹)

SSV = Sólidos Suspensos Voláteis (g.L⁻¹)

Os resultados dos testes foram interpretados por meio de gráficos da Taxa de Consumo de Oxigênio específica (TCOe) x concentração de surfactante, como exemplificado pela figura a seguir:

Para a avaliação da concentração de efeito não-observado (CENO) e da concentração de efeito observado (CEO) dos surfactantes ao lodo ativado, foi utilizado o programa estatístico TOXSTAT versão 3.3 Computer Program (GULLEY; BOELTER; BERGMAN, 1991). Os dados de cada experimento foram submetidos às análises de normalidade pelo método de Qui-quadrado e às análises de homogeneidade pelo método de Bartlett.

Todos os dados apresentaram distribuição normal e homogênea. Após tal constatação, foi avaliado se as diferenças observadas entre as concentrações investigadas de surfactante eram estatisticamente significativas em relação ao controle, através do método de análise de variância (p<0,05), ANOVA, conduzido pelo método paramétrico de Dunnett.

2.7 Observação microscópica qualitativa do lodo biológico

Assim que a amostra foi coletada na ETEI, foi mantida sob aeração, enquanto alíquotas foram retiradas para a observação do lodo. A observação foi realizada no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ, em microscópio óptico

estereoscópico binocular (Marca Nikon, Modelo Eclipse E200MVR) apresentado na Figura 2.7. As fotos foram feitas com a câmera digital Sony Cyber-shot (DSC-W350) com auxílio de um suporte acoplado na parte superior do microscópio (Figura 2.8).

Com auxílio de uma pipeta foi retirada uma alíquota de aproximadamente 0,05 mL de amostra do lodo armazenado no frasco, e colocado sob uma lâmina (25,4 x 76,2 mm) e selada por uma lamínula (24 x 50 mm). Não foi adicionado nenhum tipo de conservante ou preservativo químico. As observações foram realizadas em aumento das lentes objetivas de 10x e 40x.

Foram observados os principais organismos que compõem a microfauna do lodo biológico, a presença de organismos filamentosos e a morfologia dos flocos biológicos. A identificação dos organismos foi realizada de acordo com Gerardi (2006), Costa (2013) e Miloski (2015) por meio da comparação entre os organismos observados nas amostras de lodo e as figuras disponibilizadas nas referências citadas.

Figura 2.7 Microscópio óptico utilizado para a observação qualitativa do lodo.



Figura 2.8 Câmera acoplada ao microscópio (à esquerda) Câmera digital Sony Cyber-shot (DSC-W350) e suporte de apoio (à direita).



2.8 Ensaio de toxicidade aguda com o organismo-teste *Aliivibrio fischeri*

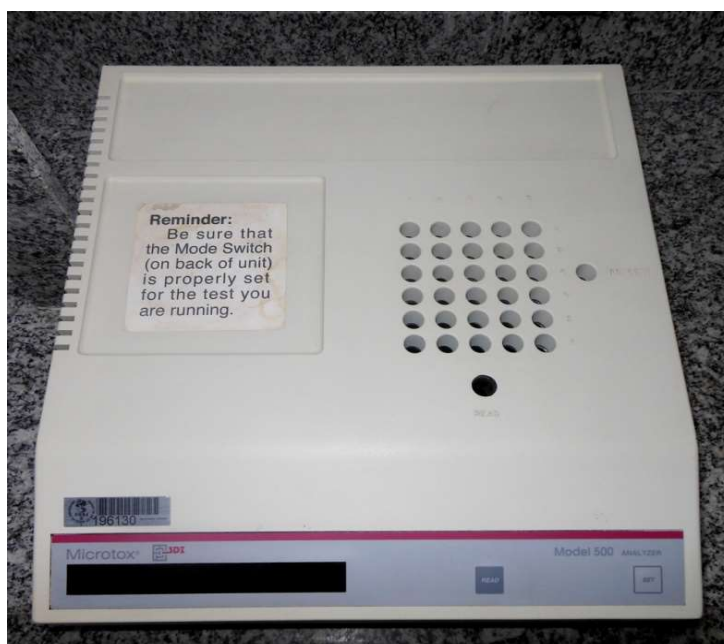
Para a realização dos ensaios de toxicidade aguda com a bactéria marinha luminescente *Aliivibrio fischeri* foi utilizada a Norma Técnica NBR 15411 (ABNT, 2012) e o protocolo “Basic Test” do manual do equipamento Microtox® SDI - model 500 Analyser.

Os ensaios ecotoxicológicos com *Aliivibrio fischeri* foram realizados no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ. Para este ensaio não foi necessário o cultivo das bactérias luminescentes *Aliivibrio fischeri* em laboratório, pois as mesmas são adquiridas comercialmente em forma liofilizada, por uma empresa revendedora certificada. O lote de bactérias foi enviado para o laboratório em isopor com gelo seco e no laboratório foram armazenadas no freezer a -20°C e mantidas congeladas. Cada ampola adquirida contém uma cultura de 10^8 células.

O teste de toxicidade aguda com o organismo teste *Aliivibrio fischeri* é um teste já validado no LES. Os ensaios necessários para avaliar a sensibilidade do lote de organismos e validar os resultados obtidos com o lote foram feitos utilizando como substância de referência, o Sulfato de Zinco Heptahidratado ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Os testes de toxicidade dos surfactantes investigados foram realizados no equipamento Microtox® (marca SDI - model 500 Analyser), apresentado na Figura 2.9. Este equipamento possui um luminômetro e controle de temperatura, no qual os poços com as diluições ficam a $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e num compartimento separado fica a solução de reconstituição da bactéria a $3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Um software, acoplado ao equipamento, realiza a análise estatística dos resultados.

Figura 2.9 Equipamento Microtox®



As amostras a serem analisadas devem apresentar salinidade entre 20 - 35, caso contrário necessitam ser ajustadas com adição de NaCl. As amostras devem apresentar, também, pH entre 7,0 a 8,5, caso contrário necessitam ser ajustadas com adição de HCl(5.3) ou NaOH(5.2), de maneira que esta adição não represente mais de 5% do volume total da amostra.

No momento do teste, as amostras foram diluídas com uma solução NaCl 2%, chamado diluente. A princípio, foi realizada a pipetagem da solução de reconstituição e do diluente na câmara de resfriamento a $15\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, e assim permaneceu por 15 minutos para estabilização da temperatura.

Após o período de estabilização foi realizada a leitura da intensidade de luminescência da suspensão bacteriana no tempo zero, ainda sem a presença da amostra. Imediatamente após a leitura inicial, as diluições da amostra de surfactante foram transferidas para as cubetas onde estavam as bactérias, e foi iniciado a

cronometragem do tempo. Todas as cubetas, ao receber a amostra diluída foram homogeneizadas manualmente. As concentrações iniciais de diluição do lauril éter sulfato de sódio foi de 87,4mg.L⁻¹ e do alquilbenzeno sulfonato linear foi de 22,5 mg.L⁻¹.

O procedimento de leitura repetiu-se após 30 minutos de contato da bactéria com a amostra de surfactante, caso ocorra redução na emissão de luz, esta redução é considerada uma resposta à toxicidade da amostra analisada.

A análise estatística foi realizada pelo *software* Microtox® OMNI 4.1. Os resultados de toxicidade foram expressos em valores de CE 50, que significa concentração efetiva a 50% dos organismos. Quanto menor este valor, mais tóxica é considerada a amostra. No caso da bactéria *Aliivibrio fischeri*, a CE 50 é a concentração que a bioluminescência é diminuída 50% em relação ao controle.

2.9 Relação dos equipamentos e materiais utilizados na fase experimental

Para a realização dos procedimentos laboratoriais realizados durante a fase experimental deste estudo, foram utilizados os equipamentos e materiais descritos na Tabela 2.7. Foram utilizadas substâncias químicas de grau analítico reconhecido. Para preparação das soluções de surfactantes e glicose foi utilizada água deionizada de grau Milli-Q®, e para preparação do efluente sintético foi utilizado água destilada devido ao grande volume necessário.

Tabela 2.7 Equipamentos utilizado durante a fase experimental do estudo.

Equipamento	Marca/Modelo	Finalidade
Balança analítica	SHIMADZU / ATX 224	Pesagem dos reagentes
Purificador de água MiliQ®	PROGARD T3 DIRECT8	Água utilizada no preparo das soluções
Compressor de ar	SEVEN STAR / S2000	Aeração dos reatores
Agitador Magnético	FISATOM / 751	Homogeneização das amostras
Cronômetro digital	VOLLO Stopwathc / VL-510	Cronometragem do tempo
Oxímetro	YSI / 550 Analyzer	Medição de oxigênio dissolvido
Microscópio óptico	NIKON/ Eclipse E200MVR	Observação microscópica do lodo ativado
Medidor de salinidade	SinoTech / RHS-10ATC	Medição de salinidade
Medidor de Ph	QUIMIS / 0400AS	Medição de pH
Microtox®	SDI / 500 Analyser	Ensaio de toxicidade aguda com a bactéria <i>Aliivibrio fischeri</i>

Materiais:

- Proveta graduada de 500 mL;
- Frascos de DBO;
- Mangueiras de silicone;
- Pedras porosas;
- Placas de Petri;
- Béquer graduado de 4000 mL;
- Balões volumétricos de 50mL;
- Pipeta automática de 1000 A 1000 µl;
- Micropipetas de 1-200µL e de 100-1000µL;
- Ponteiras de 1-200µL e de 100-1000µL;
- Picete com água deionizada;
- Picete para água destilada e para álcool 70%
- Água destilada;
- Álcool 70%;
- Água Milli-Q;
- Barra magnética;
- Solução de glicose (30g/L);
- Frasco para armazenagem da solução de glicose
- Intoxicante investigado (LAS e SLES)
- Frasco para armazenagem do intoxicante investigado
- Lâminas e lamínulas;

2.10 Surfactantes investigados

Para definição dos surfactantes investigados foi realizado um levantamento de todos os produtos de limpeza utilizados nos processos de lavagem e higienização das indústrias presentes no condomínio industrial e que gera o efluente tratado pela ETEI estudada. A partir deste levantamento, foi analisada a composição química dos produtos. Dois surfactantes, presentes na composição dos produtos verificados, foram escolhidos para serem investigados, devido a viabilidade de aquisição comercial dos mesmos, foram eles, o lauril éter sulfato do sódio e alquilbenzeno sulfonato linear.

O lauril éter sulfato de sódio (LESS) apresenta, como registro de CAS (Chemical Abstract Service), o número 1335-72-4. O aspecto visual do lauril éter sulfato de sódio é apresentado na Figura 2.10 e suas especificações químicas na Tabela 2.8.

Figura 2.10 Aparência visual do lauril éter sulfato de sódio.



Tabela 2.8 Especificações do LESS.

Lauril éter sulfato de sódio - LESS	
Aspecto	Líquido transparente
Cor	Apha 50
Densidade	1,03-1,05g/cm ³
Odor	característico
Ph solução 10%	7 a 9
Ponto de turvação	0 - (-) 2 °C
Teor de Cloreto de Sódio	máx. 0,12%
Teor de Dioxana 1,4	máx. 50ppm
Teor de ferro	máx. 3ppm
Teor de Formaldeído	0,1 - 0,02%
Teor de insulfatados	máx. 1%
Teor de substância ativa aniônica	26-28%
Teor de Sulfato de Sódio	máx. 0,7%
Viscosidade	máx. 300cps
<div> <div> LOTE FAB VAL MAR/2020 </div> <div> 15/0162 MAR/2015 </div> </div>	

O alquilbenzeno sulfonato linear (LAS) apresenta, como registro de CAS (Chemical Abstract Service), o número 27176-87-0. O aspecto visual do alquilbenzeno sulfonato linear é apresentado na Figura 2.11 e suas especificações químicas na Tabela 2.9.

Figura 2.11 Aparência visual do LAS.

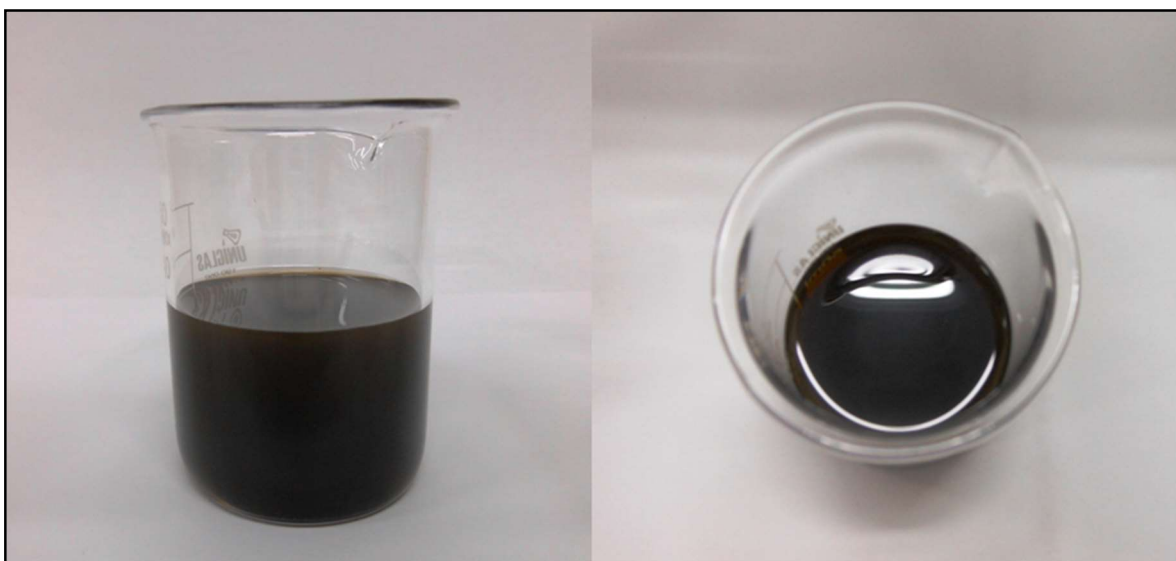


Tabela 2.9 Especificações do alquilbenzeno sulfonato linear.

Alquilbenzeno sulfonato linear - LAS	
Densidade 20/4	1,060 - 1,090°C
Substância ativa	88,0 -90%
Ácido sulfú. Livre	5,5 - 6,5%
Material insulfonada	máx 1,0%
LOTE	15/0287
FAB	ABR/2015
VAL ABR/2020	

Os experimentos com lauril éter sulfato de foram realizados nas concentrações de: 0; 43,7; 87,4; 174; 349; 699 e 1398 mg.L⁻¹. Já os experimentos com alquilbenzeno sulfonato linear foram realizados na ordem crescente de concentração de: 0; 45; 90; 180; 360; 719 e 1438 mg.L⁻¹. Essas concentrações foram estabelecidas de forma a atender o maior número possível e viável de diferentes concentrações, e estão apresentadas (na Tabela 2.10).

Ambos os surfactantes foram testados por três vezes no mesmo dia (triplicata da amostra) e depois foram novamente repetidos por mais dois dias diferentes (triplicata do ensaio). A cada dia de experimento, um “novo” lodo foi coletado no reator da ETEI ou no reator de bancada e todo o esquema experimental foi repetido.

Tabela 2.10 Concentrações investigadas de cada surfactante nos testes de respirometria.

Surfactante		Concentração (mg.L ⁻¹)						
LESS	0	43,7	87,4	174	349	699	1398	
LAS	0	45	90	180	360	719	1438	

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo encontram-se os resultados e a discussão dos parâmetros físico-químicos considerados relevantes para o estudo, dos experimentos de respirometria, da observação microscópica qualitativa do lodo biológico e dos ensaios de toxicidade com a bactéria *Aliivibrio fischeri*.

3.1 Caracterização físico-química

Durante o período de coleta, que compreendeu os meses de outubro a dezembro de 2015, todos os parâmetros físico-químicos do efluente final estiveram dentro dos limites permitidos pelas legislações do Rio de Janeiro, a NT 202 R.10 (INEA, 1986), a DZ 205 R.06 (INEA, 2007).

Em relação aos parâmetros óleos e graxas, sólidos sedimentáveis e detergentes foi observado uma frequência de 100% de resultados menores que $6,0\text{mg.L}^{-1}$, $0,5\text{ml/L}$ e $0,4\text{mg.L}^{-1}$, respectivamente, nas amostras do efluente final. Os resultados completos dos demais parâmetros físico-químicos encontram-se no Apêndice A. Cabe ressaltar que o efluente de entrada da ETEI contem óleos e graxas, característica comum para efluentes de algumas indústrias alimentícias. No entanto os óleos e graxas são removidos nas etapas anteriores ao processo de lodos ativados, não afetando assim o funcionamento do processo (Apêndice A).

A Tabela 3.1 apresenta os resultados dos parâmetros físico-químicos, sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos suspensos totais (SST), relação SSV/SST, demanda química de oxigênio (DQO), relação alimento por microrganismo (A/M), eficiência de redução de DQO, temperatura e pH do efluente coletado na ETEI.

Tabela 3.1 Valores mínimos, máximos, média de cada SSV, SST, SSV/SST, DQO, relação A/M, eficiência de redução de DQO, temperatura e pH do tanque de aeração da ETEI.

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média
SSV (mg.L ⁻¹)	2790	5050	3923
SST (mg.L ⁻¹)	3485	6045	4868
SSV/SST	0,79	0,84	0,81
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	82	727	336,80
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹ .)	0,02	0,23	0,09
Eficiência de redução de DQO (%)	31,70	92,60	80,10
Temperatura (°C)	28,3	30,7	29,87
pH	7,00	7,53	7,09

O valor médio de 3923 mg de SSV/L obtido no conjunto de todas as coletas, situa-se na faixa média de valores de SSV característico de um sistema de lodos ativados de aeração prolongada segundo Sant'anna (2011). As elevadas médias de SST e SSV encontradas no tanque de aeração sugerem alta concentração de biomassa microbiana.

A relação SSV/SST no tanque de aeração apresentou média de 0,81, valor próximo a média de 0,82 sugerida por Giordano e Surerus (2015) para o lodo ativado, segundo os autores valores superiores indicam lodo novo, ainda não apropriado para o desaguamento, e valores inferiores indicam lodo bem digerido, e apto ao desaguamento.

A relação A/M apresentou grande variação durante o período de coleta, apresentando valor mínimo de 0,02 e valor máximo de 0,23, com média de 0,09. Cokgor *et al.* (1998) compararam a eficiência de redução de DQO utilizando altas (0,45-0,60) e baixas relações A/M (0,13-0,22) em experimentos com efluente sintético, e constataram que em baixas relações A/M a redução de DQO foi maior.

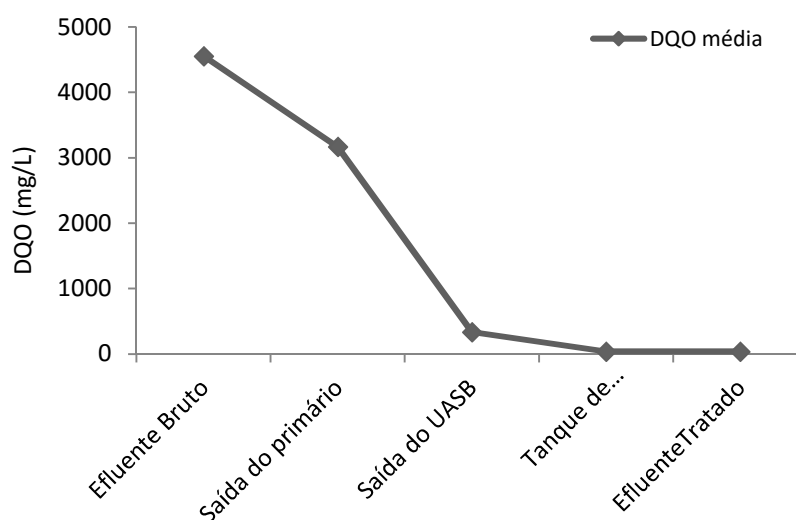
Em todo o período de coleta a temperatura do tanque de aeração da ETEI se manteve entre 28,3°C e 30,7°C. Di Berardino *et al.* (1997) estudando efluente de indústria alimentícia compararam a eficiência de um tratamento biológico, a 25°C e a 30°C e seus resultados confirmaram que para assegurar uma taxa de redução de DQO satisfatória é necessário um sistema a uma temperatura de pelo menos 30°C. Giordano e Surerus (2015) sugerem uma temperatura ideal para manter o processo de lodos ativados entre 26°C e 35°C, pois, se menores que 26°C ocorre diminuição da atividade biológica e se maiores que 36°C pode ocorrer o colapso do sistema.

O pH apresentou valor mínimo de 7,0 e valor máximo de 7,53, com média de 7,09, portanto dentro da faixa preferencial de manutenção do reator aeróbio em

processo de lodos ativados, que deve ser entre 6,8 e 8,2, segundo Giordano e Surerus (2015).

Na Figura 3.1 observa-se o decaimento dos valores de DQO ao longo do processo de tratamento da ETEI, a maior fração do valor de DQO é reduzida pelo reator UASB que antecede a etapa de lodos ativados. Ainda assim, a etapa de lodos ativados é importante para reduzir o valor de DQO remanescente. Mungray & Kumar (2008) compararam a eficiência de remoção de surfactantes por três tratamentos distintos e concluíram que o processo de lodos ativados é o tratamento mais eficiente quando comparado ao reator UASB e a lagoa de oxidação, na remoção de surfactantes. Portanto, o tanque de aeração após o reator UASB, é fundamental para degradação de detergentes presentes no efluente da ETEI.

Figura 3.1 Eficiência média de redução dos valores de DQO ao longo das etapas de tratamento da ETEI, durante o período de outubro a dezembro.



Considerando os valores de DQO do efluente bruto e do efluente tratado, a ETEI alcança em média uma eficiência de redução de 99,15% da DQO. Os resultados mostram que a DQO do efluente tratado foi inferior a 400mg.L⁻¹ durante todo o período de coleta, conforme preconizado pela DZ 205 R.06 (INEA, 2007), para indústrias do setor alimentício. A eficiência média de redução dos valores de DQO se considerado somente a pela etapa de tratamento por lodos ativados indica uma alta eficiência de redução da DQO, sugerindo elevada taxa de biodegradação no reator aeróbio.

3.2 Experimentos de respirometria

Nesta sessão estão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos experimentos de respirometria com o lauril éter sulfato de sódio e com o alquilbenzeno sulfonato linear, separadamente.

As medidas respirométricas foram registradas em planilhas com os valores de OD ao longo do tempo de duração do teste. As planilhas de registros dos experimentos encontram-se no Apêndice B e os gráficos de OD x Tempo encontram-se no apêndice C.

Foram calculados a TCO e a TCOe de acordo com as Equações 1.1 e 1.2 (seção 1.3), respectivamente. Os gráficos de TCO, encontram-se no Apêndice D. Optou-se por apresentar os resultados do estudo através dos gráficos de TCOe x concentração de surfactante. Foi calculado a média e o desvio padrão das triplicatas de cada experimento. Os pontos apresentados nos gráficos representam as médias das triplicatas e as barras, o desvio padrão.

O cálculo da CENO e da CEO, com intervalo de confiança de 95%, somente foi possível para os experimentos em que o surfactante causou efeito tóxico ao lodo ativado, portanto, para os experimentos 7, 8 e 9, com o alquilbenzeno sulfonato linear (LAS).

São apresentados também, os resultados dos parâmetros físico-químicos considerados relevantes para o estudo, os resultados completos dos parâmetros monitorados na ETEI encontram-se no Apêndice A.

3.2.1 Experimento com lauril éter sulfato de sódio (LESS) no reator de bancada

Os gráficos apresentados neste item são resultado dos experimentos de respirometria realizados com o lodo ativado aclimatado com efluente sintético em reator de bancada operado em regime de batelada e submetidos ao LESS durante a realização dos testes respirométricos. Estes experimentos foram realizados no laboratório de engenharia sanitária (LES) da UERJ.

A Tabela 3.2 apresenta as médias de SSV, DQO, da relação A/M, de eficiência de redução de DQO, da temperatura e do pH dos três reatores de bancada operados para realização dos experimentos 1, 2 e 3.

Tabela 3.2 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do reator de bancada.

Reator de bancada	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	3460
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	181,41
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	0,05
Eficiência de redução de DQO (%)	93
Temperatura (°C)	23
pH	8,0

O reator de bancada apresentou altas eficiências na redução de DQO, com média de 93% entre os experimentos 1, 2 e 3. O pH apresentou média de 8,0, portanto, dentro da faixa de manutenção entre 6,8 e 8,2, sugerida por Giordano e Surerus (2015).

3.2.1.1 Experimento 1

A amostra de lodo ativado utilizado para dar partida ao reator de bancada no experimento 1 foi coletada no dia 22/10/2015. Os ensaios de respirometria do experimento 1 foram realizados no dia 29/10/2016, após sete dias de aclimação do lodo ativado em reator de bancada, operado em regime de batelada e alimentado com efluente sintético.

A Tabela 3.3 apresenta a concentração de lodo no tanque de aeração da ETEI, expressa pelos parâmetros SST e SSV, e a relação SSV/SST, assim como os resultados de DQO, de eficiência de redução de DQO, da relação A/M, da temperatura e do pH do tanque de aeração da ETEI, no dia da coleta do lodo ativado.

Tabela 3.3 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.

Experimento 1	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	2655
SST (mg.L ⁻¹)	3215
SSV/SST	0,82
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	297
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	0,11
Eficiência de redução de DQO (%)	90
Temperatura (°C)	28,3
pH	7,0

Os resultados mostram que, no dia da coleta, a ETEI apresentou boa eficiência de redução da DQO (90%) e manteve os parâmetros físico-químicos dentro das suas características normais de operação (Seção 3.1).

A Tabela 3.4 apresenta a concentração de lodo, expressa pelo parâmetro SSV, assim como os resultados de DQO, de eficiência de redução de DQO, da relação A/M, da temperatura e do pH do lodo ativado do reator de bancada, no dia da realização do experimento 1.

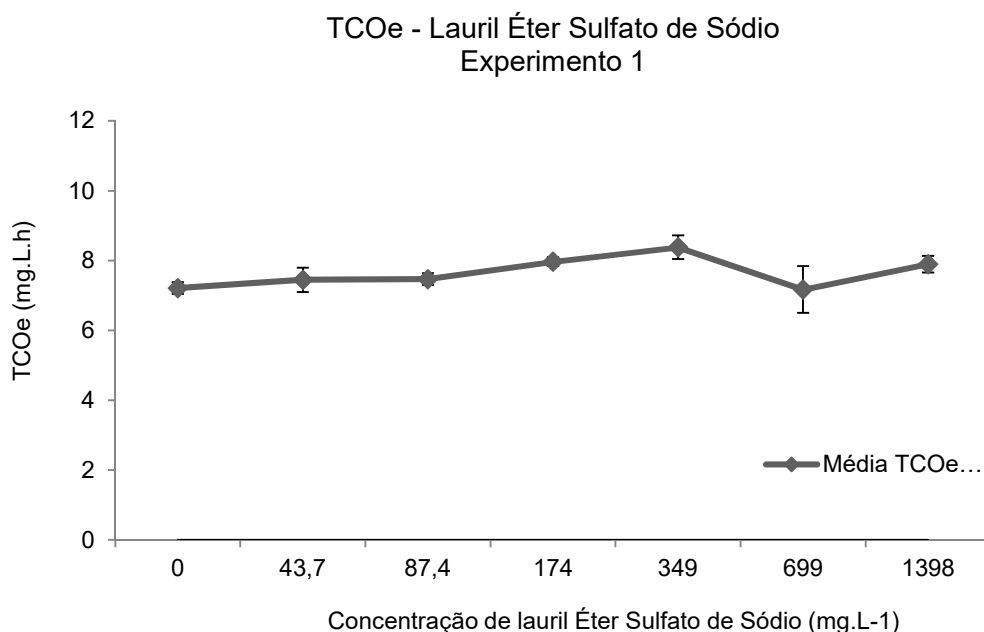
Tabela 3.4 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do reator de bancada operado no experimento 1.

Experimento 1 - Reator de bancada	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	3562
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	244
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	0,06
Eficiência de redução de DQO (%)	89
Temperatura (°C)	23°C
pH	8.0

Destaca-se neste experimento a elevada concentração de sólidos suspensos voláteis no reator. Em razão deste resultado, optou-se por nos demais experimentos realizar a diluição do lodo. A diluição foi feita com o próprio sobrenadante removido do reator durante as trocas de batelada. Esta decisão foi baseada na suspeita de que a alta concentração de lodo no frasco de DBO durante o teste respirométrico poderia interferir na leitura de oxigênio dissolvido pela sonda do oxímetro.

A Figura 3.2, apresenta a variação da TCOe com o aumento da concentração de lauril éter sulfato de sódio no lodo ativado do reator de bancada, dados obtidos no experimento 1.

Figura 3.2 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 1, realizado com lodo ativado do reator de bancada. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.1.



Os valores de TCOe mostram que o consumo de OD pelos microrganismos apresentou um ligeiro aumento até a concentração de 349 mg.L^{-1} , com um decaimento na concentração de 699 mg.L^{-1} de LESS. Conclui-se que no experimento 1 o LESS não causou toxicidade ao lodo ativado.

3.2.1.2 Experimento 2

A amostra de lodo ativado utilizado para dar partida ao reator de bancada no experimento 2 foi coletada no dia 19/11/2015. Os ensaios de respirometria do experimento 2 foram realizados no dia 27/11/2016, após oito dias de aclimação do lodo ativado em reator de bancada, operado em regime de batelada e alimentado com efluente sintético.

A Tabela 3.5 apresenta a concentração de lodo no tanque de aeração da ETEI, expressa pelos parâmetros SST e SSV, e a relação SSV/SST, assim como os resultados de DQO, de eficiência de redução de DQO, da relação A/M, da

temperatura e do pH do tanque de aeração da ETEI, no dia da coleta do lodo ativado.

Tabela 3.5 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.

Experimento 2	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	3960
SST (mg.L ⁻¹)	0,79
SSV/SST	727
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	0,23
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	92
Eficiência de redução de DQO (%)	29
Temperatura (°C)	7
pH	7,0

Os resultados mostram que, no dia da coleta, a ETEI apresentou boa eficiência de redução da DQO (92%) e manteve os parâmetros físico-químicos dentro das suas características normais de operação (Capítulo 3, Item 3.1

A Tabela 3.6 apresenta a concentração de lodo, expressa pelo parâmetro SSV, assim como os resultados de DQO, de eficiência de redução de DQO, da relação A/M, da temperatura e do pH do lodo ativado do reator de bancada, no dia da realização do experimento 2.

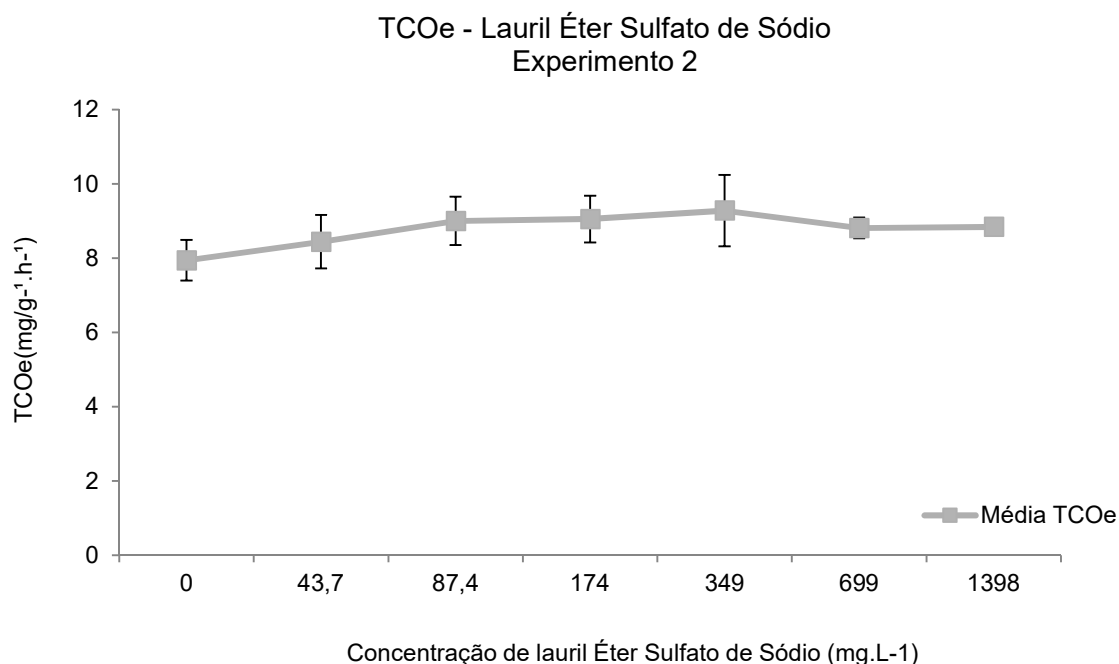
Tabela 3.6 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO reator de bancada operado no experimento 2.

Experimento 2 - Reator de bancada	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	3.158
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	132,4
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	0,04
Eficiência de redução de DQO (%)	94
Temperatura (°C)	23
pH	8,0

O lodo ativado utilizado para realização dos testes respirométricos do experimento 2 foi diluído duas vezes, apresentando concentração de 1579mg de SSV/L.

A Figura 3.3, apresenta a variação da TCOe com o aumento da concentração de LESS no lodo ativado reator de bancada, dados obtidos no experimento 2.

Figura 3.3 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 2, realizado com lodo ativado do reator de bancada. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.2.



Os valores de TCOe mostram que o consumo de OD pelos microrganismos aumentou até a concentração de 349 mg.L^{-1} , e apresentou um pequeno decréscimo em 699 mg.L^{-1} , se mantendo constante em 1398 mg.L^{-1} de LESS. Não foi observado, portanto, efeito tóxico do LESS ao lodo ativado no experimento 2.

3.2.1.3 Experimento 3

A amostra de lodo ativado utilizado para dar partida ao reator de bancada no experimento 3 foi coletada no dia 27/11/2015. Os ensaios de respirometria do experimento 3 foram realizados no dia 04/12/2016, após sete dias de aclimação do lodo ativado em reator de bancada, operado em regime de batelada e alimentado com efluente sintético.

A Tabela 3.7 apresenta a concentração de lodo no tanque de aeração da ETEI, expressa pelos parâmetros SST e SSV, e a relação SSV/SST, assim como os resultados de DQO, de eficiência de redução de DQO, da relação A/M, da

temperatura e do pH do tanque de aeração da ETEI, no dia da coleta do lodo ativado.

Tabela 3.7 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.

Experimento 3	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	2790
SST (mg.L ⁻¹)	3485
SSV/SST	0,80
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	82
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	0,02
Eficiência de redução de DQO (%)	32
Temperatura (°C)	30
pH	7,53

Os resultados mostram que, no dia da coleta, a ETEI apresentou baixa eficiência de redução da DQO (32%), o que pode ter ocorrido devido a baixa DQO de entrada no tanque de aeração.

A Tabela 3.8 apresenta a concentração de lodo, expressa pelo parâmetro SSV, assim como os resultados de DQO, de eficiência de redução de DQO, da relação A/M, da temperatura e do pH do lodo ativado do reator de bancada, no dia da realização do experimento 3.

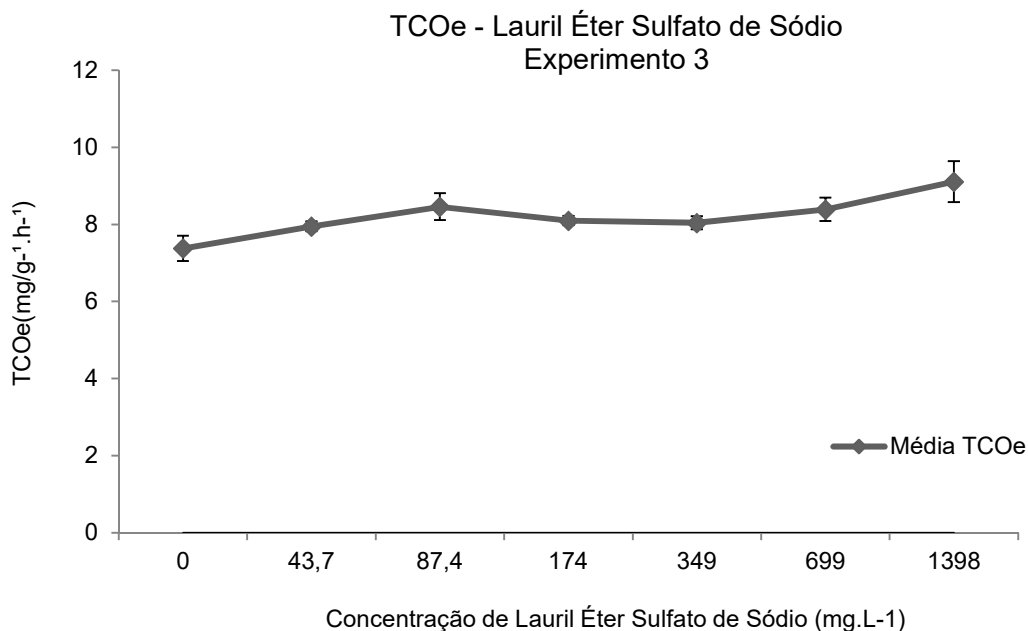
Tabela 3.8 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO reator de bancada operado no experimento 3.

Experimento 3 - Reator de bancada	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	3660
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	167,83
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	0,04
Eficiência de redução de DQO (%)	93
Temperatura (°C)	23
pH	8,0

O lodo ativado utilizado para realização dos testes respirométricos do experimento 3 foi diluído duas vezes, apresentando concentração de 1830mg de SSV/L.

A Figura 3.4, apresenta a variação da TCOe com o aumento da concentração de LESS no lodo ativado do reator de bancada, dados obtidos no experimento 3.

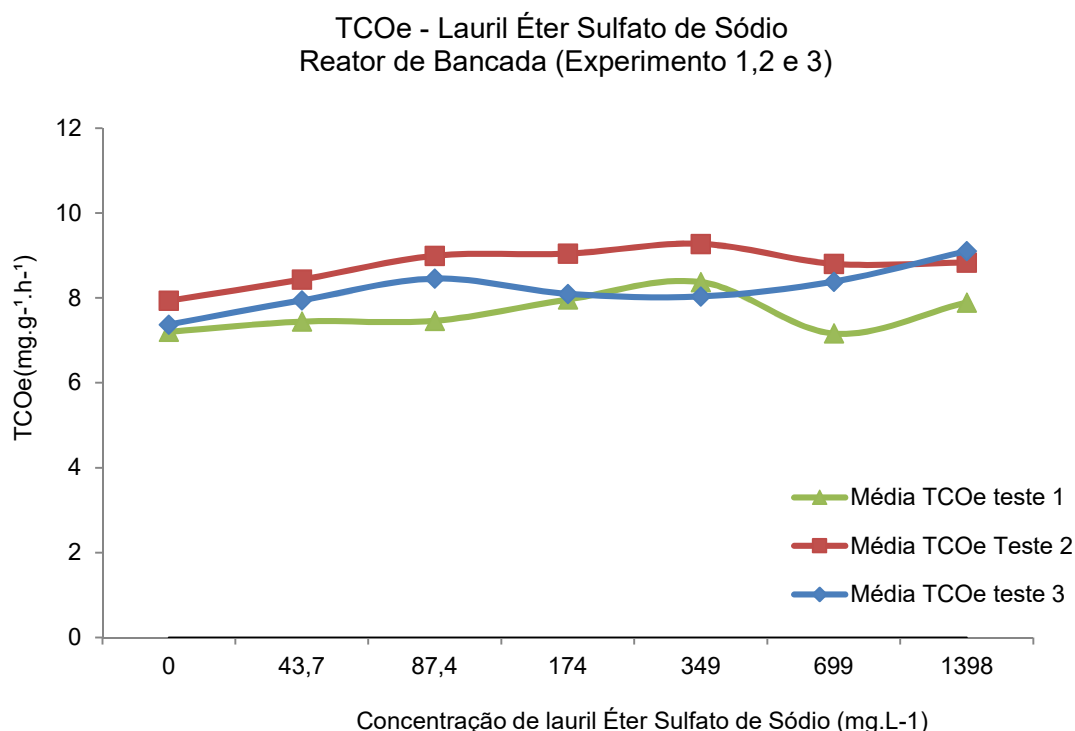
Figura 3.4 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 3, realizado com lodo ativado do reator de bancada. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.3.



Os valores de TCOe mostram que o consumo de OD pelos microrganismos aumentou até a concentração de $87,4 \text{ mg.L}^{-1}$, com pouca variação nas concentrações posteriores, e aumentando novamente a partir de 699 mg.L^{-1} , alcançando a maior TCO em 1398 mg.L^{-1} de LESS. Sendo assim, no experimento 3, o LESS não causou toxicidade ao lodo ativado.

A Figura 3.5, apresenta num mesmo gráfico o comportamento da TCOe nos experimentos 1, 2 e 3.

Figura 3.5 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 1,2 e 3 realizado com lodo ativado do reator de bancada. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata.

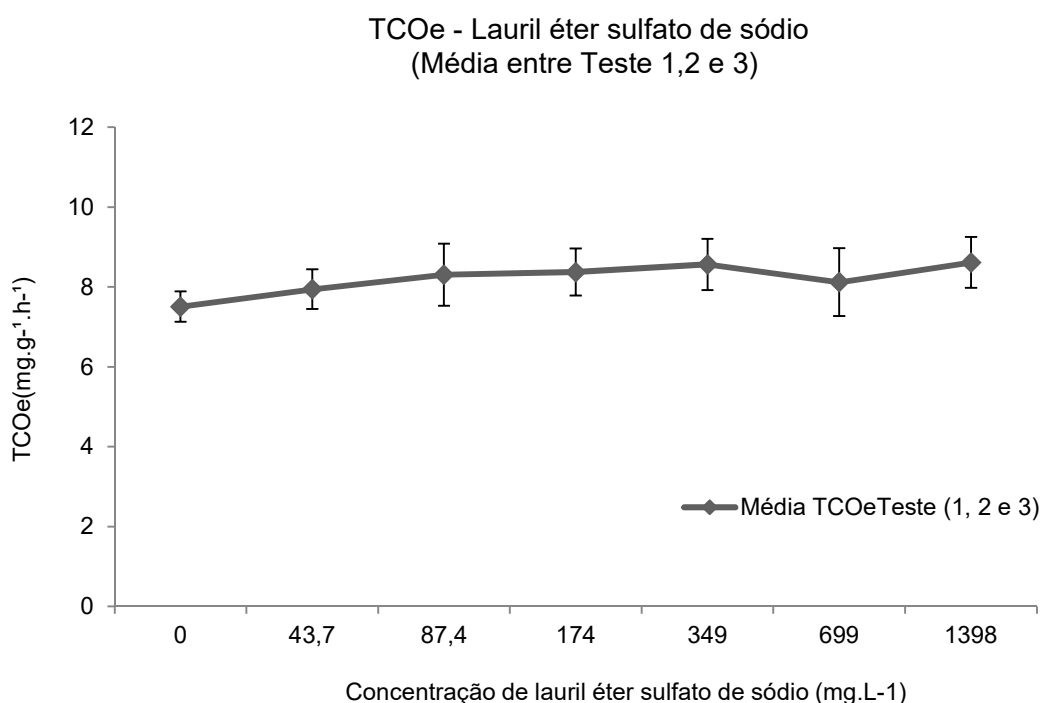


Observou-se que os valores de TCOe do teste controle foram próximos, variando de 7,21; 7,94 e 7,38 $\text{mg.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$, para os experimentos 1, 2, e 3, respectivamente. No entanto vale ressaltar que o experimento 1 apresentou uma maior variação dos valores de TCOe entre as concentrações de LESS em relação aos experimentos 2 e 3, o que pode ter sido provocado pela não diluição do lodo ativado neste 1º experimento, acarretando numa elevada concentração de biomassa no frasco de DBO. Devido a esse fato os demais experimentos foram realizados com lodo ativado diluído e seus resultados não apresentaram oscilação significativa entre as concentrações investigadas.

Percebe-se pela Figura 3.5 uma ligeira tendência de aumento dos valores de TCOe até a concentração de 87,4 mg.L^{-1} de LESS para os experimentos 1, 2 e 3. Rezende (2014) utilizando a respirometria para avaliar a influência de elevadas concentrações de nitrogênio, sulfeto e fenol no lodo ativado observou uma rápida adaptação dos microrganismos, a concentrações superiores a 100 mg.L^{-1} de nitrogênio amoniacal, sem perda significativa de eficiência no processo de tratamento biológico de efluentes.

A média entre os experimentos 1, 2 e 3 (Figura 3.6) apresentou um ligeiro aumento do valor de TCOe com o aumento da concentração de LESS, com exceção da concentração de 699mg.L⁻¹. Todos os experimentos obtiveram valor de TCOe na maior concentração (1398mg.L⁻¹) maior do que a TCOe sem a presença do LESS, indicando, portanto, não houve efeito tóxico do surfactante LESS o consumo de OD aos microrganismos do lodo ativado.

Figura 3.6 Relação TCOe (mg.L⁻¹.h⁻¹) x LESS (mg.L⁻¹). Média entre os experimentos 1, 2 e 3 realizado com lodo ativado do reator de bancada. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata.



Para avaliar a falta de efeito tóxico do LESS ao lodo ativado investigou-se a concentração do surfactante na amostra do lodo, ao final dos testes. Realizou-se para tal uma análise de detergente utilizando o método espectrofométrico MBAs (Tabela 3.9).

Tabela 3.9 Resultado da concentração de detergente na amostra do lodo ativado ao final dos testes respirométricos.

	LESS (mg.L ⁻¹)					
Concentração inicial	43,7	87,4	174	349	699	1398
Concentração após o Experimento	2,33	4,96	3,02	4,68	1,09	2,13

Pelos resultados apresentados na Tabela 3.10 constatou-se uma significativa remoção do LESS nas amostras, mesmo em suas concentrações mais elevadas, indicando que o LESS foi biodegradado pela biomassa microbiana durante a realização dos testes respirométricos. Observa-se, portanto, que o LESS é um composto de fácil biodegradação. Oliveira (2011) afirma ser o LESS um composto facilmente hidrolisável.

3.3.2 Experimento com Lauril éter sulfato de sódio (LESS) no reator da ETEI

Os resultados apresentados neste item são resultado dos experimentos de respirometria realizados com o lodo ativado da ETEI submetidos ao LESS. Estes experimentos foram realizados no próprio laboratório da ETEI e no mesmo dia em que eram realizadas as coletas para as análises físico-químicas das etapas de tratamento da ETEI, cujos resultados encontram-se no Apêndice A.

3.3.2.1 Experimento 4

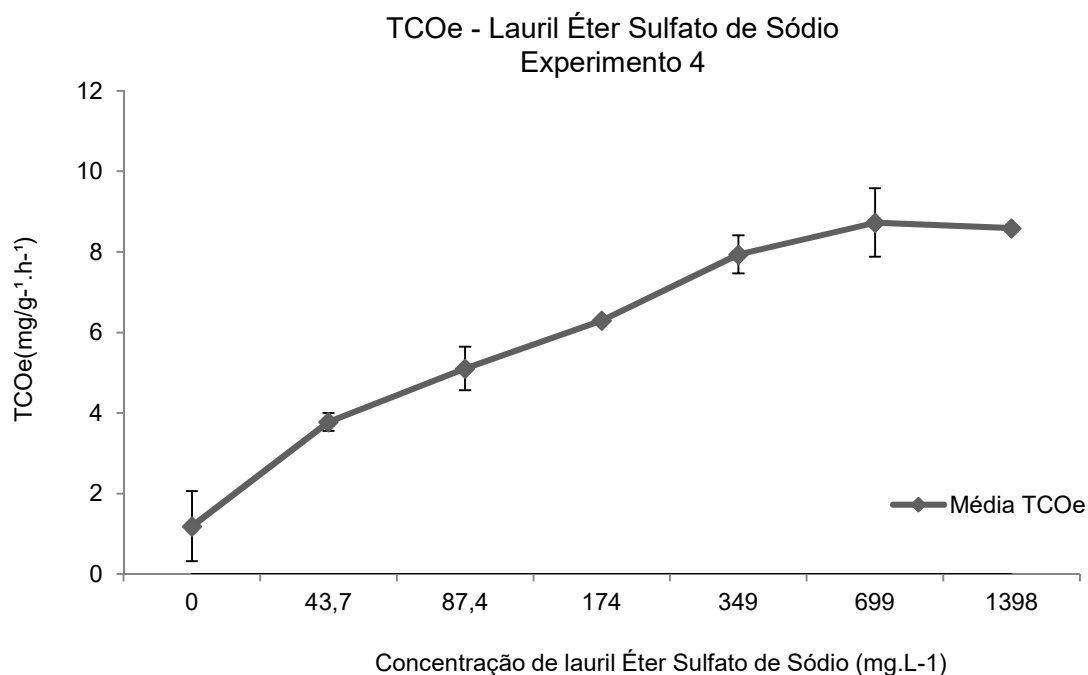
A Tabela 3.10 apresenta a concentração de lodo expressa pelos parâmetros SSV e SST, a relação SSV/SST, assim como a DQO, a relação A/M, a eficiência de redução da DQO, a temperatura e o pH do lodo ativado do tanque de aeração da ETEI, utilizado no dia da realização dos experimentos de respirometria.

Tabela 3.10 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.

Experimento 4	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	4250
SST (mg.L ⁻¹)	5280
SSV/SST	0,80
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	190
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	0,04
Eficiência de redução de DQO (%)	82
Temperatura (°C)	30,7
pH	7,0

A Figura 3.7 apresenta a variação do valor de TCOe com o aumento da concentração de LESS no lodo ativado da ETEI, dados obtidos no Experimento 4.

Figura 3.7 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 4, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.4.



Observa-se um aumento do valor de TCOe, indicando que LESS provocou o aumento do consumo de OD pelos microrganismos do lodo ativado, mesmo quando submetido as maiores concentrações de LESS. Dessa forma, pode-se afirmar que o LESS, no experimento 4 atuou como um substrato de fácil degradação pelo lodo, corroborando a hipótese de este surfactante é um composto facilmente biodegradável pelo lodo ativado

3.3.2.2 Experimento 5

A Tabela 3.11 apresenta a concentração de lodo expressa pelos parâmetros SSV e SST, a relação SSV/SST, assim como a DQO, a relação A/M, a eficiência de

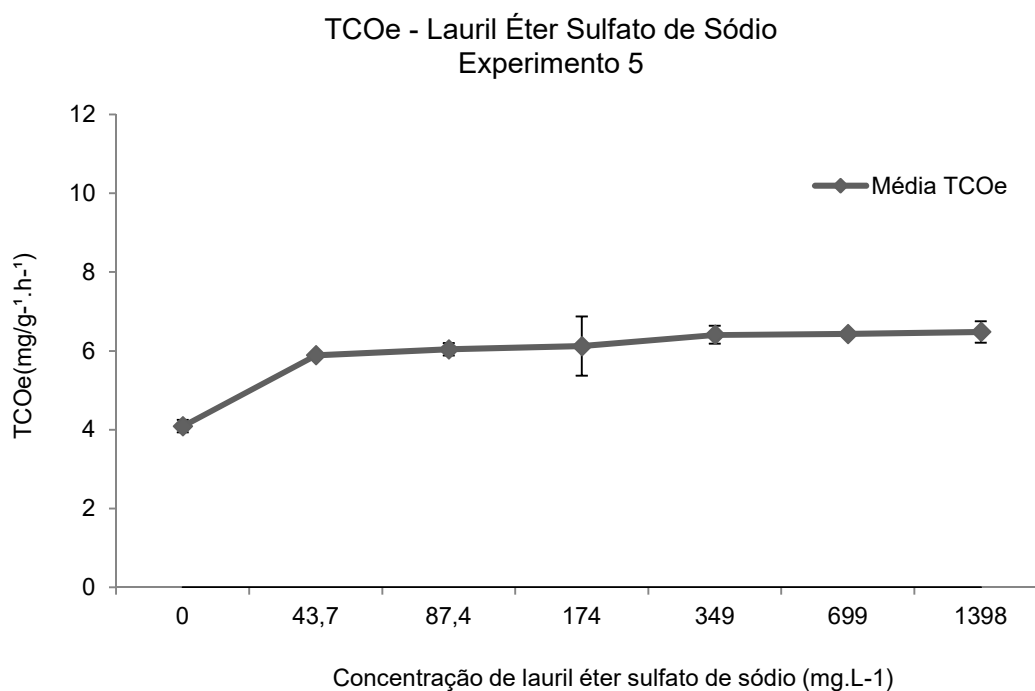
redução da DQO, a temperatura e o pH do lodo ativado do tanque de aeração da ETEI, utilizado no dia da realização dos experimentos de respirometria.

Tabela 3.11 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.

Experimento 5	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	4150
SST (mg.L ⁻¹)	5220
SSV/SST	0,79
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	297
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	0,07
Eficiência de redução de DQO (%)	93
Temperatura (°C)	30,3
pH	7,0

A Figura 3.8 apresenta a variação da TCOe com o aumento da concentração de LESS no lodo ativado da ETEI, dados obtidos no Experimento 5.

Figura 3.8 Relação TCOe (mg.L⁻¹.h⁻¹) x LESS (mg.L⁻¹). Experimento 5, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.5.



O consumo de OD pelos microrganismos foi pouco variável desde a concentração de, 43,7 mg.L⁻¹ até a maior concentração, 1398mg.L⁻¹, de LESS, mantendo-se algumas unidades acima da TCOe do teste controle.

3.3.2.3 Experimento 6

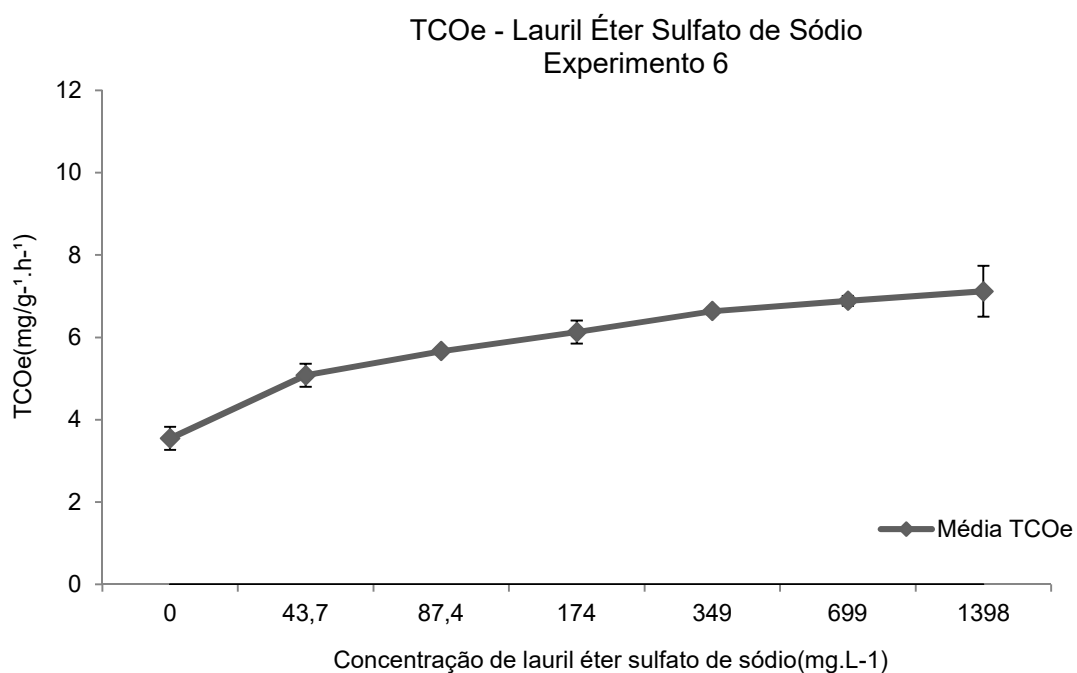
A Tabela 3.12 apresenta a concentração de lodo expressa pelos parâmetros SSV e SST, a relação SSV/SST, assim como a DQO, a relação A/M, a eficiência de redução da DQO, a temperatura e o pH do lodo ativado do tanque de aeração da ETEI, utilizado no dia da realização dos experimentos de respirometria.

Tabela 3.12 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.

Experimento 6	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	5050
SST (mg.L ⁻¹)	6045
SSV/SST	0,83
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	388
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	0,07
Eficiência de redução de DQO (%)	93
Temperatura (°C)	30,5
pH	7,0

A Figura 3.9 apresenta a variação do valor de TCOe com o aumento da concentração de LESS no lodo ativado da ETEI, dados obtidos no Experimento 6.

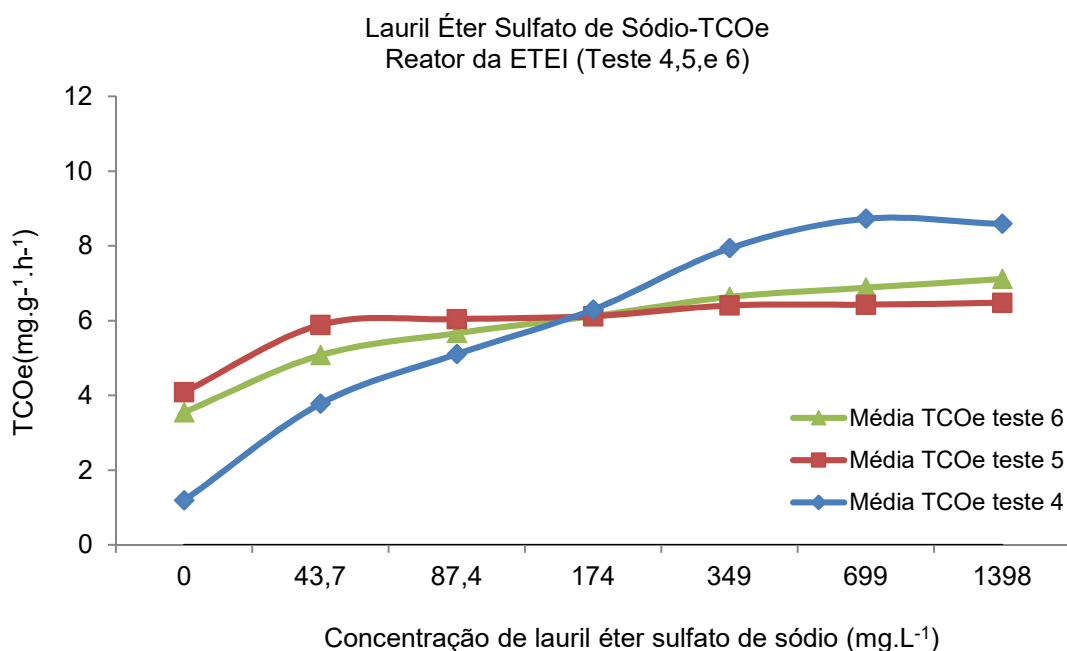
Figura 3.9 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 6, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.6.



Os resultados apontam um gradual aumento do consumo de OD pelo lodo com o aumento da concentração de LESS. Reafirmando a hipótese que o LESS age como um substrato facilmente degradável pelo lodo ativado.

A Figura 3.10 apresenta num mesmo gráfico o comportamento da TCOe nos experimentos 4, 5 e 6.

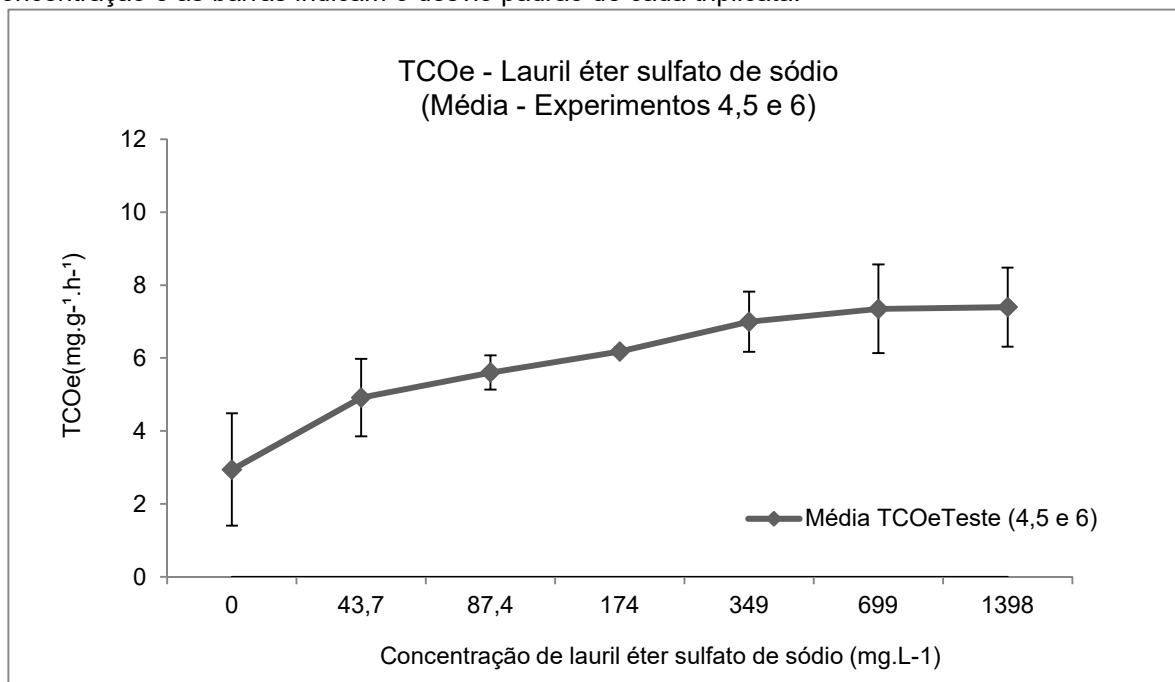
Figura 3.10 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Experimento 4, 5 e 6 realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração.



Nos três experimentos realizados não foi observado efeito tóxico do surfactante LESS aos microrganismos do lodo ativado da ETEI. Vale ressaltar que o menor valor de TCOe no teste controle do experimento 4 pode ter contribuído para diferenciá-lo notoriamente dos experimentos 5 e 6. Os experimentos 5 e 6 apresentaram comportamento semelhante, ambos, apresentaram um significativo aumento inicial da atividade metabólica, a qual se manteve constante nas concentrações seguintes.

A Figura 3.11 apresenta a média dos valores de TCOe obtida os experimentos 4, 5 e 6, com o desvio padrão entre os experimentos.

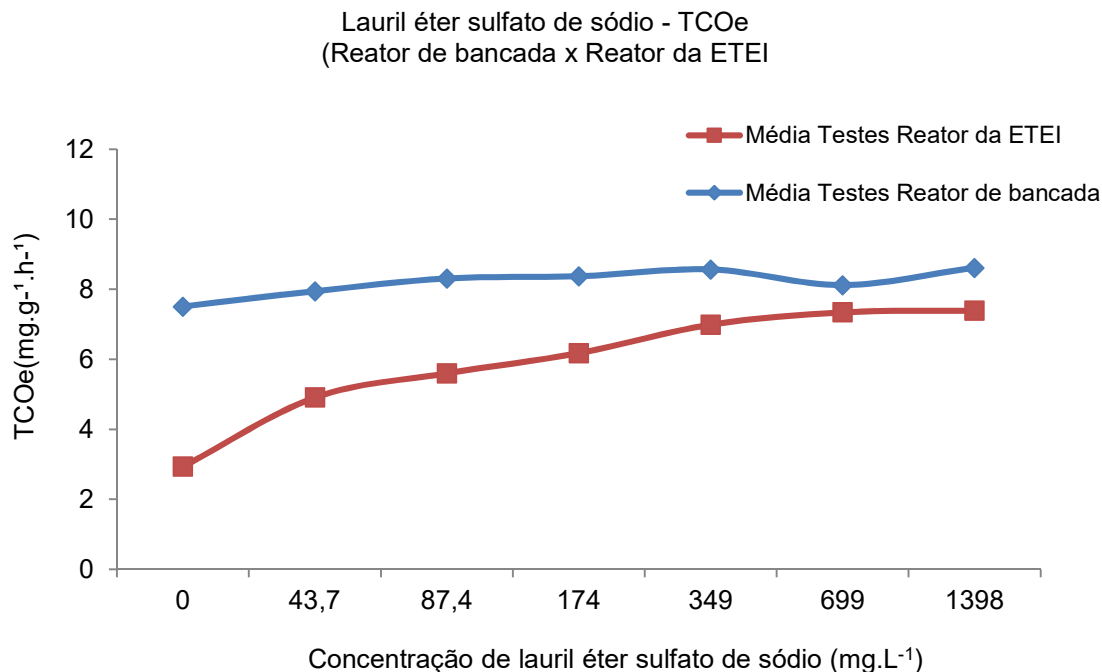
Figura 3.11 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Média entre os experimento 4, 5 e 6, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata.



Observou-se que a média dos experimentos apresentou um desvio padrão alto, com exceção da concentração de 174mg.L^{-1} de LESS, possivelmente, devido ao comportamento diferenciado da curva de TCOe no experimento 4, que apresentou uma curva de crescimento mais acentuado do que os experimentos 5 e 6..

A Figura 3.12 apresenta a média dos valores de TCOe dos três experimentos realizados com o lodo aclimatado em reator de bancada e no mesmo gráfico a média dos três experimentos realizados com o lodo ativado da ETEI.

Figura 3.12 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LESS (mg.L^{-1}). Média entre experimento 1, 2 e 3, realizados com lodo ativado do reator de bancada. Média entre experimento 4,5 e 6, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração.



As curvas apresentadas na Figura 3 apontam que o lodo ativado proveniente do reator da ETEI sofreu maior influência do LESS do que o lodo ativado proveniente do reator de bancada. Destacam-se ainda os valores mais altos de TCOe para o lodo do reator de bancada. Este resultado pode ser explicado pelo fato deste lodo não ter recebido carga tóxica, já que foi alimentado com efluente sintético, enquanto o lodo da ETEI por ser alimentado com efluente industrial que recebe muitos produtos químicos, pode ser um lodo intoxicado.

3.4 Experimento com Alquilbenzeno Sulfonato Linear (LAS) no reator da ETEI

Os resultados apresentados neste item são resultado dos experimentos de respirometria realizados com o lodo ativado da ETEI submetidos ao LAS. Estes experimentos foram realizados no próprio laboratório da ETEI e no mesmo dia em que eram realizadas as coletas para as análises físico-químicas das etapas de tratamento da ETEI, cujos resultados completos encontram-se no Apêndice A.

3.4.1 Experimento 7

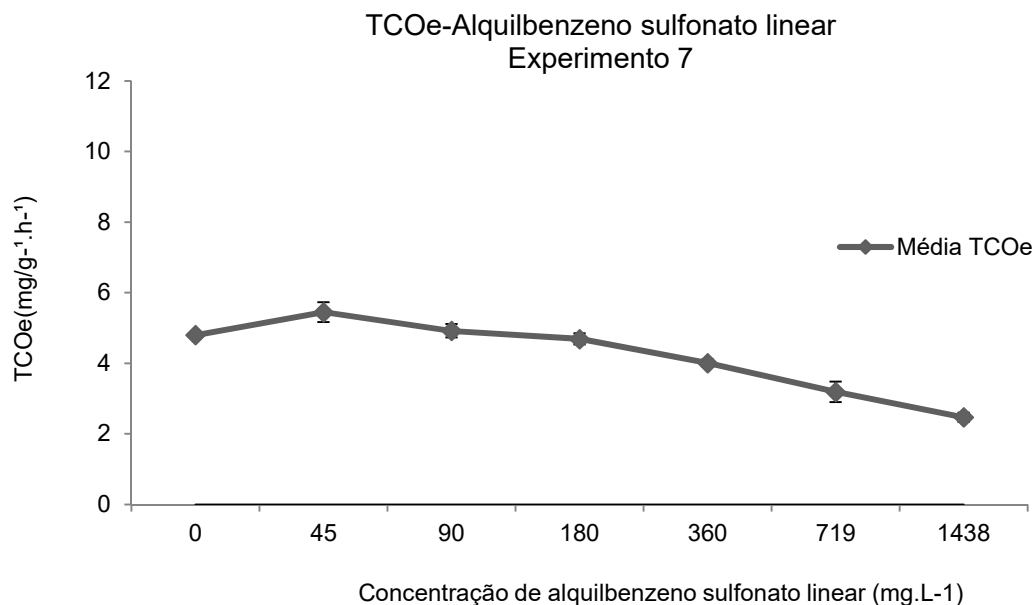
A Tabela 3.13 apresenta a concentração de lodo expressa pelos parâmetros SSV e SST, a relação SSV/SST, assim como a DQO, a relação A/M, a eficiência de redução da DQO, a temperatura e o pH do lodo ativado do tanque de aeração da ETEI, utilizado no dia da realização dos experimentos de respirometria.

Tabela 3.13 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.

Experimento 7	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	4250
SST (mg.L ⁻¹)	5280
SSV/SST	0,80
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	190
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	0,04
Eficiência de redução de DQO (%)	82
Temperatura (°C)	30,7
pH	7,0

A Figura 3.13 apresenta a variação da TCOe com o aumento da concentração de LAS no lodo ativado da ETEI, dados obtidos no experimento 7.

Figura 3.13 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LAS (mg.L^{-1}). Experimento 7, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.7.



No experimento 7, a concentração de efeito não-observado (CENO) do LAS foi de 180mg.L^{-1} e a concentração de efeito observado (CEO) foi de 360mg.L^{-1} . Sendo assim, neste experimento, o LAS apresentou toxicidade ao lodo ativado a partir de 360mg.L^{-1} .

3.4.2 Experimento 8

A Tabela 3.14 apresenta a concentração de lodo expressa pelos parâmetros SSV e SST, a relação SSV/SST, assim como a DQO, a relação A/M, a eficiência de redução da DQO, a temperatura e o pH do lodo ativado do tanque de aeração da ETEI, utilizado no dia da realização dos experimentos de respirometria

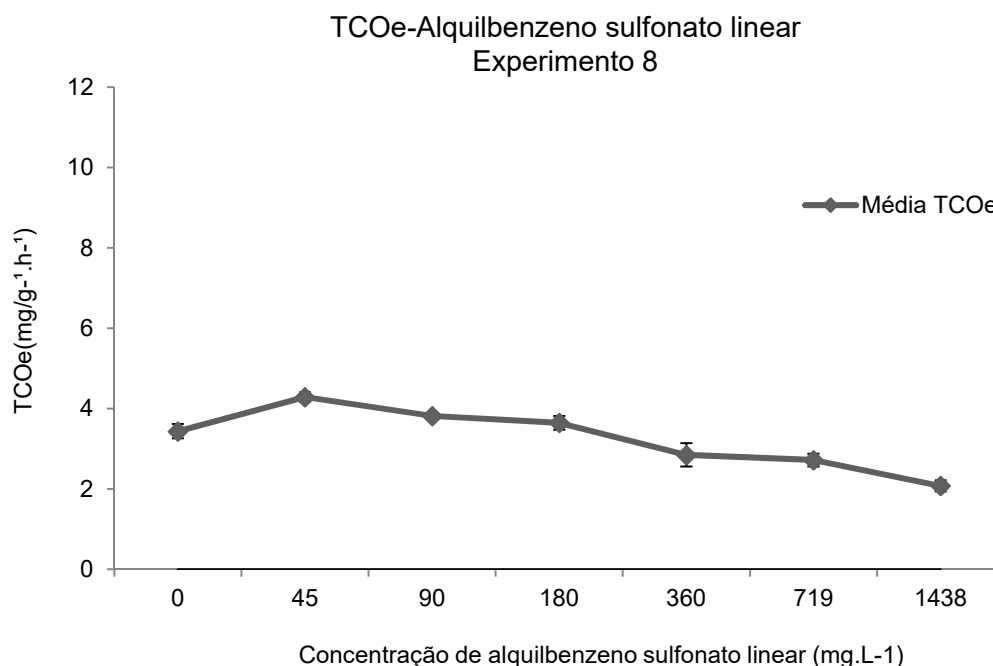
Tabela 3.14 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.

Experimento 8	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L^{-1})	4150
SST (mg.L^{-1})	5220
SSV/SST	0,79
DQO ($\text{mg.L}^{-1} \text{O}_2$)	297
A/M ($\text{kgDQO/kgSSV.d}^{-1}$)	0,07
Eficiência de redução de DQO (%)	93

Temperatura (°C)	30,3
pH	7,0

A Figura 3.14 apresenta a variação da TCOe com o aumento da concentração de LAS no lodo ativado da ETEI, dados obtidos no experimento 8.

Figura 3.14 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LAS (mg.L^{-1}). Experimento 8, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.8.



No experimento 8, a concentração de efeito não-observado (CENO) do LAS foi de 180mg.L^{-1} e a concentração de efeito observado (CEO) foi de 360mg.L^{-1} . Sendo assim, neste experimento, o LAS apresentou toxicidade ao lodo ativado a partir de 360mg.L^{-1} .

3.4.3 Experimento 9

A Tabela 3.15 apresenta a concentração de lodo expressa pelos parâmetros SSV e SST, a relação SSV/SST, assim como a DQO, a relação A/M, a eficiência de

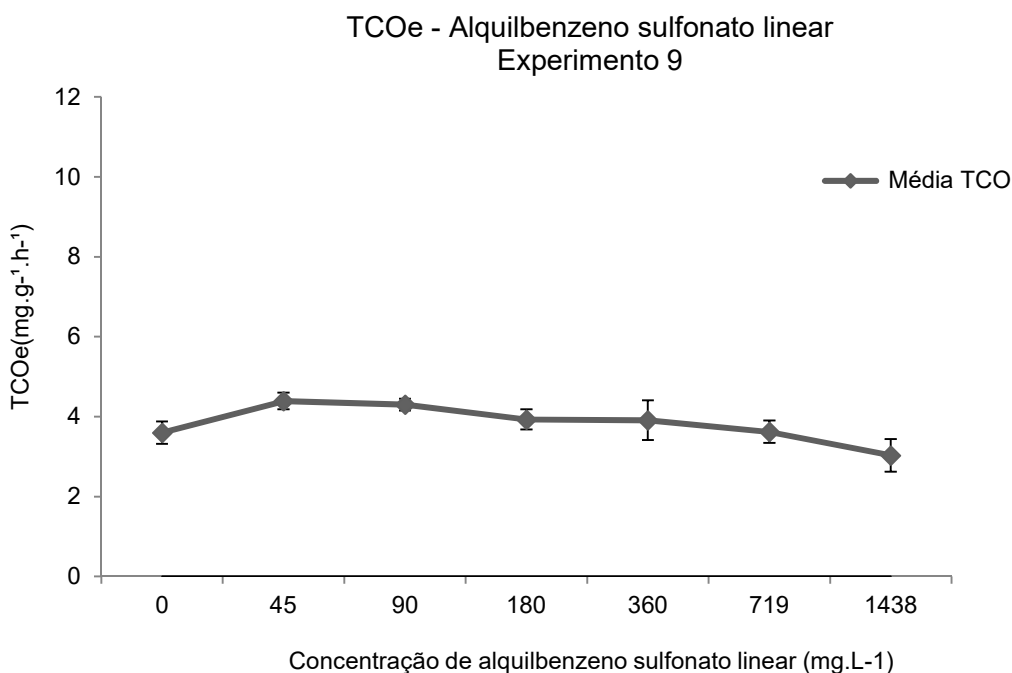
redução da DQO, a temperatura e o pH do lodo ativado do tanque de aeração da ETEI, utilizado no dia da realização dos experimentos de respirometria

Tabela 3.15 Parâmetros físico-químicos, relação A/M, e eficiência de redução da DQO do tanque de aeração da ETEI.

Experimento 9	
Parâmetros	Valores
SSV (mg.L ⁻¹)	5050
SST (mg.L ⁻¹)	6045
SSV/SST	0,83
DQO (mg.L ⁻¹ O ₂)	388
A/M (kgDQO/kgSSV.d ⁻¹)	0,07
Eficiência de redução de DQO (%)	93
Temperatura (°C)	30,5
pH	7,0

A Figura 3.15 apresenta a variação da TCOe com o aumento da concentração de LAS no lodo ativado da ETEI, dados obtidos no experimento 9.

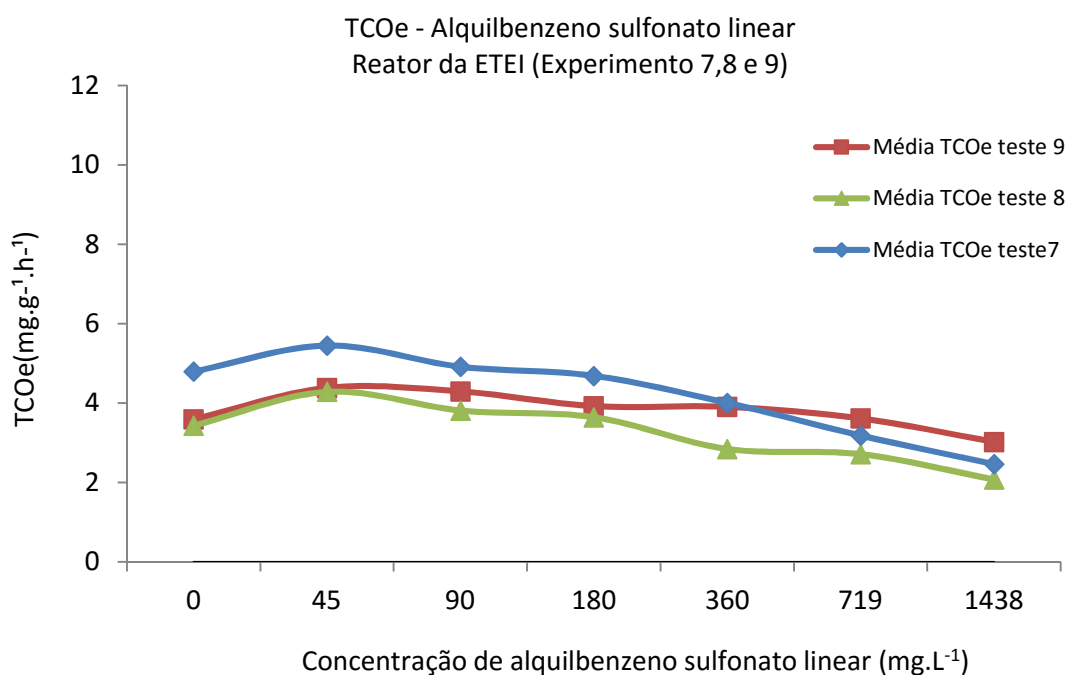
Figura 3.15 Relação TCOe (mg.L⁻¹.h⁻¹) x LAS (mg.L⁻¹). Experimento 9, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração e as barras indicam o desvio padrão de cada triplicata. Apêndice B.9.



No experimento 9, a concentração de efeito não-observado (CENO) do LAS foi de 180mg.L^{-1} e a concentração de efeito observado (CEO) foi de 360mg.L^{-1} . Sendo assim, neste experimento, o LAS apresentou toxicidade ao lodo ativado a partir de 360mg.L^{-1} .

A Figura 3.16 apresenta num mesmo gráfico o comportamento da TCOe nos experimentos 4, 5 e 6.

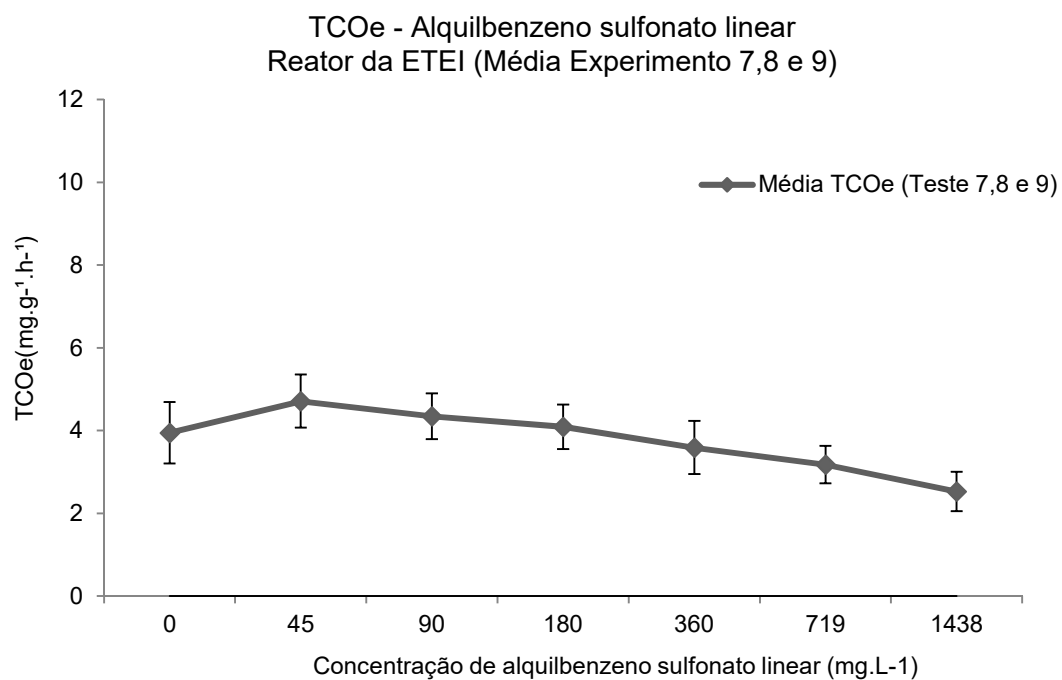
Figura 3.16 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LAS (mg.L^{-1}). Experimento 7,8 e 9, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração.



Nos experimentos 7,8 e 9, a concentração de efeito não-observado (CENO) do LAS foi de 180mg.L^{-1} e a concentração de efeito observado (CEO) foi de 360mg.L^{-1} , confirmando a reprodutibilidade dos resultados.

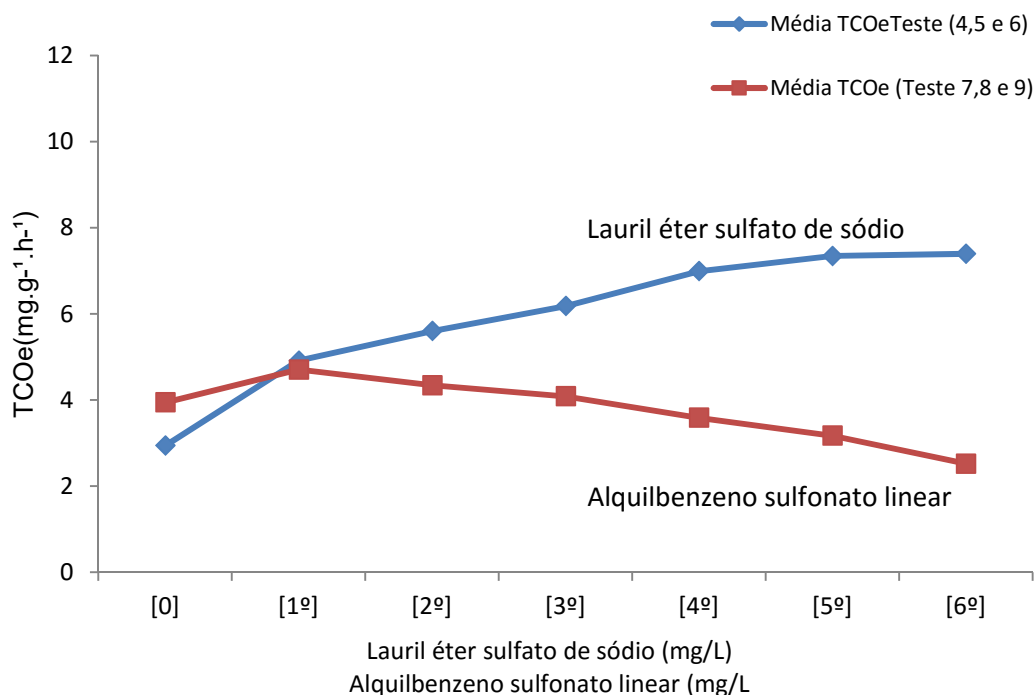
A Figura 3.17 aponta para o potencial efeito tóxico do LAS ao lodo ativado a partir de 90mg.L^{-1} .

Figura 3.17 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x LAS (mg.L^{-1}). Média entre os experimentos 7,8 e 9, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração.



A Figura 3.18 Apresenta a curva de comportamento dos experimentos de respirometria realizados com o lodo oriundo do reator da ETEI submetido ao LESS e o mesmo lodo submetido ao LAS.

Figura 3.18 Relação TCOe ($\text{mg.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) x Lauril sulfato de sódio e LAS. Experimento 4, 5 e 6, realizado com lodo ativado do reator de bancada e LAS (mg.L^{-1}). Experimento 7,8 e 9, realizado com lodo ativado do reator da ETEI. Cada ponto representa a média da triplicata de cada concentração.



O comportamento do lodo do reator da ETEI apresentou resultados contrários quando submetidos ao LESS em comparação ao LAS, a partir da segunda concentração de ambos os surfactantes. O LESS não causou efeito tóxico e sim o contrário, provocou o aumento do consumo de oxigênio pelos microrganismos mesmo em concentrações mais elevadas. Enquanto, o LAS causou significativo efeito tóxico aos microrganismos do lodo ativado da ETEI. Liwarska-Bizukojs & Bizukojs (2007) estudaram a influência de surfactantes sob a morfologia de flocos biológicos de lodos ativados e, dentre vários compostos, o LAS foi o que causou maiores danos à formação dos flocos, devido à redução a biomassa microbiana.

Observou-se também que nas concentrações iniciais de 45 mg.L^{-1} de LAS ocorre um aumento na TCOe comparado com a amostra controle. Miranda (2015) utilizando o método respirométrico para avaliar a influência do LAS em lodos ativados não detectou efeito tóxico do mesmo, no entanto, a maior concentração investigada foi de 24 mg.L^{-1} , corroborando com o que foi observado neste estudo, no qual o LAS também não apresentou efeito tóxico na concentração mais baixa investigada, de 45 mg.L^{-1} .

Esta mesma tendência de aumento inicial da TCOe foi observada para o LESS, indicando que em baixas concentrações dos surfactantes ocorre o um aumento no consumo de OD pelos microrganismos do lodo. Este aumento pode ser explicado pela atividade bacteriana, que ao receber o choque de LAS, tende nos primeiros minutos a aumentar absorção de oxigênio dissolvido, como tentativa de reagir à situação de estresse do ambiente. Esta hipótese é compartilhada por outros autores que ao submeterem o lodo ativado a valores não críticos de pH (BERANGER, 2009) e concentrações de NaCl (SANTOS, 2012) também encontraram maiores valores de consumo de OD pelos microrganismos.

A toxicidade apresentada pelo LAS indica que o lodo não está adaptado à presença deste composto em altas concentrações no efluente. No entanto, sabe-se que o LAS está presente no efluente da ETEI estudada, pois sua presença foi identificada na formulação dos produtos químicos de limpeza, utilizados nos processos de lavagem das indústrias, as quais têm seus efluentes tratados pela ETEI.

Provavelmente o LAS está presente nos efluentes industriais em geral, visto que, este é o surfactante mais amplamente utilizado na fabricação de detergentes. Torna-se relevante então a formulação de detergentes que provoquem menor impacto em estações de tratamento de efluentes industriais. Nitschke & Pastore (2002) em alternativa aos surfactantes químicos propõem em seu trabalho o uso de biosurfactantes na limpeza de instalações industriais devido à baixa toxicidade e natureza biodegradável dos mesmos.

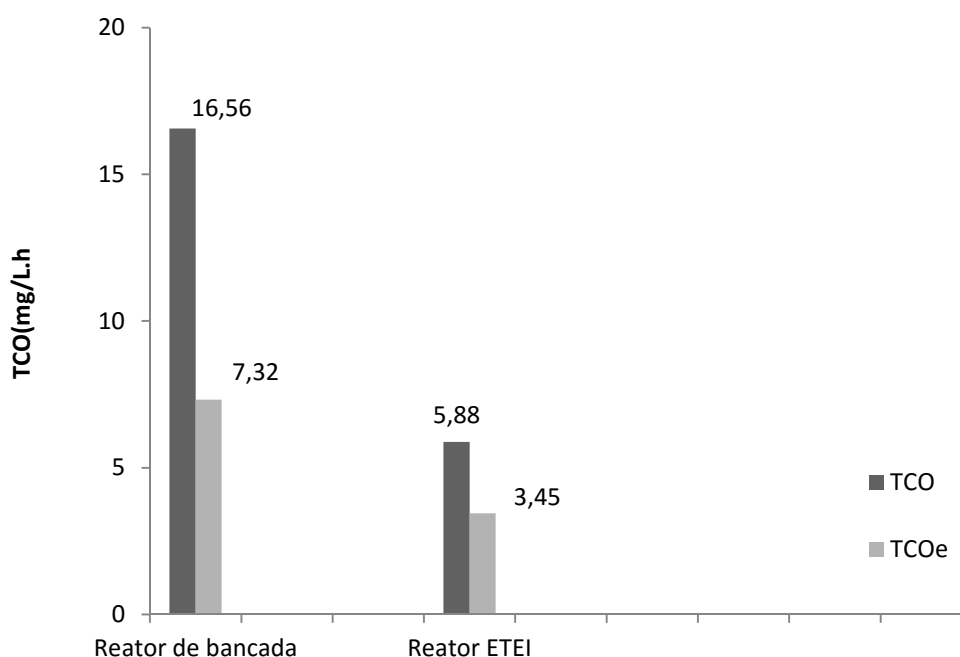
Borrely *et al.* (2014) propõem como pré-tratamento de efluentes com elevadas concentrações do surfactante LAS a aplicação de radiação ionizante, pois verificaram em seu estudo que este pré-tratamento viabilizou uma alta eficiente de degradação do LAS pelo lodo ativado e também reduziu a toxicidade do surfactante a bactéria *Aliivibrio fischeri*.

Outra alternativa seria a redução da concentração de substâncias empregadas nas operações de limpeza e desinfecção, utilizando, por exemplo, um sistema automático de limpeza como proposto pela CETESB em seu Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais (BRAILE CAVALCANTI, 1979), que trata da redução de efluente por indústrias alimentícias.

A Figura 3.19 apresenta os valores médios de TCO e a TCOe dos testes controle de todos os experimentos realizados, ou seja, sem a presença de

surfactante na amostra, permitindo avaliar o comportamento dos lodos ativados nas condições normais de operação. Os valores referentes ao reator de bancada correspondem à média dos três ensaios realizados e os valores referentes ao reator da ETEI correspondem à média dos seis ensaios realizados.

Figura 3.19 Valores médios de TCO e TCOe dos testes de respirometria sem a presença dos surfactantes na amostra de lodo ativado.



Os valores da TCO e TCOe do lodo ativado do reator da ETEI, são menores aos do lodo ativado do reator de bancada. Beranger (2009) utilizando o mesmo método respirométrico em lodo ativado também encontrou baixos valores de TCOe para efluente de indústria alimentícia. Araújo (2010) afirma que o efluente de indústria alimentícia possui uma alta concentração de gordura natural, condição esta que pode diminuir a capacidade respiratória da biomassa do lodo.

Uma diminuição do valor da TCO, quando não há redução da DQO aplicada, pode ser indicativa da presença de substâncias tóxicas ou inibidoras no afluente (COSTA, 2013; FERNANDES *et al.*, 2001; SANTOS, 2012;). Costa (2009) sugere que lodos ativados que não recebem descargas de compostos tóxicos apresentam maiores taxas de respiração do lodo ativado. Assim, é possível que neste estudo o

lodo ativado aclimatado em reator de bancada apresentou maiores valores de TCO por não receber descargas de compostos tóxicos.

Van Haandel & Marais (1999) apontam valores de TCO entre 30 e 100 mg O₂/L.h⁻¹ para lodos ativados de estações de tratamento de efluentes domésticos, significando taxa baixa e taxa alta, respectivamente. Os valores de TCO encontrados neste estudo situam-se entre 5,88 e 16,56, ou seja, abaixo dos valores encontrados na literatura para efluentes domésticos, porém, próximo aos valores encontrados para efluentes de indústrias alimentícias, como verificado por Beranger (2009) e Miloski (2015).

Cabe ressaltar que apesar dos baixos valores de TCOe do lodo ativado da ETEI estudada, a mesma apresentou elevada eficiência de remoção da carga orgânica, sugerindo que a biomassa microbiana presente no tanque de aeração é composta por organismos altamente adaptados ao efluente de entrada.

3.5 Ensaio de toxicidade aguda com o organismo-teste *Aliivibrio fischeri*

A Tabela 3.16 apresenta os valores de CE50 do teste de toxicidade aguda do Lauril éter sulfato de sódio (LESS) e do Aquilbenzeno sulfonato linear (LAS) (mg.L⁻¹) com bactéria *Aliivibrio fischeri*.

Tabela 3.16 Valor de CE50 (30 minutos) dos testes de toxicidade do LESS e do LAS (mg.L⁻¹) com bactéria *Aliivibrio fischeri*.

Surfactante	CE 50	R ²
Lauril éter sulfato de sódio (LESS)	8,31 mg.L ⁻¹	0,9999
Aquilbenzeno sulfonato linear (LAS)	3,36 mg.L ⁻¹	1,0000

O LESS apresentou valor de CE50 de 8,31mg.L⁻¹ e o LAS apresentou valor de CE50 de 3,36mg.L⁻¹. Scott & Jones (2000) verificaram que a concentração de LAS em estações de tratamento de esgoto nos EUA pode variar de 3 a 21 mg.L⁻¹. No Brasil, Giordano (1999), sugere que a concentração de LAS média em efluentes industriais é de 15 mg.L⁻¹, aproximadamente.

Para o LAS, Sütterlin, Alexy e Kümmerer (2008), encontraram valores de CE50 de 109,7mg.L⁻¹ para *Aliivibrio fischeri*. Estudos apontam que características estruturais podem influenciar na biodegradação do LAS (SALAGER & FERNÁNDEZ,

2004; PENTEADO; EL SEOUD; CARVALHO, 2006). Liwarska-Bizukojs & Bizukojs (2007) confirmaram o encontrado por Prats *et al* (1992), que a toxicidade de compostos homólogos ao LAS aumenta com o aumento da massa molar dos isômeros. Assim, Sütterlin, Alexy e Kümmerer (2008), podem ter analisado um isômero de maior massa molar do que o investigado neste estudo.

Os resultados mostram ainda que o LAS foi mais tóxico a bactéria *Aliivibrio fischeri* do que o LESS, o que corrobora com os resultados do método respirométrico empregado neste estudo, no qual o LAS também foi mais tóxico, apesar de os testes respirométricos identificarem toxicidade em concentrações mais elevadas ($>90 \text{ mg.L}^{-1}$).

Acredita-se que a grande diferença entre as concentrações tóxicas encontradas nos testes de toxicidade aguda com a bactéria *Aliivibrio fischeri* (Microtox[®]) e nos testes respirométricos, pode ser devido aos diferentes organismos-teste, pois o Microtox[®] é realizado com uma única espécie de bactéria, de habitat marinho, enquanto o teste respirométrico é realizado com o lodo biológico, representado por uma comunidade bacteriana bastante heterogênea e adaptada a matriz complexa de substâncias presentes no efluente industrial. Por conseguinte, para se determinar o potencial tóxico de determinada substância ao lodo ativado de uma ETEI, indica-se utilizar como organismo-teste o próprio lodo ativado, portanto, o método respirométrico.

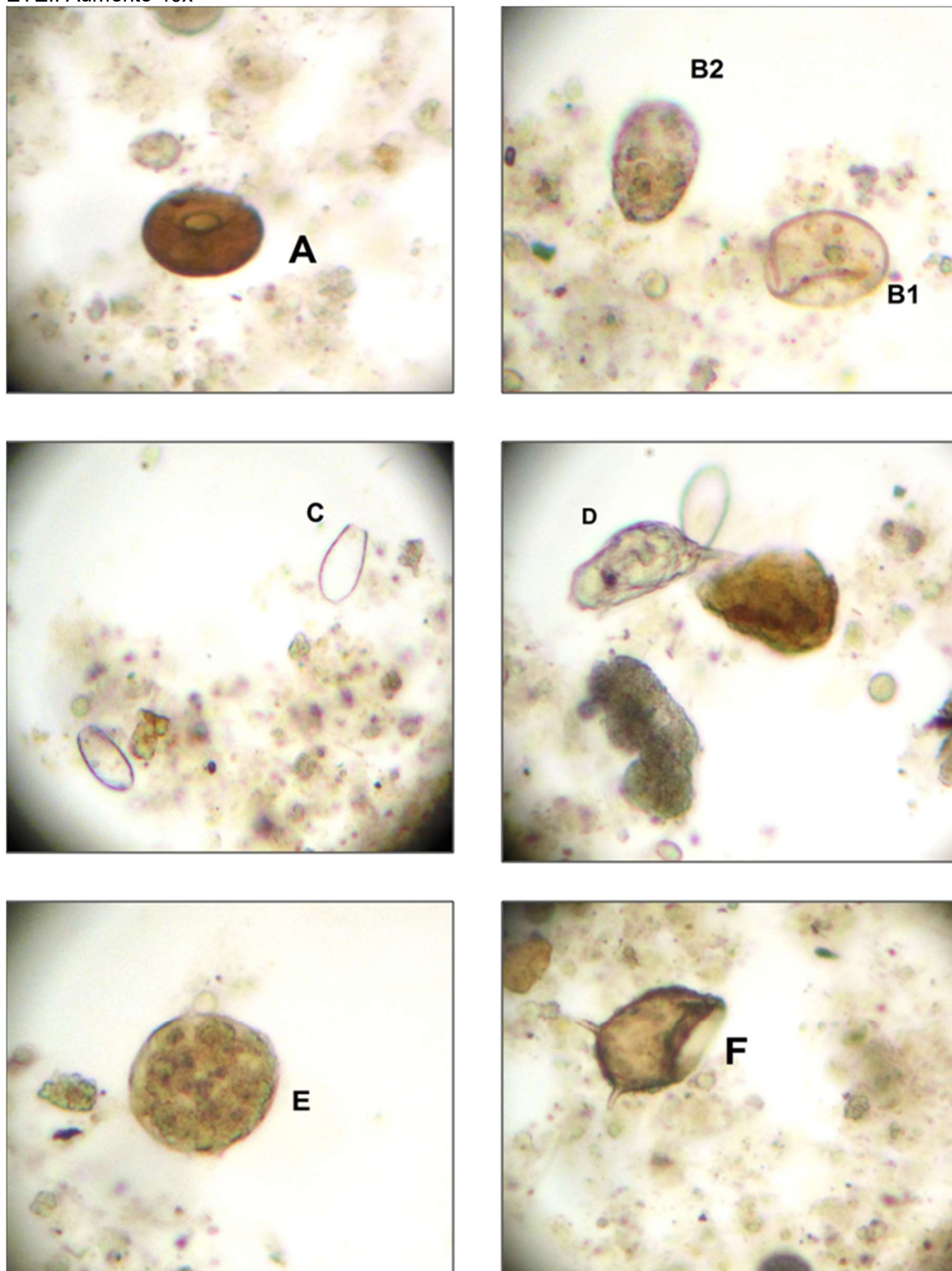
Assim como os resultados encontrados neste estudo, Gutierrez, Etxebarria e De Las Fuentes (2002) também verificaram maior toxicidade do LAS a bactéria *Aliivibrio fischeri* do que aos microrganismos do lodo ativado de estações de tratamento.

Liwarska-Bizukojs *et al.* (2005) submeteram surfactantes da família dos alquil sulfatos a três ensaios distintos com organismos-teste aquáticos, *Physa acuta*, *Draparnaud*, *Artemia Salina* e *Raphidocelis subcapitata*. Os resultados mostraram que todos os surfactantes da família dos alquil sulfatos foram nocivos aos organismos aquáticos, com CL50 variando entre 10 e 100 mg.L^{-1} . Romanelli (2004) verificou que o LAS foi seis vezes mais tóxico para a bactéria *Aliivibrio fischeri* do que para *Daphnia*. Reynolds *et al.* (1987) encontraram o Microtox[®] como sendo o teste mais sensível em comparação a cinco outros tipos de testes de toxicidade.

3.6 Observação microscópica qualitativa do lodo biológico

As Figuras 3.20 e 3.21 exemplificam os representantes dos microrganismos observados no lodo ativado do tanque de aeração da ETEI alimentícia.

Figura 3.20 Fotomicrografias *in vivo* da biota encontrada no lodo ativado do tanque de aeração da ETEI. Aumento 40x



Legenda: **A.** Tecameba do gênero *Arcella* **B1.** Tecameba do gênero *Arcella* **B2.** Ciliado não identificado; **C.** Tecameba do gênero *Euglypha* **D.** Rotífero (Metazoa); **E. F.** Tecameba.

Figura 3.21 Fotomicrografias *in vivo* de tecamebas (amebas com carapaça) e micrometazoários encontrados no lodo ativado do tanque de aeração. Aumento 40x



Legenda: **G.** Tecameba **H.** Metazoário não identificado **I.** Rotífero (Metazoa);

Pela microscopia do lodo ativado do reator da ETEI, observou-se o predomínio de tecamebas, com notório destaque do gênero *Arcella* e *Euglypha* sp, rotíferos, e outros ciliados e protozoários não identificados. Também observou-se a frequência do gênero *Aspidisca*, porém não foi possível realizar uma fotomicrografia de qualidade deste grupo, devido a agilidade com estes microrganismos se movimentam no lodo.

A presença de *Arcella* sp e *Euglypha* sp são indicadores de sistema de lodos ativados operados com baixa relação A/M, o que é corroborado pela A/M média de 0,09 apresentada pela ETEI durante o período de coleta. Os micrometazoários

também apontam para um elevado tempo de detenção celular no processo, considerado como uma idade do lodo maior do que 18 dias (BENTO *et al.*, 2005), que também corrobora com a idade do lodo ativado da ETEI, pois a mesma por apresentar baixa relação A/M tem seu processo de lodos ativado considerado de aeração prolongada.

A presença de táxons superiores, como rotíferos, está relacionada à estabilidade do lodo em relação aos parâmetros de oxigênio dissolvido, alta concentração de carga orgânica e presença de substâncias tóxicas.

Não foi observado a presença de organismos filamentosos. Segundo Heylen (2006) os microrganismos filamentosos constituem, em situação normal de funcionamento menos de 10% da biomassa total, porém, desempenham um papel fundamental na formação e manutenção dos flocos de lodos ativados devido sua capacidade de retenção de pequenas partículas, e a agregação entre flocos, contribuindo para a clarificação do efluente. No entanto quando há poucos filamentosos, os flocos biológicos são fracos e pequenos, floco "pin-point".

Sabe-se que o floco "pin-point" é causado por baixa relação A/M, elevada agitação no tanque de aeração e presença de substâncias tóxicas (VAN HAANDEL *ET AL*, 1999; JORDÃO & PESSOA, 2005), O lodo ativado investigado neste estudo apresenta-se sob tais condições, visto que apresenta baixa relação A/M; ou seja por carga orgânica, elevada agitação no tanque de aeração posto que o mesmo apresenta elevadas concentrações de oxigênio dissolvido; presença de substâncias tóxicas, como o LAS, comprovadamente tóxicos como encontrado neste estudo

CONCLUSÕES

- O teste de respirometria utilizado neste trabalho mostrou-se eficaz na avaliação da toxicidade dos surfactantes estudados sob o lodo ativado. Contribuíram para a eficácia observada a estabilidade dos resultados de TCOe.
- A tendência inicial de aumento da TCOe observada tanto para o lauril éter sulfato de sódio como para o LAS, indica que em baixas concentrações destes compostos ocorre um aumento da atividade respiratória da biomassa microbiana como reação de defesa as condições estressantes do meio.
- O lauril éter sulfato de sódio não tem efeito tóxico sob os microrganismos, tanto do lodo ativado proveniente do reator de bancada quanto do lodo ativado proveniente da ETEI.
- Os testes respirométricos juntamente com a análise de detergente indicam que o lauril éter sulfato de sódio é facilmente biodegradado pelo lodo ativado, mesmo em concentrações superiores a 1400 mg.L⁻¹.
- O LAS apresentou toxicidade aos microrganismos do lodo ativado, a partir de 360 mg.L⁻¹, portanto, acima destas concentrações o LAS pode prejudicar o funcionamento do processo de lodos ativados.
- Os resultados sugerem que produtos formulados com o composto LAS são potencialmente mais tóxico ao lodo do que produtos formulados com o composto com o lauril éter sulfato de sódio.
- O lodo ativado da ETEI pode ser considerado um lodo intoxicado, por apresentar baixa TCOe, entretanto este lodo cumpre com eficiência seu papel na remoção de matéria orgânica, o que pode ser justificado por ser um lodo já adaptado a descarga de efluentes tóxicos.
- No que concerne ainda a observação microscópica qualitativa do lodo pode-se verificar o predomínio de tecamebas, rotíferos, e ciliados, e a baixa presença de filamentosos que caracterizam um lodo ativado operado com baixa relação A/M.
- Somando os resultados desta pesquisa com outros estudos que investigaram a influência de compostos químicos no processo biológico por lodos ativados, conclui-se que os testes de respirometria são excelentes ferramentas de monitoramento de uma ETEI, devido a produção de bons resultados sem geração de

resíduos químicos, sem gasto excessivo de água, práticos, rápidos, seguros e de baixo custo.

RECOMENDAÇÕES

- Em virtude da carência de estudos associando a toxicidade de surfactantes a respiração do lodo ativado em sistemas biológicos de tratamento de efluentes, recomenda-se a realização de estudos com outros tipos de surfactantes, por exemplo, nonilfenóis etoxilados pois apresentam baixa biodegradabilidade e são comumente encontrados na formulação de produtos utilizados nos processos de higienização industrial.
- Recomenda-se também a realização de ensaios com o lodo ativado aclimatado em reator de bancada com efluente sintético submetido ao LAS.
- Propõe-se a inoculação de biomassa para partida do reator de bancada utilizando lodo proveniente de uma ETEI com elevada taxa de TCOe ou com um lodo não intoxicado.
- Em face do verificado neste e em outros estudos, propõe-se investigar mais acuradamente o aumento do consumo de OD pelos microrganismos em baixas concentrações de compostos tóxicos;
- Sugere-se que estudos sejam dirigidos para estabelecer métodos de controle mais eficientes e definir valores limites de determinados surfactantes utilizados no processo industrial.
- Alguns outros parâmetros já consolidados na literatura científica seriam importantes para embasar os resultados dessa pesquisa. Dessa forma, recomenda-se que juntamente aos testes de respirometria e, acrescente-se análise qualidade biológica do lodo e do tamanho dos flocos para avaliar a desfloculação dos mesmos.

REFERÊNCIAS

ABIPLA. Anuário, 2013. Disponível em < <http://www.ablipa.org.br> >.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO/IEC 17025: 2005-*requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*, 2005.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15411. *Ecotoxicologia Aquática – Determinação do efeito inibitório de amostras de água sobre a emissão de luz de Vibrio fischeri (Ensaio de bactéria luminescente)*, 2012.

ABIA, RELATÓRIO ANUAL 2014, Disponível em: (<http://www.abia.org.br/vsn/anexos/relatorioanualABIA2015.pdf>).

ADAME, A. *Sistema de análises em fluxo empregando multicomutação para avaliação de toxicidade aguda com Vibrio fischeri*. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

ADULKAR, T. V. & RATHOD, V. K. *Ultrasound assisted enzymatic pre-treatment of high fat content dairy wastewater. Ultrasonics sonochemistry*, v. 21, n. 3, p. 1083-1089, 2014.

ALBERTO, R. R. J. *Tratamiento de aguas residuales, Teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingenierías, 2000.

ALBUQUERQUE, E. M. *Avaliação do tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário em sistema de lodos ativados*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2012

ANDRADE, R. C. B., SOUZA, M. F. L., & COUTO, E. D. C. G. *Influência de efluentes têxteis e alimentícios sobre o metabolismo e propriedades físicas e químicas do Rio Piauitinga (Sergipe)*. Química Nova, 21(4), 424-427.1998.

ANDREOTTOLA, G., OLIVEIRA, E.L., FOLADORI, P., DALLAGO, L., PETERLINI, R., CADONNA, M. – *Método respirométrico para o tratamento de processos biológicos* – Artigo Técnico, Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, nº 1, p. 14 -23, 2005.

ANVISA http://www.anvisa.gov.br/cosmeticos/informa/parecer_lauril.htm

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 22 ed., Washington – D.C. 1108 p, 2012.

ARAÚJO, L. G. B. R. *Avaliação da influência dos nutrientes metálicos nos processos de lodos ativados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

BAUMGARTNER, V. H. & CHRISTOPHER; S. W. *A new application technique for luminescent bacteria on high-performance thin-layer chromatography plates*. *Journal of chromatography A*, v. 1218, n. 19, p. 2692-2699, 2011.

BEIJERINCK, M. W. *Le Photobacterium luminosum, Bactérie lumineuse de la Mer du Nord*. *Arch Neerl Sci Exactes Nat*, v. 23, p. 401-427, 1889.

BENTO, A. P., SEZERINO, P. H., PHILIPPI, L. S., REGINATTO, V., & LAPOLLI, F. R. *Microfauna characterization in activated sludge wastewater treatment plant: an instrument of assessment and control of process*. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 10(4), 329-338. 2005.

BERANGER, M. A. *Avaliação da Influência do pH na Respiração de Lodos Ativados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

BERNARDES, R. S. *Respirometria No Controle De Sistemas De Tratamento De Águas Residuárias E Como Bioensaio No Controle Da Poluição Do Meio Aquático*. I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste. Brasília, DF, 2000.

BERTON, S. M. H. *Estudo da toxicidade de hidrocarbonetos monoaromaticos utilizando Vibrio fischeri, Daphnia magna e Desmodesmus subspicatus*. 2014.

BODZEK, M., DEBKOWSKA, Z., LOBOS, E., & KONIECZNY, K. *Biomembrane wastewater treatment by activated sludge method*. *Desalination*, 107(1), 83-95. 1996.

BORRELY, S. I., ROMANELLI, M. F., DA SILVA, G. P., & CASTRO, D. M. *A irradiação como alternativa de tratamento para resíduos de laboratório*. 2014.

BRAILE, P. M. & CAVALCANTI, Jose Eduardo WA; DE SANEAMENTO AMBIENTAL, Companhia de Tecnologia. *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*. In: *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*. Cetesb, 1979.

CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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

CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430 de 16 de maio de 2011. *"Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente*. 89 p, 2011

BRIÃO, V. B. *Estudo de prevenção à poluição em uma indústria de laticínios*. Estudo de prevenção à poluição em uma indústria de laticínios, 2000.

BRUM, L. F. W.; SANTOS JÚNIOR, L. C. O.; BENEDETTIC, S. *Reaproveitamento de Água de Processo e Resíduos da Indústria de Laticínios*. In: international workshop advances in cleaner production, 2009.

CAROLEI, L. *Determinação de surfactantes e água em formulações de sabonetes líquidos e shampoos por infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) utilizando a técnica de reflectância total atenuada (ATR)*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2005.

CARVALHO, G., NOVAIS, J. M., PINHEIRO, H. M., & VANROLLEGHEM, P. A. . Model development and application for surfactant biodegradation in an acclimatising activated sludge system. *Chemosphere*, 54(10), 1495-1502. 2004.

CETESB *Microbiologia de Lodos Ativados*, Série Manuais, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 23p, São Paulo, SP, 1989.

COKGOR, E. U., OZDEMIR, S., KARAHAN, O., INSEL, G., & ORHON, D. *Critical appraisal of respirometric methods for metal inhibition on activated sludge*. Journal of hazardous materials, 139(2), 332-339. 2007.

COSTA, A.G., FERREIRA, A.F., GUIMARÃES, P., CATUNDA, S.Y.C., VAN HAANDEL, A. *“Respirometria aplicada no sistema de lodo ativado. Influência de interrupções da oxigenação sobre a viabilidade e atividade de lodo ativado.”* Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa – PB, Brasil, 2001.

COSTA, B. B. *Controle de microrganismos filamentosos com a utilização de uma solução peróxido de hidrogênio (H₂O₂)*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

DA MOTTA, M.; PONS, M. N.; ROCHE, N. *Estudo da Decantabilidade dos Flocos de Lamas Ativadas de uma Estação de Tratamento de Efluentes por Análise de Imagem*. Energias Renovables y Medio Ambiente, v. 9, p. 43-49, 2001.

DA MOTTA, R. S. *Política de controle ambiental e competitividade. Nota Técnica Temática do Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira*, MICT/Unicamp/UFRJ, 1993.

DALZELL, D. J. B., ALTE, S., ASPICHUETA, E., DE LA SOTA, A., ETXEBARRIA, J., GUTIERREZ, M. & CHRISTOFI, N. *A comparison of five rapid direct toxicity assessment methods to determine toxicity of pollutants to activated sludge*. Chemosphere, 47(5), 535-545., 2002.

DAVIES, P.S. *The biological basis of wastewater treatment*. Glasgow, UK: Strathkelvin Instrument Ltd, 2005.

DERKS, Y.M. *Uso da respirometria para avaliar a influência de fatores operacionais e ambientais sobre a cinética de nitrificação*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

DEZOTTI, M. Curso de Tratamento de Efluentes. Escola Piloto Virtual da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

DOS SANTOS, V. M., DE SOUZA SANTOS, K. R., DE CARVALHO, L. R., & SANT'ANNA, C. L. *Efeitos dos surfactantes aniônicos LAS e LESS no desenvolvimento e na morfologia da cianobactéria Planktothrix agardhii CCIBt3125*. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, 19(1), 1-5. 2016.

ECKENFELDER, W. W. & MUSTERMAN, J. L. *Activated sludge treatment of industrial wastewater. Pennsylvania*, p. 145 – 169, 1995.

FERNANDES, J.G.S., VAN HAANDEL, A., CAVALCANTI, P.F.F., COURA, L.R. *“Utilização da respirometria no controle operacional de sistemas aeróbios de tratamento de águas residuárias – a experiência da CETREL.” Engenharia Sanitária e Ambiental*, 6 (3-4), 131-137, 2001.

FERREIRA, E. D. S. *Uso da Respirometria Para a Caracterização de Esgotos Domésticos: Aplicação, Limites e Apresentação de Método Simplificado*. 28o Congresso Interamericano Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2002.

FERREIRA, F.D. & CORAIOLA, M. *Eficiência do lodo ativado em fluxo contínuo para tratamento de de esgoto*. Ver. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient. Curitiba. v. 6. n 2. p. 259 -279. abr/jun, 2008.

FIGUEIREDO, M.G. *Microbiologia de lodos ativados e lagoas aeradas*. Expolabor. Seminário. Agosto, 2005.

FORNEY, L. J., LIU, W. T., GUCKERT, J. B., KUMAGAI, Y., NAMKUNG, E., NISHIHARA, T., & LARSON, R. J. *Structure of microbial communities in activated sludge: potential implications for assessing the biodegradability of chemicals*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 49(1), 40-53. 2001.

FULLADOSA, E., MURAT, J. C., MARTÍNEZ, M., & VILLAESCUSA, I. *Patterns of metals and arsenic poisoning in Vibrio fischeri bacteria*. Chemosphere, 60(1), 43-48, 2005.

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

GERNAEY, K., VERSCHUERE, L., LUYTEN, L., & VERSTRAETE, W. *Fast and sensitive acute toxicity detection with an enrichment nitrifying culture*. Water environment research, 69(6), 1163-1169. 1997.

GIORDANO, G. *Processo Eletrolítico Aplicado a Tratamento de Esgotos de Balneários: Estudo de Caso de Armoção dos Búzios*. Dissertação. Faculdade de Ciências Ambientais, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1999.

GIORDANO, G. *Tratamento e controle de efluentes industriais*. Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente UERJ, Rio de Janeiro, 2004.

GIORDANO, G.; SURERUS, V. *Efluentes industriais: Estudo de tratabilidade*. Volume 1, Publit 196p. 2015.

GIROTTI, S., FERRI, E. N., FUMO, M. G., & MAIOLINI, E.. *Monitoring of environmental pollutants by bioluminescent bacteria*. *Analytica Chimica Acta*, 608(1), 2-29. 2008.

GUTIERREZ, M.; ETXEBARRIA, J.; DE LAS FUENTES, L. *Evaluation of wastewater toxicity: comparative study between Microtox® and activated sludge oxygen uptake inhibition*. *Water Research*, v. 36, n. 4, p. 919-924, 2002.

GUZEL-SEYDIM, ZEYNEP B.; GREENE, ANNEL K.; SEYDIM, A. C. *Use of ozone in the food industry*. *LWT-Food Science and Technology*, v. 37, n. 4, p. 453-460, 2004.

HARMEL, V.C. *Padronização de um teste de toxicidade crônica com a bactéria luminescente Vibrio fischeri para análise de qualidade de águas superficiais*. Universidade Regional de Blumenau, 2004. 100 páginas. Tese (mestrado). Programa de pós graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.

HENRIQUES, I. DS & LOVE, N. G. *The role of extracellular polymeric substances in the toxicity response of activated sludge bacteria to chemical toxins*. *Water Research*, v. 41, n. 18, p. 4177-4185, 2007.

HENZE, M., GUJER, W., MINO, T., VAN LOOSDRECHT, M.; *Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3*. *IAW Scientific and Technical Report No 9*, IAW, London, 2002

HERNANDO, M. D., MALATO, O., FARRÉ, M., FERNANDEZ-ALBA, A. R., & BARCELÓ, D. Application of ring study: water toxicity determinations by bioluminescence assay with *Vibrio fischeri*. *Talanta*, 69(2), 370-376, 2006.

HOLENDA, B., DOMOKOS, E., REDEY, A., & FAZAKAS, J. *Dissolved oxygen control of the activated sludge wastewater treatment process using model predictive control*. *Computers & Chemical Engineering*, 32(6), 1270-1278. 2008.

JENKINS, D. *The use of manometric methods in the study of sewage and trade wastes*. In: ISSAC, P.C.G. (ed) *Wastewater Treatment*. Pergamon Press, pp. 99-125, 1960.

JENKINS, D.; RICHARD, M. G. & DAIGGER, G. T. *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming*, 2ª ed., Lewis Publishers, Inc., 193p., Estados Unidos, 1993.

JORDÃO, E. P. & PESSOA, C.A.; *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 4. ed. Belo Horizonte: Segrac Editora, v.1. 906 p.; 2005.

KAPLAN, D., OLIVEITA, H. C. F., HARADA, L. M., NUNES, V. S., NAKAMURA, R., & DE FARIA, E. C. 1P-0214 *Lipoprotein lipases and lipid transfer proteins in hyperalphalipoproteinemic patients*. Atherosclerosis Supplements, 4(2), 66.2003.

KATAYON, S., NOOR, M. M. M., AHMAD, J., GHANI, L. A., NAGAOKA, H., & AYA, H. (2004). *Effects of mixed liquor suspended solid concentrations on membrane bioreactor efficiency for treatment of food industry wastewater*. Desalination, 167, 153-158. 2004.

KNIE, J. L. W. & LOPES, E. W. B. *Testes Ecotoxicológicos: Métodos, técnicas e aplicações*. Florianópolis-SC: FATMA/ GTZ, 2004.

LIWARSKA-BIZUKOJC, E., MIKSCH, K., MALACHOWSKA-JUTSZ, A., & KALKA, J. *Acute toxicity and genotoxicity of five selected anionic and nonionic surfactants*. Chemosphere, 58(9), 1249-1253., 2005.

LIWARSKA-BIZUKOJC, E & BIZUKOJC, Marcin. *The influence of the selected nonionic surfactants on the activated sludge morphology and kinetics of the organic matter removal in the flow system*. Enzyme and microbial technology, v. 41, n. 1, p. 26-34, 2007.

MADONI, P. A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. **Water Research**, v. 28, n. 1, p. 67-75, 1994.

MARMITT, S.; PIROTTA, L. V.; STÜLP, S.. *Aplicação de fotólise direta e UV/H₂O₂ a efluente sintético contendo diferentes corantes alimentícios*. Química Nova, v. 33, n. 2, p. 384-388, 2010.

MASSANBANI DO, PRODIZIDAS E. VEICULADAS NO ÂMBITO; DO SUL, RIO GRANDE. Técnicas, 2011.

MEDEIROS, U. T. P. *Influência da concentração de oxigênio dissolvido sobre o desempenho de sistemas de lodo ativado tratando efluentes da indústria petroquímica*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

MENDONÇA, L.C. *Microbiologia e cinética de sistema de lodos ativados como póstratamento de efluente de reator anaeróbio de leito expandido*. 2002 (Tese de doutorado). Universidade de São Carlos/USP. São Carlos, 2002.

MESQUITA, D. P.; AMARAL, A. L.; FERREIRA, E. C.; *Activated sludge characterization through microscopy: Areview won quantitative image analysis and chemometric techniques*. Analytica Chimica Acta, v. 802, p. 14-28, 2013.

METCALF & EDDY. Inc. *Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse*. 4. ed. New York: McGraw - Hill Book, 1815p, 2003.

METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. 3.ed. Singapore, McGraw Hill, 1991.

MILOSKI, J. *Caracterização da microbiota envolvida nos processos aeróbios (Lodos Ativados) e anaeróbios (UASB) de uma indústria de alimentos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MIRANDA, B.S. *Avaliação do efeito tóxico do LAS (surfactante aniônico) sobre a eficiência de depuração do lodo ativado e em daphnia laevis*. revista brasileira de iniciação científica-issn 2359-232x, v. 2, n. 2, 2015.

MONTGOMERY, H. A. C. *The determination of biochemical oxygen demand by respirometric methods*. Water Research 1 631-662, 1967.

MUNGRAY, A K & KUMAR, P. Occurrence of anionic surfactants in treated sewage: risk assessment to aquatic environment. Journal of hazardous materials, v. 160, n. 2, p. 362-370, 2008.

NAIME, R & GARCIA, A C. *Utilização de enraizadas no tratamento de efluentes agroindustriais*. Estudos tecnológicos, v. 1, n. 2, p. 09-20, 2005.

NIRENBERG, L. P. & FERREIRA, O. M. *Tratamento de Águas Residuárias de Indústria de Laticínios: Eficiência e Análise de Modelos Matemáticos do Projeto da Nestlé*. Departamento de Engenharia–Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Goiás, Goiânia–GO, 2005.

NITSCHKE, M. & PASTORE, Gláucia Maria. *Biosurfactants: Properties and applications*. Química Nova, v. 25, n. 5, p. 772-776, 2002.

OLIVEIRA, C. A., ARAÚJO, C. V., NASCIMENTO, R. B., STROTMANN, U. J., & SILVA, E. M. D. *Utilisation of respirometry to assess organic matter reduction of effluents from the Camaçari industrial complex (BA, Brazil)*. Brazilian Archives of Biology and Technology, 50(2), 311-319. 2007.

OLIVEIRA, M. R. P. *Estudo das condições de hidrólise de álcoois primários sulfatados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PAPADIMITRIOU, G. PALASKA, M. LAZARIDOU, P. SAMARAS, G.P. SAKELLAROPOULOS *The Effects of Toxic Substances on the Activated Sludge Microfauna*. Desalination 211, p. 177–191, 2007.

PARENTE, A. H. & SILVA, E. A. B. *Redução de efluentes líquidos na indústria alimentícia*. Revista Química & Tecnologia, n. 1, p. 58-67, 2002.

PARVEZ, S; VENKATARAMAN, C; MUKHERJI, S. *A review on advantages of implementing luminescence inhibition test (Vibrio fischeri) for acute toxicity prediction of chemicals*. Environment international, v. 32, n. 2, p. 265-268, 2006.

PENTEADO, J. C. P.; EL SEOUD, O. A.; CARVALHO, L. R. F. *Linear alkylbenzene sulfonates: chemistry, environmental impact and analysis*. Quimica Nova, v. 29, n. 5, p. 1038-1046, 2006.

PERALTA, A. H., CASSIANO, D. M., CARDOSO, M. L., & COSTANZI, R. N.. *Tratamento físico-químico de efluentes de indústria alimentícia de doces*. REVISTA HIPÓTESE, 1(3). 2015.

PIVELI, R.P. & SECKLER, S.F.F. *Concepção de estações de tratamento de esgotos sanitários*. São Paulo: Escola Politécnica/USP. 240 p. (Apostila), 2002.

PORTO, A. L. *Uso da respirometria para caracterização da atividade metabólica de bactérias heterotróficas*. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2007.

PRATS, D., RUIZ, F., VAZQUEZ, B., ZARZO, D., BERNA, J.L., MORENO, A., *LAS homolog distribution shift during wastewater treatment and composting: ecological implications*. Environ. Chem. 12, 1599–1608, 1992.

PUJOL, R. & CANLER, J. P. *Biosortion and Dynamics of Bacterial Populations in Activated Sludge*, Water Research, 26 (2), p.209-212, 1992.

RAND, G. M. (Ed.). *Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate and risk assessment*. CRC Press, 1995.

REYNOLDS, L., BLOK, J., DE MORSIER, A., GERIKE, P., WELLENS, H., & BONTINCK, W. J. *Evaluation of the toxicity of substances to be assessed for biodegradability*. Chemosphere, 16(10), 2259-2277.1987.

REZENDE, C. L. *Utilização da técnica respirométrica para a avaliação do desempenho de sistemas de lodos ativados aplicados ao tratamento de efluentes*. . Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.

RICCO, G; TOMEI, M. C; RAMADORI, R. LAERA, G. *Toxicity assessment of common xenobiotic compounds on municipal activated sludge: comparison between respirometry and Microtox*. Water Research 38, 2103-2110, 2004.

RODRIGUES, A. Q. *Caracterização do lodo heterotrófico de sistemas de lodo ativado gerado a partir de esgoto bruto e digerido*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

ROMANELLI, M. F. *Avaliação da toxicidade aguda e crônica dos surfactantes DSS e LAS submetidos à irradiação com feixes de elétrons*. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2004.

ROŠ, M. *Respirometry of Activated Sludge*. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, E.U.A., 151 p, 1993.

SALAGER, J. L & FERNÁNDEZ, A. Surfactantes. Cuaderno FIRP, v. 300, 2004.

SANT'ANNA JR, Geraldo Lippel. *Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações*. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 16, n. 2, p. IV-IV, 2011.

SANTOS, L. S. *A influência da salinidade nos processos de tratamento de efluentes por lodos ativados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

SANTOS, R. M. S. & SANTOS, M. F. *Quimiluminescência e Bioluminescência*. Química Nova, v. 16, p. 200-210, 1993.

SANTOS, S.L. (2013) *Estudo comparativo dos métodos contínuo e semicontínuo de determinação da taxa de consumo de oxigênio*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

SANTOS, T. G. *Utilização da respirometria para avaliar o grau de toxicidade de poluentes prioritários em sistemas biológicos de tratamento de águas residuárias*. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

SAOUTER, E.; PITTINGER, C.; FEIJTEL, T. *Aquatic environmental impact of dETErgerents: from simple to more sophisticated models*. Ecotoxicology and environmental safety, v. 50, n. 2, p. 153-159, 2001.

SCOTT, M. J. & JONES, M. N. *The biodegradation of surfactants in the environment*. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes, v. 1508, n. 1, p. 235-251, 2000.

SILVA FILHO, H. A., BARROS, A. R. M., DOS SANTOS, E. V. M., DE SOUZA, J. T., & VAN HAANDEL, A. C. *Seleção de substratos padrões para ensaios respirométricos aeróbios com biomassa de sistemas de lodo ativado*. Engenharia Sanitária e Ambiental, 20(1). 2015.

SILVA, E. B. F. *Aplicação da respirometria na determinação da composição da matéria orgânica em águas residuárias*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2003.

SOUZA, A. R. *Caracterização do lodo autotrófico de sistemas de lodo ativado gerado a partir de diferentes substratos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

SPANJERS, H., VANROLLEGHEM, P., OLSSON, G., & DOLDT, P. *Respirometry in control of the activated sludge process*. Water Science and Technology, 34(3), 117-126.1996.

SPANJERS, H., VANROLLEGHEM, P., NGUYEN, K., VANHOOREN, H., & PATRY, G. G. *Towards a simulation-benchmark for evaluating respirometry-based control strategies*. water science and technology, 37(12), 219-226. 1998.

STEINHART, M. R. V. *Auxiliares Têxteis do Ponto de Vista dos Tensoativos*. In. Química Têxtil, p. 76 – 80, 2000.

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, 2014.

SURERUS, V.L.C. *Avaliação de efeito tóxico utilizando o método respirométrico em processos de lodos ativados* Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SÜTTERLIN, H.; ALEX, R.; KÜMMERER, K. *The toxicity of the 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*, v. 71, n. 2, p. 498-505, 2008.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R. & CASE, C. L. *Microbiology – An Introduction*, 6th ed., The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 832p., Estados Unidos. 1998.

UMBUZEIRO, G. A., HACHICH, E. M., MAGRI, E. V. F., TAKEDA, S. H. K., & SATO, M. I. Z. *Influence of Sacarose and Sodium Chloride in the Toxicity Evaluation of Environmental Samples Using V. Fischeri*. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 5(1). 2010.

URBANCZYK, H., AST, J. C., HIGGINS, M. J., CARSON, J., & DUNLAP, P. V. *Reclassification of Vibrio fischeri, Vibrio logei, Vibrio salmonicida and Vibrio wodanis as Aliivibrio fischeri gen. nov., comb. nov., Aliivibrio logei comb. nov., Aliivibrio salmonicida comb. nov. and Aliivibrio wodanis comb. nov.* *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 57(12), 2823-2829. 2007.

VAN HAANDEL, A. C. & MARAIS, G. *O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações*. Campina Grande – PB: Epgraf, 1999.

VAN HAANDEL, A.C. & CATUNDA, P.F.C. *“Determinação da taxa de consumo de oxigênio em sistemas de tratamento de esgoto”*. *Engenharia Sanitária*, 21(4), 481-488, 1982.

VANROLLEGHEM, P. A. *Principles of Respirometry in Activated Sludge Wastewater Treatment*. 2002. 19f. Department of applied Mathematics Biometrics and Process Control, 2002.

VON SPERLING, M., *Lodos Ativados*, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1997.

VON SPERLING, M., *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Vol.4. *Lodos Ativados*. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

WADHIA, K. & THOMPSON, K. C. *Low-cost ecotoxicity testing of environmental samples using microbiotests for potential implementation of the Water Framework Directive*. TrAC Trends in Analytical Chemistry, v. 26, n. 4, p. 300-307, 2007.

WATERS, P. & LLOYD, D. *Salt, pH and temperature dependencies of growth and bioluminescence of three species of luminous bacteria analysed on gradient plates*. Microbiology, v. 131, n. 11, p. 2865-2869, 1985.

WEF Wastewater Biology: *The Microlife, A Special Publication*, Water Environment Federation, Virginia, Estados Unidos, 1995.

YADAV, T. C.; KHARDENAVIS, A. A.; KAPLEY, A. *Shifts in microbial community in response to dissolved oxygen levels in activated sludge*. Bioresource technology, v. 165, p. 257-264, 2014.

GULLEY, D. D.; BOELTER, A. M.; BERGMAN, H. L. Toxstat 3.3. Computer program, 147

Figura B.3 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 3.

Leitura do oxigênio dissolvido durante o Teste de Respirometria																								
Teste: 3 Data: 04/12/2015																								
Lodo + Glicose										Lodo + Glicose + Lauril Éter Sulfato de Sódio										Dados do Reator de bancada:				
																				OD: 7,70mg/L		pH: 8,0		T: 22°C

Figura B.5 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 5.

Leitura do oxigênio dissolvido durante o Teste de Respirometria																																							
Teste: 5 Data: 23/12/2015										Dados do Reator de bancada:																													
										OD: mg/L					pH: 7,0					T: 22°C																			
Lodo + Glicose										Lodo + Glicose + Lauril Éter Sulfato de Sódio																													
										43,7 mg/L					87,4 mg/L					174 mg/L					349 mg/L					699 mg/L					1398 mg/L				
Tempo (min)	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□			
0	6,72	6,16	6,94	6,61	7,20	7,37	7,09	7,22	6,43	7,55	8,00	7,33	7,98	8,22	8,34	8,18	8,44	8,31	7,93	8,23	8,25	8,53	8,02	8,27	8,39	7,67	7,75	7,94											
0,5	6,67	6,11	6,89	6,56	7,14	7,30	7,01	7,15	6,33	7,47	7,94	7,25	7,89	8,19	8,25	8,11	8,37	8,24	7,86	8,16	8,17	8,45	7,91	8,18	8,30	7,60	7,68	7,86											
1	6,63	6,04	6,86	6,51	7,07	7,24	6,96	7,09	6,26	7,42	7,88	7,19	7,80	8,12	8,18	8,03	8,30	8,16	7,79	8,08	8,10	8,39	7,82	8,10	8,22	7,54	7,62	7,79											
1,5	6,56	5,99	6,82	6,46	7,01	7,17	6,88	7,02	6,18	7,34	7,81	7,11	7,72	8,06	8,09	7,96	8,20	8,08	7,70	7,99	8,04	8,30	7,79	8,04	8,13	7,48	7,55	7,72											
2	6,52	5,94	6,77	6,41	6,94	7,09	6,81	6,95	6,11	7,27	7,73	7,04	7,64	7,99	8,02	7,88	8,13	8,02	7,63	7,93	7,97	8,23	7,71	7,97	8,06	7,39	7,50	7,65											
2,5	6,47	5,88	6,71	6,35	6,87	7,20	6,73	6,93	6,04	7,18	7,66	6,96	7,58	7,92	7,94	7,81	8,05	7,92	7,56	7,84	7,89	8,15	7,63	7,89	7,94	7,31	7,38	7,54											
3	6,42	5,83	6,67	6,31	6,81	6,95	6,66	6,81	5,97	7,11	7,59	6,89	7,50	7,87	7,86	7,74	7,98	7,84	7,47	7,76	7,81	8,07	7,54	7,81	7,89	7,24	7,32	7,48											
3,5	6,37	5,79	6,62	6,26	6,72	6,90	6,58	6,73	5,90	7,04	7,52	6,82	7,41	7,80	7,79	7,67	7,89	7,76	7,40	7,68	7,74	8,00	7,47	7,74	7,81	7,17	7,23	7,40											
4	6,32	5,74	6,56	6,21	6,67	6,82	6,52	6,67	5,82	6,98	7,45	6,75	7,34	7,74	7,72	7,60	7,81	7,70	7,33	7,61	7,67	7,92	7,39	7,66	7,73	7,08	7,15	7,32											
4,5	6,27	5,70	6,52	6,16	6,60	6,77	6,45	6,61	5,75	6,91	7,38	6,68	7,26	7,68	7,63	7,52	7,75	7,62	7,27	7,55	7,58	7,84	7,32	7,58	7,65	7,02	7,06	7,24											
5	6,21	5,65	6,48	6,11	6,52	6,68	6,38	6,53	5,68	6,83	7,31	6,61	7,18	7,61	7,60	7,46	7,66	7,55	7,19	7,47	7,51	7,77	7,23	7,50	7,58	6,93	7,02	7,18											
5,5	6,18	5,60	6,43	6,07	6,46	6,62	6,31	6,46	5,61	6,77	7,24	6,54	7,09	7,55	7,53	7,39	7,60	7,48	7,12	7,40	7,43	7,69	7,18	7,43	7,50	6,88	6,91	7,09											
6	6,12	5,55	6,37	6,01	6,38	6,55	6,25	6,39	5,54	6,70	7,18	6,47	7,01	7,49	7,46	7,32	7,51	7,40	7,05	7,32	7,35	7,62	7,08	7,35	7,43	6,79	6,88	7,03											
6,5	6,07	5,50	6,33	5,97	6,31	6,49	6,18	6,33	5,47	6,62	7,11	6,40	6,94	7,42	7,40	7,25	7,44	7,34	6,97	7,25	7,27	7,55	7,03	7,28	7,34	6,71	6,80	6,95											
7	6,03	5,46	6,30	5,93	6,24	6,41	6,11	6,25	5,40	6,54	7,04	6,33	6,86	7,36	7,30	7,17	7,37	7,27	6,90	7,18	7,20	7,48	6,94	7,21	7,27	6,64	6,73	6,88											
7,5	5,97	5,41	6,25	5,88	6,17	6,35	6,06	6,19	5,33	6,48	6,97	6,26	6,78	7,30	7,27	7,12	7,29	7,18	6,84	7,10	7,10	7,40	6,88	7,13	7,19	6,56	6,65	6,80											
8	5,92	5,37	6,20	5,83	6,10	6,28	6,00	6,13	5,26	6,41	6,91	6,19	6,70	7,24	7,19	7,04	7,20	7,12	6,76	7,03	7,00	7,34	6,80	7,05	7,12	6,49	6,53	6,71											
8,5	5,88	5,31	6,15	5,78	6,03	6,22	5,93	6,06	5,20	6,34	6,84	6,13	6,62	7,18	7,12	6,97	7,13	7,00	6,69	6,94	6,98	7,26	6,72	6,99	7,04	6,42	6,48	6,65											
9	5,83	5,27	6,11	5,74	5,96	6,14	5,87	5,99	5,12	6,28	6,76	6,05	6,56	7,11	7,04	6,90	7,04	6,98	6,63	6,88	6,91	7,18	6,66	6,92	6,97	6,35	6,42	6,58											
9,5	5,79	5,23	6,05	5,69	5,89	6,08	5,79	5,92	5,05	6,20	6,71	5,99	6,48	7,04	6,94	6,82	6,97	6,91	6,55	6,81	6,85	7,11	6,58	6,85	6,89	6,27	6,36	6,51											
10	5,74	5,20	6,03	5,66	5,82	6,01	5,72	5,85	5,00	6,13	6,64	5,92	6,41	6,99	6,87	6,76	6,89	6,84	6,48	6,74	6,77	7,04	6,51	6,77	6,81	6,20	6,28	6,43											
TCO	5,88	5,76	5,46	0,22	8,28	8,16	8,22	0,06	8,56	8,52	8,16	0,23	9,42	7,38	8,82	1,05	9,30	8,82	8,70	0,32	8,88	8,94	9,06	0,09	9,48	8,82	8,82	0,38											
□ TCO	5,70									8,42				8,54												9,04													
TCOe	4,22	4,13	3,92	0,16	5,94	5,85	5,89	0,04	6,15	6,11	5,85	0,16	6,76	5,29	6,33	0,75	6,67	6,33	6,24	0,23	6,37	6,41	6,50	0,07	6,80	6,33	6,33	0,27											
□ TCOe	4,09									6,04				6,12					6,41				6,43				6,48												

Figura B.6 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 6.

Leitura do oxigênio dissolvido durante o Teste de Respirometria																														
Teste: 6 Data: 30/12/2015										Dados do Reator de bancada:																				
										OD: 4,90 mg/L				pH: 7,0				T: 22°C												
Lodo + Glicose		Lodo + Glicose + Lauril Éter Sulfato de Sódio																												
Tempo(min)				43,7 mg/L			87,4 mg/L			174 mg/L			349 mg/L			699 mg/L			1398 mg/L											
	R1	R2	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□							
0	6,23	6,73	6,4	6,45	6,85	6,58	7,21	6,88	7,16	7,39	7,07	7,88	7,41	7,67	7,65	7,76	7,44	7,62	7,65	7,94	7,79	7,79	8,28	8,23	7,84	8,12				
0,5	6,17	6,76	6,32	6,42	6,82	6,48	7,15	6,82	7,08	7,30	6,99	7,80	7,26	7,6	7,55	7,51	7,67	7,34	7,51	7,55	7,85	7,70	7,70	8,17	8,11	7,74	8,01			
1	6,12	6,58	6,29	6,33	6,79	6,43	7,10	6,77	6,98	7,22	6,90	7,73	7,22	7,52	7,49	7,42	7,58	7,25	7,42	7,47	7,76	7,61	7,61	8,00	7,98	7,63	7,87			
1,5	6,08	6,53	6,24	6,28	6,70	6,37	7,04	6,70	6,45	6,91	7,14	6,83	7,65	7,12	7,45	7,41	7,31	7,49	7,16	7,32	7,38	7,65	7,50	7,51	7,92	7,83	7,54	7,76		
2	6,02	6,46	6,21	6,23	6,63	6,29	6,97	6,63	6,35	6,82	7,06	6,74	7,56	7,03	7,38	7,32	7,23	7,39	7,07	7,23	7,29	7,56	7,39	7,41	7,89	7,73	7,46	7,69		
2,5	5,97	6,41	6,16	6,18	6,55	6,19	6,91	6,55	6,27	6,74	6,98	6,66	7,48	6,93	7,30	7,24	7,13	7,31	6,98	7,14	7,20	7,47	7,30	7,32	7,77	7,63	7,36	7,59		
3	5,91	6,36	6,13	6,13	6,46	6,13	6,84	6,48	6,19	6,60	6,90	6,56	7,39	6,87	7,21	7,16	7,05	7,20	6,79	7,01	7,12	7,37	7,25	7,25	7,66	7,49	7,26	7,47		
3,5	5,87	6,29	6,11	6,09	6,43	6,07	6,77	6,42	6,11	6,59	6,74	6,48	7,32	6,78	7,12	7,07	6,97	7,12	6,72	6,94	7,03	7,28	7,15	7,15	7,59	7,41	7,14	7,38		
4	5,81	6,24	6,07	6,04	6,35	5,97	6,71	6,34	6,04	6,52	6,67	6,41	7,23	6,69	7,06	6,99	6,88	7,03	6,68	6,86	6,91	7,19	7,06	7,05	7,53	7,30	7,08	7,30		
4,5	5,76	6,21	6,02	6,00	6,25	5,90	6,64	6,26	5,97	6,46	6,59	6,34	7,13	6,61	6,97	6,90	6,79	6,94	6,63	6,79	6,82	7,10	6,96	6,96	7,45	7,20	7,02	7,22		
5	5,71	6,15	5,98	5,95	6,22	5,84	6,57	6,21	5,99	6,37	6,52	6,29	7,03	6,52	6,90	6,82	6,70	6,84	6,54	6,69	6,73	7,00	6,87	6,87	7,33	7,10	6,92	7,12		
5,5	5,66	6,12	5,93	5,90	6,10	5,77	6,50	6,12	5,81	6,29	6,44	6,18	6,95	6,43	6,81	6,73	6,61	6,75	6,43	6,60	6,64	6,91	6,78	6,78	7,28	6,98	6,83	7,03		
6	5,6	6,06	5,90	5,85	6,05	5,68	6,43	6,05	5,73	6,21	6,36	6,10	6,87	6,35	6,73	6,65	6,53	6,67	6,35	6,52	6,54	6,82	6,69	6,68	7,18	6,89	6,75	6,94		
6,5	5,56	6,03	5,85	5,81	5,96	5,61	6,37	5,98	5,65	6,14	6,31	6,03	6,78	6,26	6,65	6,56	6,43	6,58	6,28	6,43	6,44	6,73	6,59	6,59	7,08	6,78	6,65	6,84		
7	5,51	5,98	5,81	5,77	5,88	5,53	6,31	5,91	5,59	6,07	6,28	5,98	6,69	6,18	6,57	6,48	6,33	6,50	6,17	6,33	6,35	6,64	6,50	6,50	6,99	6,68	6,55	6,74		
7,5	5,45	5,94	5,74	5,71	5,81	5,46	6,24	5,84	5,51	6,00	6,20	5,90	6,62	6,10	6,49	6,40	6,25	6,41	6,10	6,25	6,26	6,54	6,40	6,40	6,90	6,57	6,46	6,64		
8	5,41	5,91	5,71	5,68	5,74	5,40	6,17	5,77	5,44	5,93	6,13	5,83	6,53	6,02	6,42	6,32	6,17	6,32	6,01	6,17	6,17	6,44	6,31	6,31	6,81	6,48	6,36	6,55		
8,5	5,35	5,85	5,67	5,62	5,00	5,34	6,11	5,48	5,35	5,86	6,06	5,76	6,44	5,93	6,33	6,23	6,08	6,23	5,91	6,07	6,08	6,31	6,21	6,20	6,72	6,38	6,28	6,46		
9	5,31	5,80	5,63	5,58	5,60	5,26	6,05	5,64	5,29	5,79	5,97	5,68	6,36	5,85	6,25	6,15	5,99	6,14	5,83	5,99	5,98	6,21	6,12	6,10	6,54	6,29	6,18	6,34		
9,5	5,25	5,76	5,58	5,53	5,49	5,19	5,98	5,55	5,21	5,69	5,90	5,60	6,27	5,77	6,17	6,07	5,90	6,05	5,73	5,89	5,88	6,12	6,02	6,01	6,54	6,19	6,09	6,27		
10	5,21	5,73	5,52	5,49	5,45	5,13	5,91	5,50	5,13	5,63	5,82	5,53	6,18	5,69	6,09	5,99	5,82	5,96	5,65	5,81	5,79	6,03	5,94	5,92	6,44	6,10	6,00	6,18		
TCO	6,12	6,00	5,28	0,45	8,40	8,70	7,80	0,46	9,18	9,18	9,42	0,14	10,20	10,32	9,48	0,45	10,98	10,80	10,74	0,12	11,16	11,46	11,10	0,19	11,04	12,79	11,04	1,00		
□ TCO	5,80			3,23			5,15			8,30			9,26			10,00			10,84			11,24			11,62					
TCOe	3,75	3,68	3,23	0,28	5,15	5,33	4,78	0,28	5,62	5,62	5,77	0,08	6,25	6,32	5,81	0,28	6,73	6,62	6,58	0,08	6,84	7,02	6,80	0,12	6,76	7,83	6,76	0,62		
□ TCOe	3,55			5,08			5,67			6,13			6,64			6,89			7,12											

Leitura do oxigênio dissolvido durante o Teste de Respirometria																												
Teste: 8 Data: 23/12/2015																												
Dados do Reator de bancada:																												
OD: 5,50 mg/L pH: 7,0 T: 22°C																												
Lodo + Glicose				Lodo + Glicose + Ácido Sulfônico																								
				45 mg/L				90 mg/L				180 mg/L				360 mg/L				719 mg/L				1438 mg/L				
Tempo (min)	R1	R2	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	
0	6,63	6,21	6,68	6,51	6,25	6,58	6,53	6,45	7,31	7,14	7,33	7,26	7,47	7,20	7,21	7,29	7,60	8,01	8,23	7,95	7,49	7,98	7,81	7,76	7,42	7,77	7,91	7,70
0,5	6,60	6,15	6,60	6,45	6,19	6,51	6,47	6,39	7,26	7,09	7,27	7,21	7,43	7,10	7,18	7,24	7,57	7,97	8,20	7,91	7,46	7,98	7,76	7,73	7,39	7,74	7,90	7,68
1	6,55	6,11	6,61	6,42	6,12	6,45	6,40	6,32	7,21	7,03	7,20	7,15	7,36	7,09	7,14	7,20	7,52	7,91	8,18	7,87	7,41	7,94	7,71	7,69	7,36	7,72	7,88	7,65
1,5	6,50	6,06	6,56	6,37	6,05	6,39	6,35	6,26	7,15	6,95	7,14	7,08	7,29	7,02	7,05	7,12	7,47	7,86	8,14	7,82	7,38	7,90	7,68	7,65	7,33	7,68	7,86	7,62
2	6,44	6,01	6,51	6,32	5,99	6,33	6,28	6,20	7,10	6,88	7,08	7,02	7,22	6,97	6,99	7,06	7,42	7,81	8,11	7,78	7,35	7,86	7,64	7,62	7,30	7,66	7,83	7,60
2,5	6,40	5,95	6,45	6,27	5,94	6,27	6,22	6,14	7,05	6,74	7,02	6,94	7,18	6,90	6,94	7,01	7,38	7,77	8,06	7,74	7,30	7,84	7,60	7,58	7,26	7,63	7,81	7,57
3	6,35	5,90	6,40	6,22	5,87	6,23	6,17	6,09	6,98	6,70	6,97	6,88	7,12	6,87	6,89	6,96	7,33	7,72	8,02	7,69	7,24	7,80	7,55	7,53	7,23	7,61	7,78	7,54
3,5	6,30	5,85	6,35	6,17	5,71	6,17	6,10	5,99	6,93	6,68	6,94	6,85	7,07	6,82	6,84	6,91	7,30	7,69	7,99	7,66	7,21	7,77	7,52	7,50	7,21	7,58	7,75	7,51
4	6,24	5,81	6,32	6,12	5,75	6,11	6,04	5,97	6,88	6,63	6,88	6,80	7,02	6,76	6,79	6,86	7,25	7,65	7,96	7,62	7,16	7,73	7,49	7,46	7,18	7,54	7,72	7,48
4,5	6,20	5,76	6,27	6,08	5,70	6,05	5,99	5,91	6,82	6,58	6,84	6,75	6,97	6,72	6,74	6,81	7,22	7,61	7,92	7,58	7,12	7,71	7,44	7,42	7,14	7,51	7,69	7,45
5	6,14	5,72	6,23	6,03	5,66	5,99	5,93	5,86	6,76	6,52	6,78	6,69	6,93	6,68	6,70	6,77	7,17	7,58	7,88	7,54	7,08	7,66	7,40	7,38	7,11	7,49	7,65	7,42
5,5	6,10	5,67	6,18	5,98	5,58	5,95	5,88	5,80	6,72	6,49	6,72	6,64	6,88	6,62	6,67	6,72	7,13	7,53	7,86	7,51	7,04	7,63	7,36	7,34	7,08	7,46	7,62	7,39
6	6,05	5,62	6,13	5,93	5,52	5,89	5,82	5,74	6,66	6,46	6,70	6,61	6,84	6,58	6,60	6,67	7,09	7,49	7,83	7,47	7,00	7,59	7,33	7,31	7,06	7,43	7,59	7,36
6,5	6,00	5,57	6,09	5,89	5,46	5,83	5,75	5,68	6,61	6,41	6,62	6,55	6,78	6,52	6,57	6,62	7,05	7,44	7,78	7,42	6,97	7,55	7,30	7,27	7,03	7,40	7,56	7,33
7	5,95	5,52	6,04	5,84	5,40	5,78	5,69	5,62	6,56	6,37	6,58	6,50	6,73	6,47	6,53	6,58	7,01	7,41	7,76	7,39	6,94	7,52	7,26	7,24	7,00	7,38	7,53	7,30
7,5	5,91	5,47	5,99	5,79	5,35	5,72	5,64	5,57	6,52	6,32	6,54	6,46	6,68	6,42	6,47	6,52	6,98	7,38	7,72	7,36	6,90	7,47	7,23	7,20	6,97	7,36	7,50	7,28
8	5,86	5,43	5,95	5,75	5,29	5,67	5,58	5,51	6,46	6,28	6,49	6,41	6,64	6,38	6,44	6,49	6,94	7,31	7,69	7,31	6,86	7,43	7,19	7,16	6,93	7,33	7,47	7,24
8,5	5,81	5,38	5,92	5,70	5,23	5,62	5,52	5,46	6,41	6,23	6,44	6,36	6,59	6,33	6,38	6,43	6,90	7,28	7,60	7,26	6,84	7,39	7,16	7,13	6,91	7,30	7,45	7,22
9	5,76	5,33	5,87	5,65	5,17	5,57	5,47	5,40	6,37	6,18	6,39	6,31	6,54	6,28	6,34	6,39	6,87	7,24	7,62	7,24	6,81	7,35	7,12	7,09	6,88	7,28	7,42	7,19
9,5	5,72	5,28	5,83	5,61	5,12	5,50	5,42	5,35	6,30	6,14	6,34	6,26	6,49	6,24	6,30	6,34	6,83	7,20	7,58	7,20	6,75	7,32	7,09	7,05	6,84	7,25	7,39	7,16
10	5,67	5,24	5,80	5,57	5,06	5,45	5,35	5,29	6,26	6,11	6,29	6,22	6,45	6,18	6,27	6,30	6,80	7,17	7,54	7,17	6,72	7,29	7,05	7,02	6,81	7,23	7,36	7,13
TCO	5,76	5,82	5,28	0,30	7,14	6,78	7,08	0,19	6,30	6,18	6,24	0,06	6,12	6,12	5,64	0,28	4,80	5,04	4,14	0,47	4,62	4,14	4,56	0,26	3,66	3,24	3,30	0,23
□ TCO	5,62				7,00			6,24			5,96			4,66			4,44			3,40								
TCOe	3,53	3,57	3,23	0,18	4,37	4,15	4,34	0,12	3,86	3,79	3,82	0,04	3,75	3,75	3,46	0,17	2,94	3,09	2,54	0,29	2,63	2,54	2,79	0,16	2,24	1,98	2,02	0,14
TCOe	3,44				4,29			3,82			3,65			2,85			2,72			2,08								

Figura B.9 - Planilha de registro de oxigênio dissolvido durante o teste de respirometria do experimento 9.

Leitura do oxigênio dissolvido durante o Teste de Respirometria																														
Teste: 9 Data: 30/12/2015																														
Lodo + Glicose													Lodo + Glicose + Ácido Sulfônico																	
													45 mg/L			90 mg/L			180 mg/L			360 mg/L			719 mg/L			1438 mg/L		
Tempo (min)	R1	R2	6,32	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□	R1	R2	R3	□		
0	6,61	6,15	6,04	6,27	6,94	6,88	7,40	7,07	7,19	7,27	7,36	7,27	7,61	7,44	7,67	7,57	7,66	7,80	7,76	7,74	7,63	7,40	7,18	7,40	7,09	7,05	7,23	7,12		
0,5	6,59	6,11	5,98	6,23	6,85	6,83	7,33	7,00	7,11	7,25	7,29	7,22	7,54	7,34	7,61	7,50	7,59	7,76	7,72	7,69	7,59	7,31	7,07	7,32	7,04	6,99	7,18	7,07		
1	6,57	6,07	5,96	6,20	6,78	6,78	7,26	6,94	7,05	7,21	7,22	7,16	7,48	7,27	7,57	7,44	7,52	7,71	7,65	7,63	7,54	7,27	7,03	7,28	6,98	6,95	7,13	7,02		
1,5	6,52	6,01	5,91	6,15	6,72	6,73	7,20	6,88	6,97	7,14	7,16	7,09	7,40	7,21	7,51	7,37	7,47	7,65	7,62	7,58	7,49	7,22	6,97	7,23	6,93	6,90	7,10	6,98		
2	6,48	5,95	5,87	6,10	6,66	6,66	7,15	6,82	6,92	7,07	7,11	7,03	7,31	7,16	7,45	7,31	7,38	7,60	7,56	7,51	7,45	7,18	6,92	7,18	6,88	6,87	7,05	6,93		
2,5	6,40	5,89	5,81	6,03	6,60	6,60	7,09	6,76	6,83	7,01	7,06	6,97	7,29	7,11	7,39	7,26	7,32	7,55	7,52	7,46	7,41	7,12	6,86	7,13	6,83	6,82	7,02	6,89		
3	6,38	5,83	5,76	5,99	6,54	6,55	7,02	6,70	6,78	6,94	7,00	6,91	7,23	7,08	7,34	7,22	7,27	7,50	7,46	7,41	7,36	7,07	6,79	7,07	6,79	6,79	6,98	6,85		
3,5	6,30	5,78	5,71	5,93	6,47	6,49	6,96	6,64	6,71	6,88	6,95	6,85	7,14	7,02	7,29	7,15	7,20	7,45	7,39	7,35	7,32	7,02	6,76	7,03	6,75	6,75	6,95	6,82		
4	6,26	5,72	5,67	5,88	6,41	6,43	6,91	6,58	6,65	6,82	6,89	6,79	7,10	6,97	7,24	7,10	7,15	7,41	7,32	7,29	7,26	6,96	6,71	6,98	6,71	6,69	6,91	6,77		
4,5	6,18	5,67	5,63	5,83	6,35	6,37	6,86	6,53	6,61	6,75	6,82	6,73	7,08	6,93	7,19	7,07	7,10	7,37	7,27	7,25	7,22	6,90	6,66	6,93	6,66	6,65	6,87	6,73		
5	6,16	5,62	5,59	5,79	6,29	6,32	6,79	6,47	6,54	6,70	6,78	6,67	7,91	6,89	7,14	7,31	7,03	7,32	7,24	7,20	7,18	6,86	6,61	6,88	6,61	6,62	6,84	6,69		
5,5	6,10	5,57	5,54	5,74	6,23	6,26	6,74	6,41	6,49	6,63	6,72	6,61	6,93	6,84	7,09	6,95	6,98	7,27	7,18	7,14	7,13	6,81	6,56	6,83	6,56	6,59	6,80	6,65		
6	6,05	5,52	5,50	5,69	6,17	6,20	6,69	6,35	6,44	6,57	6,67	6,56	6,88	6,79	7,04	6,90	6,91	7,22	7,11	7,08	7,09	6,75	6,52	6,79	6,51	6,55	6,77	6,61		
6,5	5,98	5,47	5,47	5,64	6,10	6,15	6,63	6,29	6,37	6,50	6,61	6,49	6,82	6,70	6,99	6,84	6,86	7,18	7,06	7,03	7,04	6,71	6,48	6,74	6,46	6,52	6,74	6,57		
7	5,91	5,42	5,42	5,58	6,05	6,10	6,56	6,24	6,32	6,45	6,57	6,45	6,76	6,70	6,93	6,80	6,81	7,13	7,01	6,98	6,99	6,65	6,43	6,69	6,42	6,49	6,71	6,54		
7,5	5,89	5,37	5,38	5,55	5,99	6,04	6,51	6,18	6,36	6,39	6,51	6,42	6,71	6,66	6,88	6,75	6,75	7,09	6,97	6,94	6,95	6,60	6,38	6,64	6,37	6,45	6,65	6,49		
8	5,84	5,32	5,34	5,50	5,92	5,97	6,45	6,11	6,21	6,33	6,46	6,33	6,66	6,61	6,84	6,70	6,70	7,04	6,91	6,88	6,91	6,55	6,35	6,60	6,33	6,41	6,62	6,45		
8,5	5,78	5,27	5,29	5,45	5,87	5,92	6,39	6,06	6,15	6,26	6,41	6,27	6,62	6,56	6,79	6,66	6,62	7,00	6,87	6,83	6,87	6,50	6,31	6,56	6,29	6,38	6,59	6,42		
9	5,72	5,22	5,26	5,40	5,82	5,86	6,34	6,01	6,11	6,20	6,36	6,22	6,58	6,51	6,73	6,61	6,57	6,95	6,82	6,78	6,83	6,46	6,27	6,52	6,24	6,34	6,57	6,38		
9,5	5,65	5,17	5,22	5,35	5,75	5,79	6,28	5,94	6,05	6,16	6,29	6,17	6,53	6,48	6,68	6,56	6,52	6,90	6,78	6,73	6,79	6,40	6,22	6,47	6,19	6,32	6,53	6,35		
10	5,61	5,13	5,16	5,30	5,70	5,75	6,23	5,89	6,01	6,09	6,25	6,12	6,48	6,44	6,63	6,52	6,46	6,86	6,75	6,69	6,74	6,36	6,19	6,43	6,15	6,29	6,49	6,31		
TCO	6,00	6,12	5,28	0,45	7,44	6,78	7,02	0,33	7,08	7,08	6,66	0,24	6,78	6,00	6,24	0,40	7,20	5,64	6,06	0,81	5,34	6,24	5,94	0,46	5,64	4,56	4,44	0,66		
□ TCO		5,80				7,08				6,94				6,34				6,30					5,84			4,88				
TCOe	3,72	3,80	3,27	0,28	4,61	4,21	4,35	0,21	4,39	4,39	4,13	0,15	4,21	3,72	3,87	0,25	4,47	3,50	3,76	0,50	3,31	3,87	3,68	0,28	3,50	2,83	2,75	0,41		
□ TCOe		3,60				4,39				4,30				3,93				3,91					3,62			3,03				

APÊNDICE C - Gráficos de OD x Tempo (Respirometria)

Figura C.1 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Tempo(minutos) do experimento 1, realizado com o lodo ativado do reator de bancada submetido ao lauril éter sulfato de sódio. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.

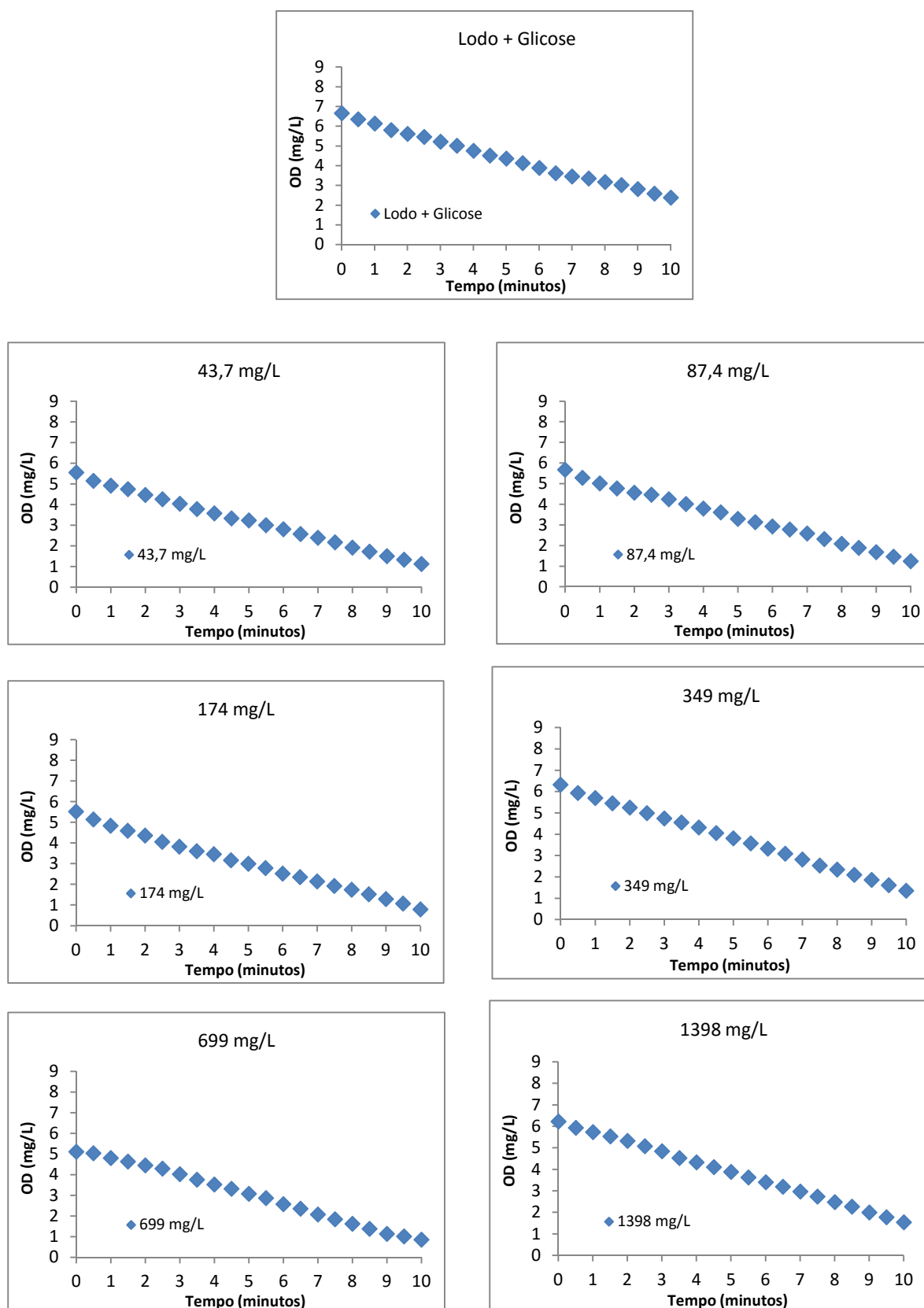


Figura C.2 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Tempo(minutos) do experimento 1, realizado com o lodo ativado do reator de bancada submetido ao lauril éter sulfato de sódio. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.

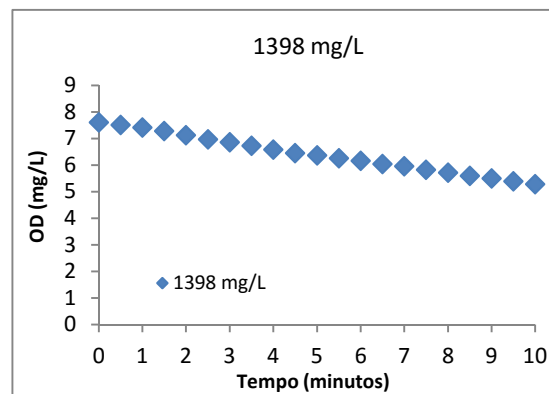
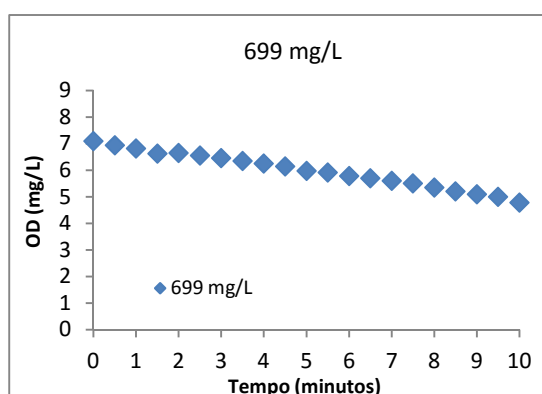
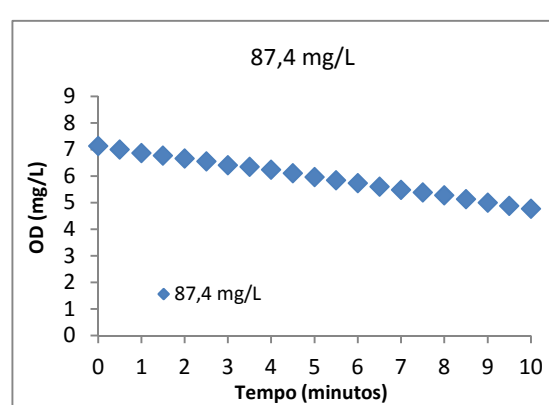
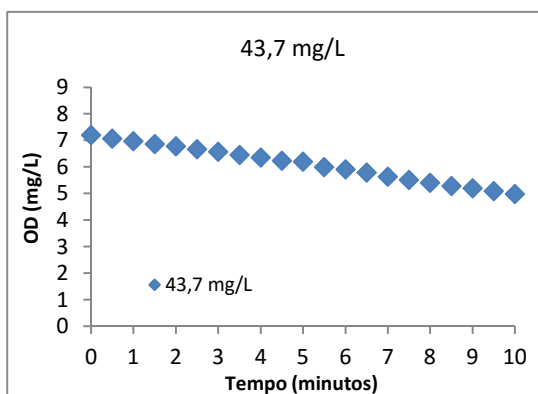
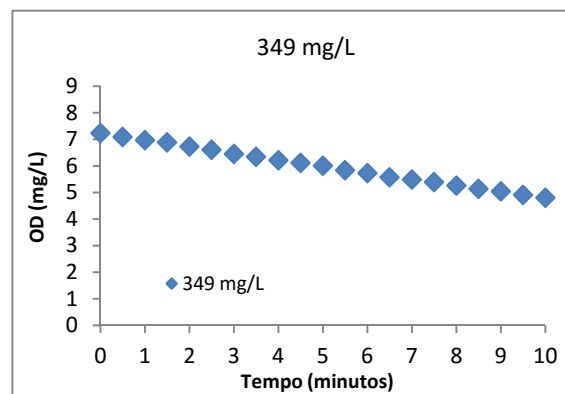
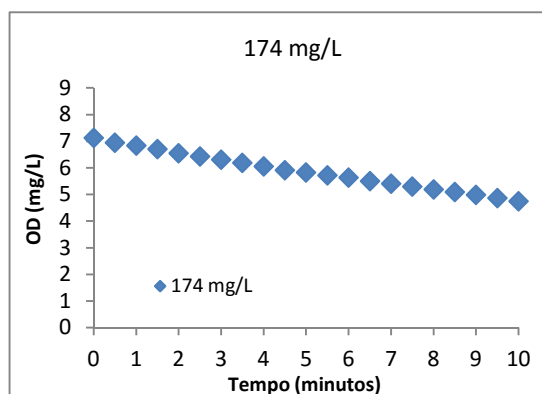
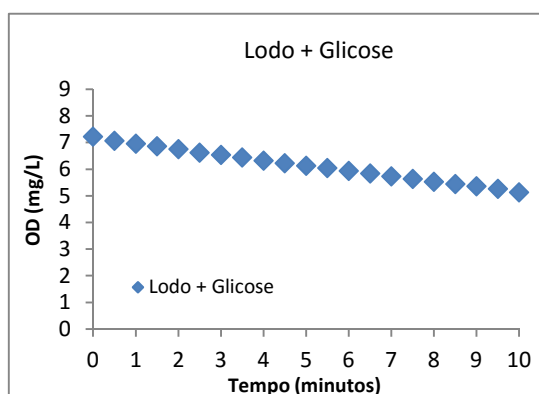


Figura C.3 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Tempo(minutos) do experimento 3, realizado com o lodo ativado do reator de bancada submetido ao lauril éter sulfato de sódio. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.

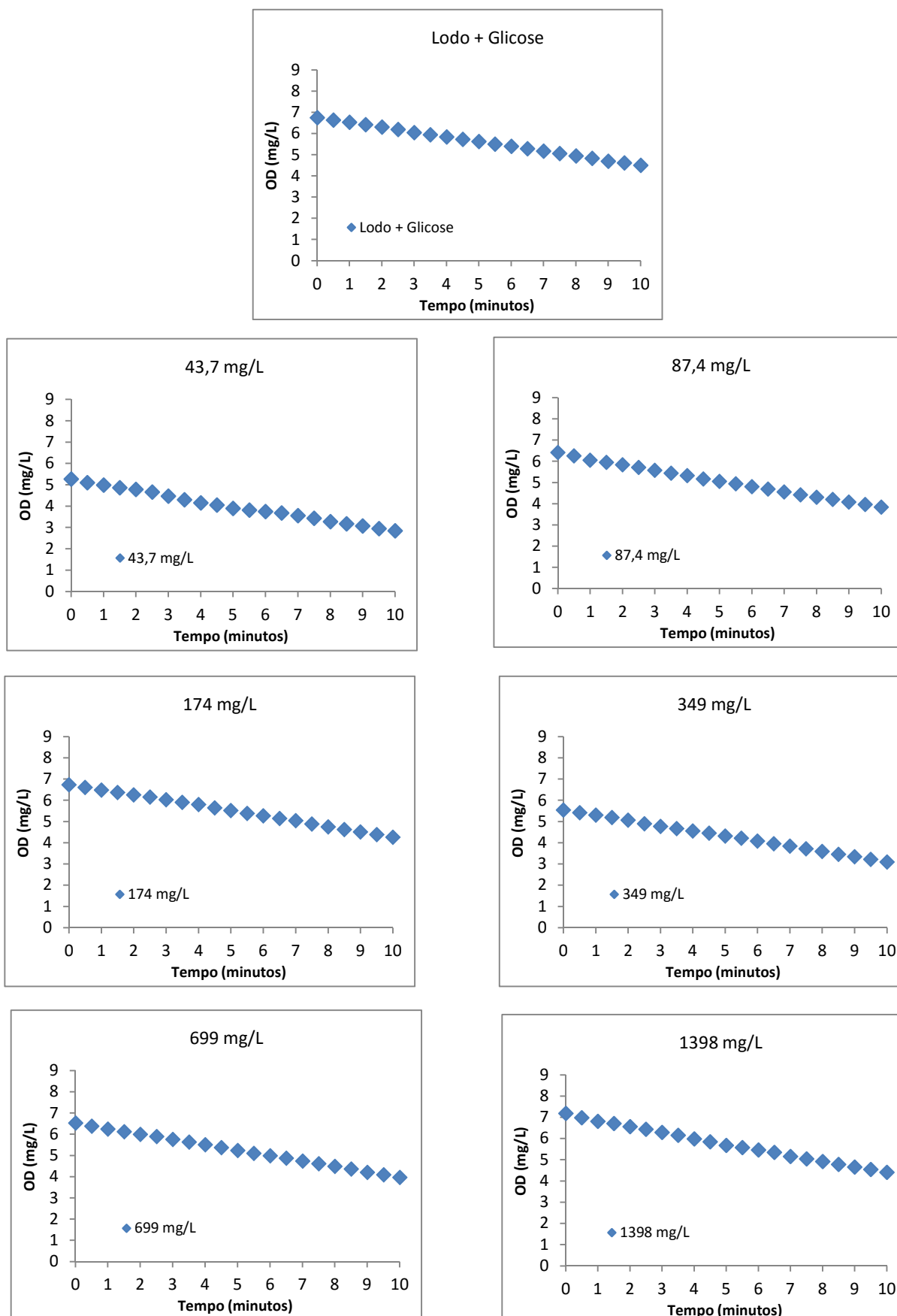


Figura C.4 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Tempo(minutos) do experimento 4, realizado com o lodo ativado do reator da ETEI submetido ao lauril éter sulfato de sódio. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.

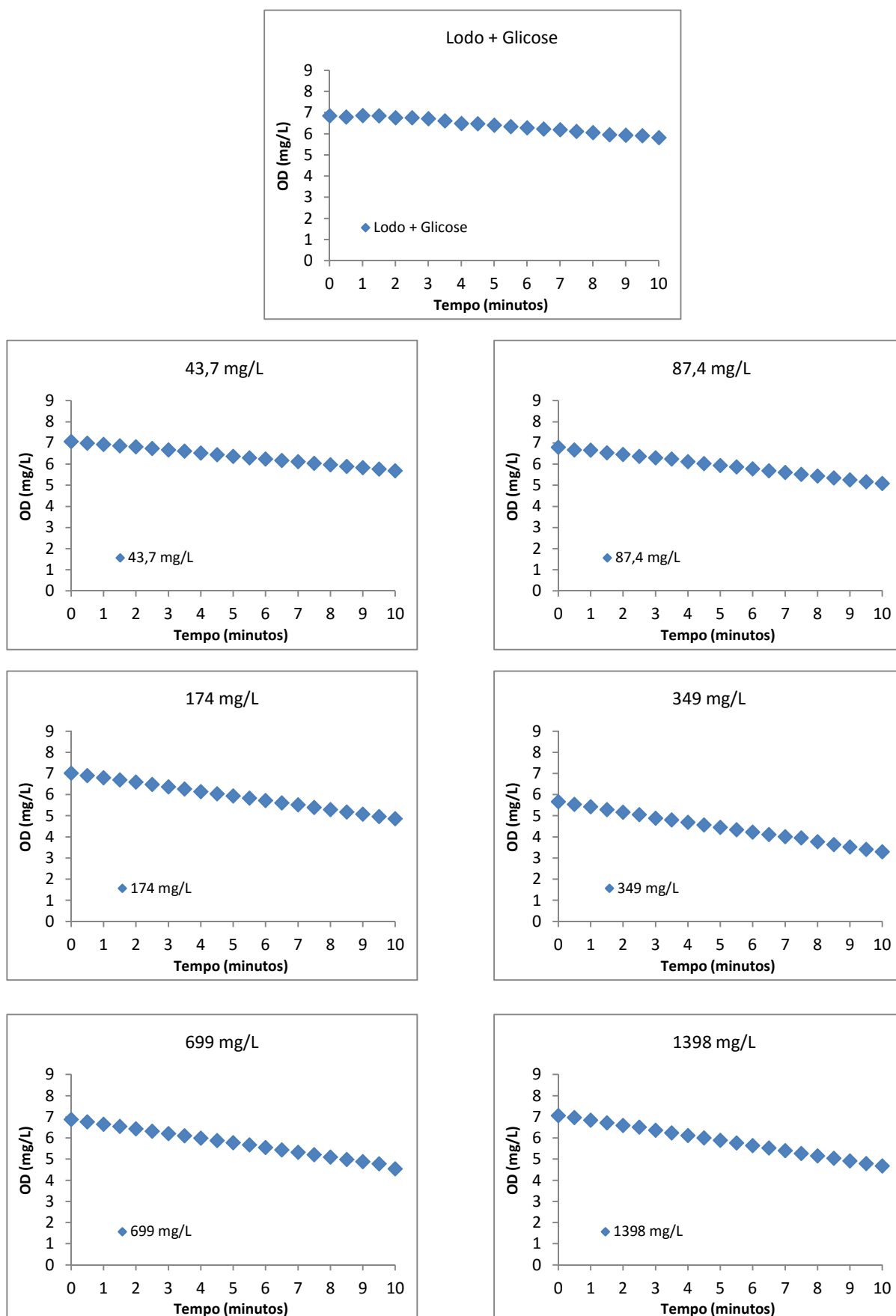


Figura C.5 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Tempo(minutos) do experimento 5, realizado com o lodo ativado do reator da ETEI submetido ao lauril éter sulfato de sódio. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.

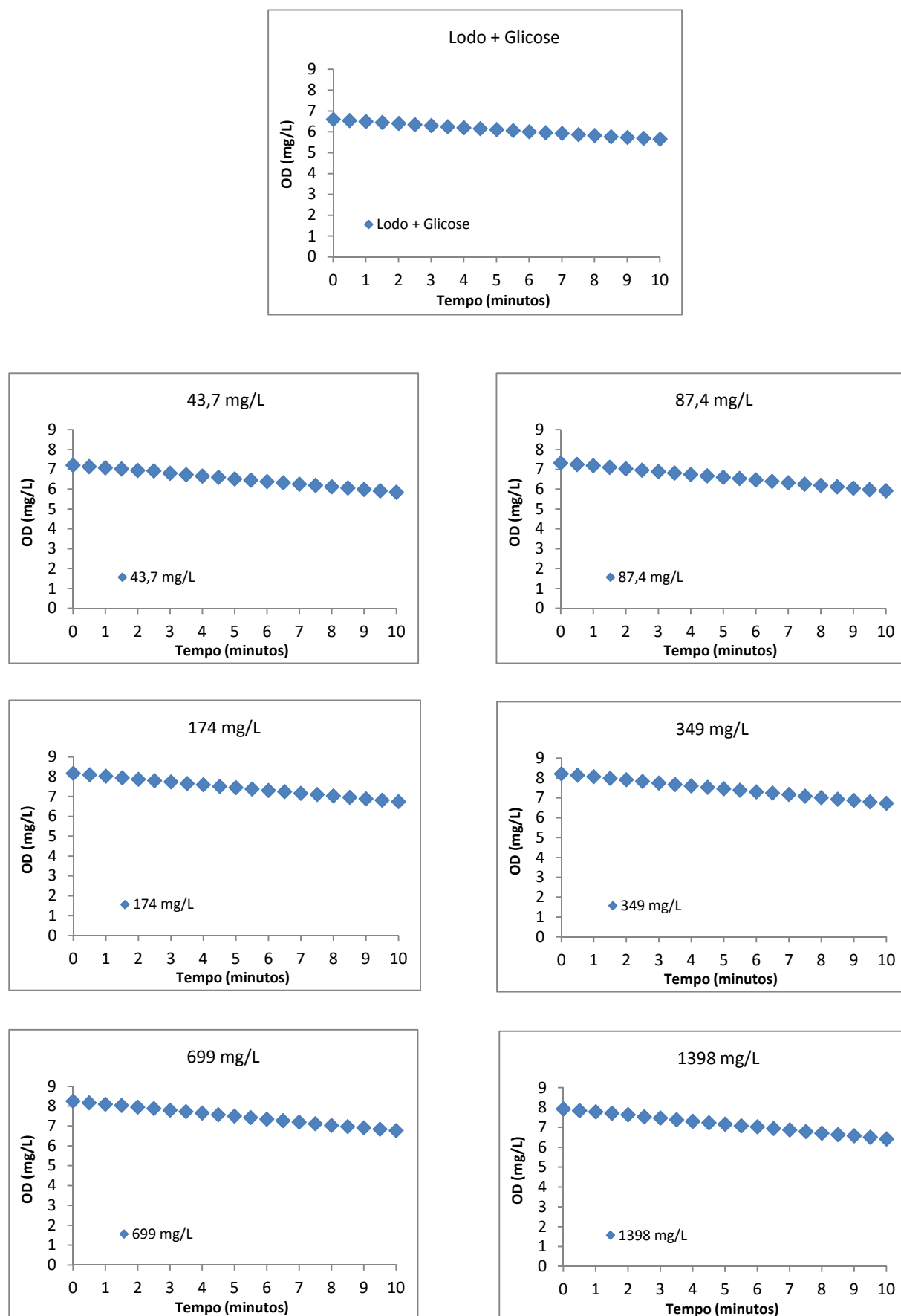


Figura C.6 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Tempo(minutos) do experimento 6, realizado com o lodo ativado do reator da ETEI submetido ao lauril éter sulfato de sódio. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.

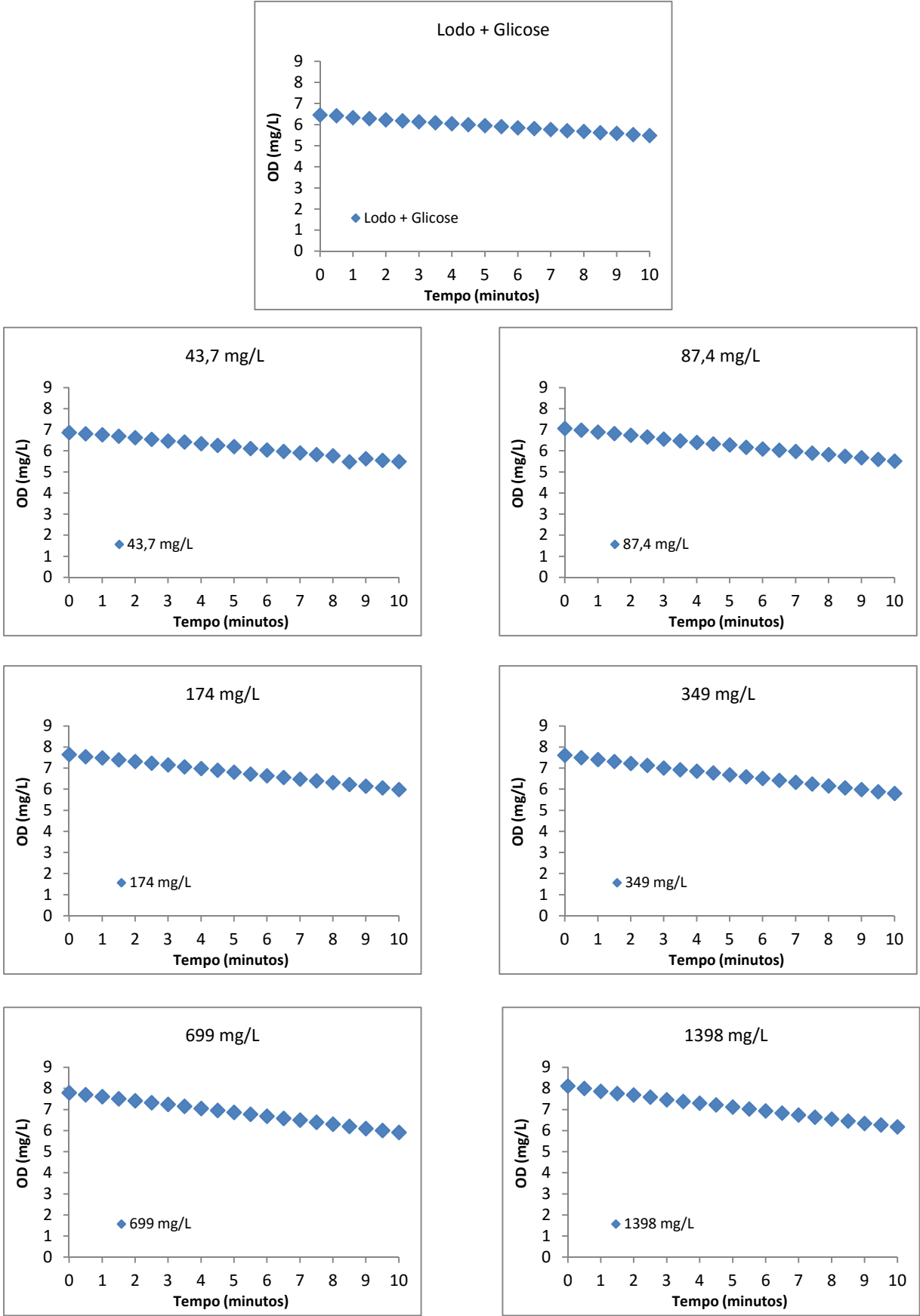


Figura C.8 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Tempo(minutos) do experimento 8, realizado com o lodo ativado do reator da ETEI submetido ao LAS. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.

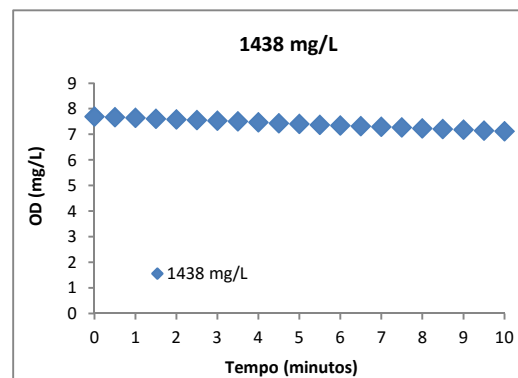
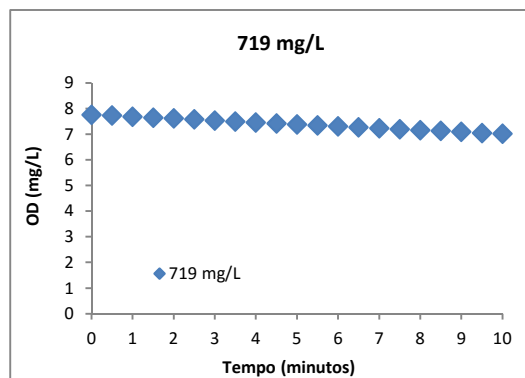
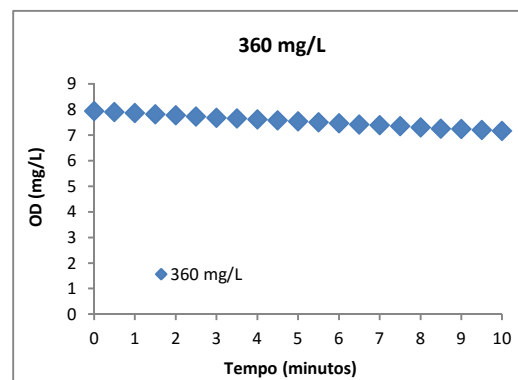
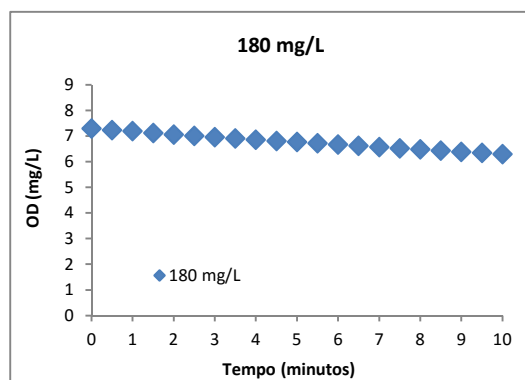
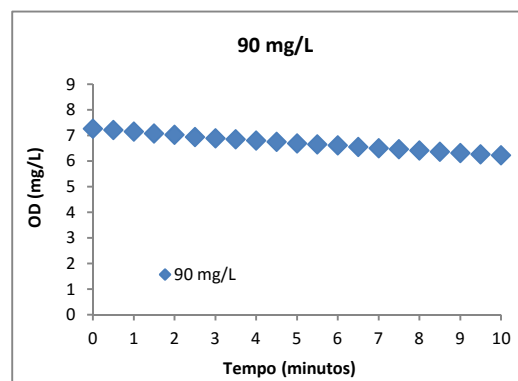
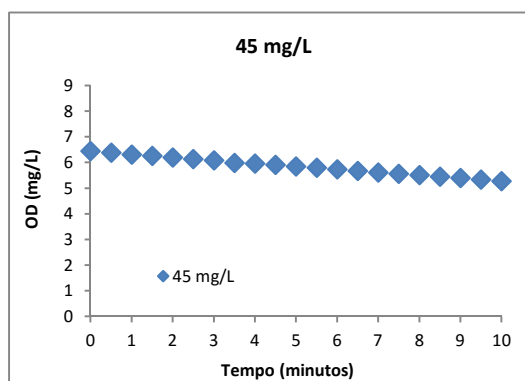
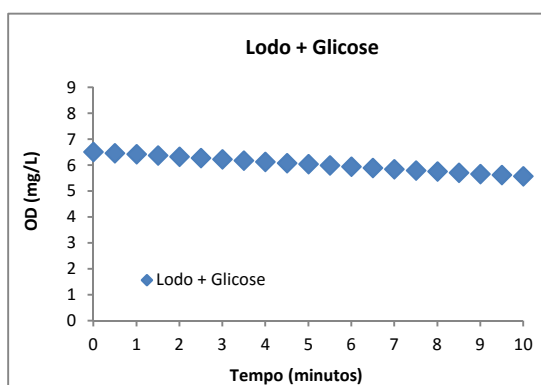
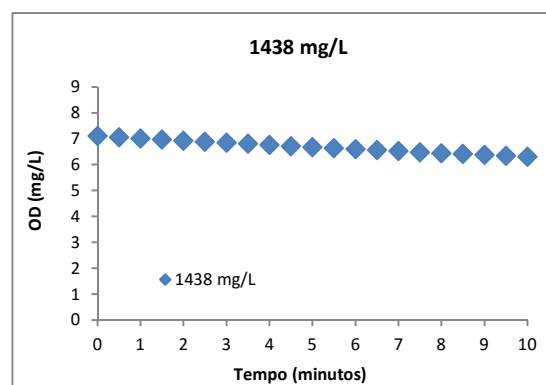
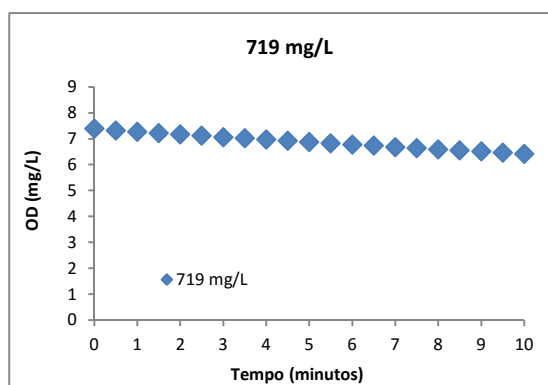
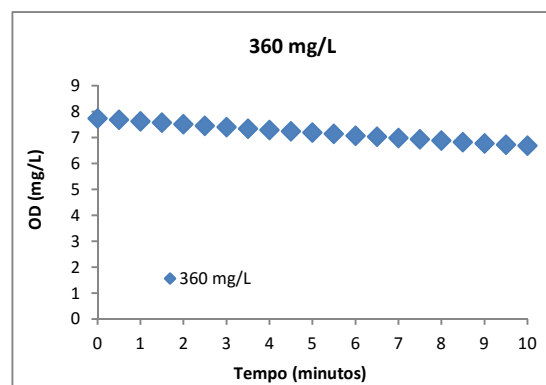
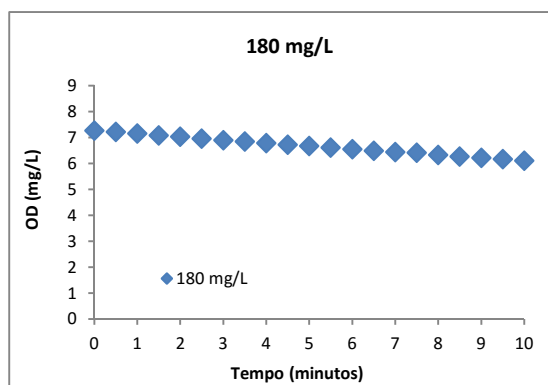
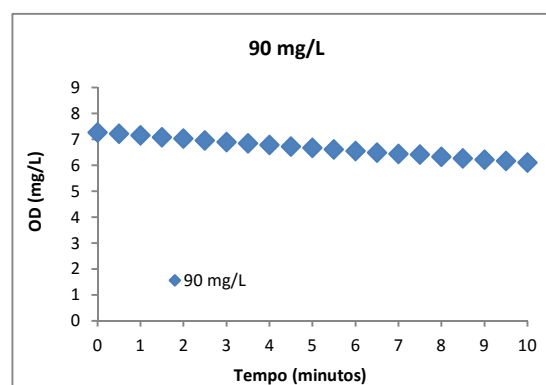
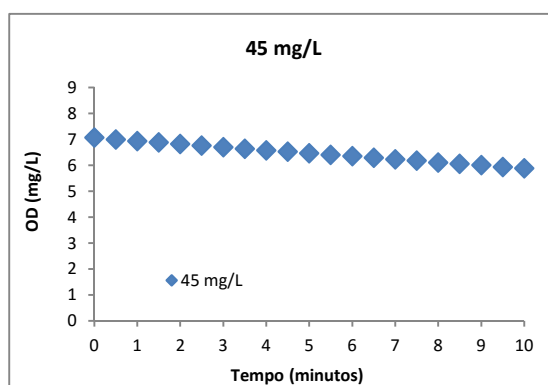
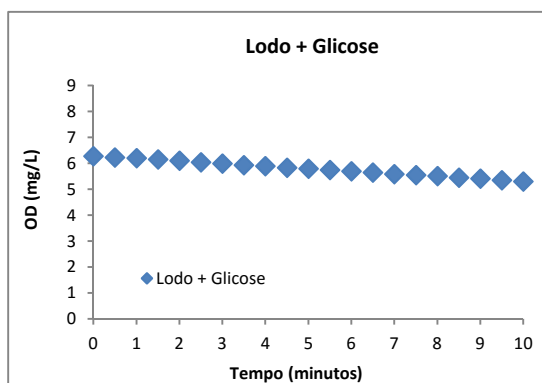


Figura C.9 - Gráficos de Oxigênio Dissolvido (mg/L) x Tempo(minutos) do experimento 9, realizado com o lodo ativado do reator da ETEI submetido ao LAS. Cada gráfico representa uma concentração investigada. Cada ponto representa a média da triplicata realizada.



APÊNDICE D - Gráficos de TCO (Respirometria)

Figura D.1 - Gráficos de Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) x lauril éter sulfato de sódio(mg/L) dos experimentos 1, 2 e 3 e da média entre os experimento 1, 2 e 3.

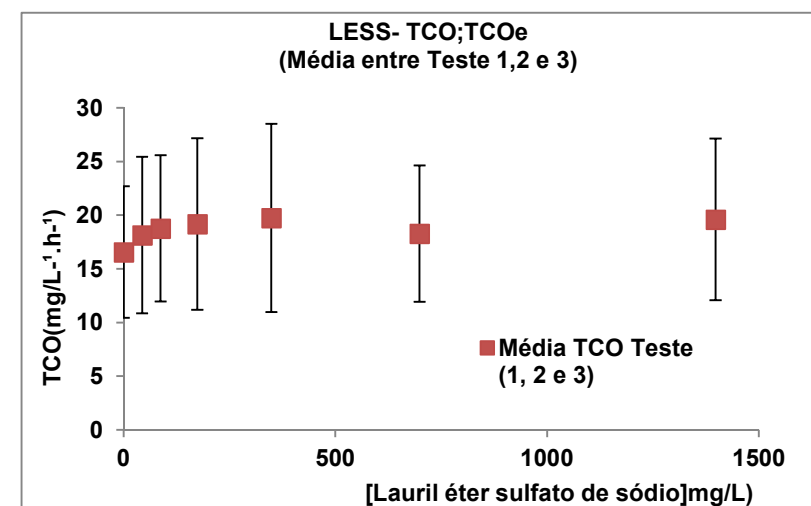
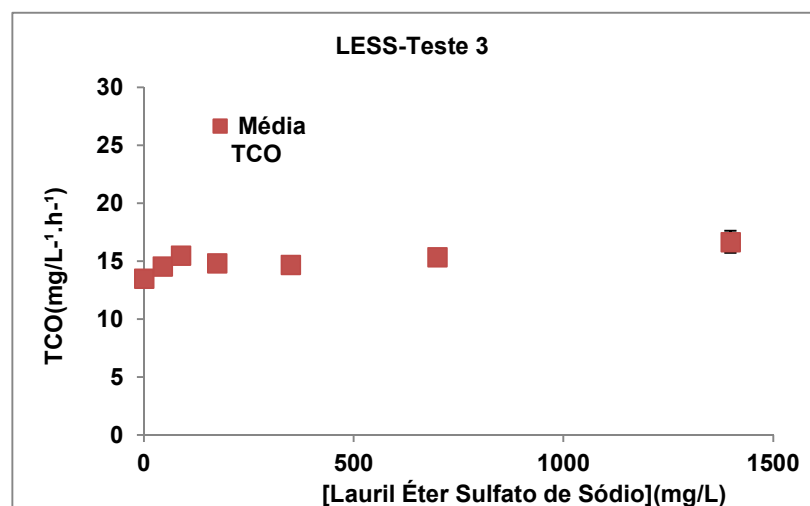
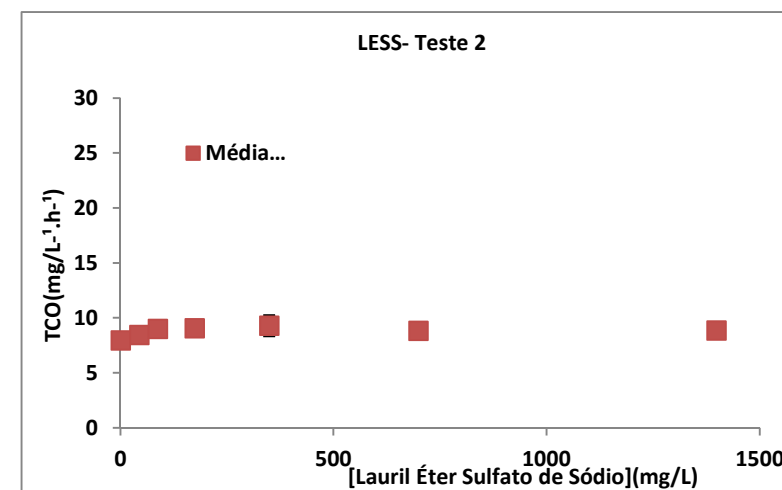
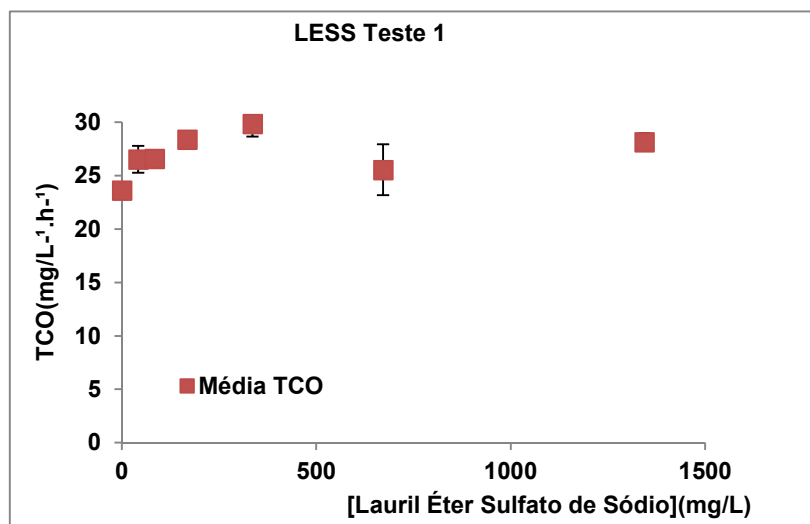


Figura D.2 - Gráficos de Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) x lauril éter sulfato de sódio(mg/L) dos experimentos 4, 5 e 6 e da média entre os experimento 4, 5 e 6.

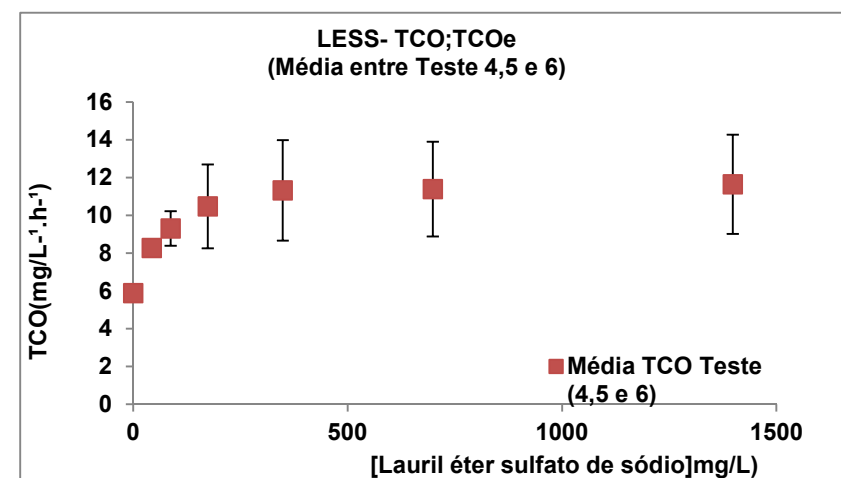
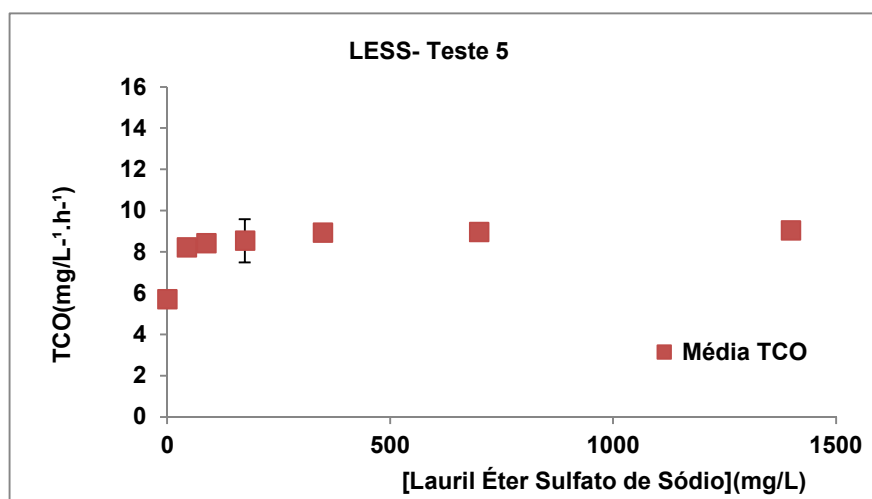
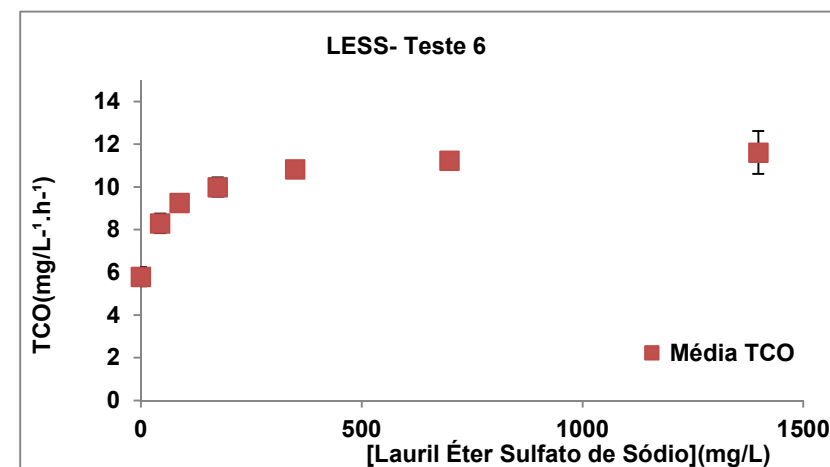
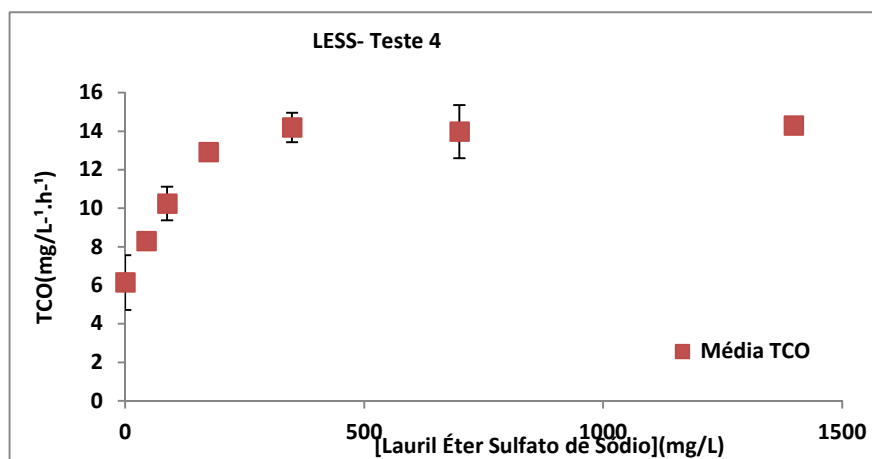
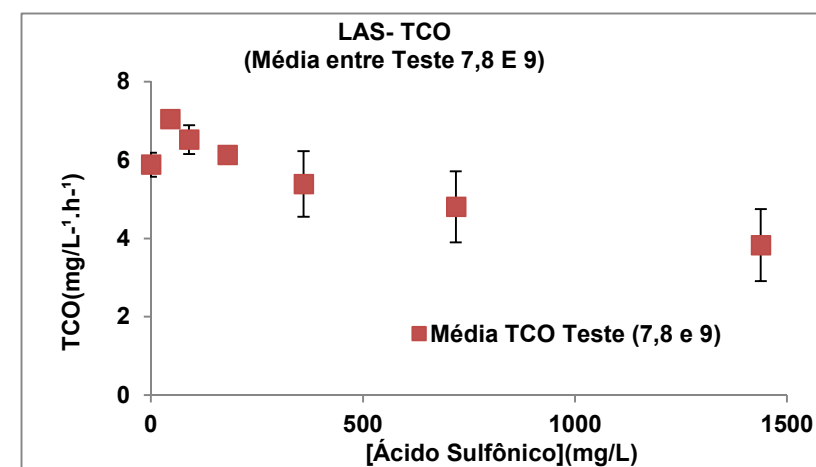
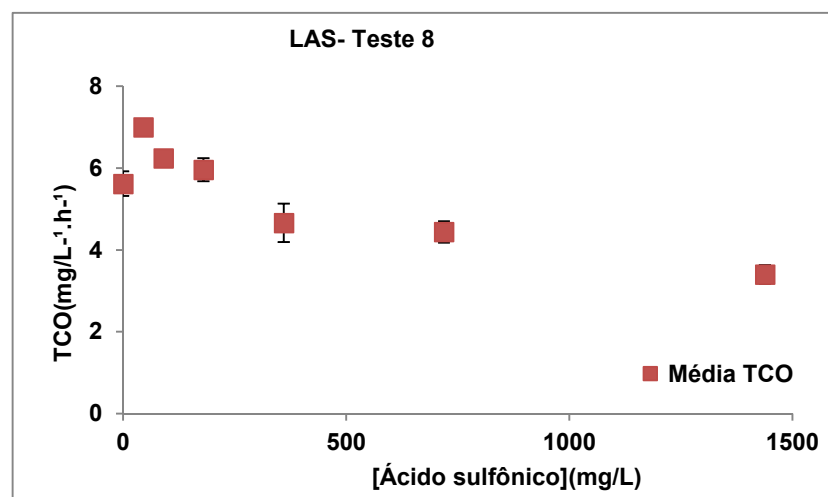
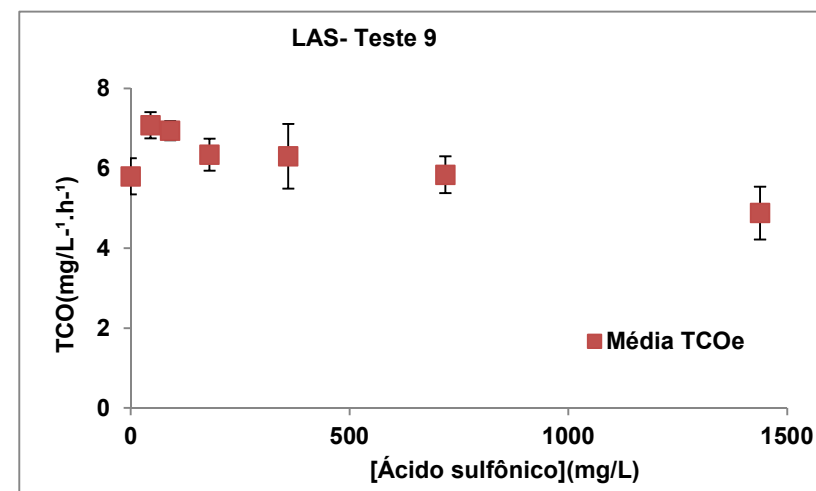
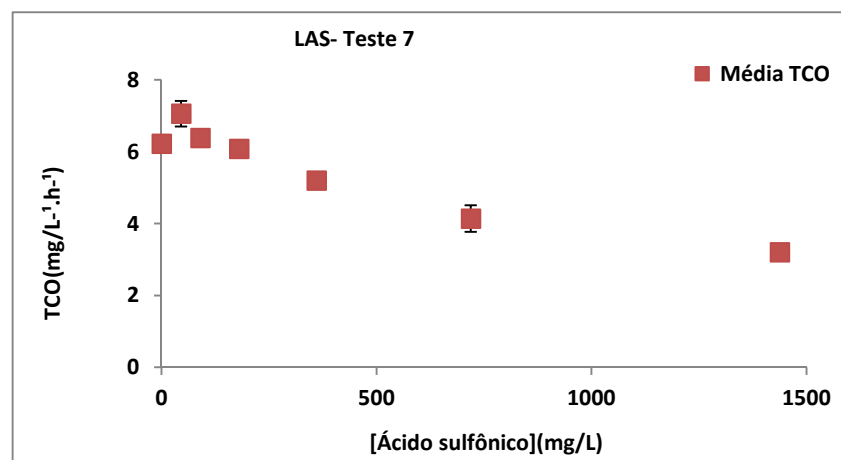


Figura D.3 - Gráficos de Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) x lauril éter sulfato de sódio(mg/L) dos experimentos 7, 8 e 9 e da média entre os experimento 7,8 e 9.



APÊNDICE E - Análise estatística (Respirometria).

Figura E.1 Resultado da análise de normalidade pelo método de Qui-quadrado, dados do Experimento 7.

Teste 7 File: teste 7 Transform: NO TRANSFORMATION					
Chi-square test for normality: actual and expected frequencies					
INTERVAL	<-1.5	-1.5 to <-0.5	-0.5 to 0.5	>0.5 to 1.5	>1.5
EXPECTED	1.407	5.082	8.022	5.082	1.407
OBSERVED	0	8	5	8	0
Calculated Chi-Square goodness of fit test statistic = 7.3034 Table Chi-Square value (alpha = 0.01) = 13.277 Data PASS normality test. Continue analysis.					

Figura E.2 Resultado da análise de homogeneidade pelo método de Bartlett, dados do Experimento 7.

Teste 7 File: teste 7 Transform: NO TRANSFORMATION					
Bartlett's test for homogeneity of variance					
Calculated B statistic = 5.60 Table Chi-square value = 16.81 (alpha = 0.01) Table Chi-square value = 12.59 (alpha = 0.05)					
Average df used in calculation ==> df (avg n - 1) = 2.00 Used for Chi-square table value ==> df (#groups-1) = 6					
Data PASS homogeneity test at 0.01 level. Continue analysis.					

Figura E.3 Resultado da análise de variância (ANOVA) pelo método paramétrico de Dunnett, dados do Experimento 7.

Teste 7 File: teste 7 Transform: NO TRANSFORMATION					
DUNNETTS TEST - TABLE 1 OF 2 Ho:Control<Treatment					
GROUP	IDENTIFICATION	TRANSFORMED MEAN	MEAN CALCULATED IN ORIGINAL UNITS	T STAT	SIG
1	control group	480.000	480.000		
2	45	544.333	544.333	-4.115	
3	90	492.333	492.333	-0.789	
4	180	469.000	469.000	0.704	
5	360	401.000	401.000	5.054	*
6	719	319.333	319.333	10.278	*
7	1438	247.000	247.000	14.905	*
Dunnett table value = 2.53 (1 Tailed Uvalue, P=0.05, df=14,6)					

Figura E.4 Resultado da análise de normalidade pelo método de Qui-quadrado, dados do Experimento 8.

Teste 8
File: teste 8 Transform: NO TRANSFORMATION

Chi-square test for normality: actual and expected frequencies

INTERVAL	<-1.5	-1.5 to <-0.5	-0.5 to 0.5	>0.5 to 1.5	>1.5
EXPECTED	1.407	5.082	8.022	5.082	1.407
OBSERVED	0	7	6	8	0

Calculated Chi-Square goodness of fit test statistic = 5.7230
Table Chi-Square value (alpha = 0.01) = 13.277
Data PASS normality test. Continue analysis.

Figura E.5 Resultado da análise de homogeneidade pelo método de Bartlett, dados do Experimento 8.

Teste 8
File: teste 8 Transform: NO TRANSFORMATION

Bartlett's test for homogeneity of variance

Calculated B statistic = 5.48
Table Chi-square value = 16.81 (alpha = 0.01)
Table Chi-square value = 12.59 (alpha = 0.05)

Average df used in calculation ==> df (avg n - 1) = 2.00
Used for Chi-square table value ==> df (#groups-1) = 6

Data PASS homogeneity test at 0.01 level. Continue analysis.

Figura E.6 Resultado da análise de variância (ANOVA) pelo método paramétrico de Dunnett, dados do Experimento 8.

Teste 8
File: teste 8 Transform: NO TRANSFORMATION

DUNNETT'S TEST - TABLE 1 OF 2 Ho:Control<Treatment

GROUP	IDENTIFICATION	TRANSFORMED MEAN	MEAN CALCULATED IN ORIGINAL UNITS	T STAT	SIG
1	controle	344.333	344.333		
2	45	428.667	428.667	-6.063	
3	90	382.333	382.333	-2.732	
4	180	365.333	365.333	-1.510	
5	360	285.667	285.667	4.218	*
6	719	272.000	272.000	5.200	*
7	1438	208.000	208.000	9.801	*

Dunnett table value = 2.53 (1 Tailed Value, P=0.05, df=14,6)

Figura E.7 Resultado da análise de normalidade pelo método de Qui-quadrado, dados do Experimento 9.

teste 9
File: teste 9 Transform: NO TRANSFORMATION

Chi-square test for normality: actual and expected frequencies

INTERVAL	<-1.5	-1.5 to <-0.5	-0.5 to 0.5	>0.5 to 1.5	>1.5
EXPECTED	1.407	5.082	8.022	5.082	1.407
OBSERVED	0	7	6	8	0

Calculated Chi-Square goodness of fit test statistic = 5.7230
Table Chi-Square value (alpha = 0.01) = 13.277
Data PASS normality test. Continue analysis.

Figura E.8 Resultado da análise de homogeneidade pelo método de Bartlett, dados do Experimento 9.

teste 9
File: teste 9 Transform: NO TRANSFORMATION

Bartlett's test for homogeneity of variance

Calculated B statistic = 5.48
Table Chi-square value = 16.81 (alpha = 0.01)
Table Chi-square value = 12.59 (alpha = 0.05)

Average df used in calculation ==> df (avg n - 1) = 2.00
Used for Chi-square table value ==> df (#groups-1) = 6

Data PASS homogeneity test at 0.01 level. Continue analysis.

Figura E.9 Resultado da análise de variância (ANOVA) pelo método paramétrico de Dunnett, dados do Experimento 9.

teste 9
File: teste 9 Transform: NO TRANSFORMATION

DUNNETTS TEST - TABLE 1 OF 2 Ho:Control<Treatment

GROUP	IDENTIFICATION	TRANSFORMED MEAN	MEAN CALCULATED IN ORIGINAL UNITS	T STAT	SIG
1	Controle	344.333	344.333		
2	45	428.667	428.667	-6.063	
3	90	382.333	382.333	-2.732	
4	180	365.333	365.333	-1.510	
5	360	285.667	285.667	4.218	*
6	719	272.000	272.000	5.200	*
7	1438	208.000	208.000	9.801	*

Dunnett table value = 2.53 (1 Tailed Value, P=0.05, df=14,6)