

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

JORGE AUGUSTO DE CARVALHO SANTOS

Estudo da influência do cloreto de sódio na remoção de matéria orgânica, na determinação da DQO e na microbiota em um sistema de tratamento aeróbio por lodos ativados

**São Carlos
2010**

JORGE AUGUSTO DE CARVALHO SANTOS

Estudo da influência do cloreto de sódio na remoção de matéria orgânica, na determinação da DQO e na microbiota em um sistema de tratamento aeróbio por lodos ativados

Dissertação apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Ciências (Engenharia Hidráulica e Saneamento)

Orientador: Prof. Tit. Jurandyr Povinelli

**São Carlos
2010**

*A minha família, Célia, Jorge, Fernanda, Felipe e Luiz
Felipe pelo apoio, atenção e carinho sem os quais não conseguiria
nada. Em especial a minha mãe, Célia, por todo amor e dedicação e
por ser meu maior exemplo. A Rosa, amor de hoje e sempre.*

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente todos meus professores de todos esses anos de estudos. Toda minha estima e respeito a vocês profissionais que dedicam suas vidas a ensinar e preparar para a vida todos nós.

A Prof^a. Silvia Cláudia Semensato Povinelli que me recebeu como aluno de mestrado e em especial ao Prof. Jurandyir Povinelli que deu continuidade a orientação e foi fundamental para conclusão desse mestrado.

Ao Júlio César Trofino, Paulo Fragiácomo, Maria Aparecida Peres Viudes – Cidinha, Juliana Gonçalves dos Santos Custódio e Natália do laboratório de Saneamento pelo apoio na execução dos experimentos. Gostaria de registrar também um pedido de desculpas a todos por não ter encerrado meu trabalho da forma mais correta.

A Eloisa Pozzi, pelo apoio na execução dos testes de microscopia no laboratório de Processos Biológicos.

A Prof^a. Maria do Carmo Calijuri por permitir a utilização do laboratório Biotoxicologia em Águas Continentais e Efluentes.

Aos colegas de turma que iniciaram seus mestrados e doutorados no ano de 2008, em especial Liana, Fernanda, Rafael, Kisner, Cláudio e Dagoberto.

A Sá, Pavi e Rose pela disponibilidade e apoio sempre que precisei durante esses anos.

Resumo

SANTOS, J. A. C. **Estudo da influência do cloreto de sódio na remoção de matéria orgânica, na determinação da DQO e na microbiota em um sistema de tratamento aeróbio por lodos ativados.** 2010. 97 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

Existem muitos tipos de substâncias orgânicas e inorgânicas que podem apresentar efeito tóxico ou inibidor aos organismos dos sistemas aeróbios de tratamento de efluentes, e entre essas substâncias está o cloreto. Nos efluentes, os cloretos se apresentam na forma de algum tipo de sal, e o mais comum é o cloreto de sódio. O cloreto de sódio pode ser encontrado em vários tipos de efluentes como, por exemplo, efluentes de indústrias alimentícias, petrolíferas, de processamento de couro e no lixiviado de aterros sanitários. Os cloretos podem além de prejudicar a microbiota, interferir no método de determinação da Demanda Química de Oxigênio - DQO e da Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, que são parâmetros comumente utilizados para controle operacional de estações de tratamento. O presente trabalho teve como objetivo estudar a influência da adição de cloretos em um sistema de tratamento aeróbio por lodos ativados de bancada, que foi avaliado com base na remoção de matéria orgânica e no desenvolvimento e interação da microbiota envolvida. Foi avaliado o efeito tóxico da adição de concentrações de cloreto variando de 0 a 16 gCl⁻/L. Os resultados confirmaram que há uma perda significativa de eficiência de remoção de matéria orgânica, principalmente quando a concentração de cloretos é superior a 4 gCl⁻/L. Observou-se também que determinadas concentrações de cloretos são tóxicas aos organismos e prejudicam a estrutura dos flocos biológicos. Além disso, concluiu-se que a determinação da DQO pelo método 5220D do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* sofre, em alguns casos, a interferência do cloreto e portanto pode não ser o melhor parâmetro para avaliação de eficiência dos sistemas de tratamento que operam sob essa condição.

Palavras-Chave: Cloreto de Sódio (NaCl), lodos ativados, microfauna, DQO.

Abstract

SANTOS, J. A. C. **Study of influence of sodium chloride on the removal of organic matter, the determination of COD and microbiota in an aerobic treatment system by activated sludge.** 2010. 97 p. Dissertation (Master) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

There are many types of organic and inorganic substances that may have toxic effect on microorganisms of aerobic systems for wastewater treatment, and among these substances is the chloride. In the effluents, the chlorides are in the form of some type of salt, and most common is sodium chloride. Sodium chloride can be found in various types of effluents, for example, effluents from food industries, oil, leather processing and leachate from landfills. The chlorides can also affect the microbiota, interfering with the method of determining the Chemical Oxygen Demand - COD and the Biochemical Oxygen Demand - BOD, which are commonly used parameters for operational control of treatment plants. This work aimed to study the influence of the addition of chlorides in a system of aerobic activated sludge bench, which was evaluated based on the removal of organic matter and the development and interaction of microorganisms involved. We evaluated the toxic effect of adding chloride concentrations ranging 0-16 gCL⁻¹/ L. The results confirmed that there is a significant loss of removal efficiency of organic matter, especially when the chloride concentration is more than 4 gCL⁻¹/L. It was also noted that certain concentrations of chloride are toxic to microorganisms and affect the structure of biological flocs. Furthermore, it was concluded that the determination of COD by 5220D method of *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* suffers, in some cases, interference of chloride and maybe not the better parameter for evaluating efficiency of treatment systems that operate under this condition.

Key-words: Sodium choride (NaCl), activated sludge, microbiota, COD.

Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema simplificado de um sistema combinado de tratamento de efluentes salinos. Fonte: Adaptado de Lefebvre e Moletta (2006).....	21
Figura 2 - Relação entre concentração de sal e taxa de atividade biológica. Fonte: Adaptado de McCarty. (1964).....	22
Figura 3 - Modelo de sucessão biológica. Fonte: Retirada de Mckinney(1962).....	25
Figura 4 - Modelo do reator biológico utilizado no experimento. Medidas em centímetros.....	30
Figura 5 - Dinâmica de sucessão biológica no processo de adaptação à degradação de lactose 1 g/L.....	39
Figura 6 - Registros fotográficos dos organismos observados. A - Bactérias em suspensão, B - Flagelado, C - Ciliados Livres e D - Ciliado Fixo. Nas fotos A e B foi utilizado contraste de fase.....	40
Figura 7 - Registros fotográficos dos organismos observados. A - Verme, B - Rotífero.....	41
Figura 8 - Dinâmica de formação dos flocos biológicos.....	41
Figura 9 - Registro fotográfico de bactérias formadoras de floco (<i>Zoogloea sp.</i>).....	42
Figura 10 - Dinâmica microbiológica no reator de controle (sem adição de NaCl) entre o 10º e o 15º dias.....	45
Figura 11 - Relação entre a concentração de cloreto e a produção de biomassa em um sistema de lodos ativados. Fonte: Adaptado de Menéndez e Marrero (2000).....	48
Figura 12 - Dinâmica microbiológica no reator 2 (adição de 1 gCl/L) entre o 10º e o 15º dias.....	49
Figura 13 - Dinâmica microbiológica no reator 3 (adição de 2 gCl/L) entre o 10º e o 15º dias.....	51

Figura 14 - Dinâmica microbiológica no reator 4 (adição de 4 gCl ⁻ /L) entre o 10° e o 15° dias.....	54
Figura 15 - Dinâmica microbiológica no reator 5 (adição de 8 gCl ⁻ /L) entre o 10° e o 15° dias.....	57
Figura 16 - Dinâmica microbiológica no reator 6 (adição de 16 gCl ⁻ /L) entre o 10° e o 15° dias.....	59
Figura 17 - Variação da DQO efluente nos reatores antes e após a adição dos cloretos. AC = Amostra Composta.....	61
Figura 18 - Variação do COT efluente nos reatores antes e após a adição dos cloretos. AC = Amostra Composta.....	63
Figura 19 - Variação da eficiência de remoção de matéria orgânica nos reatores levando em consideração a determinação da DQO.....	64
Figura 20 - Variação da eficiência de remoção de matéria orgânica nos reatores levando em consideração a determinação da COT.....	65
Figura 21 - Variação da DBO efluente nos reatores antes e após a adição dos cloretos. AC = Amostra Composta.....	66
Figura 22 - Dinâmica microbiológica no reator de controle (sem adição de NaCl) entre o 11° e o 15° dias.....	69
Figura 23 - Dinâmica microbiológica no reator 2 (adição de 1gCl ⁻ /L) entre o 11° e o 15° dias.....	71
Figura 24 - Dinâmica microbiológica no reator 3 (adição de 2gCl ⁻ /L) entre o 11° e o 15° dias.....	73
Figura 25 - Dinâmica microbiológica no reator 4 (adição de 4gCl ⁻ /L) entre o 11° e o 15° dias.....	76

Figura 26 - Dinâmica microbiológica no reator 5 (adição de 8gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.....	78
Figura 27 - Dinâmica microbiológica no reator 6 (adição de 16gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.....	80
Figura 28 - Concentração de COT nos reatores entre o 11º e 15º dias.....	82
Figura 29 - Concentração de DQO nos reatores entre o 11º e o 15º dias.....	83
Figura 30 - Correlação entre a concentração de cloretos e a DQO.....	85
Figura 31 - DQO das soluções de lactose (0,5 g/L) adicionadas de diferentes concentrações de cloretos.....	86
Figura 32 - DQO das amostras do reator controle adicionadas de diferentes concentrações de cloretos.....	88
Figura 33 - DQO das amostras do reator controle e da solução de lactose 0,5 g/L adicionadas de diferentes concentrações de cloreto.....	90

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Procedimentos analíticos empregados no desenvolvimento da pesquisa.....	31
Tabela 2 - Modelo de tabela utilizado para anotação da escala de frequência dos principais grupos de organismos observados diariamente em cada reator.....	32
Tabela 3 - Escala qualitativa de frequência.....	32
Tabela 4 - Concentrações de cloreto e NaCl aplicadas em cada câmara.....	34
Tabela 5 - Parâmetros utilizados para caracterização do inóculo (esgoto bruto - EB), da solução de lactose 1g/L enriquecida e da mistura inóculo/solução de lactose enriquecida (EB+L).....	37
Tabela 6 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator de controle (sem adição de NaCl) no 9º dia de operação.....	43
Tabela 7 - Principais grupos de organismos observados no reator de controle (sem adição de NaCl) entre o 10º e o 15º dias.....	44
Tabela 8 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 2 (adição de 1gCl ⁻ /L) no 9º dia de operação.....	46
Tabela 9 - Turbidez no reator 2 (adição de 1 g Cl ⁻ /L) durante o 10º e o 15º dias.....	47
Tabela 10 - Principais grupos de organismos observados no reator 2 (adição de 1 gCl ⁻ /L) entre o 10º e o 15º dias.....	48
Tabela 11 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 3 (adição de 2gCl ⁻ /L) no 9º dia de operação.....	49
Tabela 12 - Turbidez no reator 3 (adição de 2 gCl ⁻ /L) durante o 10º e o 15º dias.....	50
Tabela 13 - Principais grupos de organismos observados no reator 3 (adição de 2 gCl ⁻ /L) entre o 10º e o 15º dias.....	50

Tabela 14 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 4 (adição de 4gCl/L) no 9º dia de operação.....	52
Tabela 15 - Principais grupos de organismos observados no reator 4 (adição de 4 gCl/) entre o 10º e o 15º dias.....	53
Tabela 16 - Turbidez no reator 4 (adição de 4 gCl/L) durante o 10º e o 15º dias.....	54
Tabela 17 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 5 (adição de 8gCl/L) no 9º dia de operação.....	55
Tabela 18 - Principais grupos de organismos observados no reator 5 (adição de 8 gCl/L) entre o 10º e o 15º dias.....	56
Tabela 19 - Determinações de turbidez no reator 5 (adição de 8 gCl/L) durante o 10º e o 15º dias.....	56
Tabela 20 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 6 (adição de 16gCl/L) no 9º dia de operação.....	58
Tabela 21 - Principais grupos de organismos observados no reator 6 (adição de 16 gCl/) entre o 10º e o 15º dias.....	58
Tabela 22 - Turbidez no reator 6 (adição de 16 gCl/L) durante o 10º e o 15º dias.....	59
Tabela 23 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator de controle (sem adição de NaCl) no 10º dia de operação.....	68
Tabela 24 - Principais grupos de organismos observados no reator de controle (sem adição de NaCl) entre o 11º e o 15º dias.....	70
Tabela 25 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 2 (adição de 1gCl/L) no 10º dia de operação.....	71
Tabela 26 - Principais grupos de organismos observados no reator 2 (adição de 1 gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.....	72

Tabela 27 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 3 (adição de 2gCl/L) no 10º dia de operação.....	73
Tabela 28 - Principais grupos de organismos observados no reator 3 (adição de 2 gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.....	74
Tabela 29 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 4 (adição de 4gCl/L) no 10º dia de operação.....	75
Tabela 30 - Principais grupos de organismos observados no reator 4 (adição de 4 gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.....	76
Tabela 31 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 5 (adição de 8gCl/L) no 10º dia de operação.....	77
Tabela 32 - Principais grupos de organismos observados no reator 5 (adição de 8 gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.....	79
Tabela 33 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 6 (adição de 16gCl/L) no 10º dia de operação.....	80
Tabela 34 - Principais grupos de organismos observados no reator 6 (adição de 16 gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.....	81
Tabela 35 - DQO para variadas soluções de NaCl.....	84
Tabela 36 - Porcentagem de erro na determinação da DQO de acordo com a concentração de cloretos na amostra.....	87
Tabela 37 - Porcentagem de erro na determinação da DQO da solução de lactose (0,5 g/L) em função da concentração de cloretos adicionada nas amostras.....	87
Tabela 38 - Porcentagem de erro na determinação da DQO da solução de lactose (0,5 g/L) em função da concentração de cloretos adicionada nas amostras.....	89

Lista de Abreviaturas e Siglas

AC	Amostra composta
A/M	Alimento/Microrganismo
COT	Carbono orgânico total
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
DQO _e	Demanda química de oxigênio esperada
DQO _o	Demanda química de oxigênio obtida
N _{org}	Nitrogênio orgânico
NTK	Nitrogênio total Kjeldahl
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
RNA	Ácido Ribonucleico
SDF	Sólidos dissolvidos fixos
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SDV	Sólidos dissolvidos voláteis
SS	Sólidos sedimentáveis
SSF	Sólidos suspensos fixos
SST	Sólidos suspensos totais
SSV	Sólidos suspensos voláteis
ST	Sólidos totais
STF	Sólidos totais fixos
STV	Sólidos totais voláteis
TDH	Tempo de detenção hidráulica

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
SUMÁRIO	13
1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivos Gerais	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Introdução	19
3.2 Sistemas Biológicos de Tratamento de Efluentes com Alta Concentração de NaCl	22
3.2.1 O sistema de Lodos Ativados	23
3.2.2 Influência do cloreto de sódio ao sistema de Lodos Ativados e aos organismos	25
3.2.3 A possibilidade de adaptação e os organismos halófilos e halotolerantes	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 Primeiro Experimento - Verificação da influência dos cloretos em um sistema operando com TDH de 24 horas e biomassa adaptada à degradação de lactose	33

4.1.1	Fase de Adaptação ao substrato	33
4.1.2	Verificação da influência dos cloretos nos reatores com biomassa adaptada à degradação de lactose	34
4.1.2.1	Influência da adição dos cloretos na microbiota	34
4.1.2.2	Influência na remoção de matéria orgânica	34
4.2	Segundo Experimento - Verificação da influência dos cloretos por um período de 5 dias de exposição sem alimentação dos reatores	35
4.2.1	Fase de adaptação ao substrato	35
4.2.2	Verificação da influência dos cloretos nos reatores com biomassa adaptada à degradação de lactose	36
4.2.2.1	Influência da adição dos cloretos na microbiota	36
4.2.2.2	Influência na remoção de matéria orgânica	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1	Primeiro Experimento - Verificação da influência dos cloretos em um sistema operando com TDH de 24 horas e biomassa adaptada à degradação de lactose	38
5.1.1	Fase de Adaptação ao substrato	38
5.1.2	Verificação da influência dos cloretos nos reatores com biomassa adaptada à degradação de lactose	42
5.1.2.1	Influência da adição dos cloretos na microbiota	42
5.1.2.2	Influência na remoção de matéria orgânica	60
5.2	Segundo Experimento - Verificação da influência dos cloretos por um período de 5 dias de exposição sem alimentação dos reatores	67
5.2.1	Fase de adaptação ao substrato	67
5.2.2	Verificação da influência dos cloretos nos reatores com biomassa adaptada à degradação de lactose	67

5.2.2.1	Influência da adição dos cloretos na microbiota	67
5.2.2.2	Influência na remoção de matéria orgânica	81
5.3	Influência do cloreto na determinação da DQO	83
5.3.1	Determinação da DQO com solução NaCl e água destilada	84
5.3.2	Determinação da DQO com solução de lactose 0,5 g/L	86
5.3.3	Determinação da DQO com amostra do reator controle	88
6	CONCLUSÕES	93
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

1 INTRODUÇÃO

Não é de hoje a preocupação com a qualidade dos recursos hídricos e com a necessidade de tratamento do esgoto sanitário e efluentes industriais. A cada ano a qualidade das águas em todo mundo tem piorado, prejudicando os ecossistemas e aumentando substancialmente o custo de seu tratamento.

Nas indústrias, por exemplo, são gerados efluentes extremamente complexos e tóxicos, o que exige tratamento e disposição diferenciados. Estes resíduos normalmente apresentam, além da matéria orgânica, substâncias recalcitrantes e substâncias inorgânicas. Nesse contexto estão, entre outros, os efluentes que possuem alta concentração de sais inorgânicos, como é o caso dos cloretos cujas ações serão abordadas nesse trabalho.

Indústrias como a agrícola, petrolífera e têxtil e aterros sanitários produzem esse tipo de efluente, cujo tratamento não adequado, prejudica a qualidade dos solos, das águas superficiais e subterrâneas, assim como a microfauna de forma geral (LEFEBVRE; MOLETTA, 2006, SISINNO, 2002). De acordo com Díaz *et al.*. (2002), bilhões de litros desse tipo efluente são produzidos por ano contaminando vários ecossistemas e degradando a qualidade dos recursos ambientais. Segundo Peyton *et al.*. (2004) efluentes com altas concentrações de sólidos dissolvidos totais (SDT) representam cerca de 5% de todo efluente gerado no mundo.

Devido ao fato dos efluentes salinos serem recalcitrantes, os processos de tratamento mais utilizados são os de natureza físico-química, principalmente evaporação, filtração, coagulação-floculação e troca iônica. Os processos biológicos são utilizados, entretanto a presença dos cloretos pode afetar os organismos diminuindo a eficiência do sistema (KARGI; DINCER, 1996, 1997; LEFEBVRE; MOLETTA, 2006; SALVADÓ *et al.*, 2001).

Lodos ativados é um processo biológico conhecido e bastante utilizado, e por esse motivo este estudo é direcionado à verificação dos efeitos do cloreto à microfauna responsável pela degradação da matéria orgânica nesse sistema de tratamento.

Este trabalho verificou a influência do cloreto de sódio na dinâmica de sucessão biológica do sistema de lodos ativados, considerando também os efeitos na capacidade de degradação de matéria orgânica pelos organismos, e ainda seus efeitos na metodologia de determinação da DQO.

Como era esperado, a presença dos cloretos em determinadas concentrações foi prejudicial aos organismos causando perda de eficiência do sistema como um todo e além disso, causou interferência na determinação da DQO.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar a influência dos cloretos, na forma de cloreto de sódio, na eficiência de remoção de matéria orgânica e na microfauna de um sistema de lodos ativados descontínuo de bancada.

2.2 Objetivos específicos

- a) Verificar a eficiência da remoção de matéria orgânica da biomassa, sob a influência de variadas concentrações de NaCl na DQO e COT;
- b) Verificar a interferência do NaCl na determinação da DQO;
- c) Acompanhar com exames microscópicos a característica do lodo biológico, o desenvolvimento dos organismos, observando suas interações biológicas na fase de adaptação e sob a influência de concentrações variáveis de NaCl.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Introdução

O cloreto de sódio é o sal mais comum e amplamente utilizado no mundo. Pode ser encontrado em alimentos e resíduos da indústria alimentícia, em resíduos da indústria petrolífera, da indústria têxtil, da indústria de processamento de couro e no lixiviado de aterro sanitários. De acordo o Salt Institute (2010), o sal é aproveitado em aproximadamente 14 mil diferentes usos.

Uma das consequências da ampla utilização do NaCl nas indústrias é a produção de efluentes e resíduos sólidos com alta concentração de sólidos dissolvidos. Nestes efluentes além dos sólidos dissolvidos há matéria orgânica e outras substâncias advindas das perdas nos processos de fabricação. (KARGI; DINCER, 1996; LEFEBVRE *et al.*, 2005; LEFEBVRE; MOLETTA, 2006). O tratamento destes resíduos é difícil tratamento e dispendioso (LEFEBVRE; MOLETTA, 2006). Estes efluentes são gerados em indústrias alimentícias, de processamento de pescado, em curtumes, aterros sanitários e refinarias de petróleo.

Em relação a indústria do couro, sabe-se que o Brasil é o 5º maior produtor do mundo, representando entre 10% e 11% da produção mundial. A média nacional de geração de efluentes é de aproximadamente 30 m³ por tonelada de couro processada. É um resíduo com alta concentração de sal, proteínas, aminoácidos, detergentes, cromo, etc. O efluente bruto de curtume pode apresentar aproximadamente 220 kg/m³ de NaCl (CETESB, 2005).

O processo de transformação de peles em couro é normalmente dividido em três etapas principais conhecidas por ribeira, curtimento e acabamento. O couro chega a essas etapas após passar pelo processo de cura onde recebe sal para que se mantenha conservado e livre da ação de organismos. Quase todas as etapas geram algum tipo de efluente, no entanto, é na primeira etapa, chamada de ribeira que são gerados os maiores volumes de efluentes com

altas quantidades de sal. Nesta fase o couro é ‘salgado’, lavado e preparado para as etapas seguintes (CETESB, 2005).

Segundo Lefebvre e Molleta (2006), as indústrias alimentícias, como as de vegetais em conserva, charque, óleo de oliva e processamento de peixe, utilizam o sal para dar sabor e conservar os produtos. O excesso do sal é descartado no efluente.

Embora o Brasil ainda não processe a oliva a produção de óleo seu óleo é um exemplo de processo que gera grandes quantidades desse tipo de efluente (VITOLLO, PETARCA; BRESCI, 1999). De acordo com Ribeiro, Mesquita e Coelho (2009) na indústria de processamento de peixe os efluentes tem concentrações de cloreto de sódio superiores a 30 g/L (concentração aproximada a da água do mar).

O efluente de aterros sanitários, mais conhecido como lixiviado, é uma água residuária com alta concentração de sólidos dissolvidos totais, onde os cloretos predominam podendo atingir uma concentração de até 3.800 mg/L. Visto que o Brasil tem adotado a disposição final de resíduos sólidos em aterros sanitários como a forma mais adequada e dada a alta concentração de sais, esse tipo de efluente também merece atenção especial.

Outro exemplo são as indústrias petroquímicas. Processos de purificação do óleo cru produzem um resíduo de alta concentração salina que pode chegar a três vezes a concentração salina do mar (DIAZ *et al.*, 2002). Esta água residuária contém grandes quantidades de sais e sólidos (entre eles o cloreto de sódio) prejudicando os equipamentos e tornando mais oneroso o refino do petróleo (MORIGAKI *et al.*, 2010). Os dois principais processos de purificação do petróleo que geram efluentes salinos são a desidratação e a dessalgação.

O descarte destes efluentes, sem tratamento prévio, pode contaminar o solo ocasionando perda de suas características, pode contaminar águas superficiais e subterrâneas, limitando ainda mais a disponibilidade de águas de boa qualidade, impedindo sua utilização

para abastecimento público e prejudicando as comunidades microbianas presentes nos locais contaminados (LEFEBVRE; MOLETTA, 2006).

As formas de tratamento deste tipo de resíduo são diversas. As mais comuns, em virtude da presença de NaCl, são os processos físico-químicos como evaporação, filtração e coagulação-floculação. Contudo, tais processos apresentam características que os tornam caros ou desvantajosos (LEFEBVRE; MOLETTA, 2006).

Além dos processos físico-químicos, processos biológicos aeróbios, anaeróbios ou combinados (aeróbio/anaeróbio, físico-químico/aeróbio ou físico-químico/anaeróbio) (Figura 1) também são utilizados no tratamento de efluentes industriais que contenham altas concentrações de NaCl (LEFEBVRE; MOLETTA, 2006).

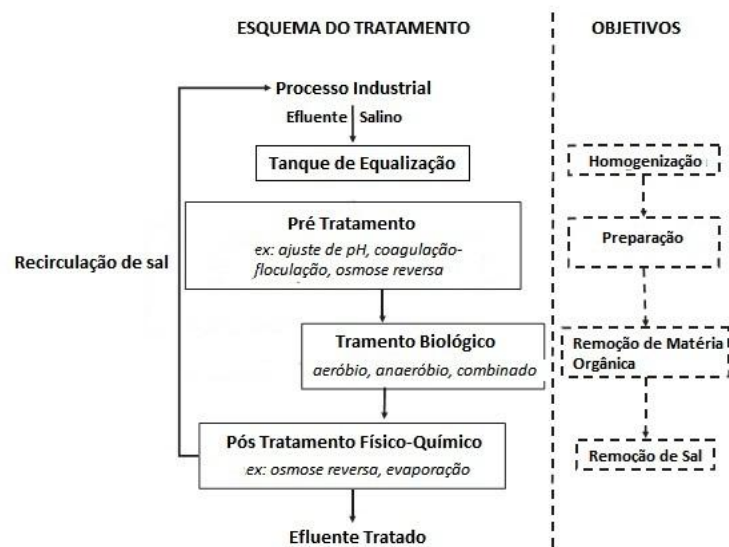


Figura 1 – Esquema simplificado de um sistema combinado de tratamento de efluentes salinos. Fonte: Adaptado de Lefebvre e Moletta (2006).

As altas concentrações de cloretos têm dificultado o tratamento biológico, físico-químico e até mesmo os processos oxidativos avançados conforme se pode observar nos trabalhos publicados pelo Edital 5 do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - PROSAB.

3.2 Sistemas Biológicos de Tratamento de Efluentes com Alta Concentração de NaCl

Metcalf e Eddy (2003) citam que inúmeros compostos podem causar algum tipo de problema aos processos biológicos de tratamento por serem resistentes a biodegradação. São exemplos de compostos orgânicos: hidrocarbonetos poliaromáticos, alcanos, xilenos, entre outros. Há também os metais pesados que, dependendo da concentração, são tóxicos e não podem ser removidos dos efluentes.

É possível incluir a esse grupo de substâncias tóxicas alguns sais, por exemplo, o cloreto de sódio, objeto desse estudo. Segundo McCarty (1964) os sais, podem dependendo da concentração, estimular ou inibir a taxa de atividade microbológica no reator (Figura 2).

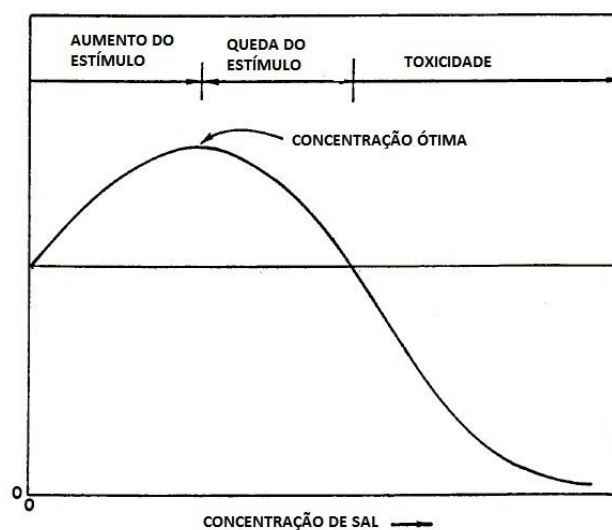


Figura 2 - Relação entre concentração de sal e taxa de atividade biológica. Fonte: Adaptado de McCarty. (1964).

Dada a complexidade, a dependência e a sensibilidade dos organismos às condições do meio, é importante que se conheçam os efeitos dessas substâncias para que os mesmos possam ser anulados ou minimizados.

Como já foi dito, tanto sistemas aeróbios quanto anaeróbios são utilizados para tratamento de efluentes com alta concentração de NaCl e nos últimos anos de acordo com

Lefebvre e Moletta (2006) é crescente o número de estudos científicos direcionados a esses processos. Ambos os sistemas apresentam dificuldades operacionais, mas é possível certa adaptação da biomassa para remoção de matéria orgânica em meios com a presença de cloretos.

3.2.1 O sistema de Lodos Ativados

Esse sistema de tratamento utilizado neste experimento começou a ser desenvolvido por volta de 1880 quando o Dr. Angus Smith utilizou a aeração de efluentes. Após vários anos e inúmeras pesquisas de outros cientistas, Edward Arden e William T. Lockett publicaram um estudo que dava o nome de “Lodos Ativados” ao processo que utilizava uma massa de organismos (lodo biológico ou biomassa) para a estabilização aeróbia de matéria orgânica (METCALF; EDDY, 2003).

Apesar de ser bastante conhecido e utilizado, cabe uma breve descrição do processo que possui três componentes básicos (METCALF; EDDY, 2003):

- (1) Um reator onde os organismos responsáveis pela degradação se desenvolvem e são mantidos sob aeração e agitação;
- (2) Um decantador para separar o líquido (efluente tratado) dos sólidos (lodo biológico ou biomassa);
- (3) Um sistema de recirculação que devolve o lodo biológico separado ao reator a fim de manter uma concentração ótima de organismos.

O ponto fundamental do sistema é que ele se baseia na oxidação da matéria orgânica por essa biomassa que posteriormente pode ser removida ou separada por gravidade, garantindo que o efluente final tenha baixa concentração de matéria orgânica e esteja clarificado.

O desenvolvimento desses organismos (biomassa) ocorre de maneira especial e obedece a uma dinâmica de sucessão biológica (Figura 3). Essa dinâmica é estabelecida pela capacidade de competição por alimento, prevalecendo aquele grupo que aproveita melhor ou tem maior afinidade pelo substrato disponível. As condições do meio (pH, Temperatura, OD) também são importantes, pois regulam o desenvolvimento dos organismos (McKINNEY, 1962).

Durante o desenvolvimento são formados os flocos biológicos; estruturas que contém material orgânico adsorvido, material inerte e organismos (bactérias, protozoários, fungos).

Logo após a introdução do afluente no reator biológico há o desenvolvimento, em função da alta disponibilidade de matéria orgânica, de bactérias e protozoários flagelados. Nessa fase também se desenvolve um gênero específico de bactéria que é capaz de produzir uma substância de característica gelatinosa que permite a adesão de material inerte, outras bactérias e matéria orgânica, é o início da formação do floco biológico.

Em seguida, com o decaimento da quantidade de matéria orgânica, surgem os protozoários ciliados, menos exigentes quanto a disponibilidade de alimento. O floco biológico aumenta de tamanho e já apresenta um outro gênero de bactéria cuja característica é sua forma filamentosa que auxilia a estruturação agindo com a função de um 'esqueleto'.

Na sequência surgem os protozoários fixos, os rotíferos e em alguns casos vermes. Nesta fase a quantidade de alimento é muito baixa.

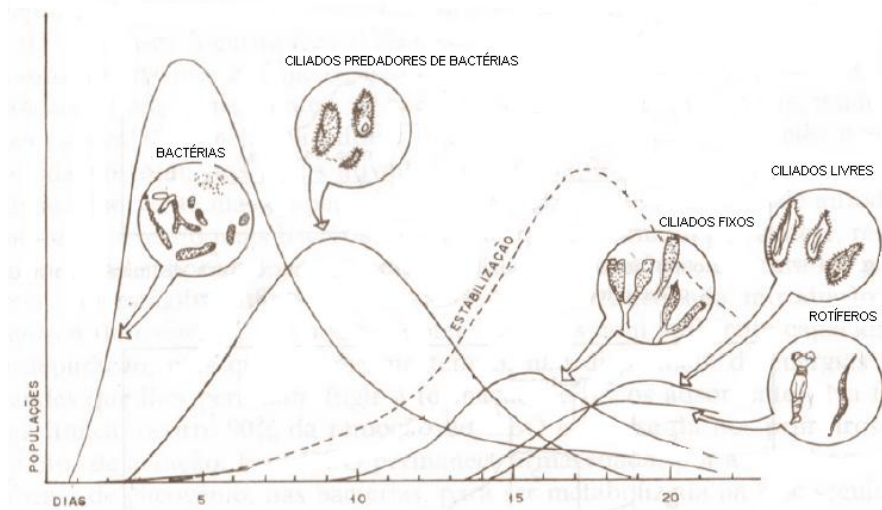


Figura 3 - Modelo de sucessão biológica. Fonte: Retirada de Mckinney(1962).

3.2.2 Influência do cloreto de sódio ao sistema de Lodos Ativados e aos organismos

A presença de sais inorgânicos no sistema de tratamento (concentrações maiores que 10 g/L) pode causar o rompimento das células dos organismos e desnaturação das enzimas celulares (KARGI; DINÇER, 1996). As altas concentrações de sais podem reduzir o número de bactérias filamentosas e protozoários (KARGI; DINÇER 1997, SALVADÓ *et al.*, 2001) e alterar os processos de decantação devido à mudança da densidade da água (LEFEBVRE; MOLETTA, 2006).

Kargi e Dincer (1996) afirmam haver uma perda em torno de 30 % na capacidade de remoção de DQO em função dos efeitos dos sais nos organismos quando expostos à concentração de 30 g/L de NaCl. Foi observado ainda que, aplicando-se concentrações entre 30 g/L e 45 g/L não há qualquer indício de floculação e que pode haver aumento da DBO solúvel em função da plasmólise celular.

De acordo com Ludzack e Noran (1965), Perneti e Di Palma (2005) e Lefebvre *et al.* (2005) há uma queda na taxa de respiração dos organismos que pode chegar a 84%, o que

pode justificar a perda da capacidade de remoção da matéria orgânica. A remoção de nutrientes também é comprometida na presença do sal (MESQUITA *et al.*, 2009).

De acordo com Ludzack e Noran (1965) os maiores problemas para o tratamento de efluentes hipersalinos são:

- 1- Limitada capacidade de adaptação. A maioria dos inóculos utilizados para o desenvolvimento da biomassa do sistema não é capaz de se adaptar a concentrações de cloreto de sódio superiores a 30-50 g/L de NaCl.
- 2- Sensibilidade a incrementos repentinos da concentração de NaCl. Aumentos superiores a 0,5-2% (m/v) causam impactos negativos na microfauna do sistema.
- 3- Baixa taxa de degradação de compostos orgânicos. Na presença do cloreto de sódio os sistemas apresentam queda de rendimento de remoção de material orgânico. Nesses casos é recomendado que os sistemas operem com baixas relações A/M.
- 4- Alta concentração de sólidos suspensos em função da morte de protozoários e bactérias filamentosas. Nessas condições há prejuízos em relação capacidade de sedimentação do lodo.

Como se vê, é importante conhecer os efeitos tóxicos do cloreto de sódio aos organismos uma vez que já se sabe que é possível utilizar suas características morfológicas, qualitativas e quantitativas para determinar algumas condições operacionais do sistema (McKINNEY, 1962, MADONI, 1994).

3.2.3 A possibilidade de adaptação e os organismos halófilos e halotolerantes

O conhecimento dos limites de estímulo ou inibição pode contribuir para o entendimento da capacidade adaptativa dos organismos. Segundo McCarty (1964) os

organismos podem se adaptar a diferentes concentrações de determinados componentes, e em muitos casos os organismos podem se adaptar em concentrações consideradas tóxicas.

Uma das formas de conseguir certa adaptação é a inoculação com organismos não adaptados a águas residuárias salinas (essa é a forma que foi utilizada nesse trabalho).

No sistema de lodos ativados acredita-se que seja possível uma moderada adaptação dos organismos. Ludzack e Noran (1965) observaram que a adaptação ocorre em efluentes com concentração máxima de 8 g/L de NaCl e que acima de 20g/L ocorre diminuição da remoção de DBO_{5,20} e perda da capacidade de floculação. Oren *et al.* (1992) confirmam que incrementos rápidos (cargas de choque) de NaCl em sistemas aeróbios são prejudiciais e que a adaptação ainda depende do tipo e fase do desenvolvimento da biomassa. Segundo Salvadó *et al.* (2001), incrementos entre 0,5-2 % de NaCl causam danos.

Outra forma é a utilização de organismos naturalmente adaptados ao contato com o sal. São os organismos halófilos e os halotolerantes.

Por definição, halotolerantes são os organismos capazes de crescer na presença ou ausência de sal. Halófilos são organismos que necessitam de determinadas quantidades de sal para se desenvolverem, sendo divididos em dois grupos: moderados e extremos. Segundo Gilmour (1990), os halotolerantes apresentam crescimento ótimo em ambientes com concentração de NaCl entre 0 e 0,3 mol/L, podendo crescer em ambientes com até 1 mol/L de NaCl. Os halófilos moderados têm crescimento ótimo com concentrações entre 0,2 e 2,0 mol/L de NaCl, podendo crescer em concentrações entre 0,1 e 4,5 mol/L, enquanto os halófilos extremos apresentam crescimento ótimo em concentrações variando de 3,0 a 5,0 mol/L de NaCl, crescendo também em concentrações entre 1,5 e 5,5 mol/L.

Os principais grupos de organismos capazes de suportar essas variações de salinidade são alguns grupos de bactérias e algas (GILMOUR, 1990). Halófilos e halotolerantes são

encontrados nos 3 domínios: Archaea, Bacteria, e Eucarya. Existe uma grande variedade morfológica que inclui cocos, filamentos longos, ramificados e pequenos (OREN, 2002).

Segundo Gilmour (1990) esses organismos se diferenciam por apresentarem capacidade de compensar a necessidade de manutenção do volume celular em meios hipertônicos. As alternativas são duas: 1º) entrada facilitada de outros íons como o K^+ , com concomitante saída de Na^+ e acúmulo de KCl e 2º) utilização de compostos orgânicos de baixo peso molecular (glicerol, aminoácidos, açúcares).

No primeiro caso todas as enzimas e componentes celulares devem estar adaptados à presença de altas concentrações salinas para funcionamento normal da célula. Oren (1999) ainda confirma que nesse tipo de células as proteínas apresentam características diferenciadas como excesso de serina e treonina nas extremidades e que essas proteínas necessitam dessas altas concentrações para manterem sua conformação.

No segundo caso, quando os organismos utilizam compostos orgânicos de baixo peso molecular, não há necessidade de adaptação estrutural, ocorre apenas a síntese ou absorção destes compostos orgânicos que regulam o potencial osmótico intracelular.

Nos últimos anos, o conhecimento de processos de adaptação, assim como a caracterização e manipulação dos organismos, garantiu avanços no tratamento de efluentes de alta concentração salina. Considera-se que exista uma diversidade tão grande desses organismos quanto a convencional para lodos ativados e que o tratamento desses efluentes pode apresentar a mesma eficiência (OREN, 2002).

De acordo com Guo *et al.* (2008) a utilização de organismos halófilos ou halotolerantes pode garantir maior eficiência em sistemas biológicos de tratamento de efluentes ou a possibilidade de utilizar sistemas de tratamento biológicos de efluentes que se julgava de baixa biodegradabilidade, como por exemplo corantes e derivados do petróleo.

Organismos halófilos e halotolerantes são aqueles capazes de tolerar quantidades significantes de sais no meio em que vivem.

Isolados de regiões de alta concentração de sal, por exemplo, estuários e minas de sal, podem gerar melhores resultados. Kargi, Dincer e Pala. (2000) conseguiram uma eficiência por volta de 95 % na remoção da DQO de um efluente de uma indústria de alimentos em conserva quando a bactéria *Halobacter halobium* foi utilizada. Resultados semelhantes foram obtidos por Kubo *et al.* (2001) no tratamento por lodos ativados de efluentes de indústria de alimentos enlatados utilizando organismos específicos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Saneamento, no Laboratório de Processos Biológicos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Foram desenvolvidos dois experimentos principais, cada um com uma condição específica de operação, sendo cada experimento realizado em duas fases. As fases são:

1ª) Adaptação do inóculo de esgoto sanitário, coletado na Estação de Tratamento de Esgoto de São Carlos, para degradação de lactose e desenvolvimento dos organismos;

2ª) Verificação da influência de diversas concentrações de NaCl na degradação de lactose e na composição microbiológica dos reatores.

Foi utilizado um sistema de lodos ativados e para isso foram empregadas 6 câmaras (Figura 4) com aeração mecânica por difusores do tipo pedra porosa (muito utilizados em aquários). As câmaras possuem volume útil de 10,2 L e o decantador é justaposto.

Foi utilizado o sal da marca “Cisne” sendo levado em consideração pureza de 99% e 1% de impurezas e a relação de 39% de sódio e 60,06% de cloro.

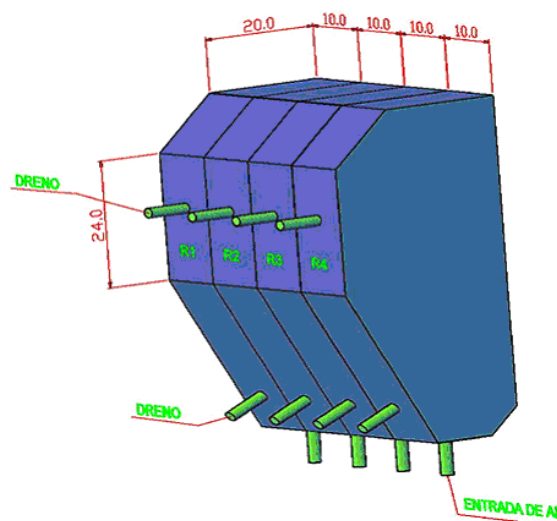


Figura 4 - Modelo do reator biológico utilizado no experimento. Medidas em centímetros.

Foram realizadas análises físico-químicas e exames microscópicos. As análises físico-químicas tiveram por finalidade a caracterização do sistema e a verificação do desempenho dos reatores antes e após a adição dos cloretos. As análises estiveram de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA e WEF, 2005) (Tabela 1).

Tabela 1 - Procedimentos analíticos empregados no desenvolvimento da pesquisa.

Parâmetro	Unidade	Método
pH	-	4500B
DQO	mgO ₂ /L	5220D
DBO	mgO ₂ /L	5210B
COT	mgC/L	5310C
ST	mg/L	2540B
STF	mg/L	2540E
STV	mg/L	2540E
SST	mg/L	2540D
SSF	mg/L	2540E
SSV	mg/L	2540E
NTK	mgNH ₃ /L	4500-N _{org} C
Fósforo Total	mgP/L	4500-P
Cloretos	mgCl ⁻ /L	4500-Cl ⁻ F

Os exames microscópicos, realizados no Laboratório de Processos Biológicos, ocorreram com frequência diária para o acompanhamento do desenvolvimento dos organismos durante a fase de adaptação e posteriormente para verificação do possível efeito da adição de cloretos na forma de NaCl. Foi utilizado um microscópio óptico de luz comum e contraste de fase (Olympus BX60) e as imagens foram registradas com auxílio de câmera fotográfica (Evolution QE-media cybernetics) e manipuladas em um software (Image Pro-Plux 4.1).

Os exames microbiológicos, diários, têm caráter qualitativo e quantitativo. Qualitativo no sentido de observar-se os principais grupos de protozoários e metazoários (Tabela 2) e quantitativos (Tabela 3) estimando-se a frequência comparativa dos indivíduos presentes no lodo.

Tabela 2 – Modelo de tabela utilizado para anotação da escala de frequência dos principais grupos de organismos observados diariamente em cada reator.

DIA	1	2	3	4	5
Bactérias Suspensas					
Filo Protozoa:					
Classe Mastigophora (flagelados)					
<i>Bodo sp</i>					
<i>Oicomonas sp</i>					
Classe Ciliata (ciliados livres)					
<i>Paramecium sp</i>					
<i>Trachelophyllum sp</i>					
<i>Colpoda sp</i>					
<i>Tetrahymena sp</i>					
<i>Euplotes sp</i>					
<i>Aspidisca sp</i>					
Não Identificado					
Classe Ciliata (ciliados fixos)					
<i>Epistylis sp</i>					
<i>Vorticella sp</i>					
<i>Opercularia sp</i>					
Classe Sarcodina (rizópodes)					
<i>Amoeba sp</i>					
<i>Arcella sp</i>					
<i>Euglypha sp</i>					
Filo Metazoa					
Classe Rotífera (rotíferos)					
<i>Philodina sp</i>					
<i>Epyphanes sp</i>					
Classe Nematoda (vermes)					

Tabela 3 - Escala qualitativa de frequência.

Frequência de Indivíduos	Escala
Nenhum	0
Raro	1
Comum	2
Muito Comum	3
Abundante	4

4.1 Primeiro Experimento - Verificação da influência dos cloretos em um sistema operando com TDH de 24 horas e biomassa adaptada à degradação de lactose

4.1.1 Fase de adaptação ao substrato

O objetivo dessa etapa foi o desenvolvimento dos organismos até que fosse obtida uma densidade de flocos biológicos, indivíduos e espécies que confirmassem a adaptação à degradação da lactose.

Inicialmente 2 litros de esgoto bruto foram aerados por 24 horas em cada uma das 6 câmaras. No segundo dia foram adicionados a cada câmara 2 litros de solução composta de lactose 1g/L, soluções de uréia (4 g/L) e fosfato de sódio (44,51 g/L) para que se mantivesse a relação DQO:N:P em 100:5:1, completando um volume total de 4 litros.

Essas condições foram mantidas em todas as câmaras até que a microfauna estivesse adaptada. A adaptação foi determinada com auxílio de exames microscópicos e análise de sólidos suspensos no reator. Logo que as observações confirmaram a adaptação as câmaras foram operadas com tempo de detenção hidráulica de 24 horas com alimentação do sistema feita a cada 12 horas quando o sistema de aeração era desligado por 30 minutos até que o lodo sedimentasse e fossem retirados 2 litros do sobrenadante, substituídos por 2 litros de solução de lactose 1 g/L mais nutrientes (solução de uréia - 4 g/L e solução de fosfato de sódio - 44,51 g/L).

Antes do início dos testes com adição do NaCl foram realizados dois descartes. Foram substituídos 500 mL de lodo por 500 mL de solução enriquecida de lactose e nutrientes. Os descartes foram realizados para renovação da microfauna nos reatores que já apresentava indícios de estabilização.

4.1.2 Verificação da influência dos cloretos nos reatores com biomassa adaptada à degradação de lactose

4.1.2.1 Influência da adição dos cloretos na microbiota

Após a adaptação, foram iniciados os testes para verificação da influência do cloreto de sódio nos organismos. O procedimento consistiu em aplicar diferentes concentrações de cloreto na forma de NaCl em cada um das câmaras, avaliando a resposta dos sistemas com microscopia até que não houvesse supostas alterações na composição microbiológica de cada reator.

Foi retirado dos reatores 1 litro da mistura sob aeração para a diluição do cloreto de sódio que havia sido pesado previamente. O NaCl foi adicionado em uma única vez (carga de choque). As concentrações aplicadas estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Concentrações de cloreto e NaCl aplicadas em cada câmara.

Câmara	Cloreto (mg/L)	NaCl (mg/L)
Câmara 1 (Controle)	----	----
Câmara 2	1.000	1.650
Câmara 3	2.000	3.300
Câmara 4	4.000	6.600
Câmara 5	8.000	13.200
Câmara 6	16.000	26.400

A cada 12 horas eram retirados 2 litros do sobrenadante dos reatores. Para manter o volume dos reatores eram adicionados 2 litros de solução de lactose 1g/L mais nutrientes (uréia e fosfato de sódio) e NaCl para que fosse mantida a concentração do sal na mistura.

4.1.2.2 Influência na remoção de matéria orgânica

A avaliação da influência do NaCl na remoção de matéria orgânica foi baseada nas medidas de DQO, COT e DBO_{5,20}. Exceto no teste de DBO foram levadas em consideração a

influência do NaCl nas medidas das concentrações de DQO e COT, nesses as concentrações do sal nunca ultrapassaram os limites de acordo com as metodologias utilizadas.

As medidas de Turbidez, DQO, COT e $DBO_{5,20}$ foram realizadas com amostras compostas diárias. A cada 12 horas, quando era realizado a realimentação dos reatores, eram retirada uma alíquota de 500 mL para composição de uma amostra composta de 1 L representando o efluente gerado a cada 24 horas.

4.2 Segundo Experimento - Verificação da influência dos cloretos por um período de 5 dias de exposição sem alimentação dos reatores

4.2.1 Fase de adaptação ao substrato

A metodologia empregada na fase de adaptação do segundo experimento foi idêntica à do primeiro. Inicialmente 2 litros de esgoto bruto foram aerados por 24 horas e no dia seguinte foi adicionado a cada reator 2 litros de solução de lactose 1 g/L enriquecida com nutrientes (uréia - 4 g/L e fosfato de sódio - 44,51 g/L e mantida a mesma relação 100:5:1) completando 4 litros em cada reator.

Mais uma vez, após a adaptação, foram realizados dois descartes de 500 mL para renovação do lodo biológico e alimentação do sistema. A cada retirada de 500 mL do sistema as câmaras foram realimentadas com 500 mL de solução de lactose 1g/L enriquecida com os nutrientes nitrogênio e fósforo.

Após esses descartes não foi realizado mais algum ciclo de alimentação nos reatores. O intuito era o de garantir que a concentração de sal fosse mantida e analisar a degradação de toda matéria orgânica presente no meio diariamente.

4.2.2 Verificação da influência dos cloretos nos reatores com biomassa adaptada a degradação de lactose

4.2.2.1 Influência da adição dos cloretos na microbiota

Assim como no primeiro experimento, foram aplicadas as mesmas concentrações de cloreto de sódio em cada uma das câmaras e o sal, diluído em 1 litro da própria mistura sob aeração, foi adicionado aos reatores de uma única vez. A principal diferença como já foi mencionado, é que nesse teste não houve, após a adição do sal, alimentação do sistema e a influência na microbiota foi verificada com o auxílio de exames microscópicos diários, até que o meio se mantivesse estável.

4.1.2.2 Influência na remoção de matéria orgânica

A avaliação da influência dos cloretos na remoção de matéria orgânica foi baseada nas determinações de DQO e COT. Após a adição do sal foram realizadas medidas diárias desses parâmetros até que as concentrações desses parâmetros indicassem a estabilização da remoção da matéria orgânica dos reatores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro procedimento realizado antes de cada um dos experimentos foi a caracterização do inóculo (esgoto bruto), da solução de lactose e da mistura (inóculo + solução lactose). Os resultados obtidos seguem na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros utilizados para caracterização do inóculo (esgoto bruto - EB), da solução de lactose 1g/L enriquecida e da mistura inóculo/solução de lactose enriquecida (EB+L).

Parâmetro	EB(1)	EB(2)	EB + L(1)	EB + L(2)	Lactose 1 g/L
pH	7,29	7,10	7,27	7,5	--
DQO (mg/L)	624	706	1024	1150	1002
DBO (mg O ₂ /L)	352	336	694	670	498
Cloretos (mg Cl/L)	65	81	28	42	--
Fosfato Total (mgP/L)	2,34	1,58	11,19	12,5	--
NTK (mgN/L)	4,7	3,6	48,42	47,36	--
SS (mg/L)	5	5	<1	<1	--
ST (mg/L)	665	730	632	760	--
STF (mg/L)	306	290	145	180	--
STV (mg/L)	359	440	487	580	--
SST (mg/L)	218	272	59	101	--
SSF (mg/L)	43	62	12	26	--
SSV(mg/L)	175	210	47	75	--
SDT (mg/L)	447	458	573	659	--
SDF (mg/L)	263	228	133	154	--
SDV (mg/L)	184	230	440	505	--

EB - Esgoto Bruto, EB+L - Esgoto Bruto + Lactose enriquecida, (1) Primeiro Experimento e (2) Segundo Experimento

Como pode ser observado na Tabela 5, ambos os inóculos apresentaram deficiência de nitrogênio e fosfato que foram corrigidas no segundo dia quando foram adicionados 2 litros da solução de lactose 1g/L enriquecida com solução de uréia e fosfato de sódio (4 g/L e 44,51 g/L, respectivamente). Considerou-se o dia em que foi adicionada a solução de lactose como o 1º dia.

Os pré-ensaios de adaptação indicaram que o descarte diário do lodo impedia o desenvolvimento dos organismos, o aumento da concentração de sólidos e a formação de um floco biológico mais consistente, dessa forma não houve descarte de lodo ou re-alimentação do sistema até que os exames microscópicos indicassem que a microfauna dos reatores já

estivesse completamente adaptada. Considerou-se que a biomassa estava adaptada quando foram observadas nos exames microscópicos uma alta densidade de flocos e organismos, bem como uma diversidade de espécies razoável.

Durante todos os testes, as concentrações de alguns parâmetros foram determinadas diariamente e se mantiveram estáveis. O concentração de oxigênio dissolvido foi mantido entre 2 mg/L e 2,5 mg/L de O₂, o pH apresentou variações entre 6,5 e 7,5 e a temperatura variou entre 20°C e 23°C.

5.1 Primeiro Experimento - Verificação da influência dos cloretos em um sistema operando com TDH de 24 horas e biomassa adaptada à degradação de lactose

5.1.1 Fase de adaptação ao substrato

O acompanhamento diário da microfauna confirmou uma dinâmica de sucessão biológica bastante conhecida, descrita por McKinney (1962) e confirmada por Von Sperling (1996). Cada reator apresentou um desenvolvimento com características quantitativas específicas, mas que de forma geral se assemelham aos modelos já descritos. A Figura 5 apresenta a dinâmica observada em um dos reatores.

A adaptação da biomassa se confirmou a cerca do 5º dia de operação. A Figura 5 mostra a dinâmica dos organismos até o 7º dia e confirma que além de adaptada a biomassa já mostra sinais de estabilização - presença de vermes e rotíferos (McKINNEY, 1962).

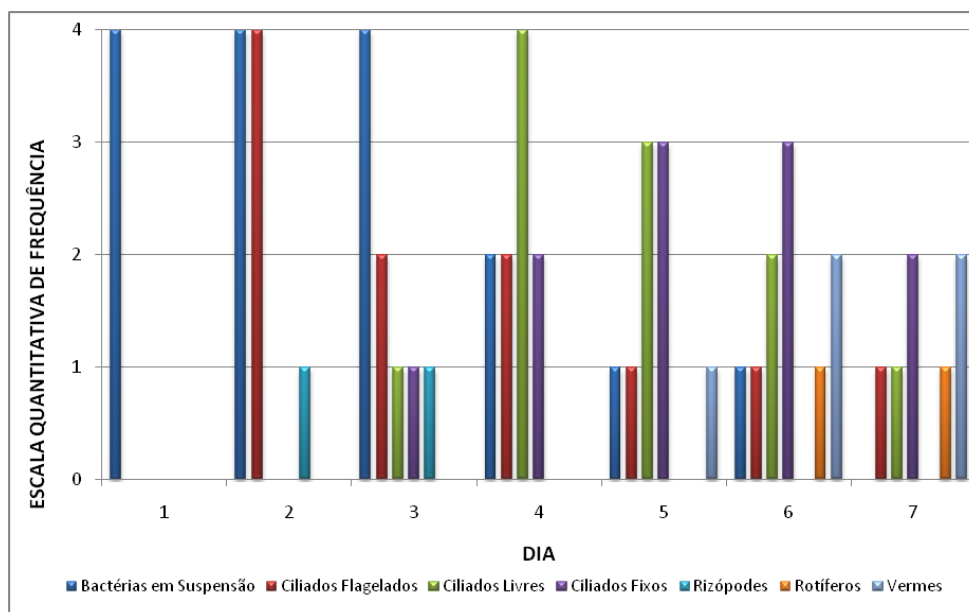


Figura 5 - Dinâmica de sucessão biológica no processo de adaptação à degradação de lactose 1 g/L.

Ao final do 1º dia foi estimada densidade de bactérias suspensas nas amostras do reator. Logo em seguida no 2º dia já começaram a surgir os flagelados e os rizópodes, o que segundo Madoni (1994) indicam elevada concentração de matéria orgânica disponível. A partir do 3º dia surgiram os ciliados livres e os ciliados fixos indicando a presença de bactérias suspensas, pois elas lhes servem de alimento (MADONI, 1994). Nesse dia ocorreu a maior densidade e frequência de indivíduos no lodo. No 4º dia, nota-se que o aumento da densidade estimada de ciliados livres e fixos coincide com o decréscimo do número de bactérias suspensas, ciliados flagelados e rizópodes. Os principais organismos presentes no sistema de lodos ativados foram fotografados como se pode observar na Figura 6.

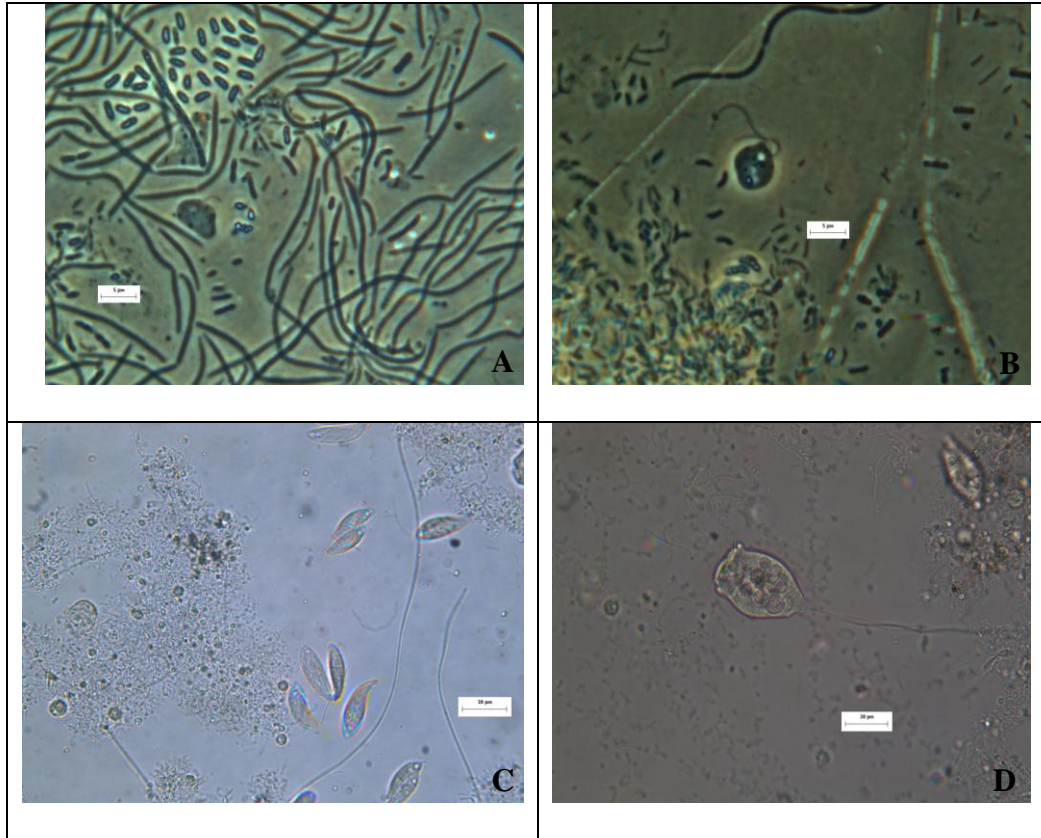


Figura 6 - Registros fotográficos dos organismos observados. A - Bactérias em suspensão, B - Flagelado, C - Ciliados Livres e D - Ciliado Fixo. Nas fotos A e B foi utilizado contraste de fase.

No 5º dia os ciliados livres e fixos atingiram aparentemente a frequência máxima de indivíduos e surgiram os primeiros vermes (Figura 7), indicando alta idade do lodo (ou tempo de retenção celular – que é o tempo médio que os organismos passam no reator), coincidindo com a forma na qual os reatores vinham sendo operados. Até esse momento não havia sido realizado descarte de lodo. Em seguida, no 6º dia, surgiram alguns rotíferos (Figura 7) confirmando a estabilização do lodo.

No 7º dia, com a biomassa já apresentando características de estabilização, foi observada uma aparente diminuição no número de indivíduos que se pode considerar como normal, já que a oferta de alimento no meio era provavelmente muito baixa.

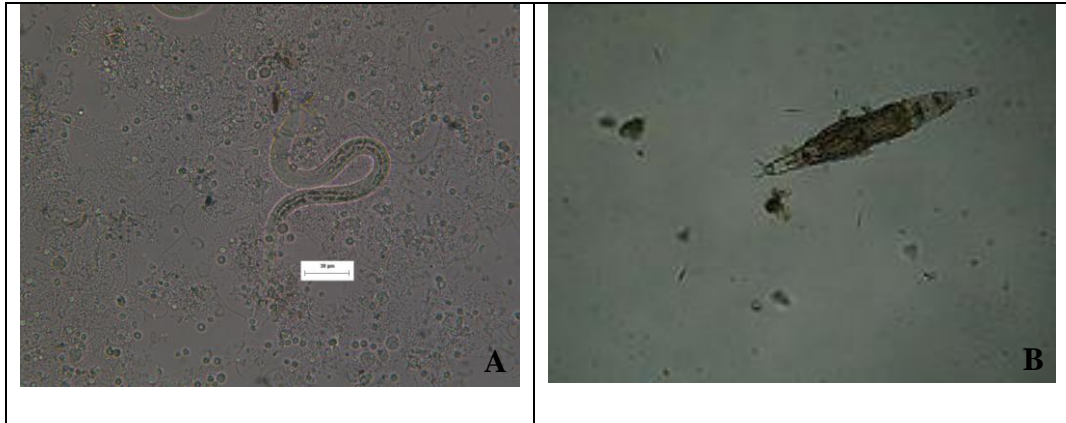


Figura 7 - Registros fotográficos dos organismos observados. A - Verme, B - Rotífero.

A análise da formação, composição e da quantidade de flocos biológicos está representada na Figura 8. Confirmando Von Sperling (1996), a formação do floco biológico segue a seguinte sequência temporal: 1- surgem as bactérias formadoras de flocos, *Zoogloea sp* (Figura 9), 2- surgem as bactérias filamentosas, 3- na presença equilibrada dos dois tipos de bactérias os flocos ganham consistência e aumentam em número.

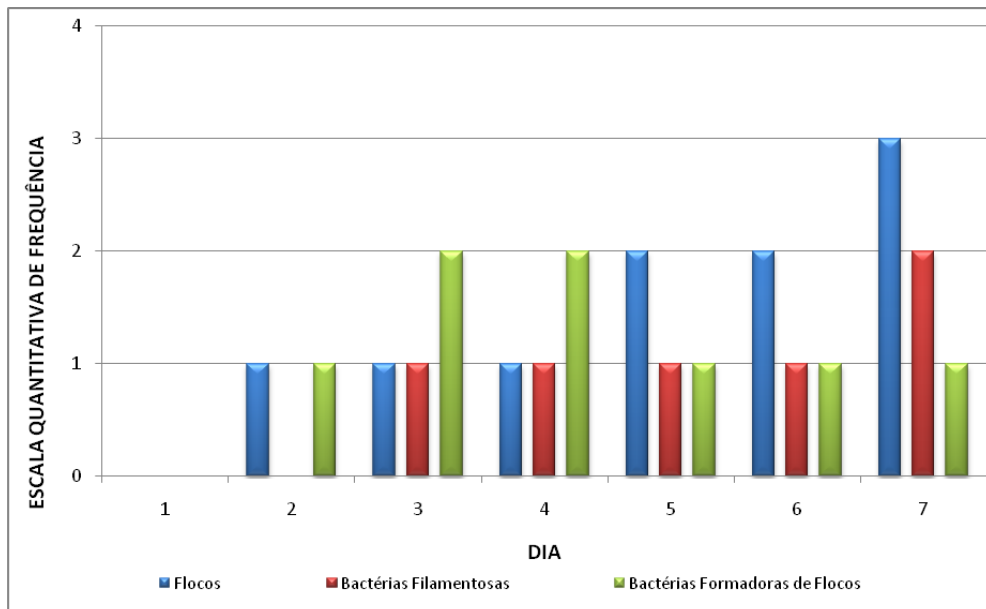


Figura 8 - Dinâmica de formação dos flocos biológicos.

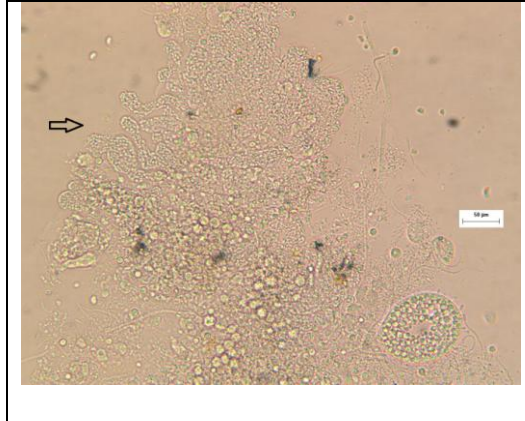


Figura 9 - Registro fotográfico de bactérias formadoras de floco (*Zoogloea sp.*).

Observou-se que por volta do 4º dia a microbiota já havia se adaptado às condições do meio, segundo Madoni (1994), um lodo biológico bem adaptado é aquele com uma alta densidade de indivíduos principalmente Ciliados Livres e Ciliados Fixos. Um floco biológico, que além desses organismos, apresenta bactérias filamentosas e bactérias formadoras de floco (*Zoogloea sp.*) garante ao sistema boa remoção de matéria orgânica, boa sedimentabilidade e efluente bastante clarificado (VON SPERLING, 1996).

5.1.2 Verificação da influência dos cloretos nos reatores com biomassa adaptada a degradação de lactose

5.1.2.1 Influência da adição dos cloretos na microbiota

Os efeitos à microbiota foram discutidos separadamente em cada reator uma vez que a concentração de NaCl aplicada era diferente entre os mesmos o que, obviamente, implica em respostas diferenciadas.

Reator 1 - Controle (sem adição de NaCl)

A Tabela 6 contém os dados referentes às condições em que se encontravam no 9º dia de operação o reator de controle (sem adição de sal).

Tabela 6 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator de controle (sem adição de NaCl) no 9º dia de operação.

Parâmetro	
pH	7.40
Cloretos (mg Cl/L)	11,40
Fosfato Total (mgP/L)	9,68
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	47,80
Sólidos Totais (mg/L)	1710
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	246
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1464
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1386
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	145
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1241
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	324
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	101
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	223

A Tabela 7 contém os resultados dos exames microscópicos de frequência levando-se em consideração a densidade de indivíduos e quais os principais gêneros de organismos observados entre os 10º e o 15º dias, período que corresponde aos testes com cloreto nos outros reatores.

Não foi observada a presença de bactérias em suspensão, pois além da presença dos ciliados livres e fixos que se alimentam de bactérias (MADONI, 1994) as mesmas também estavam aderidas aos flocos que foram observados em bom número e boa compactação. A observação de flagelados nos 10º e 11º dias se deve provavelmente ao descarte de lodo feito no 8º e 9º dias, que acarretam um aumento da disponibilidade de alimento em função da diminuição da quantidade de organismos. Normalmente flagelados são observados apenas na fase inicial de desenvolvimento (MADONI, 1994). Como não houve após o 8º e 9º dias mais nenhum descarte de biomassa, houve aumento da idade do lodo confirmado pela observação de rotíferos a partir do 13º dia.

Assim como na fase de adaptação os gêneros observados foram os conhecidos e bem descritos para o sistema de lodos ativados. Entre eles os mais comuns: *Paramecium sp*,

Euplotes sp, *Aspidisca sp* e *Vorticella sp* Esses organismos, além de muito bem descritos, são considerados bons indicadores de eficiência e operação do sistema (VAZOLLER *et al.*, 1989).

Tabela 7 - Principais grupos de organismos observados no reator de controle (sem adição de NaCl) entre o 10^o e o 15^o dias.

DIA	10	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	0	0	0	0	0	0
Filó Protozoa:						
Classe Mastigophora (flagelados)	2	1	0	0	1	0
<i>Bodo sp</i>	2	1	0	0	1	0
<i>Oicomonas sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	3	3	3	3	3	2
<i>Paramecium sp</i>	-	-	-	1	-	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	1	-	-	-	1	1
<i>Colpoda sp</i>	-	-	-	1	-	-
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	1	-	2	2	1	2
<i>Aspidisca sp</i>	2	3	1	1	3	2
Não Identificado	1	1	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	3	2	3	2	2	2
<i>Epistylis sp</i>	2	2	1	1	1	1
<i>Vorticella sp</i>	1	1	3	1	1	1
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	2	-	1	-	-	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	0	0	0	0	0	0
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-	-
Filó Metazoa						
Classe Rotífera (rotíferos)	1	0	0	2	2	2
<i>Philodina sp</i>	1	-	-	2	2	2
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	0	0	0	0	0	0

Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

Na Figura 10 está apresentada a dinâmica dos principais grupos de indivíduos, que além de serem os de mais fácil identificação são os que apresentam melhor e mais rápida resposta às condições operacionais aplicadas. Bactérias em suspensão, como já foi dito, rizópodes e vermes não foram observados.

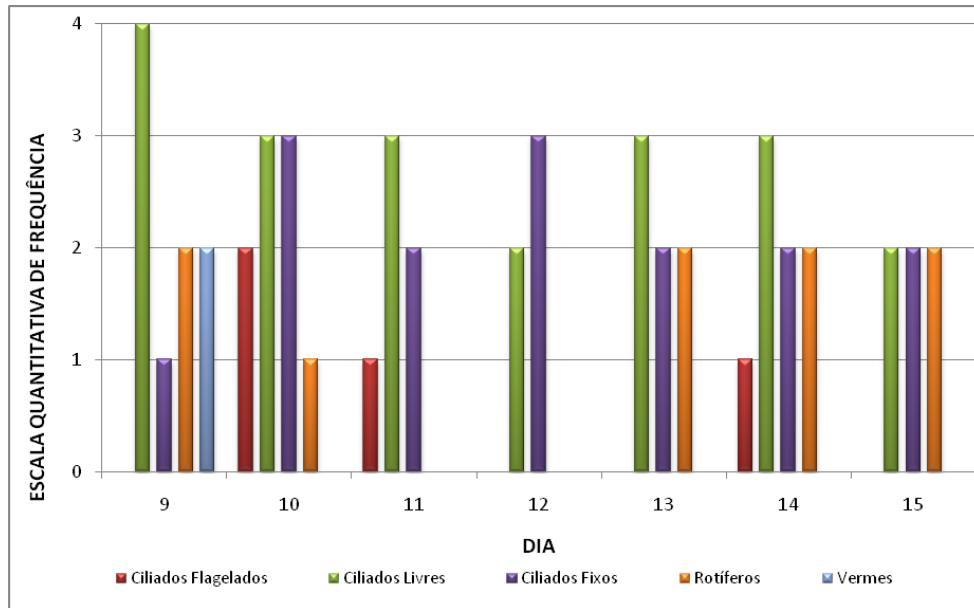


Figura 10 - Dinâmica de interações microbiológicas no reator de controle (sem adição de NaCl) entre o 10º e o 15º dias.

Foi registrado predomínio dos ciliados fixos e ciliados livres entre o 10º e o 15º dias. Essa característica é comum em sistema que operam em boas condições de pH, temperatura, disponibilidade de alimento, ausência de substâncias tóxicas e boa depuração (BENTO *et al.*, 2005).

Segundo Madoni (1994) a dominância desses dois grupos (ciliados livres e fixos) se deve a sua capacidade diferenciada de obter alimento. Em geral esses grupos se alimentam de bactérias o que os tornam importantes para a manutenção da qualidade do efluente final. Na ausência desses organismos pode haver aumento da turbidez e da DBO no efluente.

Reator 2 - Adição de 1gCl/L ao substrato

Na Tabela 8 são apresentadas as condições operacionais em que se encontrava o reator 2 anteriormente a adição do sal (9º dia).

Tabela 8 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 2 (adição de 1gCl/L) no 9º dia de operação.

Parâmetro	
pH	7,55
Cloretos (g Cl/L)	18,70
Fosfato Total (mgP/L)	10,16
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	51,08
Sólidos Totais (mg/L)	1638
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	230
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1408
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1380
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	162
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1218
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	258
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	68
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	190

No dia seguinte à exposição ao cloreto, houve um efeito imediato nas características microbiológicas principalmente em relação às bactérias. Nota-se que no 11º foi observada uma grande quantidade de bactérias em suspensão e considerando-se que houve ao mesmo tempo uma diminuição no tamanho dos flocos biológicos, pode-se dizer que a adição do sal prejudicou a adesão ou compactação das células nessa estrutura. Segundo Jenkins, Richard e Daigger (1993) a presença de cátions monovalentes como, por exemplo, Na⁺, alteram o balanço de carga dos flocos prejudicando a aderência de novas células e consequentemente sua compactação.

A análise da turbidez do sobrenadante corrobora com a observação de aumento da concentração de material suspenso. Na Tabela 9 encontram-se os valores de turbidez durante o período entre o 10º e o 15º dias. Nota-se que a variação do número de bactérias suspensas observadas coincide com a variação da turbidez. Pode ter havido também um aumento da concentração do material em suspensão em função do rompimento celular que ocorre em determinadas condições de estresse salino (KINCANNON; GAUDY, 1968, *apud* LEFEBVRE; MOLETTA, 2006; KARGI; DINCER 1997).

Tabela 9 - Turbidez no reator 2 (adição de 1 gCl/L) durante o 10º e o 15º dias.

Amostra	Turbidez (UT)
9º dia	8,01
AC 1	65,2
AC 2	28,1
AC 3	11,2
AC 4	8,04

AC = Amostra Composta

Chama a atenção o efeito provocado aos ciliados semelhantes a *Aspidisca sp* e *Vorticella sp* que foram os que mais sofreram com a aplicação do sal. Após a exposição se tornaram raras as observações de *Vorticella sp*, sendo que indivíduos semelhantes a *Aspidisca sp* não foram mais observados. É necessário destacar também o aumento do número de pequenos flagelados quando comparado ao reator de controle. Salvadó *et al.* (2001) citam que o número de flagelados se mantém constante até uma concentração de 20 g/L diferentemente do que foi observado aqui (Tabela 10).

Menéndez e Marrero (2001) observaram, quando analisavam a influência do íon cloreto ao sistema de lodos ativados, que o aumento da concentração do íon acarreta uma diminuição da produção de biomassa (Figura 11) o que por sua vez aumenta a relação A/M do sistema. Segundo Vazoller *et al.* (1989), flagelados são indicadores de alta carga orgânica, desta forma, supõe-se que o alto número de flagelados encontrado seja em função do aumento da relação A/M.

Os resultados dos exames microscópicos indicam que de maneira geral o efeito do sal ocorreu somente nos dois primeiros dias após sua adição. Segundo Oren *et al.* (1992), a aplicação de cargas de choques (incrementos muito rápidos) de cloreto de sódio causam esse efeito. A partir do 13º dia a dinâmica de interação entre os organismos é normal. Apresentando-se de forma semelhante ao reator de controle (Figura 12).

Tabela 10 - Principais grupos de organismos observados no reator 2 (adição de 1 gCl/l) entre o 10º e o 15º dias.

DIA	10	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	0	4	4	1	1	0
Filo Protozoa:						
Classe Mastigophora (flagelados)	0	3	4	4	2	1
<i>Bodo sp</i>	-	3	4	4	2	1
<i>Oicomonas sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	3	2	2	4	2	1
<i>Paramecium sp</i>	1	-	-	1	1	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	1	-	-	-	-	1
<i>Colpoda sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	2	1	1	4	1	-
<i>Aspidisca sp</i>	2	-	-	-	-	-
Não Identificado	-	1	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	1	2	2	3	2	2
<i>Epistylis sp</i>	1	1	1	1	2	2
<i>Vorticella sp</i>	-	-	-	1	-	1
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	-	2	2	2	1	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	0	0	0	0	0	0
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-	-
Filo Metazoa						
Classe Rotífera (rotíferos)	0	0	0	1	1	1
<i>Philodina sp</i>	-	-	-	1	1	1
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	0	0	0	1	0	0

Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

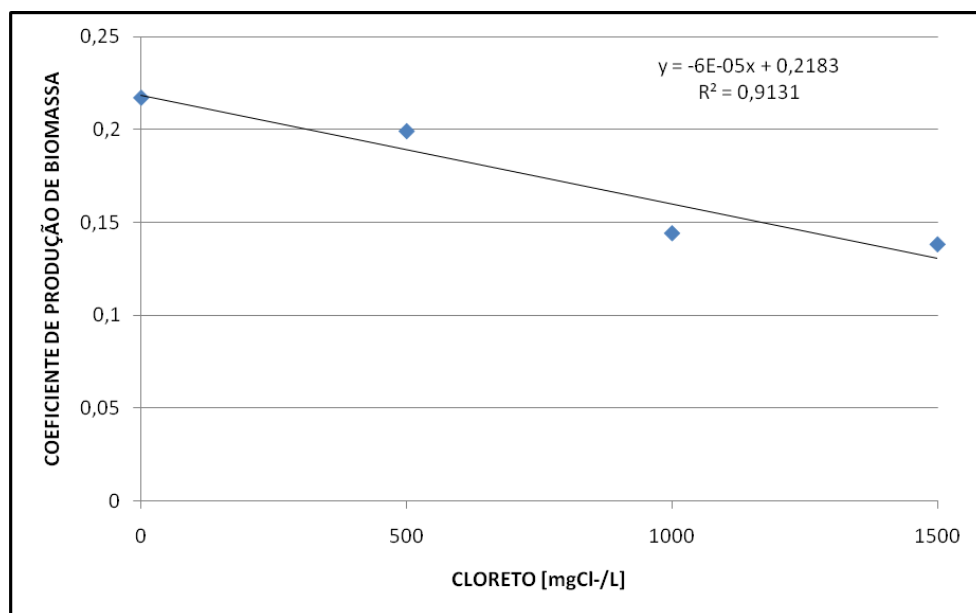


Figura 11 - Relação entre a concentração de cloreto e a produção de biomassa em um sistema de lodos ativados. Fonte: Adaptado de Menéndez e Marrero (2000).

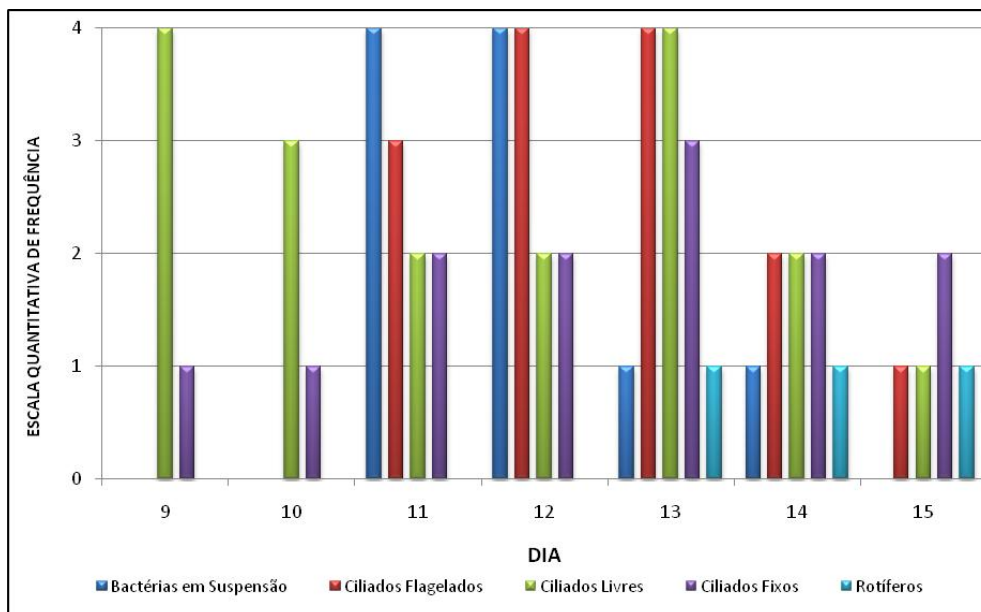


Figura 12 - Dinâmica de interações microbiológicas no reator 2 (adição de 1 gCl/L) entre o 10º e o 15º dias.

Reator 3 – Adição de 2gCl/L ao substrato

As características físico-químicas do reator 3, no 9º dia, anteriores à adição de cloreto de sódio estão na Tabela 11.

Tabela 11 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 3 (adição de 2gCl/L) no 9º dia de operação.

Parâmetro	
pH	7.30
Cloretos (mg Cl/L)	19,20
Fosfato Total (mgP/L)	9.60
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	50,32
Sólidos Totais (mg/L)	1698
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	239
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1459
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1420
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	144
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1276
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	278
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	95
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	183

Diferentemente do que ocorreu no reator 2, no reator 3 não houve alteração drástica da turbidez do sobrenadante (Tabela 12), bem como não foi observado um efeito tão negativo nas características dos flocos biológicos e aumento excessivo do número de bactérias em suspensão (Tabela 13).

De uma forma geral, a dinâmica dos organismos foi muito semelhante a do reator de controle com exceção ao número de indivíduos da Classe Mastigophora.

Tabela 12 - Turbidez no reator 3 (adição de 2 gCl/L) durante o 10º e o 15º dias.

Amostra	Turbidez (UT)
DIA 9	6,51
AC 1	18,7
AC 2	4,33
AC 3	4,87
AC 4	7,08

AC = Amostra Composta

Tabela 13 - Principais grupos de organismos observados no reator 3 (adição de 2 gCl/L) entre o 10º e o 15º dias.

DIA	10	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	0	2	1	1	1	0
Filo Protozoa:						
Classe Mastigophora (flagelados)	1	4	4	2	1	1
<i>Bodo sp</i>	1	4	4	2	1	1
<i>Oicomonas sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	4	3	2	1	3	3
<i>Paramecium sp</i>	3	-	-	-	1	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	2	-	-	-	2	1
<i>Colpoda sp</i>	-	-	-	-	1	1
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	3	2	1	-	2	3
<i>Aspidisca sp</i>	1	1	1	1	1	-
Não Identificado	-	2	1	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	2	2	2	1	2	3
<i>Epistylis sp</i>	1	2	2	1	1	-
<i>Vorticella sp</i>	1	1	1	2	2	3
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	-	2	-	-	-	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	0	0	0	0	0	0
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-	-
Filo Metazoa						
Classe Rotífera (rotíferos)	0	0	1	1	1	1
<i>Philodina sp</i>	-	-	1	1	1	1
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	0	0	1	0	0	0

Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

Estudando o comportamento de reatores de lodos ativados após a aplicação de cloreto de sódio, Salvadó *et al.* (2001) observou que os organismos suportam bem uma concentração de 3 g/L, não foi constatada uma diferença de quantidade e número de espécies significativas em relação ao reator de controle. Pode-se considerar que nesse experimento também não houve uma diferença significativa na dinâmica dos organismos no reator 3.

Como pode ser visto na Figura 13, a partir do 12º dia foi registrada a presença de rotíferos que além de indicar a estabilização da biomassa indicam segundo Von Sperling (1996) a ausência de substâncias tóxicas no meio. Os rotíferos conhecidamente mais sensíveis que os demais organismos, não suportam a exposição a esse tipo de substâncias e a presença desses organismos no reator 3 sugere que a concentração do sal aplicada pode afetar a quantidade de indivíduos presente no meio, mas não é letal. Resultados semelhantes foram observados no testes acima citados de Salvadó *et al.* (2001). A aplicação de 3g/L de cloreto de sódio fez com que o número de indivíduos observados diminuísse, mas não chegasse a zero.

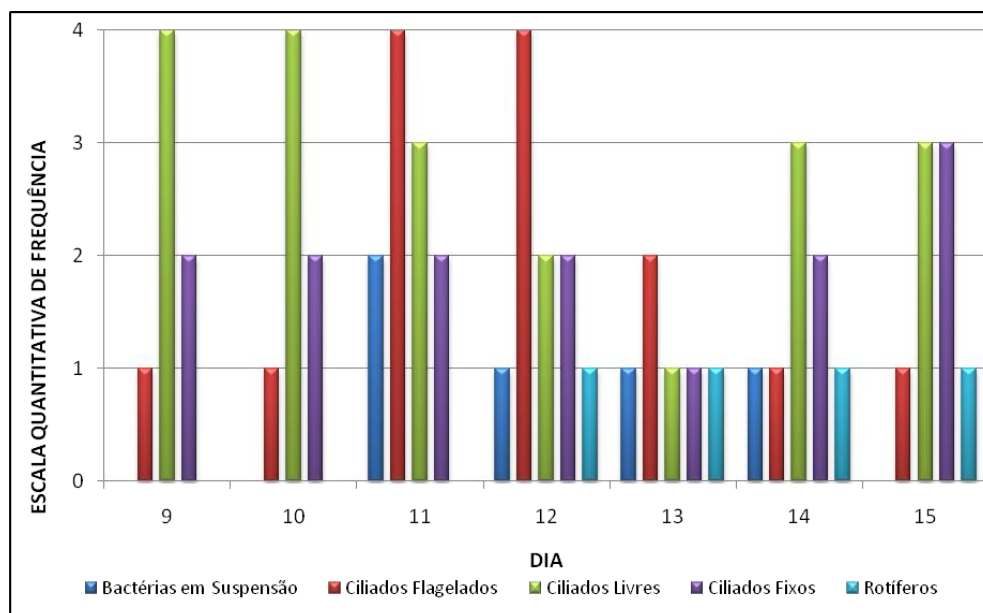


Figura 13 - Dinâmica microbiana no reator 3 (adição de 2 gCl/L) entre o 10º e o 15º dias.

Reator 4 – Adição de 4gCl/L ao substrato

As características físico-químicas do reator 4, no 9º dia, anterior à adição de cloreto de sódio estão na Tabela 14.

A resposta do reator 4 após a exposição ao sal foi imediata. Mais uma vez a presença dos cloretos ocasionou o aumento do número de bactérias em suspensão. Entretanto, a partir do 13º houve um restabelecimento das características normais dos flocos biológicos, embora a presença de algumas bactérias em suspensão ainda tenha sido registrada.

Fato que deve ser destacado é o efeito dos cloretos aos organismos da Classe Ciliata, especificamente os ciliados livres. A partir do 11º dia constatou-se que todos os indivíduos foram extintos indicando a toxicidade letal dessa concentração de cloretos a protozoários ciliados (*Euplotes sp*, *Aspidisca sp*, *Paramecium sp*) (Tabela 15). Esse resultado apresenta semelhanças quando comparado mais uma vez ao trabalho de Salvadó *et al.* (2001) que observou que para uma concentração de 5 g/L de NaCl a presença desses indivíduos é muito rara.

Tabela 14 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 4 (adição de 4gCl/L) no 9º dia de operação.

Parâmetro	
pH	7,26
Cloretos (mg Cl/L)	18,80
Fosfato Total (mgP/L)	11,06
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	48,25
Sólidos Totais (mg/L)	1560
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	226
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1334
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1280
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	118
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1162
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	280
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	108
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	172

A presença do sal não foi letal aos flagelados e nem mesmo ocasionou diminuição da população. Em comparação aos outros reatores (reator 2 e reator 3) a dinâmica dos flagelados não apresentou diferença.

Da mesma forma, com os ciliados fixos não foi constatado efeito negativo, notando-se que somente no último dia eles desapareceram. Salvadó *et al.* (2001) observou que além de causar efeito tóxico, a concentração de 5 g/L de NaCl aplicada estimularam o desenvolvimento de alguns gêneros desse grupo de organismos, principalmente do gênero *Vorticella sp.*

Tabela 15 - Principais grupos de organismos observados no reator 4 (adição de 4 gCl/l) entre o 10º e o 15º dias.

DIA	10	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	0	4	4	1	1	1
Filo Protozoa:						
Classe Mastigophora (flagelados)	0	0	4	4	4	1
<i>Bodo sp</i>	0	0	4	4	4	1
<i>Oicomonas sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	3	0	0	0	0	0
<i>Paramecium sp</i>	2	-	-	-	-	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	3	-	-	-	-	-
<i>Colpoda sp</i>	1	-	-	-	-	-
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	2	-	-	-	-	-
<i>Aspidisca sp</i>	2	-	-	-	-	-
NÃO IDENTIFICADO	-	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	3	2	2	1	1	-
<i>Epistylis sp</i>	2	1	2	1	1	-
<i>Vorticella sp</i>	2	2	1	1	1	-
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	0	0	0	0	0	0
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-	-
Filo Metazoa						
Classe Rotífera (rotíferos)	0	0	0	0	0	0
<i>Philodina sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	0	0	0	0	0	0

Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

Em relação à Tabela 16, os resultados de turbidez podem ser relacionados mais uma vez ao aumento do número de bactérias em suspensão. Pôde-se observar que o aumento de material em suspensão prejudica a qualidade do sobrenadante utilizado para os testes de

turbidez (KARGI; DINCER, 1997, CAMPOS *et al.*, 2002). A recuperação microbiológica do sistema coincide com a queda dos valores de turbidez.

Tabela 16 - Turbidez no reator 4 (adição de 4 gCl/L) durante o 10º e o 15º dias.

Amostra	Turbidez (UT)
DIA 9	8,32
AC 1	46,4
AC 2	74,5
AC 3	9,98
AC 4	9,33

AC = Amostra Composta

Na Figura 14 se verifica o drástico efeito do sal aos ciliados livres além do crescimento do número de flagelados que já foi constatado nos outros reatores 1, 2 e 3.

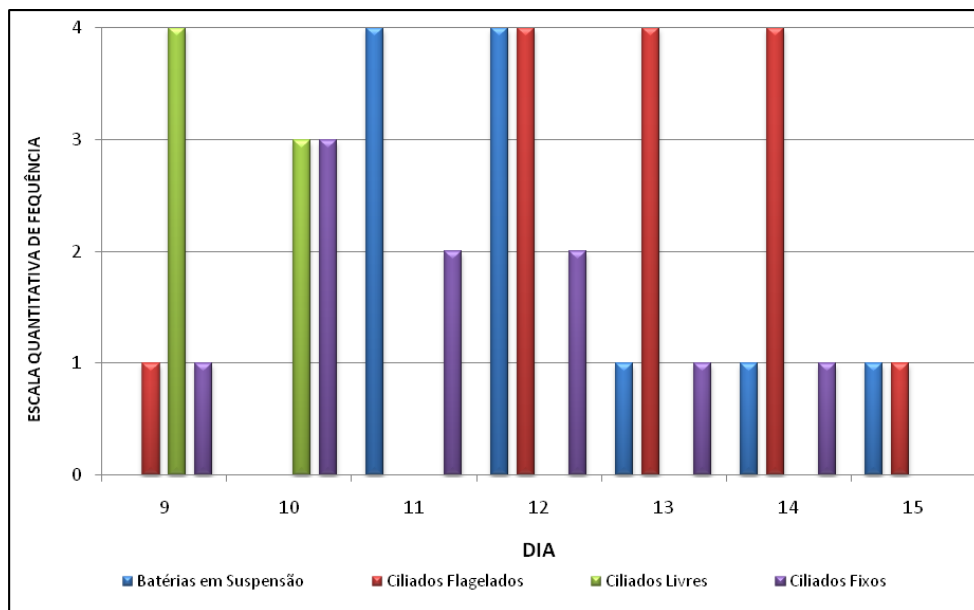


Figura 14 - Dinâmica microbiana no reator 4 (adição de 4 gCl/L) entre o 10º e o 15º dias.

Reator 5 – Adição de 8gCl/L ao substrato

As características físico-químicas do reator 5, no 9º dia, anterior a adição de cloreto de sódio estão na Tabela 17.

No reator 5 o efeito de toxicidade do cloreto foi bastante acentuado e a maioria dos organismos foi extinta. Ciliados livres, fixos, rotíferos e vermes não foram observados nos exames microscópicos após a adição do sal. Diferentemente do reator 4, neste caso os ciliados

fixos não resistiram à exposição (Tabela 18). foi registrado um aumento da densidade de flagelados.

Tabela 17 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 5 (adição de 8gCl/L) no 9º dia de operação.

Parâmetro	
pH	7.44
Cloretos (mgCl/L)	12,96
Fosfato Total (mgP/L)	9.49
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	50.86
Sólidos Totais (mg/L)	1790
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	302
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1488
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1456
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	131
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1325
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	334
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	171
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	163

A concentração que no primeiro momento aparentou ser letal não incidiu ao grupo de flagelados e às bactérias, estas, aliás, se mantiveram ativas durante os dias de observação. Como já foi discutido anteriormente não há aparentemente um efeito direto à atividade bacteriana, mas há uma desconfiguração dos flocos. Nesse cenário a maior parte da biomassa fica em suspensão. O aumento do material em suspensão causou aumento permanente da turbidez do sobrenadante (Tabela 19).

Woolard e Irvine (1995) concluíram que existem quatro efeitos principais ao sistema, dois deles foram observados nesse reator. O primeiro que já havia sido relatado na análise desse e de outros reatores é a morte celular, principalmente de protozoários. Entretanto pela primeira vez foi observado o desaparecimento de bactérias filamentosas que como se sabe são muito importantes na estruturação dos flocos biológicos (VON SPERLING, 1996). A ausência de bactérias filamentosas foi observada juntamente com uma diminuição drástica do tamanho dos flocos e uma compactação praticamente inexistente.

Tabela 18 - Principais grupos de organismos observados no reator 5 (adição de 8 gCl/) entre o 10º e o 15º dias.

DIA	10	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	0	4	4	4	3	3
Filo Protozoa:						
Classe Mastigophora (flagelados)	0	0	2	2	3	2
<i>Bodo sp</i>	-	-	2	2	3	2
<i>Oicomonas sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	4	0	0	0	0	0
<i>Paramecium sp</i>	3	-	-	-	-	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	2	-	-	-	-	-
<i>Colpoda sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	3	-	-	-	-	-
<i>Aspidisca sp</i>	1	-	-	-	-	-
Não Identificado	-	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	2	0	0	0	0	0
<i>Epistylis sp</i>	2	-	-	-	-	-
<i>Vorticella sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	0	0	0	0	0	0
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-	-
Filo Metazoa						
Classe Rotífera (rotíferos)	0	0	0	0	0	0
<i>Philodina sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	0	0	0	0	0	0

Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

Tabela 19 - Determinações de turbidez no reator 5 (adição de 8 gCl/L) durante o 10º e o 15º dias.

Amostra	Turbidez (UT)
DIA 9	6,5
AC 1	66
AC 2	193
AC 3	26,4
AC 4	39,1

AC = Amostra Composta

Resultados semelhantes foram obtidos por Mesquita *et al.* (2009) como pode ser observado na Figura 15. Os autores notaram que há uma desconfiguração dos flocos com o aumento da concentração de cloreto de sódio aplicada à biomassa.

De acordo Mesquita *et al.* (2009) ocorre um aumento de concentração de flocos para concentrações de sal até 5 g/L, o que parece contrariar as observações desse trabalho.

Contudo, esses autores apresentam a justificativa de que o aumento se deve ao rompimento de flocos de maior tamanho dando origem a vários flocos de tamanho menor. Este fato também foi observado nesse trabalho.

A Figura 15 apresenta a dinâmica no reator 5.

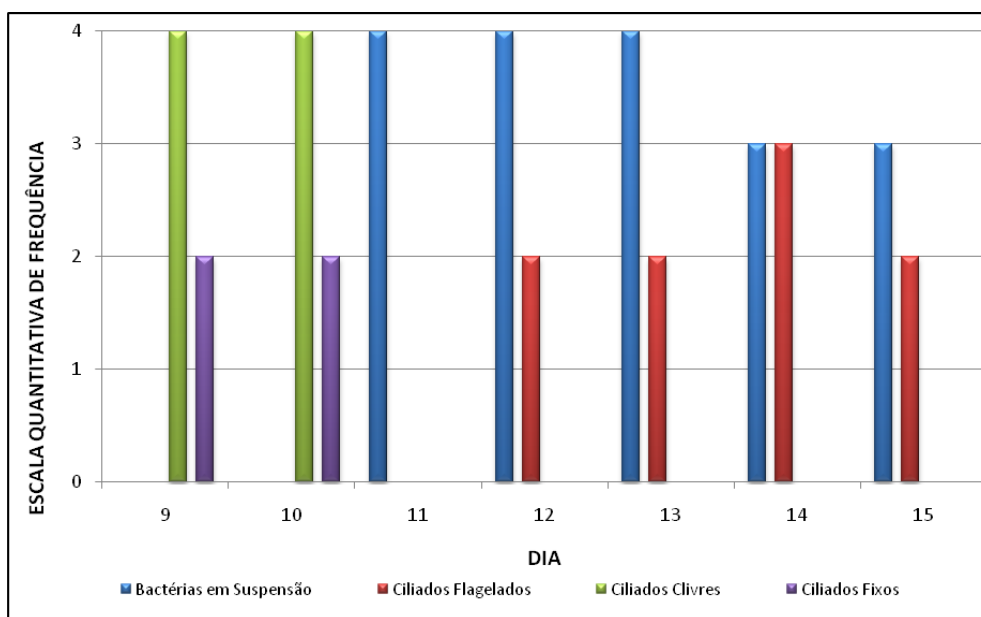


Figura 15 - Dinâmica microbiana no reator 5 (adição de 8 gCl/L) entre o 10º e o 15º dias.

Reator 6 – Adição de 16gCl/L ao substrato

As características físico-químicas do reator 6, No 9º dia, anterior a adição de cloreto de sódio estão na Tabela 20.

Como já era esperado, no reator 6 foi observado o maior efeito tóxico dos cloretos aos organismos (Tabela 21). Nenhum protozoário foi observado após a adição do cloreto na forma de NaCl. O que mais chamou a atenção foi o fato de que, mesmo sem apresentar uma estrutura de floco biológico compacta e de tamanho normal, as bactérias se mantiveram ativas durante os dias do teste.

Tabela 20 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 6 (adição de 16gCl/L) no 9º dia de operação.

Parâmetro	
pH	6,96
Cloretos (mgCl/L)	15,50
Fosfato Total (mgP/L)	8,78
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	48,02
Sólidos Totais (mg/L)	1529
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	226
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1303
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1257
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	122
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1135
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	272
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	104
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	168

Tabela 21 - Principais grupos de organismos observados no reator 6 (adição de 16 gCl/) entre o 10º e o 15º dias.

DIA	10	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	0	4	4	4	4	4
Filo Protozoa:						
Classe Mastigophora (flagelados)	0	0	0	0	0	0
<i>Bodo sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Oicomonas sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	4	0	0	0	0	0
<i>Paramecium sp</i>	3	-	-	-	-	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	3	-	-	-	-	-
<i>Colpoda sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	2	-	-	-	-	-
<i>Aspidisca sp</i>	1	-	-	-	-	-
Não Identificado	-	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	2	0	0	0	0	0
<i>Epistylis sp</i>	2	-	-	-	-	-
<i>Vorticella sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	0	0	0	0	0	0
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-	-
Filo Metazoa						
Classe Rotífera (rotíferos)	0	0	0	0	0	0
<i>Philodina sp</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	0	0	0	0	0	0

 Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

Supunha-se que no reator 6 não fosse observada atividade microbológica já que a concentração de cloretos aplicada é próxima a concentração da água do mar e o inóculo foi obtido de uma amostra de esgoto sanitário cuja concentração de sal é baixa, por volta de 0,5 g/L segundo Salvadó *et al.* (2001).

Na Tabela 22, como se vê, mais uma vez se confirma que o aumento do material em suspensão foi detectado no teste de turbidez do sobrenadante durante os 5 dias.

Tabela 22 - Determinações de turbidez no reator 6 (adição de 16 gCl/L) durante o 10º e o 15º dias.

Amostra	Turbidez (UT)
DIA 9	7,93
AC 1	25,4
AC 2	311
AC 3	475
AC 4	397

AC = Amostra Composta

Na Figura 16 pode-se observar a toxicidade do sal aos protozoários e metazoários. A partir do 11º dia não há qualquer indício de atividade microbológica, exceto a das bactérias.

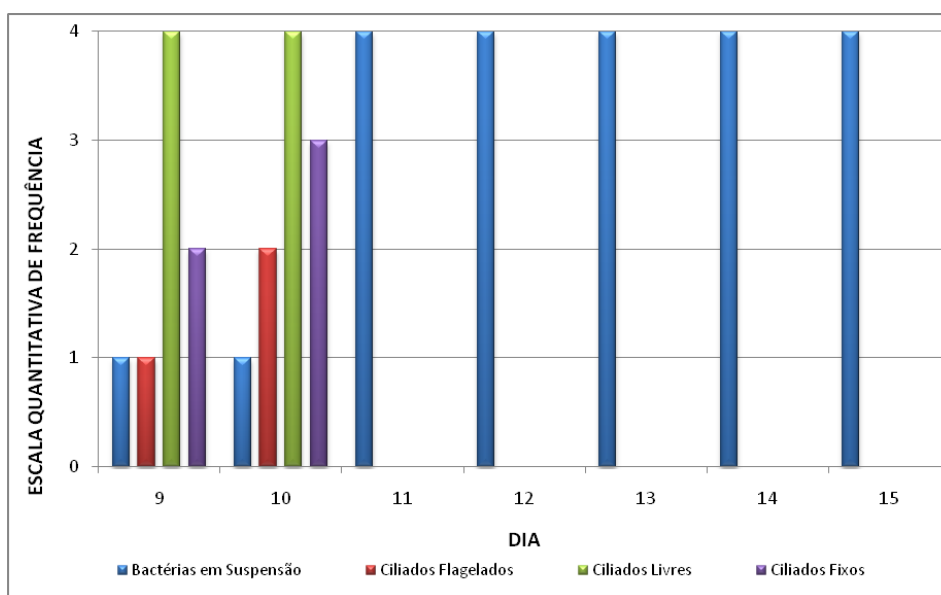


Figura 16 - Dinâmica microbológica no reator 6 (adição de 16 gCl/L) entre o 10º e o 15º dias.

5.1.2.2 - Influência na remoção de matéria orgânica

A análise da influência dos cloretos na remoção de matéria orgânica é discutida analisando-se os resultados obtidos na determinação dos parâmetros DQO, COT e DBO.

Para auxiliar na discussão considerou-se como base de comparação as análises prévias da solução de lactose 1 g/L que possui 1000 mgO₂/L de DQO, 500 mgO₂/L de DBO e 350 mgC/L de COT.

Primeiro os resultados do teste de DQO. Lembrando que na metodologia utilizada (Método 5220D do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*) é prevista a anulação do cloreto de sódio através da reação com o sulfato de mercúrio (HgSO₄). Em todos os testes procurou-se realizar diluição das amostras, quando necessário, para que a concentração de cloretos não ultrapassasse 1000 mg/L, metade da capacidade de reação do sulfato de mercúrio com o cloreto que é de 2000 mg/L.

Outro detalhe é que as amostras usadas são compostas coletadas duas vezes ao dia, (a cada 12 horas) do sobrenadante, sempre que foi realizada a alimentação dos reatores.

Na Figura 17 estão apresentados os resultados das análises de DQO de acordo com a quantidade de cloretos aplicada nos reatores.

A primeira amostra, apresentada na Figura 17 como 'Inicial', foi coletada no 9º dia de operação dos reatores, nela não há a adição de cloreto de sódio. A determinação de DQO dessas amostras foi realizada para verificar as características dos reatores anteriormente à adição do sal.

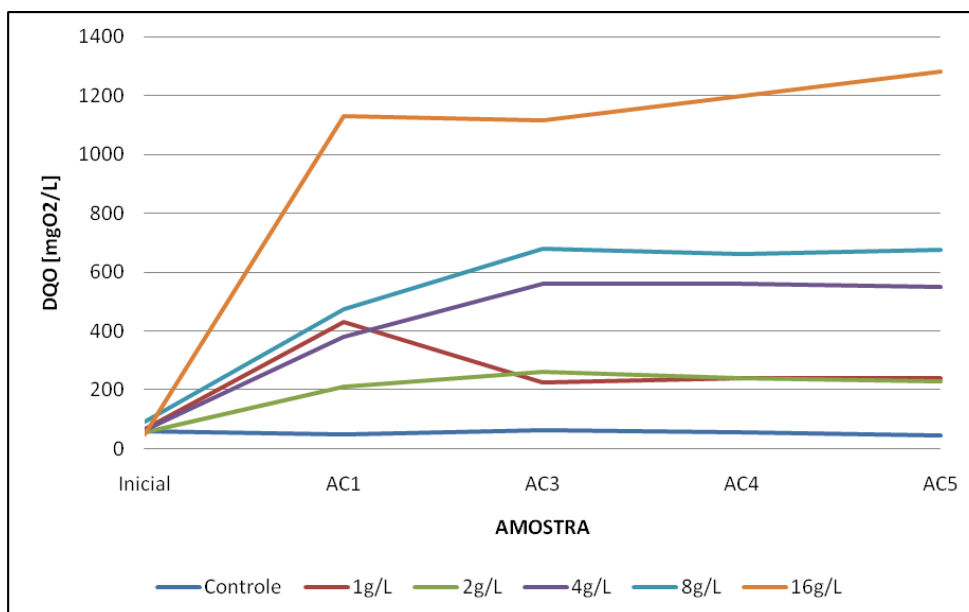


Figura 17 - Variação da DQO efluente nos reatores antes e após a adição dos cloretos. AC = Amostra Composta.

No reator de controle se observa, como era esperado, que não há nenhuma mudança nos resultados obtidos em relação a primeira amostra (9º dia de operação), ou seja, o sistema mantido nas mesmas condições apresentou um efluente final com DQO por volta de 55 mgO₂/L.

Por outro lado, em todos os outros reatores nota-se que houve influência dos cloretos. A DQO aumentou com o aumento da concentração de cloreto. Chama a atenção, principalmente, o aumento no reator 6. Percebe-se também que posterior a este aumento, há uma tendência a estabilização embora a DQO nesses reatores seja bem superior a do reator de controle.

Correlacionando os resultados apresentados na Figura 17 com a resposta dos organismos nos sistemas, era de se esperar que não houvesse uma diferença tão grande entre o reator de controle e os reatores 1 e 2, entretanto a DQO do efluente final nesses últimos é praticamente quatro vezes maior que a do reator de controle.

Um ponto que deve ser ressaltado é que a curva que representa os resultados das amostras 1 g/L de sal é em um primeiro momento semelhante ao dos reatores com 4 g/L e 8

g/L e depois se estabiliza com um valor mais baixo, semelhante ao reator com 2 g/L de sal. Essa alteração coincide com os efeitos na microfauna do reator, o efeito de choque do sal é semelhante ao efeito causado pela aplicação de 4 g/L, 8 g/L e 16 g/L. A partir do segundo dia a composição da microfauna se recupera e volta à normalidade no 4º dia após adição do sal.

Os resultados obtidos, principalmente os do reator 6, direcionam a discussão para dois pontos: 1º) há uma perda de eficiência nos reatores com presença dos cloretos e 2º) o sal gera uma demanda de oxigênio que pode causar interferência no resultado final.

Pela análise do trabalho de Kincannon e Gaudy (1968), os resultados de turbidez apresentados anteriormente e os exames microscópicos, incluem um terceiro ponto na discussão: pode haver um aumento da DQO solúvel em função da lise celular causada pelo estresse salino. Uma prova disso, é que analisando amostras de lodo cujo crescimento da biomassa foi em meio salino, Ludzack e Noran (1965) observaram a presença de resíduos de RNA e lipídios.

Parece assim ficar mais evidente a importância das determinações de COT para discussão dessas hipóteses. Convém lembrar uma vez mais que, em todas as amostras avaliadas, a concentração de cloretos nunca ultrapassou os limites impostos pela metodologia utilizada para determinação da DQO, DBO e COT.

Na Figura 18 estão indicados os resultados dos testes de COT. Mais uma vez, ressaltando que na primeira amostra (9º dia) não há adição de NaCl.

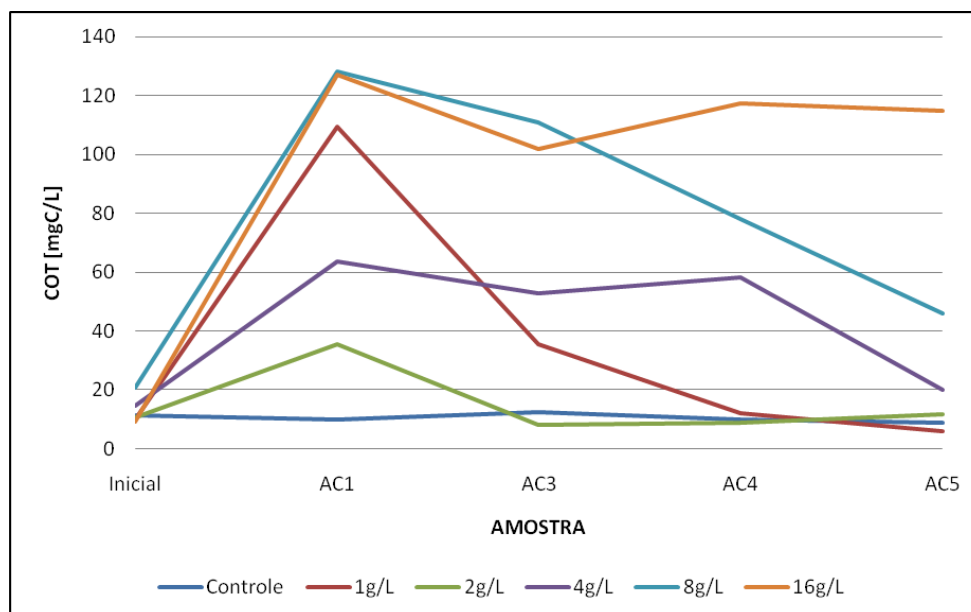


Figura 18 - Variação do COT efluente nos reatores antes e após a adição dos cloretos. AC = Amostra Composta.

Os resultados apresentados na Figura 18 são bastante interessantes. Primeiro se observa que realmente há uma certa perda de eficiência de remoção de matéria orgânica em alguns reatores. Porém a perda de rendimento quando se analisa os resultados das medidas de COT são muito diferentes das medidas de DQO.

Novamente se observa que há um efeito de choque logo após a adição dos cloretos, porém, há uma recuperação do sistema nos dias seguintes. Somente no reator 6 o efeito negativo se mantém não sendo possível a recuperação. No reator 6 o COT efluente do sobrenadante passa de aproximadamente 9 mgC/L para 115 mgC/L.

Mesmo após um choque inicial se observa que a capacidade de remoção de matéria orgânica nos reatores 2, 3 e 4 é muito próxima a do reator de controle. No reator 5, ao contrário dos resultados das determinações de DQO, há uma melhora significativa na remoção de matéria orgânica.

Nas Figuras 19 e 20 se encontram as porcentagens de remoção de acordo com a determinações de DQO e COT. Esses valores dão uma boa idéia de como o sistema reagiu à adição dos cloretos e respondeu a hipótese da influência do cloreto nas medidas de DQO.

Considerou-se que a solução de lactose 1g/L utilizada na alimentação dos reatores corresponde a uma DQO de 1000 mgO₂/L e um COT de 350 mgC/L - valores obtidos nos ensaios preliminares deste experimento.

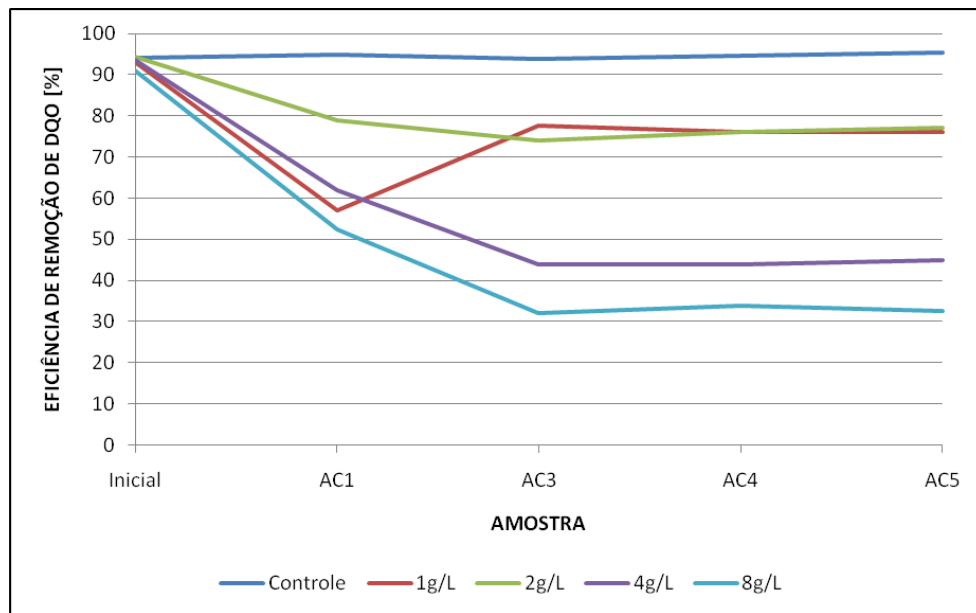


Figura 19 - Variação da eficiência de remoção de matéria orgânica nos reatores levando em consideração a determinação da DQO.

Não foi representada na Figura 19 a curva referente a eficiência de remoção da DQO no reator 6 que continha 16 g/L de cloretos porque como se pode observar na Figura 17, e considerando uma DQO de entrada de 1000 mgO₂/L (DQO da solução de lactose 1g/L usada na alimentação dos reatores), há um aparente ‘aumento’ da quantidade de matéria orgânica no sistema que pode ser atribuída a uma lise celular ou mesmo a influência dos cloretos na medida de DQO.

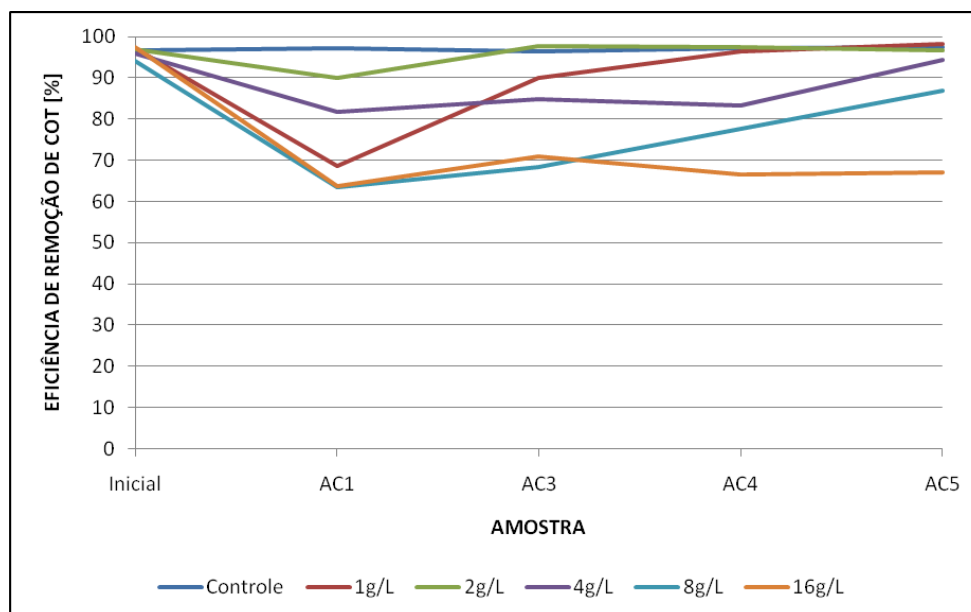


Figura 20 - Variação da eficiência de remoção de matéria orgânica nos reatores levando em consideração a determinação da COT.

Kargi e Dincer (1996) observaram que houve uma perda significativa de eficiência de remoção de matéria orgânica nos testes com reatores de lodos ativados após a exposição ao cloreto de sódio. O rendimento caiu de 85% para 59% quando a concentração de sal aumentou de 0 para 50 g/L, considerando os resultados de DQO. Neste experimento houve uma queda de eficiência de 95% para 33% após cinco dias de exposição do sistema ao sal, quando a concentração de sal passou de 0 para 13,2 g/L. A uma concentração de 26,4 g/L de NaCl, que corresponde a 16 g/L de cloretos, não foi possível avaliar a perda de eficiência como explicado anteriormente.

Uygun e Kargi (2004) observaram, após o aumento da concentração de sal de 0 para 60 g/L, uma queda de 90% para 32% na remoção de DQO. Por outro lado, Ng *et al.* (2005) *apud* Lefebvre e Moletta (2006) conseguiram a partir de organismos adaptados de esgoto sanitário uma eficiência de remoção 96% e 86% quando a concentração de cloreto de sódio variou de 0 para 60 g/L.

Segundo Kincannon e Gaudy (1968) e Ludzack e Noran (1965), o sal exerce uma pressão nos organismos reduzindo a taxa de respiração e a eficiência de remoção de matéria

orgânica. Segundo Kincannon e Gaudy (1968) há uma queda de aproximadamente 30% de eficiência de remoção de DBO quando o sistema é exposto a uma concentração de 30 g/L de NaCl.

Em relação a DBO, o número de determinações realizadas foi de apenas três, incluindo a caracterização das condições anteriores a adição dos cloretos. Esse fato prejudica a discussão.

De acordo com a Figura 21 pode-se observar que houve um aumento dos valores obtidos de DBO nos reatores em que o sal foi aplicado. Comparando esses resultados com a quantidade de matéria orgânica obtida pela determinação do COT, esperava-se que pelo menos nos reatores 2 e 3 a DBO observada fosse semelhante a do reator de controle. No reator 4 a DBO da amostra AC 5 corresponde a 162 mgO₂/L e COT de 20,07 mgC/L. Para efeito de comparação, no reator de controle a amostra AC5 corresponde a uma DBO de 18 mgO₂/L e um COT de 8,72 mgC/L, ou seja, assim como na determinação da DQO houve interferência dos cloretos na determinação da DBO.

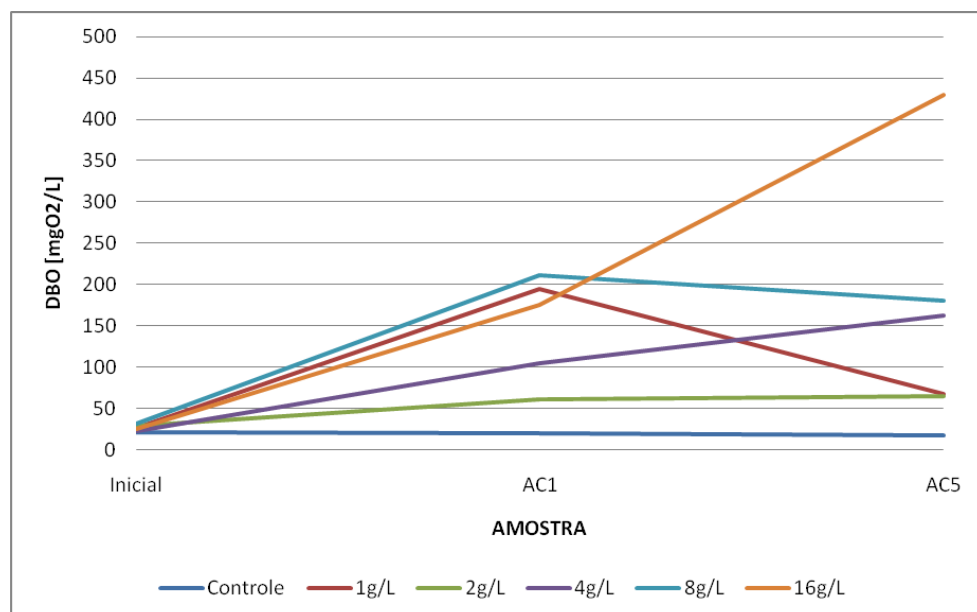


Figura 21 - Variação da DBO efluente nos reatores antes e após a adição dos cloretos. AC = Amostra Composta.

5.2 Segundo Experimento - Verificação da influência dos cloretos por um período de 5 dias de exposição sem alimentação dos reatores

5.2.1 Fase de adaptação ao substrato

Neste segundo experimento também foi realizada a etapa de adaptação do inoculo ao substrato. Os resultados foram praticamente idênticos aos anteriormente apresentados no item 5.1.1 – Fase de Adaptação. Dessa forma, nesse item serão discutidos e apresentados somente os resultados dos dias subsequentes ao período de adaptação.

Nos 9º e 10º dias foram realizados descartes de 500 mL em cada uma das câmaras. O volume foi retirado direto do sistema com a finalidade de realimentar o sistema com solução de lactose e renovar a microfauna que já apresentava características de estabilização e queda de atividade. A reposição foi feita com solução de lactose 1g/L e a solução de nutrientes (fósforo e nitrogênio) para adequação da relação DQO:N:P.

Com isso, termina a primeira fase do experimento que é a de adaptação da microfauna à degradação ao substrato.

5.2.2 Verificação da influência dos cloretos nos reatores com biomassa adaptada a degradação de lactose

5.2.2.1 Influência da adição dos cloretos na microbiota

A partir do 11º dia teve início os testes com a adição do cloreto de sódio. Antes da adição, foram novamente caracterizadas as condições físico-químicas do sistema e a microfauna. A seguir, serão apresentados os resultados obtidos para cada um dos reatores.

Reator 1 – Controle (sem adição de NaCl)

A Tabela 23 apresenta os resultados das concentrações dos parâmetros estudados para o reator de Controle.

Tabela 23 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator de controle (sem adição de NaCl) no 9º dia de operação.

Parâmetro	
pH	7,23
DQO (mg/L)	255
DBO (mg O ₂ /L)	151
COT (mgC/L)	49,1
Cloretos (mgCl/L)	13,20
Fosfato Total (mgP/L)	9,90
Nitrogênio Total Kjeldahl(mgN/L)	51.50
Sólidos Totais (mg/L)	1634
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	264
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1370
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1178
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	96
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1082
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	456
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	169
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	287

A Figura 22 apresenta a dinâmica de sucessão dos organismos desde o primeiro dia. Não foi observada nenhuma alteração qualitativa ou quantitativa incomum. Os exames microscópicos indicam um decaimento natural do número de indivíduos e de gêneros, em função do esgotamento da matéria orgânica no substrato.

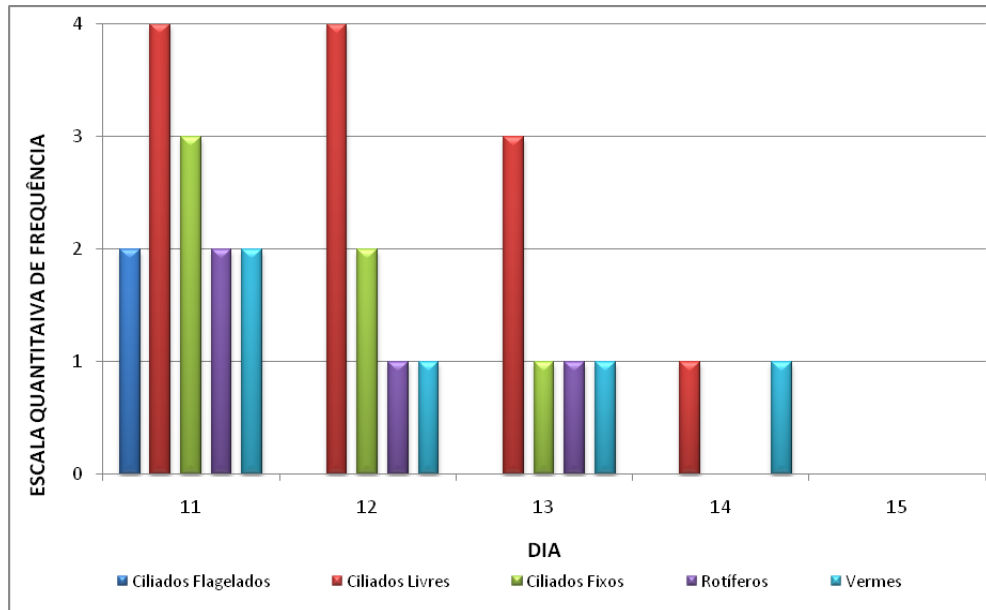


Figura 22 - Dinâmica microbiológicas no reator de controle (sem adição de NaCl) entre o 11º e o 15º dias.

Na Tabela 24 estão apresentados, de acordo com os exames qualitativos e quantitativos, os gêneros observados e o número de indivíduos a partir do 11º dia.

Da mesma maneira que no reator controle do primeiro experimento, nota-se que não foi registrada a presença de bactérias em suspensão. Essa característica, segundo Madoni (1994), é comum em reatores onde predominam os ciliados livres e os ciliados fixos como se pode observar na Figura 22.

Em relação aos gêneros observados nos exames microscópicos, pode-se considerar que as características observadas no reator de controle também são bastante comuns. Os melhores exemplos disso são os gêneros *Euplotes sp* e *Aspidisca sp*. Embora não haja uma justificativa para o fato, nota-se que não há uma grande variedade de gêneros.

Tabela 24 - Principais grupos de organismos observados no reator controle (sem adição de NaCl) entre o 11º e o 15º dias.

DIA	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	-	-	-	-	-
Filo Protozoa:					
Classe Mastigophora (flagelados)	2	-	-	-	-
<i>Bodo sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Oicomonas sp</i>	2	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	4	4	3	1	-
<i>Paramecium sp</i>	2	1	-	-	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Colpoda sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	4	2	1	1	-
<i>Aspidisca sp</i>	4	2	1	-	-
Não Identificado	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	3	2	1	-	-
<i>Epistylis sp</i>	3	2	2	-	-
<i>Vorticella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	-	-	-	-	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	-	-	-	-	-
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-
Filo Metazoa					
Classe Rotífera (rotíferos)	2	1	1	-	-
<i>Philodina sp</i>	2	1	1	-	-
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	2	1	1	1	-

 Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

Reator 2 – Adição de 1gCl/L ao substrato

A Tabela 25 apresenta os resultados obtidos com as determinações de alguns parâmetros utilizados para definir as condições no reator 2 (adição de 1g/L de cloretos) no 10º dia.

A Figura 23 representa a dinâmica dos organismos do reator 2 durante os 11º e 15º dias de análise. Analisando a Figura 24 não se observa efeito negativo à microfauna. Assim como no reator de controle, o decaimento do número de indivíduos ocorreu provavelmente, em função da falta de alimento.

Tabela 25 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 2 (adição de 1gCl/L) no 10º dia de operação.

Parâmetro	
pH	7,09
DQO (mg/L)	265
DBO (mg O ₂ /L)	149
COT (mgC/L)	55,38
Cloretos (mgCl/L)	15,40
Fosfato Total (mgP/L)	9,15
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	46,21
Sólidos Totais (mg/L)	1952
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	331
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1621
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1493
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	146
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1347
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	458
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	185
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	273

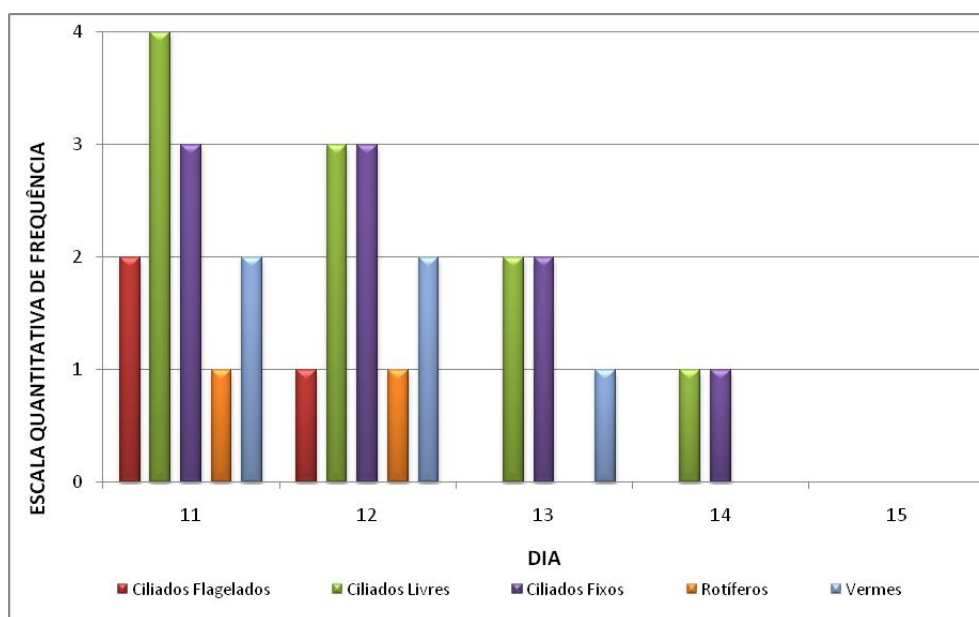


Figura 23 - Dinâmica microbiana no reator 2 (adição de 1gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.

Os exames microscópicos do 11º até o 15º dia estão apresentados na Tabela 26. Pode-se observar que o número de indivíduos e os gêneros encontrados são similares aos do reator de controle, confirmando que a presença de 1 g/L de cloretos não prejudica a microfauna.

Tabela 26 - Principais grupos de organismos observados no reator 2 (adição de 1 gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.

DIA	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	-	-	-	-	-
Filo Protozoa:					
Classe Mastigophora (flagelados)	2	1	-	-	-
<i>Bodo sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Oicomonas sp</i>	2	1	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	4	3	2	1	-
<i>Paramecium sp</i>	2	1	1	-	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Colpoda sp</i>	1	-	-	-	-
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	3	2	2	1	-
<i>Aspidisca sp</i>	2	1	1	1	-
Não Identificado	-	1	1	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	3	3	2	1	-
<i>Epistylis sp</i>	3	3	2	1	-
<i>Vorticella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	1	1	-	-	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	-	-	-	-	-
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-
Filo Metazoa					
Classe Rotífera (rotíferos)	1	1	-	-	-
<i>Philodina sp</i>	1	1	-	-	-
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	2	2	1	-	-

Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

Assim como já foi discutido anteriormente no primeiro experimento, a presença de flagelados pode ser justificada pelos dois descartes de biomassa realizados no 9º e no 10º dias de operação.

Reator 3 – Adição de 2gCl/L ao substrato

Na Tabela 27 estão os principais parâmetros avaliados para determinação das características operacionais no reator 3, no 10º dia de operação.

Tabela 27 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 3 (adição de 2gCl/L) no 10º dia de operação.

Parâmetro	
pH	7,48
DQO (mg/L)	261
DBO (mg O ₂ /L)	148
COT (mgC/L)	52,34
Cloretos (mgCl/L)	15,30
Fosfato Total (mgP/L)	9,72
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	47,39
Sólidos Totais (mg/L)	1834
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	349
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1485
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1411
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	176
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1235
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	422
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	173
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	249

Na Figura 24, outra vez, pode-se observar que o efeito da presença dos cloretos não é muito evidente, embora nessa concentração de 2gCl/L a maioria dos organismos já havia morrido no 14º dia.

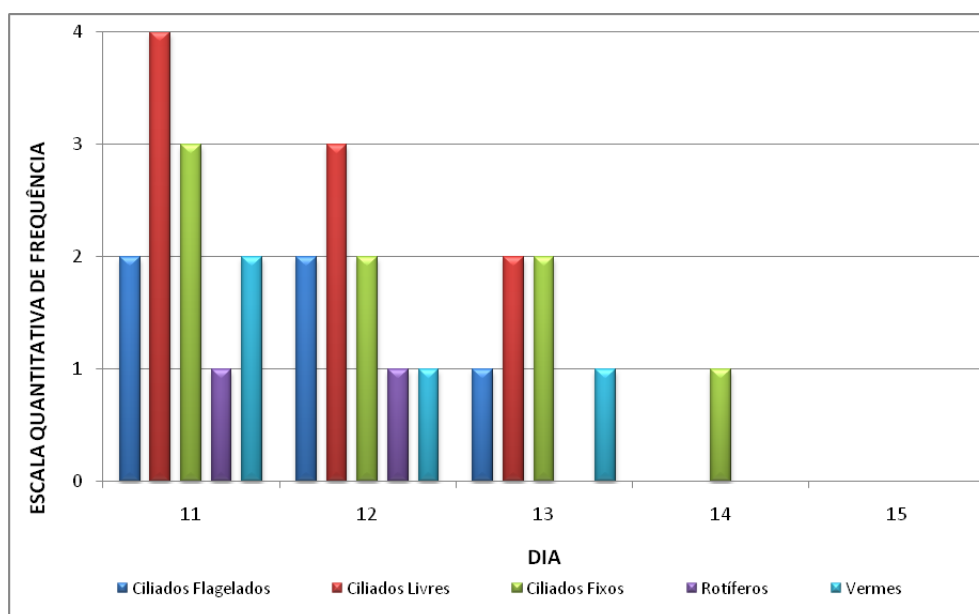


Figura 24 - Dinâmica microbiana no reator 3 (adição de 2gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.

Os resultados obtidos com os exames microscópicos a partir do 11º dia estão apresentados na Tabela 28, onde se observa que não há um efeito negativo em uma classe específica. A única diferença em relação ao reator controle é a extinção dos ciliados livres já no 14º.

Tabela 28 - Principais grupos de organismos observados no reator 3 (adição de 2 gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.

DIA	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	-	-	-	-	-
Filo Protozoa:					
Classe Mastigophora (flagelados)	2	2	1	-	-
<i>Bodo sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Oicomonas sp</i>	2	2	1	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	4	3	2	-	-
<i>Paramecium sp</i>	2	-	-	-	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Colpoda sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	3	3	1	-	-
<i>Aspidisca sp</i>	2	2	1	-	-
Não Identificado	-	2	1	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	3	2	2	1	-
<i>Epistylis sp</i>	3	2	2	1	-
<i>Vorticella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	-	-	-	-	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	-	-	-	-	-
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-
Filo Metazoa					
DIA	11	12	13	14	15
Classe Rotífera (rotíferos)	1	1	-	-	-
<i>Philodina sp</i>	1	1	-	-	-
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	2	1	1	-	-

Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

Reator 4 – Adição de 4gCl/L ao substrato

A Tabela 29 apresenta as condições operacionais de acordo como os parâmetros avaliados no reator 4, no 10º dia de operação, anteriormente a adição do sal.

Tabela 29 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 4 (adição de 4gCl/L) no 10º dia de operação.

Parâmetro	
pH	7.26
DQO (mg/L)	279
DBO (mg O ₂ /L)	150
COT (mgC/L)	52,15
Cloretos (mgCl/L)	11,64
Fosfato Total (mgP/L)	8.5
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	49.76
Sólidos Totais (mg/L)	1764
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	262
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1502
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1370
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	157
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1213
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	394
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	106
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	288

A Figura 25 aponta para a hipótese de que a concentração de cloretos aplicada ao meio interfere no tempo de vida dos organismos. Talvez a exposição permanente ao sal e a ausência de alimento devam diminuir o tempo de vida dos organismos.

Nesta Figura nota-se que já no 14º dia nenhum organismo foi observado. O efeito do cloreto fica bem evidente nos gráficos referentes aos 'Rotíferos' e 'Vermes', para o dia seguinte, quando da aplicação do sal. Não foi observada a presença desses indivíduos no meio. A sensibilidade dos Rotíferos a mudanças no meio é bastante conhecida.

Os resultados dos exames microscópicos no reator 4, do 11º ao 15º dia de operação, estão na Tabela 30.

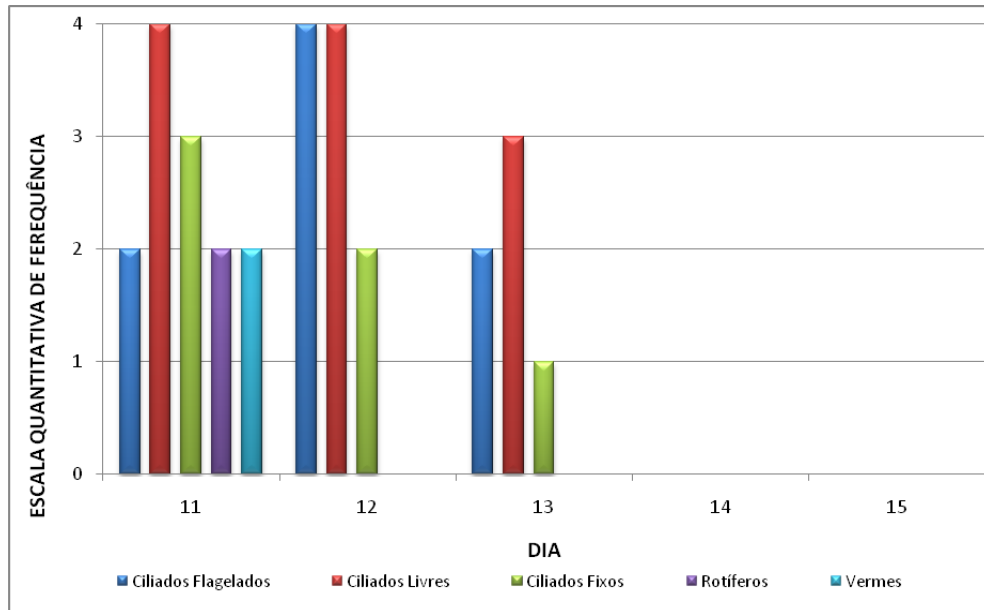


Figura 25 - Dinâmica microbiológica no reator 4 (adição de 4gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.

Tabela 30 - Principais grupos de organismos observados no reator 4 (adição de 4 gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.

DIA	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	-	-	-	-	-
Filo Protozoa:					
Classe Mastigophora (flagelados)	2	4	2	-	-
<i>Bodo sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Oicomonas sp</i>	2	4	2	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	4	4	3	0	-
<i>Paramecium sp</i>	2	-	-	-	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Colpoda sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	3	2	1	-	-
<i>Aspidisca sp</i>	4	4	2	-	-
Não Identificado	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	3	2	1	-	-
<i>Epistylis sp</i>	3	2	1	-	-
<i>Vorticella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	-	-	-	-	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	-	-	-	-	-
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-
Filo Metazoa					
Classe Rotífera (rotíferos)	2	-	-	-	-
<i>Philodina sp</i>	2	-	-	-	-
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	2	-	-	-	-

Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

Por outro lado, se compararmos esses resultados com os do reator 4 do primeiro experimento (adição de 4 gCl/L), pode-se observar que a tanto ciliados livres quanto ciliados fixos resistiram por mais tempo à exposição a essa concentração de cloretos. No primeiro experimento já no primeiro dia após a adição do NaCl não foi observado nenhum indivíduos de ambos os grupos.

Reator 5 – Adição de 8gCl/L ao substrato

A Tabela 31 apresenta os resultados obtidos com as determinações de alguns parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais no reator 5, no 10º dia de operação.

Tabela 31 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 5 (adição de 8gCl/L) no 10º dia de operação.

Parâmetro	
pH	7.40
DQO (mg/L)	274
DBO (mg O ₂ /L)	145
COT (mgC/L)	52,04
Cloretos (mgCl/L)	13,80
Fosfato Total (mgP/L)	11,00
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	48,53
Sólidos Totais (mg/L)	1884
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	198
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1686
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1528
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	157
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1371
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	357
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	42
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	315

Neste reator a aplicação do Cl mostrou um efeito extremamente negativo aos organismos. Na Figura 26 fica claro que a concentração de 8 g/L de cloretos é letal a todos os protozoários. As observações indicaram entretanto, que o efeito nas bactérias não é o mesmo,

ocorre que a aplicação do sal acarretou somente na descompactação dos flocos e a liberação das bactérias anteriormente aderidas à estrutura do floco. Os exames microscópicos comprovaram que as bactérias mantiveram-se em movimento, confirmando sua atividade.

Salienta-se que tanto na Figura 26 quanto nas figuras apresentados anteriormente, a curva ‘Bactérias em suspensão’ indica apenas a presença ou não desses organismos dispersos no meio. Após a formação dos flocos biológicos, as bactérias ficam aderidas a ele e não mais suspensas no meio. Por esse motivo em alguns dias suas presenças não são demonstradas graficamente.

Chama a atenção também o efeito dos cloretos nos flocos. Em um meio com concentração de 8 g/L de NaCl todos os flocos se descompactaram.

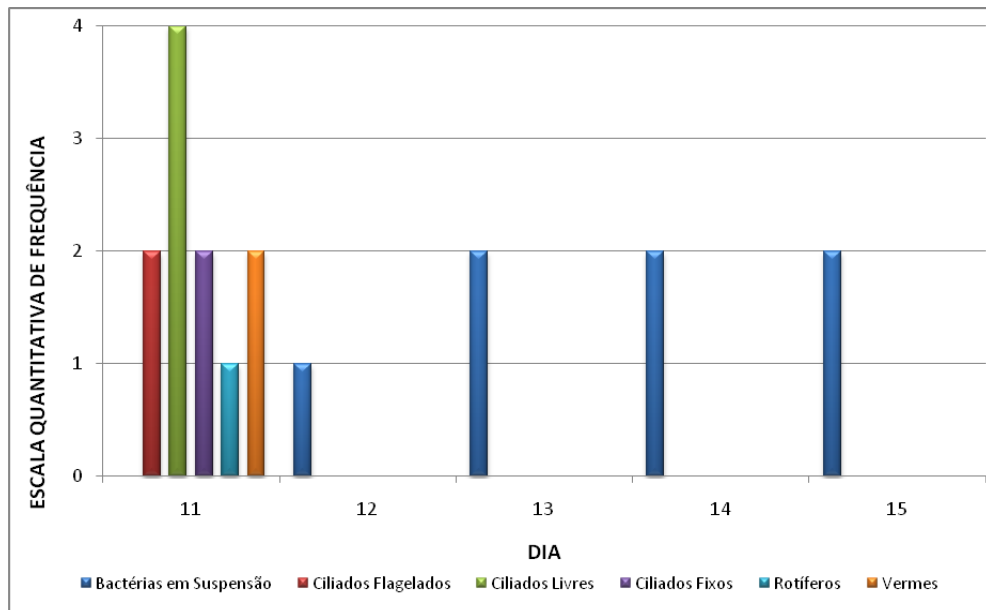


Figura 26 - Dinâmica microbiana no reator 5 (adição de 8gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.

Os resultados dos exames microscópicos do reator 5 a partir do 11º da estão apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Principais grupos de organismos observados no reator 5 (adição de 8 gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.

DIA	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	-	1	2	2	2
Filo Protozoa:					
Classe Mastigophora (flagelados)	2	-	-	-	-
<i>Bodo sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Oicomonas sp</i>	2	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	4	-	-	-	-
<i>Paramecium sp</i>	3	-	-	-	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Colpoda sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	3	-	-	-	-
<i>Aspidisca sp</i>	3	-	-	-	-
Não Identificado	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	2	-	-	-	-
<i>Epistylis sp</i>	2	-	-	-	-
<i>Vorticella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	-	-	-	-	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	-	-	-	-	-
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-
Filo Metazoa					
Classe Rotífera (rotíferos)	1	-	-	-	-
<i>Philodina sp</i>	1	-	-	-	-
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	2	-	-	-	-

Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

Os resultados observados nesse reator são semelhantes aos observados no reator 5 do primeiro experimento (adição de 8 gCl/).

Reator 6 – Adição de 4gCl/L ao substrato

A Tabela 33 apresenta os resultados obtidos das determinações de alguns parâmetros utilizados para caracterizar as condições operacionais no reator 6, no 10º dia de operação.

Mais uma vez observou-se que o efeito do cloreto é letal a todos os protozoários, porém as bactérias se mantêm vivas e em atividade (Figura 27). Efeito idêntico também foi observado aos flocos biológicos, todos sofreram descompactação e se tornaram visualmente menores.

Tabela 33 - Parâmetros utilizados para caracterização das condições operacionais do reator 6 (adição de 16gCl/L) no 10º dia de operação.

Parâmetro	
pH	7,22
DQO (mg/L)	261
DBO (mg O ₂ /L)	151
COT (mgC/L)	56,69
Cloretos (mgCl/L)	11,50
Fosfato Total (mgP/L)	9,94
Nitrogênio Total Kjeldahl (mgN/L)	53, 11
Sólidos Totais (mg/L)	1761
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	270
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	1491
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	1324
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	146
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1178
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	438
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	124
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	314

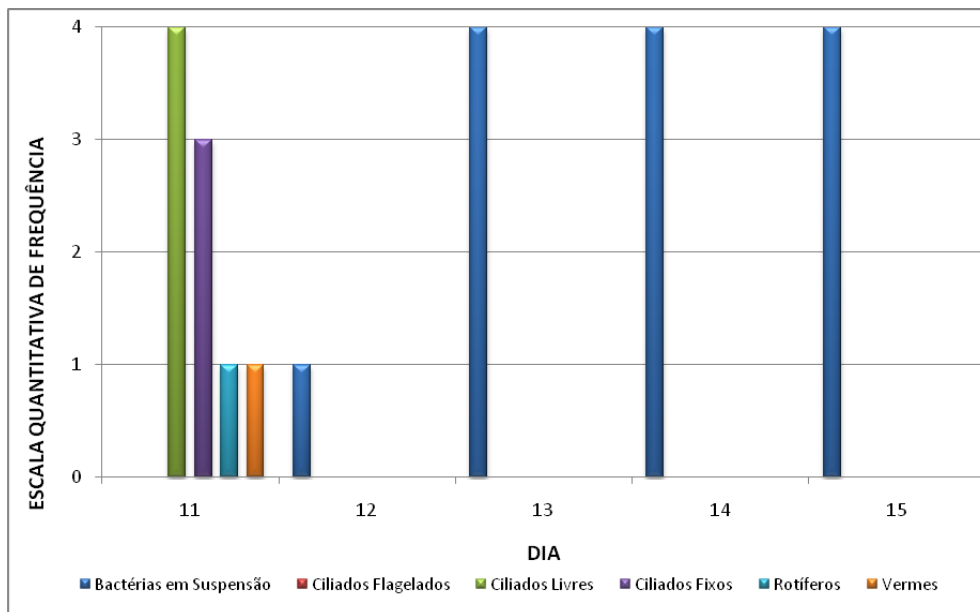


Figura 27 - Dinâmica microbiana no reator 5 (adição de 8gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.

Os resultados dos exames microscópicos a partir do 11º dia de operação estão na

Tabela 34.

Tabela 34 - Principais grupos de organismos observados no reator 6 (adição de 16 gCl/L) entre o 11º e o 15º dias.

DIA	11	12	13	14	15
Bactérias Suspensas	-	1	4	4	4
Filo Protozoa:					
Classe Mastigophora (flagelados)	-	-	-	-	-
<i>Bodo sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Oicomonas sp</i>	2	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados livres)	4	-	-	-	-
<i>Paramecium sp</i>	2	-	-	-	-
<i>Trachelophyllum sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Colpoda sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Tetrahymena sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euplotes sp</i>	3	-	-	-	-
<i>Aspidisca sp</i>	2	-	-	-	-
Não Identificado	-	-	-	-	-
Classe Ciliata (ciliados fixos)	3	-	-	-	-
<i>Epistylis sp</i>	3	-	-	-	-
<i>Vorticella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Opercularia sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Podospira sp</i>	1	-	-	-	-
Classe Sarcodina (rizópodes)	-	-	-	-	-
<i>Amoeba sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Arcella sp</i>	-	-	-	-	-
<i>Euglypha sp</i>	-	-	-	-	-
Filo Metazoa					
Classe Rotífera (rotíferos)	1	-	-	-	-
<i>Philodina sp</i>	1	-	-	-	-
<i>Epyphanes sp</i>	-	-	-	-	-
Classe Nematoda (vermes)	1	-	-	-	-

 Nenhum (0), Raro (1), Comum (2), Muito Comum (3), Abundante (4)

5.2.2.2 Influência na remoção da matéria orgânica

A análise da decomposição da matéria orgânica nesse experimento diferentemente da análise da influência nos organismos, pode ser feita de uma forma global, discutindo-se o efeito do cloreto em todos os reatores ao mesmo tempo.

De forma geral, pode-se dizer que em todos os reatores houve degradação da matéria orgânica quando se leva em consideração a medida de COT. Como pode ser observado na Figura 28 praticamente não há diferença entre as curvas de degradação de COT. Mesmo no reator com a maior concentração de cloretos o efeito do foi negativo.

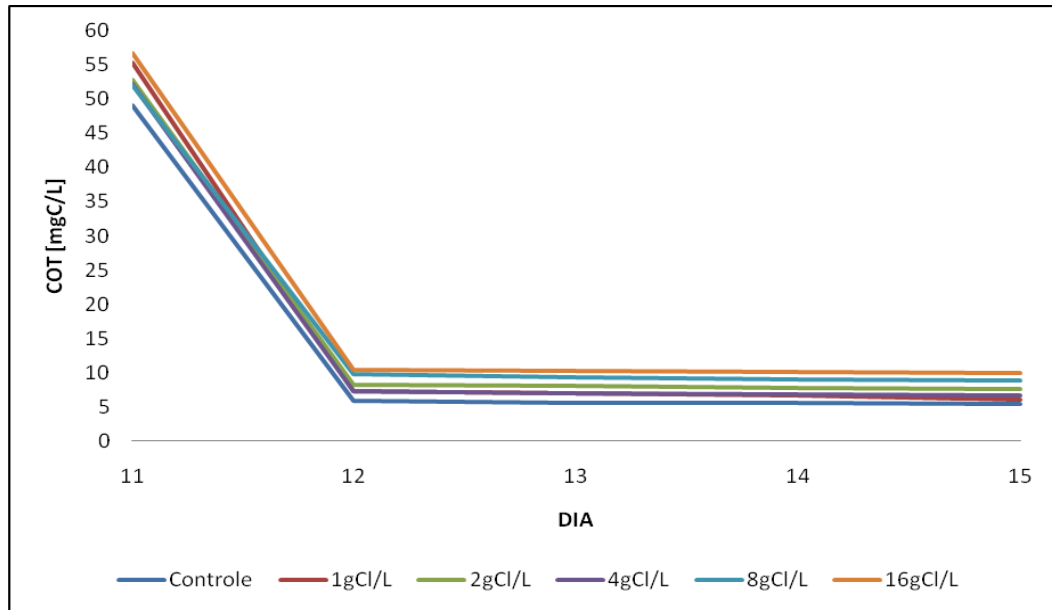


Figura 28 - Concentração de COT nos reatores entre o 11º e 15º dias.

As observações microscópicas corroboram com o apresentado na Figura 28. Em todos os reatores, mesmo nos quais foram aplicadas as maiores concentrações de NaCl as bactérias se mantiveram vivas e ativas e sendo estas as maiores responsáveis pela degradação da matéria orgânica (VON SPERLING, 1996), pode-se considerar que a adição do sal não interferiu no processo de remoção.

Entretanto quando se leva em consideração as determinações de DQO a conclusão não é a mesma. Na Figura 29 estão apresentadas as curvas de cada um dos reatores obtidas, representativas da DQO. Os resultados condizem mais uma vez para a hipótese de que há interferência dos cloretos na DQO, mesmo que se tenha sido levada em consideração a capacidade de neutralização do sulfato pelo mercúrio, pois todas as amostras foram diluídas para que não fosse ultrapassado o limite de 1200 mgCl/L nas determinações.

No 11º dia foram realizadas determinações de DQO nos reatores antes da adição de cloreto de sódio. Os resultados obtidos para todos os reatores foi aproximadamente de 250 mgO₂/L de DQO conforme Figura 29. A partir do 12º dia houve um aumento dos valores de DQO nos reatores em que foram adicionados o sal. E o aumento foi proporcional a concentração de NaCl.

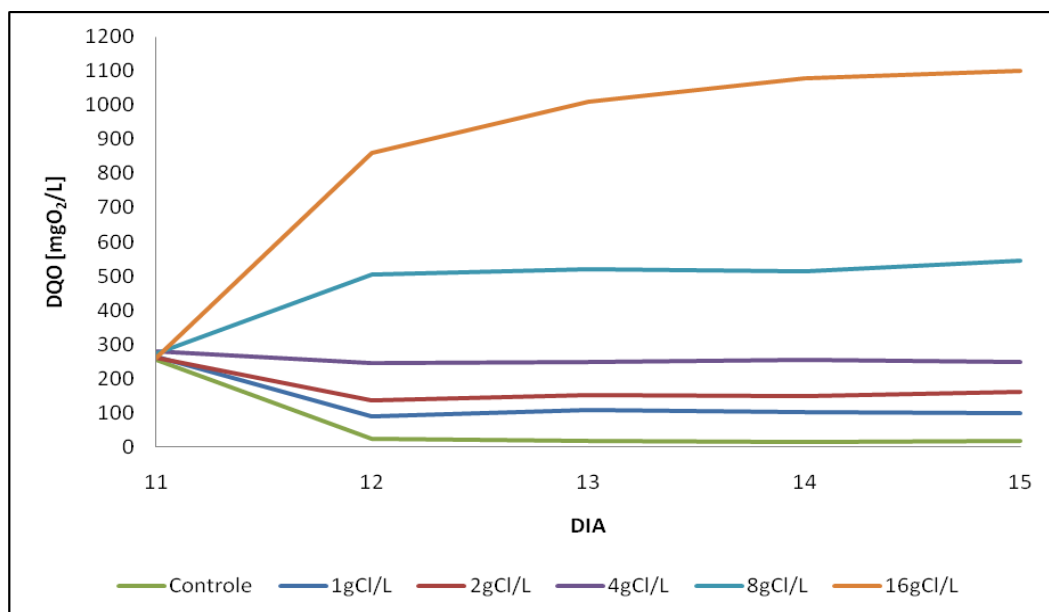


Figura 29 - Concentrações de DQO nos reatores entre o 11º e o 15º dias.

Ao se comparar as demais curvas com a curva do reator controle fica evidente que há uma interferência na determinação da DQO. A curva controle segue a tendência da curva do mesmo reator na Figura 28, onde é visível que ocorre uma diminuição da matéria orgânica no substrato. Na mesma Figura 28 pode-se confirmar que não existe uma diferença dos valores de COT obtidos nos outros reatores que justifique as diferenças encontradas na Figura 29.

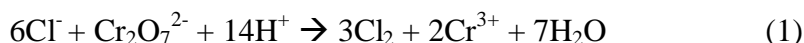
Da forma como se apresentaram os resultados, foi necessário realizar alguns ensaios complementares para verificar quais as possíveis causas desse incremento na DQO.

5.3 Influência do cloreto na determinação da DQO

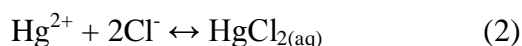
O experimento complementar consistiu em realizar uma série de determinações de DQO com variadas soluções de cloreto de sódio para que fosse avaliada a interferência do sal na metodologia utilizada.

O método colorimétrico utilizado nesse trabalho, no qual o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) é o agente oxidante, pode segundo Aquino, Silva e Chernicharo (2006) sofrer influências de algumas substâncias inorgânicas, que por serem oxidadas pelo dicromato

durante a reação (Equação 1), geram uma DQO, que acaba erroneamente sendo interpretada como DQO resultante da presença de matéria orgânica. De acordo com APHA, AWWA E WEF (2005) cloretos podem ser oxidados a cloro molecular caso a quantidade de sulfato de mercúrio da solução de digestão seja insuficiente. O ideal é que seja obedecida a relação Hg^{2+} : Cl^- de 10 : 1 o que garante a complexação de aproximadamente 2.000 mg de Cl^-/L .



Em nenhum dos testes se permitiu que a concentração de cloretos nas amostras ultrapassasse 1200 mgCl/L e superasse a capacidade de neutralização do sulfato de mercúrio (HgSO_4). O sulfato de mercúrio reage com o cloreto de acordo com Equação 2.



5.3.1 Determinação da DQO com solução NaCl e água destilada

No primeiro teste as soluções foram preparadas com o NaCl e água destilada exclusivamente. As concentrações utilizadas e os valores de DQO obtidos encontram-se na Tabela 35.

Tabela 35 - DQO para variadas soluções de NaCl.

Cloreto (Cl^-) - [g/L]	DQO - [mgO_2/L]
0	0
1	91
2	146
3	232
4	260
5	415
8	540
10	620
12	760
14	990
16	1160
18	1450

Na Figura 30 está apresentando a curva de dispersão dos pontos. Ao traçar a curva de ajuste e determinar o índice de correlação entre DQO e a concentração de cloreto, pode-se afirmar que existe sim uma correlação direta entre a concentração de sal e a DQO.

Aquino, Silva e Chernicharo (2006) observaram dois resultados distintos ao avaliar a interferência do cloreto no teste de DQO. Primeiro encontram que 1000 mgCl⁻/L geram uma DQO de 89 mgO₂/L, valor semelhante ao obtido neste trabalho. Entretanto, em um segundo momento observaram que uma concentração de 2000 mgCl⁻/L gera uma DQO de 51 mg O₂/L. Os autores acreditam que o efeito do cloreto pode ser dúbio, ou seja, ao mesmo tempo em que o excesso de cloreto pode gerar DQO, pode provocar reação do cloreto com a prata do sulfato de prata (Ag₂SO₄), catalisador da reação, diminuindo a capacidade de oxidação durante a medição.

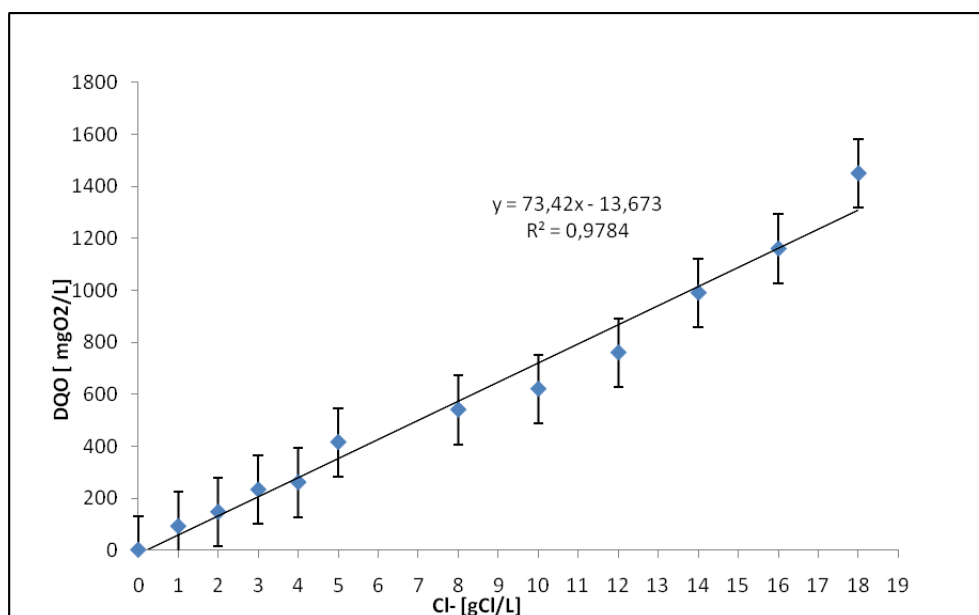


Figura 30 - Correlação entre a concentração de cloretos e as determinações de DQO da solução de NaCl em água destilada.

Levando-se em conta os resultados deste trabalho nota-se que a DQO gerada pela presença de cloretos, é proporcional à quantidade do mesmo, não podendo nesse caso ser admitida a hipótese de que ocorre perda da capacidade de oxidação da solução de dicromato de potássio em função da reação do cloreto com o sulfato de prata (Ag₂SO₄).

5.3.2 Determinação da DQO com solução de lactose 0,5 g/L

No segundo ensaio foi utilizada uma solução de lactose de concentração de 0,5 g/L na qual foram adicionadas concentrações de NaCl idênticas às concentrações aplicadas nos reatores, mantendo uma amostra de controle (sem adição de NaCl). Foram determinados os valores das concentrações de DQO e COT. Os resultados das determinações de DQO encontram-se na Figura 31.

Os valores das determinações de COT se mantiveram constantes (por volta de 175 mgC/L), enquanto os valores de DQO aumentaram conforme o aumento da concentração de cloretos. Todavia o efeito da adição de cloretos nesse caso foi diferente do efeito apresentado na Figura 30 quando se empregou soluções de NaCl em água destilada.

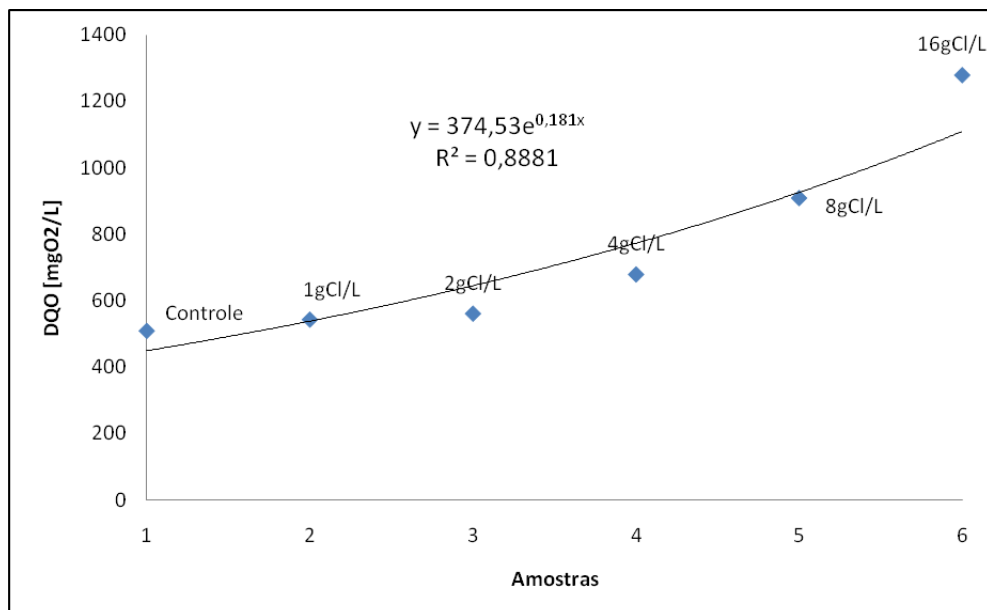


Figura 31 - DQO das soluções de lactose (0,5 g/L) adicionadas de diferentes concentrações de cloretos.

Um dos trabalhos que aborda a questão da interferência dos cloreto no teste 5220D do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, foi publicado por Freire e Sant'anna (1998). De acordo com esses autores o percentual de erro na determinação da DQO

pode chegar a 500% quando se trabalha com amostras com alta concentração de cloreto (Tabela 36).

Freire e Sant'anna (1998) determinam o percentual de erro levando em consideração a DQO de uma solução conhecida, que seria a $DQO_{esperada}$ ou DQO_e e a DQO_{obtida} ou DQO_o que seria a DQO obtida tomando por base a solução conhecida adicionada de cloreto de sódio.

O percentual de erro é determinado de acordo com a seguinte Equação 3.

$$\text{Erro} = (DQO_o - DQO_e) * 100 / DQO_e \quad (3)$$

Tabela 36 - Porcentagem de erro na determinação da DQO de acordo com a concentração de cloretos na amostra.

Concentração de Cloreto		0	3640 mg/L		6000 mg/L	
DQO_e	DQO_o	Erro	DQO_o	Erro	DQO_o	Erro
mgO ₂ /L	mgO ₂ /L	%	mgO ₂ /L	%	mgO ₂ /L	%
50	55	10	182	264	286	472
200	201	0,5	310	55	400	100
500	533	6,6	569	14	604	21
700	752	7,4	728	4	771	10
1000	920	-8	1103	10	854	-15

Fonte: Adaptado de Freire e Sant'anna (1998). DQO_e = DQO esperada, DQO_o = DQO obtida. Erro = $(DQO_o - DQO_e) * 100 / DQO_e$

Aplicando a Eq.1 aos resultados obtidos neste trabalho e supondo que a solução de lactose 0,5 g/L gere uma DQO de 500 mgO₂/L que seria a DQO esperada para este caso, pode-se considerar que o erro chega a ser de até 156% (Tabela 37).

Tabela 37 - Porcentagem de erro na determinação da DQO da solução de lactose (0,5 g/L) em função da concentração de cloretos adicionada nas amostras.

$DQO_e = 500 \text{ mgO}_2/\text{L}$		
Cloreto - g/L	$DQO_o - \text{mgO}_2/\text{L}$	Erro - %
0	510	2
1	544	9
2	562	12
4	680	36
8	910	82
16	1280	156

DQO_e = DQO esperada, DQO_o = DQO obtida.

$$\text{Erro} = (DQO_o - DQO_e) * 100 / DQO_e$$

5.3.3 Determinação da DQO com amostra do reator controle

No terceiro ensaio foram utilizadas amostras do reator controle do segundo experimento. Foram preparadas seis soluções com concentração de cloreto, na forma de NaCl, variando de 0 a 16 g/L. O sal foi adicionado às amostras do reator controle e em seguida foram filtradas com membranas 1,2 μm de abertura para remoção dos sólidos em suspensão. Os resultados são apresentados na Figura 32. Como a quantidade de matéria orgânica era muito baixa dá pra admitir que praticamente toda DQO é devida ao cloreto.

Na Tabela 38 encontram-se os valores da DQO do substrato do reator controle (25 mgO_2/L) tomada como DQO_e , e ainda os valores das DQO_o das demais amostras que receberam a adição do NaCl.

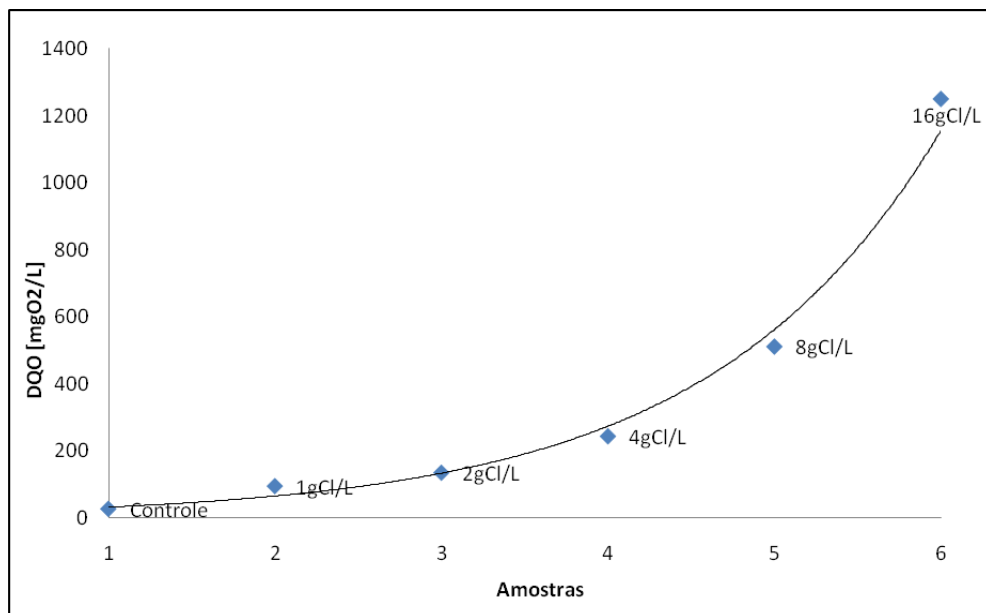


Figura 32 - DQO das amostras do reator controle adicionadas de diferentes concentrações de cloretos.

Tabela 38 - Porcentagem de erro na determinação da DQO das amostras do reator controle em função da concentração de cloretos adicionada.

DQO_e = 25mgO₂/L		
Cloreto – g/L	DQO_o – mgO₂/L	Erro - %
0	25	--
1	93	272
2	133	432
4	242	868
8	510	1940
16	1250	4900

DQO_e = DQO esperada, DQO_o = DQO obtida.

$$\text{Erro} = (\text{DQO}_o - \text{DQO}_e) * 100 / \text{DQO}_e$$

Mesmo que se tenham assumido valores de DQO_e, fica claro que a metodologia utilizada para determinação da DQO sofre influência dos cloretos. Analisando as Tabelas 36, 37 e 38 observa-se que quanto menor a quantidade de matéria orgânica maior a possibilidade de erro, e quanto maior a quantidade de cloreto, maior será o erro de determinação da DQO.

Ao se analisar as Figuras 31 e 32 em conjunto (Figura 33), percebe-se que na presença da lactose a DQO gerada exclusivamente em função do cloreto não é a mesma. Na presença da lactose pode-se dizer que o efeito do cloreto na forma de cloreto de sódio só pode ser observado quando em concentrações superiores a 2 gCl/L.

De acordo com Ma e Gao (2010) a diluição de amostras para que se tenha valores inferiores a 2 gCl/L pode garantir o efeito de inibição dos cloretos pelo sulfato de mercúrio (HgSO₄) entretanto, ao mesmo tempo dilui-se a concentração de matéria orgânica das amostras o que faz com que a chance de erro na determinação da DQO aumente.

Segundo os autores supracitados, a taxa cinética de reação da matéria orgânica com o agente oxidante dicromato de potássio é maior que a taxa cinética de reação do cloreto com o dicromato de potássio, ou seja, quanto maior a quantidade de matéria orgânica da amostra menor será a quantidade de dicromato de potássio disponível para oxidação dos cloretos e conseqüentemente menor será a interferência do mesmo.

Levando-se em conta a forma como foi realizado o segundo teste e os resultados obtidos, pode ser que a necessidade de diluição das amostras com concentração de cloreto superior a 2 gCl/L pode ser uma das causas do aumento da interferência dos cloretos como se observa na Figura 31.

Resultado semelhante foi observado por Souto (2009). Em amostras com até 2 gCl/L o efeito do íon é praticamente nulo na determinação da DQO de amostras que além do cloreto continham lactose 0,5 g/L.

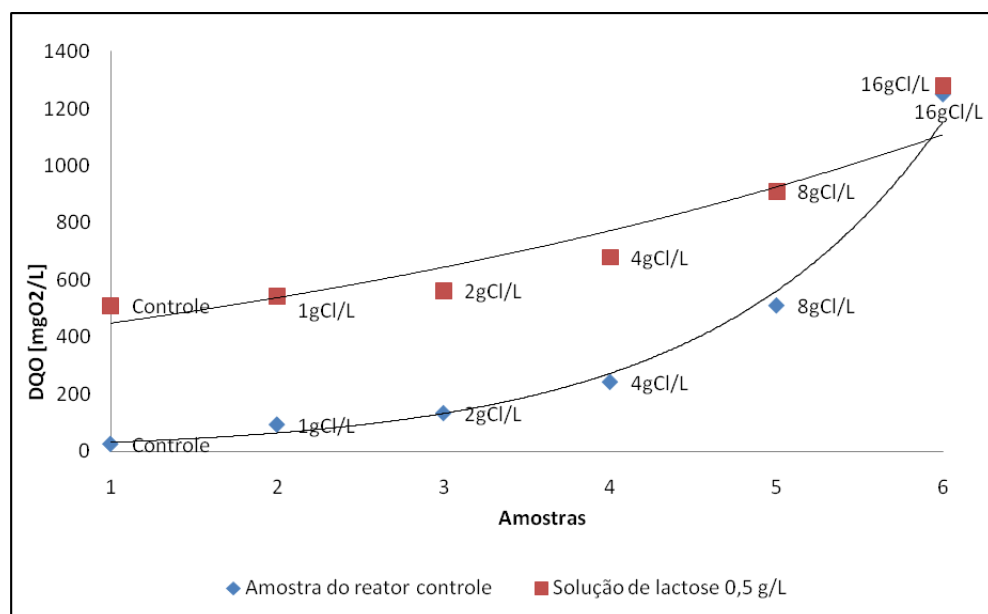


Figura 33 - DQO das amostras do reator controle e da solução de lactose 0,5 g/L adicionadas de diferentes concentrações de cloreto.

Saral e Goncaloğlu (2008) também afirmam que quanto menor a quantidade matéria orgânica da amostra maior a interferência do cloreto na determinação da DQO dessas amostras. Esse mesmo resultado já havia sido observado anteriormente neste trabalho. No item 5.2.3 na Figura 28 observa-se que a quantidade de matéria orgânica nos reatores, determinada pelas medidas de COT, era baixa. Entretanto na Figura 29 os valores de DQO observados foram altos, ratificando que na presença de pouca matéria orgânica o efeito do cloreto na medida de DQO é maior.

Kylefors, Ecke e Lagerkvist. (2003) estudando a interferência de substâncias inorgânicas de lixiviados de aterros sanitários (cloretos, entre outros) concluíram que aproximadamente 1/3 da DQO é devido a presença dessas substâncias e que a DQO não pode nesses casos ser a única forma de determinação da matéria orgânica.

Muitos autores sugerem diferentes formas de se eliminar a interferência dos cloretos na determinação da DQO, na maioria dos casos os processos são complexos e praticamente inviáveis, no entanto, três delas são relativamente simples. A primeira, e mais óbvia, seria a diluição das amostras, mas como já foi discutido dependendo da concentração de matéria orgânica da amostra o índice de erro pode ser grande.

A segunda seria o aumento da concentração de sulfato de mercúrio (HgSO_4) proposta no Standard methods for examination of water and wastewater. Contudo, segundo Ma e Gao (2010) existem condições específicas de relação entre a quantidade de matéria orgânica e a concentração de cloreto em que o aumento da concentração de sulfato de mercúrio pode inibir a interferência dos cloretos.

A terceira foi proposta por Saral e Goncaloğlu (2008) que sugerem uma equação (Equação 4) para determinação da interferência dos cloretos na determinação da DQO para esgoto sanitário.

$$DQO_{Cl.} = 0,0277 * x \quad (4)$$

Nesta equação ' $DQO_{Cl.}$ ' representa o valor de DQO resultante da presença dos cloretos e ' x ' é a concentração de cloreto presente nas amostras em mg/L. De acordo com os autores o valor real da DQO de amostras que contém cloretos é obtido pela diferença entre o valor medido e o valor de ' y ' calculado a partir da Eq. 3.

Aplicando-se os conceitos propostos por Saral e Goncaloğlu (2008) aos resultados deste trabalho, não foi possível definir um modelo numérico que determine a interferência dos cloretos na determinação da DQO. O que se observou mais uma vez foi que existe um alto

percentual de erro na determinação da DQO de amostras com cloretos principalmente quando as concentrações de cloreto são superiores a 2 gCl/L.

6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados pode-se concluir que:

1° A presença de cloretos, na forma de NaCl, no substrato dos reatores biológicos do tipo lodos ativados, tem efeito tóxico aos organismos, principalmente protozoários, quando em concentrações superiores a 4 gCl⁻/L. Concentrações superiores a 4 gCl⁻/L podem causar também, rompimento e descompactação dos flocos biológicos o que aumenta a concentração de material em suspensão e conseqüentemente a turbidez do efluente.

2° Os organismos mais sensíveis à presença dos cloretos são os das Classes Ciliata, por exemplo, *Euplotes sp*, *Aspidisca sp* e *Paramecium sp*, e os da Classe Rotífera, por exemplo, *Philodina sp*.

3° Ao que tudo indica, incrementos muito rápidos de NaCl causam um efeito tóxico imediato na biomassa. Entretanto, dependendo da concentração aplicada, a biomassa parece ser capaz de se reestabelecer conforme foi observado no reator 2 do primeiro experimento em que foram adicionados cloretos na concentração de 1 gCl⁻/L.

4° Concentrações de cloreto superiores a 4 gCl⁻/L são letais aos protozoários, causam rompimento e descompactação dos flocos biológicos entretanto, parecem não ter o mesmo efeito tóxico sobre as bactérias. A eficiência de remoção de matéria orgânica tenha diminuído.

5° A presença dos cloretos na forma de NaCl causa perda de eficiência de remoção de matéria orgânica. Considerando-se o COT como parâmetro de referência, a eficiência de remoção de matéria orgânica dos sistemas caiu de 98% para até 64% quando a concentração de cloreto variou de 0 a 16 gCl⁻/L.

6° A adição de cloretos não tem influência na determinação do COT levando-se em consideração a metodologia utilizada.

7° Em relação ao parâmetro DBO, não é possível definir com certeza o efeito da adição dos cloretos ao método utilizado, pois o número de análises foi pequeno. Mesmo assim, de acordo com o que foi observado, é bastante provável que o cloreto na forma de NaCl tenha influência negativa na determinação desse parâmetro.

8° No caso da DQO, os resultados obtidos permitem concluir que os cloretos tem influência na determinação desse parâmetro, levando-se em consideração a metodologia utilizada. Mesmo respeitando-se o limite de cloretos que pode ser neutralizado pelo sulfato de mercúrio, o efeito do cloreto foi constatado. Observou-se que a presença dos cloretos gera uma demanda que não era da matéria orgânica presente nas amostras. Mesmo em amostras preparadas com NaCl puro foram obtidos altos valores de DQO.

9° Os resultados das determinações de DQO, também permitem concluir que a influência dos cloretos pode ser maior ou menor, dependendo da concentração de matéria orgânica presente nas amostras. Amostras com maior quantidade de matéria orgânica têm menor influência ds cloretos.

10° O método 5220D do *Standar Methods for Examination of Water and Wastewater* parece não ser o mais recomendado para determinação do parâmetro DQO. Sendo assim, pode-se dizer também que este método não é o mais indicado para avaliação de eficiência de remoção de matéria orgânica em sistemas onde há excesso de cloretos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AQUINO, S.F.; SILVA, S.Q.; CHERNICHARO, C.A.L. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (dco) aplicado a análise de efluentes anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 295-304. 2006.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 21^a ed. Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2005. Paginação variada.

BENTO, A.P.; SEREZINO, P.H.; PHILIPPI, L.S.; REGINATTO, V.; LAPOLLI, F.R. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: Um instrumento de avaliação e controle do processo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 329-338. 2005

CAMPOS, J.L.; CORRAL, M.A.; SANCHEZ, M.; MÉNDEZ, M.; LEMA, J.M. Nitrification in saline wastewater with high ammonia concentration in an activated sludge unit. **Water Research**, v. 36, n. 10, p. 2555–2560. 2002.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Curtumes**. São Paulo: CETESB, 2005. 76 p. (Série P + L).

DÍAZ, M.P.; BOYD, K.G.; GRIGSON, S.J.W.; BURGESS, J.G. Biodegradation of crude oil across a wide range of salinities by an extremely halotolerant bacterial consortium MPD-M, immobilized onto polypropylene fibers. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 79, N. 2, p. 145-153. 2002.

FREIRE, D.D.C.; SANT'ANNA JR, G.L. A proposed method modification for the determination of COD in saline waters. **Environmental Technology**, v. 19, p. 1243-1247. 1998.

GILMOUR, D. Halotolerant and halophilic microorganisms. In: EDWARDS, C. **Microbiology of Extreme Environments**. 1^a ed. New york: Mcgraw-Hill, 1990. p. 147-177.

GUO, J.; ZHOU, J.; WANG, D.; TIAN, C.; WANG, P.; UDDIN, M.S. A novel moderately halophilic bacterium for decolorizing azo dye under high salt condition. **Biodegradation**, v. 19, p. 15-19. 2008.

JENKINS, D.; RICHARD, M.G.; DAIGGER, G.T. **Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems**. 3^a ed. Londres: Lewis Publishers, 1993. 193 p.

KARGI, F.; DINCER, A.R. Effect of salt concentration on biological treatment of saline wastewater by fed-batch operation. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 19, n. 7, p. 529-537. 1996.

KARGI, F.; DINCER, A.R.. Biological treatment of saline wastewater by fed-batch operation. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 69, n.2, p. 167–172. 1997.

KARGI, F.; DINCER, A.R.; PALA, A. Characterization and biological treatment of pickling industry wastewater. **Bioprocess Engineering**, v. 23, n. 4, p. 371-374. 2000.

KINCANNON, D.F., GAUDY, A.F. Response of biological waste treatment systems to changes in salt concentrations. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 10, p. 483-496. 1968.

KUBO, M.; HIROE, J.; MURAKAMI, M.; FUKAMI, H.; TACHIKI, T. Treatment of hypersaline-containing wastewater with salt-tolerant microorganisms. **Journal of Bioscience And Bioengineering**, v. 91, n. 2, p. 222-224. 2001.

KYLEFORS, K.; ECKE, H.; LAGERKVIST, A. Accuracy of COD test for landfill leachates. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 146, n. 1-4, p. 153-169. 2003.

LEFEBVRE, O.; MOLETTA, R. Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: a literature review. **Water Research**, v. 40, n.20, p. 3671-3682. 2006.

LEFEBVRE, O.; VASUDEVAN, N.; TORRIJOS, M.; THANASEKARAN, K.; MOLETTA, R. Halophilic biological treatment of tannery soak liquor in a sequencing batch reactor. **Water Research**, v. 39, p. 1471-1480. 2005.

LUDZACK, F.J.; NORAN, P.K. Tolerance of high salinities by conventional wastewater treatment process. **Journal Water Pollution Control Federation**, v. 37, n. 10, p. 1404-1416. 1965.

MA, X.; GAO, Y. Determination of chemical oxygen demand for saline wastewater. In: THE 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOINFORMATICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING, 2010, Chengdu. **Paper...2010**. p. 1.

MADONI, P. A sludge botic 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.

McCARTY, P.L. Anaerobic waste treatment fundamentals: Part three – Toxic material and their control, process design. **Public Works**, v. 95, p. 91-94. 1964.

McKINNEY, R. E. Population dynamics. In: McKINNEY, R. E. **Microbiology for Sanitary Engineers**. New York: McGraw-Hill, 1962. p. 136-141.

MENENDÉZ, M.A.M.; MARRERO, M.A.D Influencia de la presencia de iones cloruro en un sistema de lodo activado. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 35-39. 2000.

MESQUITA, D.P.; AMARAL, A.L.; FERREIRA, E.C.; COELHO, M.A.Z. Study of saline wastewater influence on activated sludge flocs through automated image analysis.. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**; v. 84, p. 554–560. 2009.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4^a ed. International Edition. Revisada por TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F.L.; STENSEL, H.D. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p. (McGraw-Hill in civil and environmental engineering).

MORIGAKI, M. K.; CHIMIN, R. Q. F.; SAD, C. M. S.; FILGUEIRAS, P. R.; CASTRO, E. E. V. R.; DIAS, J. C. M. Salinidade em petróleo bruto: otimização de metodologia e proposta de um novo método para extração de sais em petróleo. **Química. Nova**, v. 33, n. 3, p. 607-612, 2010.

NG, H.Y.; ONG, S.L.; NG, W.J. Effects of sodium chloride on the performance of a sequencing batch reactor. **Journal of Environmental Engineering**, v. 11, p. 1557–1564. 2005.

OREN, A. Bioenergetic aspects of halophilism. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 63(2), p. 334-348, jun. 1999.

OREN, A. Diversity of halophilic microorganisms: Environments, phylogeny, physiology, and applications. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 28, p. 56-63. 2002.

OREN, A.; GUREVICH, P.; MALKIT, A.; HENIS, Y. Microbial degradation of pollutants at high salt concentrations. **Biodegradation**, v. 3, n. 2, p. 387-398. 1992.

PERNETTI, M. Di PALMA, L. Experimental evaluation of inhibition effects of saline wastewater on activated sludge. **Environmental Technology**, v. 26, p. 695-703. 2005.

PEYTON, B.M.; MORMILE, M.R.; ALVA V.; OIE, C., ROBERTO, F.; APEL, W.A.; OREN, A. Biotransformation of toxic organic and inorganic contaminants by halophilic bacteria. In: Ventosa A (ed) Halophilic microorganisms. Springer, Berlin Heidelberg New York, p. 315–331. 2004.

RIBEIRO, R.R.; MESQUITA, D.P.; COELHO, M.A.Z. Estudo da aclimação da flora microbiana a concentrações crescentes de efluente “in natura” da indústria de pescado em reator batelada seqüencial. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 6, n. 3, p. 625-640. 2009.

SALT INSTITUTE. Disponível em: <<http://www.saltinstitute.org/About-salt>>. Acesso em: 29 de jul. 2010.

SALVADÓ, H.; MAS, M.; MENENDÈZ, M.; GRACIA, M. P. Effects of shock loads of salts on protozoan communities of activated sludge. **Acta Protozoologica**, v. 40, n.3, p. 177-185. 2001.

SARAL, A.; GONCALOĞLU, B.I. Determination of real COD in highly chlorinated wastewater. **Clean. Soil, air, water**, v. 36, n. 12, p. 996-1000. 2008.

SISINNO, C.L.S. **Destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais no estado do Rio de Janeiro: avaliação da toxicidade dos resíduos e suas implicações para o ambiente e a saúde humana**. 102 p. Tese de Doutorado. Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2002.

SOUTO, G.D.B. **Lixiviados de aterros sanitários brasileiros - estudo de remoção de nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”)**. 371 p. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

UYGUR, A.; KARGI, F. Salt inhibition on biological nutrient removal from saline wastewater in a sequencing batch reactor. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 34, p. 313-318. 2004.

VAZOLLÉR, R.F.; GARCIA, M.A.R.; GARCIA JÚNIOR, A.D.; CONCEIÇÃO NETO, J. **Microbiologia de Lodos Ativados**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1989. 23 p. (Série Manuais).

VITOLO, S., PETARCA, L., BRESCI, B. Treatment of olive oil industry wastes. **Bioresource Technology**, v. 67, n. 2, p. 129–137. 1999.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento biológico de esgotos**. 5ª Impressão (2003). Belo Horizonte: DESA-UFMG (Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais), 1996. 211 p. (Série Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, 2).

WOOLARD, C.R.; IRVINE, R.L. Treatment of hypersaline wastewater in the sequencing batch reactor. **Water Research**, v. 29, n. 4, p. 1159–1168. 1995.