



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



Estudo de Caso de Avaliação da eficiência do tratamento biológico de lodos ativados

Autor: Jaqueline Benvenuti

Orientador: Prof. Mariliz Gutterres

Porto Alegre, julho de 13

Sumário

Sumário	ii
Resumo	iii
Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	v
Lista de Abreviaturas e Siglas	vi
1 Introdução	1
2 Revisão Bibliográfica	2
2.1 Relevância do tratamento de efluentes industriais	2
2.2 Caracterização dos efluentes	2
2.2.1 Controle do oxigênio dissolvido (OD)	3
2.2.2 Indicadores de matéria orgânica	4
2.2.3 Controle de sólidos	5
2.2.4 Remoção de nitrogênio e fósforo	6
2.2.5 Cloretos	6
2.3 Tratamento biológico de efluentes	6
2.4 Análise do Sistema de Lodos Ativados	8
2.4.1 Tempo de detenção hidráulica e idade do lodo	9
2.4.2 Tempo de varrimento celular	10
2.4.3 Índice Volumétrico de Lodo (IVL)	10
2.5 Tratamento de efluentes de curtume	11
2.5.1 Pré-Tratamento	11
2.5.2 Tratamento Primário	12
2.5.3 Tratamento Secundário	12
2.5.4 Tratamento Terciário	13
3 Materiais e Métodos	14
3.1 Descrição da ETE e obtenção do efluente	14
3.2 Ensaios	16
3.2.1 Análise de Sólidos	17
3.2.2 Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	17
3.2.3 DBO E DQO	18
3.2.4 Fósforo	18
3.2.5 Carbono Orgânico Total (COT)	18
3.2.6 Cloretos	18
3.2.7 Parâmetros de operação - IVL, Θ_c e t	18
4 Resultados	19
5 Conclusões e Trabalhos Futuros	28
6 Referências	29

Resumo

Devido ao constante aumento das exigências e fiscalização dos órgãos ambientais quando do lançamento de efluentes industriais nos corpos receptores, as indústrias vem procurando tratar adequadamente seus efluentes e, para isso, necessitam de um sistema de tratamento que seja eficiente. Este trabalho foi realizado com a finalidade de contribuir com este propósito. O tratamento biológico de efluentes é uma etapa de extrema importância do ponto de vista da produção mais limpa, visto que não demanda a adição de produtos químicos, e é uma etapa que deve ser otimizada para garantir um tratamento eficiente. Assim, foram coletadas amostras de efluentes de um curtume nos seguintes pontos da ETE: entrada da lagoa de aeração, saída da lagoa de aeração, lodo de retorno do decantador secundário e saída do decantador secundário. Nestes pontos foram avaliados COT, DBO₅, DQO, NTK, Sólidos e Cloretos, além de parâmetros do sistema como tempo de detenção hidráulica (t), índice volumétrico de lodo (IVL) e idade do lodo (θ_c). Com um tempo de detenção hidráulica de aproximadamente 10 dias e operando com idade de lodo adequada (23 dias), a análise dos valores obtidos indicou uma remoção de 80% de COT ao final do tratamento secundário, apresentando uma eficiência satisfatória para este parâmetro, porém, mesmo com um tempo de detenção no sistema elevado, verificou-se pouca alteração em parâmetros como sólidos e NTK. Verificou-se uma alta concentração de cloretos que podem estar prejudicando a atuação dos microrganismos do sistema de lodos ativados, e refletindo em parâmetros como a remoção de nitrogênio e os sólidos dissolvidos. É necessário reavaliar o sistema de tratamento secundário a fim de adequá-lo, da melhor maneira, às características do efluente que entra na lagoa de aeração, oriundo do tratamento primário, visando aumentar os índices de remoção para todos os parâmetros analisados.

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema de lodos ativados com descarte na linha de reciclo.....	9
Figura 2. Sistema de lagoas de aeração com aeradores submersos.....	15
Figura 3. Indicação dos pontos de coleta dos efluentes.....	16
Figura 4. Amostra dos efluentes com seu respectivo ponto de coleta.....	16
Figura 5. Concentração de nitrogênio total no efluente das duas coletas.....	19
Figura 6. Carbono orgânico total nas amostras de efluente da coleta 2.....	21
Figura 7. Composição dos sólidos no efluente – frações analisadas.....	22
Figura 8. Concentração de sólidos totais (fixos e voláteis) no efluente da coleta 1.....	22
Figura 9. Concentração de sólidos totais (fixos e voláteis) no efluente da coleta 2.....	24
Figura 10. Concentração de cloretos no efluente.....	24
Figura 11. Análise de DQO e DBO ₅ para coleta 1.....	25
Figura 12. Concentração de fósforo total no efluente do tratamento biológico.....	26
Figura 13. Porcentagem de remoção dos parâmetros analisados no tratamento biológico de efluentes do curtume.....	27

Lista de Tabelas

Tabela 1: Interpretação das condições de sedimentabilidade do lodo.	11
Tabela 2: Amostras de efluente coletadas e análises realizadas.....	16
Tabela 3: Parâmetros de operação do sistema de tratamento.	19
Tabela 4: Apresentação geral dos resultados obtidos nas análises para os parâmetros avaliados.	23

Lista de Abreviaturas e Siglas

ARIP – Aterro de Resíduos Industriais Perigosos

CD2 – Clarificado do Decantador Secundário

COT – Carbono Orgânico Total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio em análise conduzida por cinco dias

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ELA – Efluente da Lagoa de Aeração

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

IVL – Índice Volumétrico de Lodo

LR – Lodo de Retorno

NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl

OD – Oxigênio Dissolvido

SLA – Saída da Lagoa de Aeração (Licor)

ST – Sólidos Totais

SFT - Sólidos Fixos Totais

SVT – Sólidos Voláteis Totais

SDT - Sólidos Dissolvidos Totais

SDF – Sólidos Dissolvidos Fixos

SDV - Sólidos Dissolvidos Voláteis

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSF – Sólidos Suspensos Fixos

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

SSTA – Sólidos Suspensos no Tanque de Aeração

SSRL – Sólidos Suspensos no Lodo de Retorno

S - Concentração de substrato

X - Concentração de microrganismos

Q - Vazão de alimentação

Q'w - Vazão de líquido contendo células biológicas a serem removidos do sistema

Qe - Vazão de líquido na unidade de decantação

V_r – Volume do reator (tanque de aeração)

t – Tempo de detenção hidráulica

θ_c – Idade do lodo

H₃₀ - altura de sólidos após 30 minutos de decantação

H₀ - altura inicial (em t₀)

1 Introdução

Atualmente, o gerenciamento dos recursos hídricos, o controle da poluição e a preservação ambiental estão entre os maiores desafios tanto para o setor produtivo e a população de modo geral, quanto para os órgãos reguladores do país. Sabe-se da importância destes recursos no desenvolvimento econômico e social de um povo e que, frequentemente, surgem problemas de escassez e deterioração da qualidade da água causada principalmente pelo despejo de esgotos domésticos e industriais tratados inadequadamente ou, simplesmente, não tratados.

O setor industrial consome aproximadamente 17% da demanda total de água captada destinada a atender os diversos usos consuntivos, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2012). É, também, responsável pelo descarte de um volume considerável de efluentes, induzindo à preocupação quanto ao tratamento e destino final dos efluentes e aos possíveis impactos relacionados aos seus despejos no meio ambiente e qualidade das águas.

Neste contexto, a Indústria do Couro, uma das mais antigas e tradicionais no país, gera uma grande quantidade de efluentes líquidos, com alto potencial de contaminação e degradação do ambiente, devido aos produtos químicos empregados e à elevada carga orgânica associada às peles. Para alcançar os padrões de emissão exigidos pelo órgão ambiental, e preocupada com a conservação do meio ambiente, a Indústria do Couro vem empreendendo esforços para tratar os efluentes líquidos e dar uma destinação adequada aos lodos e resíduos gerados nos processos.

Nas estações de tratamento de efluentes de curtume, o sistema de tratamento tradicionalmente utilizado consiste, basicamente, de duas etapas: tratamento primário (físico-químico) e tratamento secundário (biológico).

O tratamento primário atua na remoção de cromo e sólidos grosseiros, e envolve a adição de produtos químicos. O biológico é responsável pela remoção de matéria orgânica biodegradável e de alguns nutrientes. Os efluentes provenientes de curtumes possuem elevada carga orgânica, especialmente devido ao conteúdo de proteínas degradadas liberadas pela pele nas etapas iniciais de processamento do couro. Uma técnica amplamente utilizada é o tratamento por lodos ativados, que consiste em adicionar oxigênio no efluente (aeração artificial) para promover a reprodução rápida de microrganismos que utilizam a matéria orgânica como fonte de energia, promovendo a sua oxidação, reduzindo o conteúdo orgânico presente no efluente.

Para realizar o controle operacional e verificar a eficiência da estação de tratamento, os seguintes parâmetros são analisados nas águas residuais: sólidos totais (suspensos e dissolvidos), NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl), DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e COT (Carbono Orgânico Total), e outros como cloretos e demais análises necessárias em função das características do efluente.

O objetivo deste trabalho de conclusão foi avaliar, através desses parâmetros, a eficiência do tratamento biológico de efluentes de um curtume, quantificando a porcentagem de remoção desses índices, via análises em laboratório, e discutindo os resultados e possibilidades de melhorias.

2 Revisão Bibliográfica

Neste capítulo são abordados os conceitos envolvidos no tema do tratamento de efluentes industriais, as características dos efluentes e os parâmetros a serem avaliados em uma ETE para garantir o bom funcionamento e eficiência do sistema de tratamento.

2.1 Relevância do tratamento de efluentes industriais

A poluição gerada pelas atividades industriais e os produtos consumidos envolvidos causam danos ao meio ambiente e por consequência à saúde da população.

Com um modelo de desenvolvimento baseado na produtividade e no consumo, e os novos materiais e tecnologias de produção em massa, a indústria vem disponibilizando à sociedade uma maior oferta de produtos. Aliado a apelos econômicos e de marketing cria-se uma ‘sociedade do consumo’, aumentando significativamente o volume de resíduos e seus impactos no meio ambiente (SANTOS, 2005).

Lançar os resíduos o mais longe possível da fonte geradora, sem se preocupar com os efeitos decorrentes dessa ação, não é mais aceitável. Com as regulamentações cada vez mais restritivas, em busca de um desenvolvimento sustentável, as empresas são levadas a tomar medidas para controlar a poluição ambiental (SIMIÃO, 2011).

A postura adotada, de apenas atender à legislação ambiental, não é o ideal:

“Deve se incorporar os fatores ambientais nas metas, políticas e estratégias da empresa, considerando os riscos e os impactos ambientais não só de seus processos produtivos, mas também de seus produtos. Assim, a proteção ambiental passa a fazer parte de seus objetivos de negócios e o meio ambiente não é mais encarado como um adicional de custo, mas como uma possibilidade de lucros, em um quadro de ameaças e oportunidades para a empresa” (SANCHES, 2000, p.78).

O problema das tecnologias de controle de fim de tubo – sem realizar intervenções no processo produtivo – que ocorre na maior parte das indústrias, é que apenas se transferem os poluentes de um meio para outro. O controle atua no sentido de neutralizar ou concentrar a carga poluente, para que o resíduo possa, então, ser adequadamente disposto em aterros, lançado na atmosfera ou em rios (EPA, 1992).

2.2 Caracterização dos efluentes

O potencial de poluição de águas residuais é diretamente proporcional à concentração dos seus componentes poluentes. A caracterização física, química e biológica dos efluentes, torna possível estabelecer o sistema de tratamento necessário para assegurar a viabilidade da água para reutilização ou para evitar a degradação das águas receptoras quando do descarte (GUTTERRES e AQUIM, 2013).

Características físicas

A característica física mais importante nas águas residuárias é o teor de sólidos totais, o qual é composto de matéria em suspensão, coloidal e em solução. Outras importantes características físicas incluem a distribuição de tamanho de partícula, turbidez, cor e

temperatura. Odor, algumas vezes, também é considerado um fator físico (TCHOBANOGLIOUS, 2003).

A variação da ordem de grandeza ou concentração de algumas destas características tem implicações de diferentes naturezas. Se a temperatura do efluente lançado não for compatível com a temperatura do corpo receptor, ocorrem alterações na vida aquática e na solubilidade do oxigênio. Já a emissão de odor ou o mau cheiro resultante da decomposição da matéria orgânica é um problema aos que convivem com o ambiente de odor desagradável, como os trabalhadores e a população em torno da fonte geradora (LEME, 2010).

Características químicas

Os efluentes são constituídos por componentes orgânicos e inorgânicos. Os compostos orgânicos são representados pela combinação de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio (nas formas amoniacal e orgânica). Os compostos inorgânicos são representados pelo oxigênio dissolvido, nitrogênio (nas formas de nitrito e nitrato), metais, fósforo, enxofre na forma de gás sulfídrico (H_2S), gás carbônico (CO_2) e diferentes formas de sais (carbonatos, bicarbonatos, fosfatos, etc.) (LEME, 2010).

Para conhecer a concentração da carga orgânica existente no efluente, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é o parâmetro mais usado. Ela envolve a quantidade de oxigênio dissolvido usado pelos microrganismos para oxidação bioquímica da matéria orgânica. A DBO é obtida com tempo de incubação de cinco dias e é chamada DBO_5 .

A DQO é também um parâmetro usado, que mede a quantidade de oxigênio equivalente para a oxidação química da matéria orgânica, por meio de um agente oxidante em meio ácido. Outro parâmetro de natureza química utilizado para caracterizar efluentes é o Carbono Orgânico Total (COT), pois o teor de carbono é um indicador da presença de matéria orgânica no efluente (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

Características biológicas

Os principais componentes das águas residuárias e esgotos são os microrganismos representados pelos coliformes fecais, coliformes totais e pelos agentes patogênicos (organismos que podem transmitir e causar doenças de veiculação hídrica).

Podem ser utilizados, para remover patogênicos, processos naturais, como as lagoas de maturação, a disposição no solo, ou processos artificiais como a cloração, a ozonização e o uso de radiação ultravioleta (LEME, 2010).

Para realizar esta caracterização dos efluentes, os índices comumente avaliados são: DBO, DQO, COT, Oxigênio Dissolvido (OD), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Fósforo Total, Sólidos (Dissolvidos, Suspensos e Sedimentáveis – Fixos e Voláteis) e sais. Na sequência, uma análise destes parâmetros e sua importância no controle operacional de uma ETE para um bom funcionamento do sistema biológico de tratamento.

2.2.1 Controle do oxigênio dissolvido (OD)

O nível de oxigênio dissolvido na água deve ser monitorado, pois parte dos organismos aquáticos necessitam deste gás em seu metabolismo. Quando poluentes orgânicos biodegradáveis são lançados no corpo receptor, as bactérias originalmente

presentes na água degradam esses compostos e consomem o oxigênio dissolvido. Portanto, os processos de tratamento devem remover a matéria orgânica até que se atinjam níveis que não causem comprometimento dos sistemas aquáticos (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

Geralmente, há uma taxa de oxigênio que deve ser suprida para garantir a eficiência do tratamento biológico. Numa estação de tratamento de efluentes, devido às variações diurnas das cargas de DBO e amônia, a demanda de oxigênio apresenta uma variação temporal. Adota-se frequentemente uma taxa de transferência de oxigênio correspondente à demanda de pico, para garantir que não haja períodos de subaeração. O controle do oxigênio dissolvido objetiva que o suprimento de oxigênio se aproxime ao consumo do mesmo (VON SPERLING, 2002).

Há vários tipos de sistemas de aeração empregados para o tratamento de águas residuárias. A escolha depende da função, tipo e geometria do tanque de aeração e custo para instalar e operar o sistema (TCHOBANOGLIOUS, 2003).

De acordo com Von Sperling (1996), os tipos de sistemas de aeração artificial mais comumente utilizados são:

- aeração mecânica: causa turbilhonamento, criando gotículas de líquido em contato com o ar, ocasionando a entrada do ar atmosférico no meio líquido;
- aeração por ar difuso: o ar é introduzido próximo ao fundo do tanque, e a transferência se dá à medida que a bolha formada se eleva à superfície.

2.2.2 Indicadores de matéria orgânica

As diversas substâncias orgânicas presentes em um efluente podem receber a denominação global de matéria orgânica. Esse material pode apresentar-se em suspensão (suspensão no meio líquido e lentamente biodegradável) ou solúvel (dissolvido e rapidamente biodegradável) na fase aquosa (VON SPERLING, 2002; SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

Identificar analiticamente todas as substâncias presentes em um efluente não é um trabalho fácil. Para auxiliar nessa tarefa, foram propostos indicadores globais de matéria orgânica (DBO, DQO e COT) os quais são expressos em termos de demanda de oxigênio.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A determinação da DBO envolve a medição do oxigênio dissolvido utilizado por microrganismos (predominantemente bactérias) na oxidação bioquímica da matéria orgânica (TCHOBANOGLIOUS, 2010).

Simulando a biodegradação dos poluentes presentes num efluente, quando lançado em um corpo receptor, pode-se estimar a demanda de oxigênio pelo ensaio da DBO. A demanda de oxigênio é exercida por diferentes compostos: matéria carbonada e nitrogenada. Devido ao trabalhoso procedimento experimental, a determinação da variação da DBO com o tempo não é feita. Para se obter uma resposta mais rápida, o teste é conduzido por 5 dias, subestimando-se demanda de oxigênio e obtendo-se a DBO₅ que é amplamente utilizada nos trabalhos de caracterização dos efluentes (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O teste de DQO é utilizado para medir a quantidade de oxigênio necessária à oxidação química dos poluentes orgânicos presentes nas águas residuárias (TCHOBANOGLIOUS, 2010).

A demanda de oxigênio medida pode ser decorrente tanto de substâncias biodegradáveis como não biodegradáveis. Devido à facilidade de determinação e o curto tempo necessário para sua determinação, a DQO é amplamente adotada como medida indicadora da concentração de matéria orgânica do efluente. Deve-se ter prudência apenas, pois a presença significativa de substâncias inorgânicas oxidáveis na amostra pode mascarar o resultado da análise (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

Carbono Orgânico Total (COT)

Um indicador de matéria orgânica no efluente é a presença de carbono, visto que esse elemento faz parte das estruturas moleculares das substâncias orgânicas. Uma técnica frequentemente utilizada para monitorar matéria orgânica é, portanto, a determinação do carbono orgânico total (COT) (FONSECA, 2006).

O COT é considerado um parâmetro direto, pois teoricamente abrange todos os componentes orgânicos de uma amostra, independente de seu estado de oxidação. Entretanto, não mede compostos inorgânicos que podem contribuir para a demanda de oxigênio nas análises de DBO e DQO (APHA, 1998). A determinação de COT, portanto, não substitui as análises de DBO ou DQO.

2.2.3 Controle de sólidos

Para avaliar o potencial de reuso de uma água residuária e para determinar os tipos de operações e processos para seu tratamento, as análises comumente empregadas contemplam, quanto às características físicas: Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV), Sólidos em Suspensão Fixos (SSF), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF), Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV) e Sólidos Sedimentáveis.

Sólidos Suspensos são os sólidos que podem levar ao desenvolvimento de depósitos de lodo e condições anaeróbias nas águas residuais não tratadas, quando é descartada no ambiente aquático. Os resultados dos testes de SST são usados rotineiramente para avaliar o desempenho do tratamento convencional (juntamente com a DBO) para efeitos de controle de processo (TCHOBANOGLIOUS, 2010).

Sólidos Dissolvidos são constituídos principalmente de sais inorgânicos, além de pequenas quantidades de matéria orgânica. São os sólidos em solução verdadeira e os que estão em estado coloidal, não retidos em filtração (ABNT NBR 14550, 2000).

Sólidos Fixos e Voláteis: o material que pode ser volatilizado e queimado quando inflamado a $500 \pm 50^{\circ}\text{C}$ é classificado como volátil. Em geral, presume-se que sólidos voláteis são matéria orgânica, apesar de alguns materiais orgânicos não queimarem e alguns sólidos inorgânicos serem consumidos em altas temperaturas. Sólidos fixos incluem o resíduo que permanece depois da amostra ter sido inflamada. Assim, ST, SST e SDT são constituídos de sólidos fixos e sólidos voláteis. A razão entre sólidos voláteis e

sólidos fixos é frequentemente utilizada para caracterizar o efluente no que diz respeito à quantidade de matéria orgânica presente (TCHOBANOGLIOUS, 2010).

2.2.4 Remoção de nitrogênio e fósforo

Os nutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P) devem ser removidos dos efluentes, pois o lançamento excessivo desses elementos no corpo receptor promove o crescimento de microalgas, que podem liberar toxinas para a fase aquosa. Esses nutrientes aceleram o processo de eutrofização, com alteração das propriedades da água e acúmulo de lodo no leito desses corpos receptores (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

O método analítico denominado Kjeldhal permite determinar a contribuição conjunta do nitrogênio orgânico e do nitrogênio amoniacal presentes em uma dada amostra, sendo representado pela sigla NTK (Nitrogênio Total Kjeldhal).

A quantidade de nitrogênio removida no tratamento biológico, como o de lodos ativados, é dependente das condições de operação. Parte do nitrogênio é assimilada pelo lodo biológico e parte pode ser liberada para a atmosfera na forma de N_2 , devido à reação de desnitrificação, que pode ocorrer em ambientes anóxicos presentes nas estações de tratamento. A transformação mais comum, entretanto, é a conversão de formas inorgânicas reduzidas, como NH_4^+ , a formas mais oxidadas nitrito e nitrato (NO_2^- e NO_3^-) (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

O fósforo é um nutriente encontrado nos efluentes na forma de fosfatos, polifosfatos e ortofosfatos. Parte do fósforo pode ser eliminada no tratamento primário se estiver presente na forma particulada, ou ainda, se o teor de cálcio no efluente for suficiente para provocar a precipitação de fosfatos de cálcio (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

Para a remoção biológica do fósforo é essencial a existência de zonas anaeróbias e zonas aeróbias na linha de tratamento. A zona anaeróbia propicia uma vantagem em termos de competição para os organismos armazenadores de fósforo, já que eles podem assimilar o substrato nesta zona antes de outros microrganismos. Desta forma, absorvem o fósforo do meio líquido, sendo removidos do sistema como lodo excedente (VON SPERLING, 2002).

2.2.5 Cloretos

Os cloretos podem prejudicar o crescimento dos microrganismos do sistema de lodos ativados, além de interferir no método de determinação da DQO e da DBO. Por esse motivo deve-se controlar a presença destes sais, verificar seu efeito à microfauna responsável pela degradação da matéria orgânica nesse sistema de tratamento e buscar uma maior remoção deste parâmetro visando uma maior eficiência do tratamento (SANTOS, 2010).

2.3 Tratamento biológico de efluentes

O tratamento biológico é parte essencial do sistema depurador dos efluentes líquidos gerados pelas indústrias de curtumes (MELLA *et al.* 2012). Apesar dos altos índices de eficiência de remoção da carga poluidora alcançados pelo tratamento primário, este

ainda não oferece condições de ser autodepurado pelos corpos receptores (LEMMERTZ, 2012).

Os processos geralmente empregados nos tratamentos secundários são: lodos ativados, lagoas de estabilização que podem ser lagoas anaeróbias que utilizam bactérias, as quais levam à formação de CO_2 e CH_4 , lagoas aeradas que utilizam bactérias e fungos que requerem oxigênio molecular, formando CO_2 e H_2O e biodigestores anaeróbios (LEMMERTZ, 2012).

Lodos Ativados

Unidades de tratamento denominadas tanques de aeração servem, essencialmente, para submeter efluentes brutos ou pré-tratados à aeração artificial, o que consiste no tratamento de lodos ativados (VON SPERLING, 2002).

A aeração artificial pode ser obtida pelo insuflamento de ar comprimido no interior do tanque de aeração ou pela agitação da superfície por meio de aeradores flutuantes. A ação dos dispositivos de aeração consiste em dissolver, no interior do líquido, o oxigênio do ar atmosférico, e em manter a massa abaixo da aeração em constante agitação, de forma a obter a homogeneização de seu conteúdo e de impedir que partículas em suspensão se depositem no fundo do tanque de aeração (GIORDANO, 2004).

Os efluentes brutos ou pré-tratados contêm microrganismos em concentração relativamente baixa, e matéria orgânica abundante. Estes microrganismos, ao ingressarem no tanque de aeração, encontram condições ambientais extremamente propícias para seu desenvolvimento: há alimento em abundância (matéria orgânica) e concentração de oxigênio dissolvido adequada (suprido pela aeração artificial) (VON SPERLING, 2002).

Estas duas condições, aliadas à presença de nutrientes básicos (nitrogênio e fósforo) e outros fatores ambientais, como temperatura e pH adequados, permite que estes organismos se reproduzam rapidamente, agrupando-se em colônias que permanecem em suspensão devido à turbulência causada pelos dispositivos de aeração. Tais colônias formam os chamados flocos de lodo ativado (VON SPERLING, 2002).

À mistura dos flocos bacterianos e efluente denomina-se “licor”. Este licor é enviado continuamente a um decantador secundário, destinado a separar o efluente tratado do lodo. O lodo é recirculado ao tanque de aeração a fim de manter uma relação adequada da concentração de microrganismos em relação à carga orgânica afluyente (BAUR, 2012).

Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são classificadas de acordo com a atividade metabólica predominante na degradação da matéria orgânica, tais como: anaeróbias, facultativas e de maturação ou aeróbias. Elas podem ser distribuídas em diferentes números e combinações, a fim de alcançar a qualidade padrão requerida (PEARSON *et al*, 1995).

As lagoas anaeróbias são normalmente empregadas para estabilização de altas cargas orgânicas aplicadas e atuam como unidade primária em um sistema em série de lagoas. Sua função principal é a degradação da matéria orgânica (DBO e DQO) envolvendo a participação de bactérias facultativas e estritamente anaeróbias. Neste caso, as lagoas são profundas, para reduzir a penetração de luz nas camadas inferiores. A elevada carga

de matéria orgânica faz com que a quantidade de oxigênio consumida nesta etapa seja várias vezes superior à produzida. O tratamento ocorre em duas etapas. Na primeira, as moléculas da matéria orgânica são quebradas e transformadas em estruturas mais simples. Já na segunda, a matéria orgânica é convertida em metano, gás carbônico e água (MEDRI, 1997; SABESP, 2013).

As lagoas facultativas são o tipo mais comum e operam com cargas orgânicas mais leves que as utilizadas nas lagoas anaeróbias, permitindo um desenvolvimento de algas nas camadas mais superficiais e iluminadas. Essas algas, através da atividade fotossintética, oxigenam a massa líquida da lagoa, modificam o pH e consomem nutrientes orgânicos. O termo "facultativo" refere-se à mistura de condições aeróbias e anaeróbias (com e sem oxigenação). Além das condições aeróbias nas camadas superiores, predominam condições anaeróbias em camadas próximas ao fundo da lagoa (MEDRI, 1997; SABESP, 2013).

As lagoas de maturação são predominantemente aeróbias, de baixa profundidade, entre 0,5 a 2,5 metros, que possibilitam a complementação de qualquer outro sistema de tratamento. Em virtude da remoção de grande parte da carga orgânica nos tratamentos precedentes, tem como objetivo principal a remoção de organismos patogênicos e de nutrientes, fazendo de forma mais eficiente devido à incidência da luz solar, já que a radiação ultravioleta atua como um processo de desinfecção (MEDRI, 1997; SABESP, 2013).

O sistema de lagoas de estabilização constitui uma das formas mais simples para o tratamento de efluentes. Atendendo ao principal objetivo de remoção de matéria orgânica carbonácea, no entanto, remove parcialmente nutrientes, e a maior eficiência é atingida nas lagoas de maturação (BAUR, 2012).

Biodigestores

O Biodigestor é um reservatório fechado, onde a matéria orgânica, na ausência de oxigênio, sofre digestão anaeróbia. A ação de decomposição da biomassa é um processo natural de decomposição dos resíduos orgânicos cujos produtos são biofertilizante e biogás (NOGUEIRA, 1986).

Um Biodigestor convencional é um sistema simples utilizado, principalmente, na digestão de resíduos de elevada concentração de sólidos. O reservatório pode ter agitação ou não e aquecimento ou isolamento térmico. Proporciona um alto tempo de detenção hidráulica, visto que o biodigestor geralmente possui um volume bastante elevado.

2.4 Análise do Sistema de Lodos Ativados

No sistema de lodos ativados o efluente é introduzido no reator (tanque de aeração) onde uma cultura de bactérias aeróbias é mantida em suspensão. É um sistema de mistura completa com reciclo. A estabilização de resíduos por microrganismos ocorre apenas na unidade do reator.

Na Figura 1, apresenta-se um esquema de reator biológico de mistura completa com descarte do lodo da linha de reciclo:

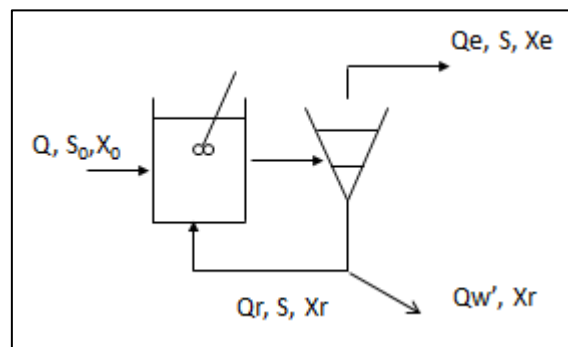


Figura 1. Esquema de lodos ativados com descarte na linha de reciclo.

S = concentração de substrato (DBO)

X = conc. de microrganismos (SSTA)

Q = vazão de alimentação

Q'w = vazão de líquido contendo células biológicas a serem removidos do sistema

Qe = vazão de líquido na unidade de decantação

2.4.1 Tempo de detenção hidráulica e idade do lodo

De acordo com Von Sperling (2002):

“Num sistema com recirculação de sólidos, como o de lodos ativados, os sólidos são separados e concentrados no decantador secundário, retornando posteriormente ao reator (tanque de aeração). O líquido, por outro lado, apesar da recirculação (a qual é interna ao sistema), não sofre variação quantitativa, a menos da retirada da vazão de lodo excedente, a qual pode ser considerada desprezível. Portanto, o que se retém no sistema são apenas os sólidos, devido à separação e adensamento. Assim, os sólidos permanecem mais tempo no sistema do que o líquido, o que gera a necessidade da caracterização dos conceitos de tempo de residência celular e tempo de detenção hidráulica.”

O tempo de detenção hidráulica t representa o tempo médio de permanência das moléculas de água em uma unidade de tratamento. Sendo, o volume de líquido que entra, igual ao que sai, pode-se generalizar, portanto, que o tempo de detenção hidráulica é a razão entre volume do reator e vazão de alimentação (VON SPERLING, 2002).

Tempo médio de detenção hidráulica para o reator:

$$t = \frac{V_r}{Q} \quad [1]$$

Da mesma forma, o tempo de residência celular θ_c (ou tempo de retenção celular, ou ainda, idade do lodo) é dado pela razão entre a massa de sólidos no sistema e a massa de sólidos retirada do sistema por unidade de tempo.

$$\theta_c = \frac{V_r \cdot SSTA}{Q'_w \cdot SSRL} \quad [2]$$

Segundo Von Sperling (2002), valor típico da idade do lodo é 18 a 30 dias. Para o tempo de detenção hidráulica, 16 a 24 horas.

2.4.2 Tempo de varrimento celular

O tempo que uma célula bacteriana permanece no sistema de tratamento (θ_c) deve ser superior ao tempo necessário para a mesma se duplicar. Caso contrário, a célula será varrida do sistema antes que tenha tido tempo de se multiplicar, conduzindo a uma progressiva redução da concentração de biomassa no reator, até o colapso do sistema. (VON SPERLING, 2002).

2.4.3 Índice Volumétrico de Lodo (IVL)

O Índice Volumétrico de Lodo é uma avaliação mais simplificada da sedimentabilidade, com vistas principalmente ao levantamento de dados para o controle operacional da estação. O IVL é definido como o volume ocupado por 1g de lodo após uma decantação de 30 minutos (TCHOBANOGLIOUS, 2010). Assim, ao invés de se determinar o nível da interface a vários intervalos de tempo, faz-se apenas uma medição a 30 minutos.

$$IVL = \frac{H_{30} \cdot 10^6}{H_0 \cdot SSTA} \quad [3]$$

Onde:

H_{30} : altura de sólidos após 30 minutos de decantação

H_0 : altura inicial (em t_0)

SSTA: sólidos suspensos no tanque de aeração (mg/L)

IVL: índice volumétrico de lodo (mL/g)

A interpretação do IVL se faz no sentido de que, quanto maior o seu valor, pior é a sedimentabilidade do lodo, ou seja, o lodo ocupa um maior valor no decantador secundário (VON SPERLING, 2002).

A Tabela 1 apresenta algumas faixas de IVL utilizadas para avaliar a sedimentabilidade na estação de tratamento de esgotos domésticos.

Tabela 1: Interpretação das condições de sedimentabilidade do lodo.

IVL (mL/g)	Sedimentabilidade	Características
0-50	Ótima	Efluente sem turbidez
50-100	Boa	Efluente bom
100-200	Média	Perigo de intumescência e perda do lodo
200-300	Ruim	Lodo “doente”
>300	Péssima	Perda total de lodo

Fonte: VON SPERLING (2002).

2.5 Tratamento de efluentes de curtume

As peles são submetidas a diversos tratamentos químicos e mecânicos a fim de se obter o produto com as características desejadas. As operações químicas são realizadas em meios aquosos, onde são adicionados, dependendo de cada fase do tratamento, ácidos, bases, sais, curtentes, tensoativos, engraxantes, corantes, recurtentes, agentes auxiliares e outros produtos (GUTTERRES, 2008).

O tratamento convencional de efluentes de curtume se dá geralmente pelas etapas de pré-tratamento, tratamento primário (físico-químico), secundário (biológico) e em alguns casos se emprega também o tratamento terciário (tecnologias alternativas para reuso da água). Alguns banhos do processo podem ser tratados separadamente e reciclados ao processo (COOPER *et al.*, 2012; MELLA *et al.*, 2012).

2.5.1 Pré-Tratamento

O pré-tratamento tem como objetivos principais:

- Eliminar materiais grosseiros e abrasivos que podem entupir ou danificar bombas e tubulações;
- Homogeneizar os efluentes, que são extremamente variáveis em qualidade e volume, de modo que possam ser tratados de forma constante e uniforme;
- Neutralizar o pH e eliminar as substâncias tóxicas que possam prejudicar o tratamento biológico;
- Reduzir a carga orgânica e eliminar a maioria dos sólidos suspensos de forma a simplificar o tratamento secundário (JOST, 1990).

Em seguida é feita a descrição das etapas envolvidas no pré-tratamento de efluentes de curtume.

Gradeamento/Peneiramento: é realizado para remover do efluente resíduos de dimensões tais que criariam problemas como desgaste de bombas ou obstruções em tubulações nas etapas posteriores.

Equalização: a equalização é utilizada para superar os problemas operacionais advindos das variações que são observadas na vazão e nas características na maioria dos efluentes líquidos. Os efluentes industriais são armazenados em um tanque, ocorrendo uma regularização da temperatura e da vazão de operação do sistema. O agitador lento deste tanque tem a função de não apenas misturar o efluente, mas também manter os sólidos do efluente suspensos (RAMALHO, 1996).

2.5.2 *Tratamento Primário*

O tratamento primário ou físico-químico consiste de coagulação/floculação seguido por sedimentação primária. O objetivo da floculação é formar agregados ou flocos a partir de partículas finamente divididas e de partículas desestabilizadas quimicamente. Na floculação se dão as colisões entre as partículas desestabilizadas necessárias para formar as partículas maiores, que podem ser facilmente removidas por sedimentação ou filtração (TCHOBANOGLIOUS, 2003). Os flocos formados na etapa de coagulação/floculação são decantados pela ação da gravidade juntamente com as partículas sólidas presentes no efluente, formando-se assim, lodo (sólidos depositados) e clarificado (líquido sobrenadante).

Essa etapa é fundamental para o bom funcionamento das etapas posteriores. No tratamento físico-químico há melhor controle na adição de produtos químicos. E o tratamento biológico é melhorado porque são minimizados os choques de carga e o pH pode ser estabilizado. Mantendo-se uma carga constante de sólidos, a quantidade de efluente e a eficiência do decantador secundário também são melhoradas (SCAPINI, 2007).

2.5.3 *Tratamento Secundário*

O tratamento secundário, também conhecido como biológico, tem como principal objetivo a degradação da matéria orgânica presente no efluente clarificado proveniente do tratamento primário.

O tratamento biológico pode operar em condições aeróbias ou anaeróbias; destas, a última não apresenta bons resultados para efluentes de curtume sendo, portanto, predominante a utilização de processos aeróbios no tratamento secundário de efluentes destas indústrias (JOST, 1990).

Sedimentação final

A sedimentação secundária produz lodo biológico. Parte deste pode ser recirculada para o sistema secundário com a finalidade de obter biomassa e parte do lodo em excesso é descartada para destinação final. O líquido sobrenadante (clarificado) constitui o efluente tratado e, desde que atenda aos limites estabelecidos pela legislação, pode ser lançado em corpo receptor.

2.5.4 *Tratamento Terciário*

Geralmente após o tratamento biológico o efluente já pode ser enviado ao corpo receptor, porém, algumas empresas praticam ainda um tratamento terciário. Este tratamento pode ser uma etapa físico-química ou com tecnologias alternativas (tratamento biológico terciário, osmose reversa, ultrafiltração e processos oxidativos avançados). Pode-se com isso, reutilizar a água tratada no processo e também, garantir que o efluente tratado retorne ao corpo d'água em qualidade igual ou até superior à água que foi coletada inicialmente para uso no processo.

3 Materiais e Métodos

A etapa experimental do presente trabalho foi realizada no Laboratório de Estudos em Couro e Meio Ambiente (LACOURO) do Departamento de Engenharia Química (DEQUI), da UFRGS, com amostras de efluentes coletadas de um curtume. Algumas análises foram realizadas em outros laboratórios.

Com o intuito de analisar o tratamento biológico da ETE de um curtume e verificar sua eficiência, foram coletadas amostras de efluente de entrada, saída do tanque de aeração, do reciclo do lodo do decantador para o tanque de aeração, e da água clarificada do decantador secundário (posterior ao tanque de aeração).

A partir da pesquisa dos principais parâmetros utilizados para verificar a eficiência de estações de tratamento de efluentes, foram escolhidas as análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Fósforo Total, Cloretos e Sólidos Totais - Dissolvidos, Suspensos e Sedimentáveis - (Fixos e Voláteis), como sendo os mais representativos da qualidade do efluente para uma análise antes e depois da etapa de tratamento biológico.

3.1 Descrição da ETE e obtenção do efluente

O efluente analisado neste estudo é de um curtume escolhido para estudo de caso que processa peles verdes e salgadas em etapas de ribeira (onde ocorre a hidratação, limpeza, depilação e preparação da pele para curtimento), curtimento (tratamento das peles transformando-as em materiais imputrescíveis), acabamento molhado (tratamentos de recurtimento, tingimento, engraxe) e acabamento da superfície. Nas etapas de ribeira e curtimento (AQUIM, 2009) ocorrem adições sequenciais de produtos químicos como hidróxido de cálcio, sulfetos e sais de cromo, intercalados por diversas lavagens, gerando uma grande quantidade de efluentes líquidos com altas concentrações de contaminantes e altas cargas de DBO₅ e DQO.

Como o tratamento do efluente exige investimentos e custos operacionais significativos, se faz necessário acompanhar a operação da ETE para garantir que os efluentes sejam lançados atendendo aos padrões exigidos pela legislação ambiental e para obter uma elevada eficiência no processo de tratamento, minimizando os custos sempre que possível.

A seguir, faz-se uma breve descrição da Estação de Tratamento de Efluente (ETE) do curtume:

A ETE trata diariamente um volume aproximado de 300 a 350 m³ de efluente do processo que compreende as etapas de ribeira e curtimento. São produzidos até o *wet-blue* aproximadamente 1200 couros por dia. Os banhos das etapas de caleiro e depilação (onde é retirada epiderme e pelos) são enviados a tanques separados para sedimentação de sólidos e para separação das gorduras sobrenadantes e são reciclados para uso nestas mesmas etapas de processamento. Os banhos residuais de curtimento são segregados e passam por um tratamento físico-químico para precipitação do cromo. Após a remoção do cromo, esse efluente segue com os demais efluentes do processo para um tanque sem agitação que serve como um decantador para sedimentação de sólidos mais grosseiros.

Seguindo o tratamento, o efluente passa por um tanque de equalização, tanques de mistura de produtos químicos e de floculação e um decantador primário - antes de adentrar no tratamento secundário (biológico).

O tratamento biológico é feito em tanques de aeração (Figura 2), onde se trata o efluente pelo processo de lodos ativados. O curtume conta com dois tanques de aeração de 1700 m³ de capacidade, com três aeradores submersos em cada tanque. Há também dois aeradores superficiais disponíveis para ativação caso haja períodos em que seja necessário aumentar a aeração no efluente, como dias de temperatura ambiente elevada, visto que a solubilidade do oxigênio e a sua disponibilidade para os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico, cai gradualmente com o aumento da temperatura. Neste tanque há a entrada de lodo recirculado do decantador secundário para a lagoa, são 5 m³/h para manter a concentração ideal de biomassa no sistema.

A empresa está com um novo tanque de aeração construído para entrar em operação com a finalidade de realizar a etapa de desnitrificação dos efluentes.

Após essa etapa, o efluente segue para o decantador secundário, onde o lodo (decantado) retorna para o tanque de aeração e o clarificado seguiu para o tratamento terciário – uma etapa físico-química, com adição de coagulantes e um decantador final seguido de um filtro de areia e brita, para então ser descartado no corpo receptor.

Para realização das análises deste trabalho foram realizadas duas coletas do efluente, com intervalo de dez dias, a fim de abranger o período determinado como tempo de detenção hidráulica no tanque de aeração.



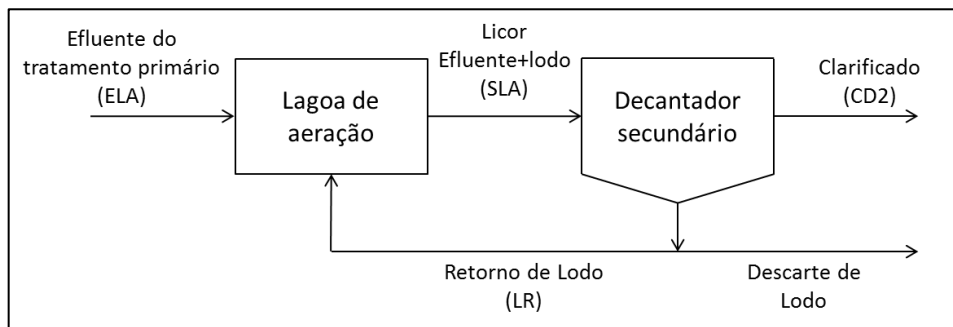
Figura 2. Sistema de lagoas de aeração com aeradores submersos.

O efluente foi analisado em diferentes pontos da etapa biológica de tratamento, conforme Tabela 2, onde são indicadas as análises realizadas e as siglas que serão empregadas ao longo do trabalho para representar os pontos de coleta.

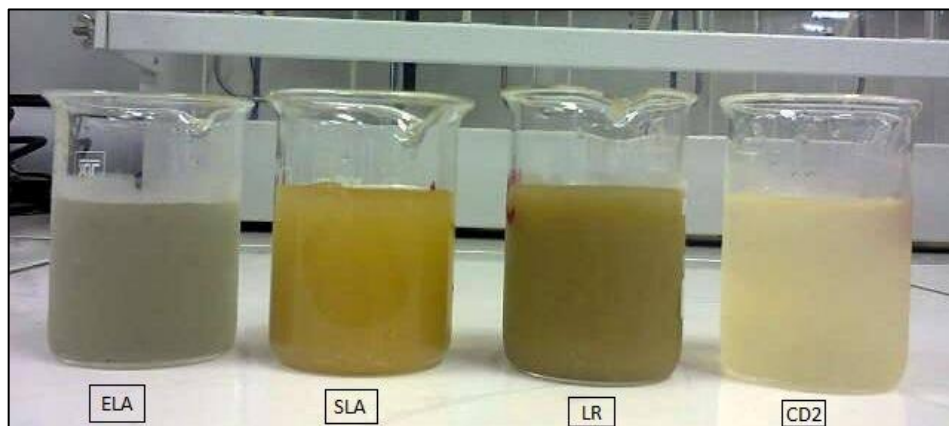
Tabela 2: Amostras de efluente coletadas e análises realizadas.

Pontos	Locais	Análises realizadas
ELA	entrada da lagoa de aeração	DBO ₅ , DQO, COT, Fósforo,
SLA	saída da lagoa de aeração (licor)	Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK),
LR	lodo de retorno do decantador secundário	Cloretos, Sólidos Totais, Dissolvidos, Suspensos e Sedimentáveis (Fixos e Voláteis)
CD2	clarificado do decantador secundário	

A Figura 3 apresenta o esquema de tratamento por lodos ativados e a localização dos pontos onde foram coletadas as amostras de efluente.

**Figura 3.** Indicação dos pontos de coleta dos efluentes.

A Figura 4 mostra os efluentes coletados e o correspondente ponto de coleta no sistema.

**Figura 4.** Amostra dos efluentes com seu respectivo ponto de coleta.

3.2 Ensaios

A seguir são descritos os ensaios feitos para caracterização dos efluentes.

3.2.1 *Análise de Sólidos*

Determinação de Sólidos Totais

As amostras de efluente foram totalmente evaporadas em um equipamento de banho-maria da marca Marconi Equipamentos para Laboratórios e após foram levadas a uma estufa da marca DeLeo Equipamentos para Laboratórios para secagem a 105 ± 2 °C, até se obter massa constante. Do resíduo, obteve-se a porcentagem de sólidos totais, calculado conforme a norma ABNT NBR 13572:2012 “Água residuária e banho residual resultantes de curtume – Determinação de sólidos totais e sólidos suspensos totais”.

Determinação da fração de sólidos suspensos totais, fixos e voláteis

Para separar os sólidos suspensos totais (SST) dos sólidos dissolvidos totais (SDT) usou-se um aparato do tipo kitassato com funil de Buchner acoplado com papel filtro de porosidade 28 μ m. As amostras foram filtradas a vácuo (aparelho Primatec Bombas de vácuo, modelo 131, tipo 2VC). A porção de sólidos retida no filtro - os sólidos suspensos (SST) - foi seca na estufa, a uma temperatura de 105 ± 2 °C, até se obter massa constante. Do resíduo obteve-se a porcentagem de sólidos suspensos totais, calculado conforme a norma ABNT NBR 13572:2012.

Para determinar a fração de sólidos suspensos fixos (SSF) – resíduo que permanece depois da amostra ter sido inflamada (TCHOBANOGLIOUS, 2003) – levou-se a cápsula utilizada na determinação de SDT para a mufla à temperatura de 550-600 °C por 30 min.

A porção de sólidos suspensos voláteis (SSV) – material que pode ser volatilizado e queimado quando inflamado (TCHOBANOGLIOUS, 2003) – é obtida indiretamente através da diferença entre os dois resultados anteriores ($SSV = SST - SSF$).

Sólidos dissolvidos, dissolvidos fixos e dissolvidos voláteis

A análise foi feita de acordo com a norma ABNT NBR 14550:2000 “Couro - Banho residual e efluente líquido – Determinação do teor de sólidos dissolvidos, dissolvidos fixos e dissolvidos voláteis”.

As amostras foram filtradas a vácuo e o filtrado foi seco em estufa a 105 ± 2 °C, até se obter massa constante. O resíduo é a quantia de sólidos dissolvidos totais na amostra.

Após secagem, o material foi levado a um forno mufla microprocessado, modelo Q318M24 da marca Quimis Aparelhos Científicos, a 550 – 600 °C para determinação da fração fixa e volátil de sólidos (NBR 14550).

Para determinar a fração de sólidos dissolvidos fixos (SDF) levou-se a cápsula utilizada na determinação de SDT para a mufla à temperatura de 550 – 600 °C por 30 min. Após esfriar em dessecador, pesou-se a amostra e o resultado indicou a fração de SDF.

A porção de sólidos dissolvidos voláteis (SDV) é obtida indiretamente através da diferença entre os dois resultados anteriores ($SDV = SDT - SDF$).

3.2.2 *Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)*

O Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) refere-se ao método de determinação de Nitrogênio que foi desenvolvido em 1883 por Johan Kjeldahl, e tornou-se um método de referência

para determinação de nitrogênio (COTTA *et al.*, 2006). O teste foi realizado com base no método ASTM D2868/2007 “*Standard Test Method for Nitrogen Content (Kjeldahl) and Hide Substance Content of Leather*”.

O procedimento é dividido em três partes principais: digestão, destilação e titulação. A digestão consistiu em adicionar a 25 mL de amostra, 13mL de ácido sulfúrico concentrado com catalisadores a base de sais de cobre e potássio (10g) em frascos Kjeldahl do aparelho digestor, DK 20 da marca Velp Científica, por aproximadamente três horas, passando por rampas de aquecimento: 30 minutos em 150 °C, 30 minutos em 200 °C, 30 minutos em 300 °C e 1 hora em 350 °C. A completa digestão das amostras se verificou quando estas se apresentam translúcidas. O material digerido foi colocado no destilador (UDK 129 – Velp Científica) e o destilado obtido foi titulado com ácido sulfúrico. Os cálculos para determinação do valor de nitrogênio presente na amostra seguiram a norma ASTM.

3.2.3 DBO E DQO

As análises de DBO e DQO foram realizadas em laboratório externo. A Demanda Química de Oxigênio (DQO) foi determinada por método titulométrico e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) foi determinada por método titulométrico – Winkler.

3.2.4 Fósforo

A análise de fósforo foi realizada por laboratório externo, sendo determinada por método espectrofotométrico.

3.2.5 Carbono Orgânico Total (COT)

A análise de Carbono Orgânico Total foi realizada em parceria com o Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem (LACOR) Escola de Engenharia - Departamento de Materiais da UFRGS. O equipamento empregado na análise foi o Total Organic Carbon Analyzer, TOC-L da marca Shimadzu. O método utilizado pelo equipamento é o NPOC e o gás de arraste é oxigênio (O₂).

3.2.6 Cloretos

Análises de íons foram realizadas pelo método de cromatografia iônica líquida em Cromatógrafo Iônico DIONEX ICS-3000 e o software do equipamento utilizado na análise foi o Chromeleom 6. Esta análise foi também realizada em parceria com o Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais.

3.2.7 Parâmetros de operação - IVL, θ_c e t

Partindo da Equação 3, apresentada anteriormente, foi calculado o índice volumétrico de lodo (IVL), deixando sedimentar por uma hora o volume de 1 L do licor da lagoa de aeração.

A Idade do Lodo (θ_c) foi obtida através da Equação 2 e o tempo de detenção hidráulica foi calculado a partir da Equação 1, com as vazões de operação da ETE informadas pelo responsável da ETE da empresa.

4 Resultados

Após a aplicação das metodologias escolhidas, obtiveram-se dados para cada uma das análises de Sólidos, Nitrogênio Total Kjeldahl, Cloretos, Fósforo Total, COT, DQO e DBO₅, além dos parâmetros de controle de operação do sistema – t , θ_c , IVL – cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros de operação do sistema de tratamento.

Índices	Resultados
t (dias)	10
θ_c (dias)	23
IVL (mL/g)	197

Os valores normais para estes índices variam entre (ACQUA, 2013):

θ_c : entre 10 e 30 dias

IVL: entre 90 e 150 mL/g para uma boa sedimentabilidade.

Verifica-se que a idade do lodo (θ_c) está de acordo com o normal de operação e que o IVL está um pouco acima do desejado, indicando (conforme Tabela 1) que pode haver perda de lodo. O tempo de detenção hidráulica de 10 dias será discutido na sequência, de acordo com as taxas de remoção dos demais parâmetros, para avaliar se está sendo suficiente este tempo de permanência do efluente na lagoa de aeração.

A análise de nitrogênio total através do método Kjeldahl, descrito anteriormente, foi realizada para o efluente das coletas 1 e 2. As concentrações de nitrogênio nas amostras detectadas pelo método encontram-se representadas na Figura 5, onde se verificaram resultados similares entre as duas coletas.

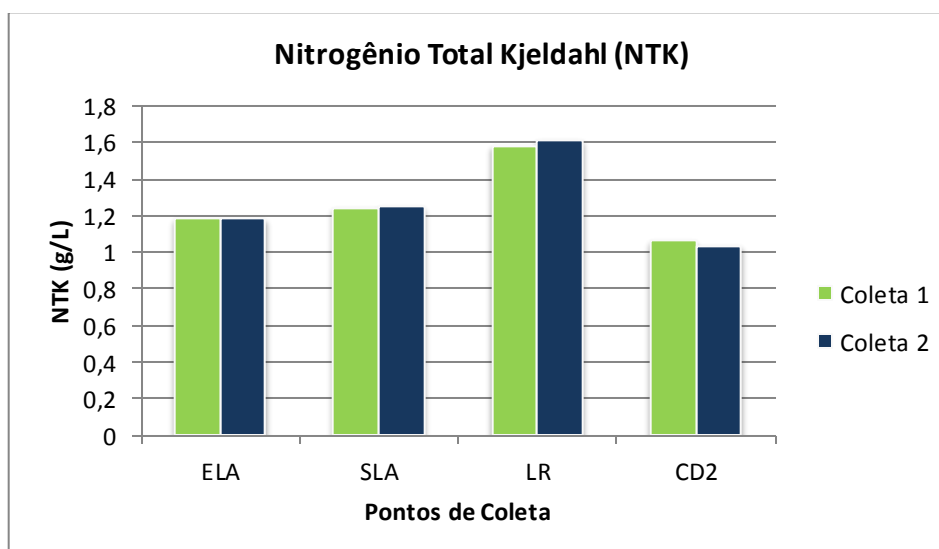


Figura 5. Concentração de nitrogênio total no efluente das duas coletas.

O nitrogênio presente no efluente é proveniente, principalmente, das etapas iniciais do processo onde ocorre a remoção de materiais da pele, como pelos e epiderme e de resíduos como sangue, carne e sujidades (substâncias ricas em proteínas), sendo o nitrogênio também liberado das proteínas (WINTER, 2011).

Conforme o gráfico da Figura 5, pode-se verificar que nas duas coletas a concentração de nitrogênio presente no efluente foi similar. Houve uma redução no NTK do efluente pré-tratado ao clarificado (do tratamento biológico) correspondente a uma remoção de 10,2 % na coleta 1 e de 16,9 % na coleta 2.

De acordo com a Resolução CONSEMA 128/2006, que dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul – onde se localiza o curtume em estudo - a remoção de nitrogênio ao final do tratamento do efluente, deve ser de 75%.

Esse dado só confirma que o tratamento terciário que a empresa realiza se faz necessário para que sejam atingidos os padrões de lançamento exigidos pelo órgão ambiental.

Uma possível justificativa para a baixa remoção de nitrogênio foi verificada no estudo de Fritsch e Aquim (2009) que trata da influência da temperatura ambiente na remoção de nitrogênio em uma ETE da região. Visto que as coletas de efluente para este trabalho foram realizadas em dias de temperaturas baixas (Coleta 1 – 16 °C e Coleta 2 – 14 °C) a temperatura pode ser sim o fator determinante para a baixa porcentagem de remoção de nitrogênio total. O trabalho de Frisch e Aquim (2009) verificou, segundo o acompanhamento realizado durante um ano, que em períodos mais frios (abril a agosto) os resultados do NTK do sistema estavam fora dos parâmetros exigidos. Já de setembro a março (temperatura acima de 25 °C) a remoção mínima de 75% requerida pela legislação foi alcançada.

Fritsch e Aquim (2009) propuseram a instalação de um sistema de aquecimento (serpentina de vapor) na lagoa de aeração da ETE em estudo para operar nos meses de inverno. Com a temperatura controlada (mantida entre 25 – 30 °C) a remoção de nitrogênio chegou a 97 %.

Além da temperatura baixa, outro ponto relevante a se discutir é o tempo de detenção hidráulica do efluente na lagoa de aeração que pode não ter sido suficiente. Quando se realiza a análise de DBO_5 (feita em cinco dias) se quantifica a DBO carbonácea, subestimando a DBO nitrogenosa, pois esta é removida em um período superior a cinco dias.

Outro aspecto a ressaltar é que na ETE em estudo não há uma etapa de tratamento anóxico (ausência de oxigênio), portanto, o processo de desnitrificação que deveria se dar após a nitrificação na lagoa de aeração, não ocorre, prejudicando também a remoção de nitrogênio que se transformando em N_2 seria liberado para a atmosfera. Há na ETE um novo tanque de tratamento biológico para realizar a etapa de desnitrificação que ainda não entrou em operação, pois aguarda licença de operação do órgão de licenciamento ambiental.

Para a análise de Carbono Orgânico Total, realizada para a coleta 2, o resultado encontra-se representado na Figura 6.

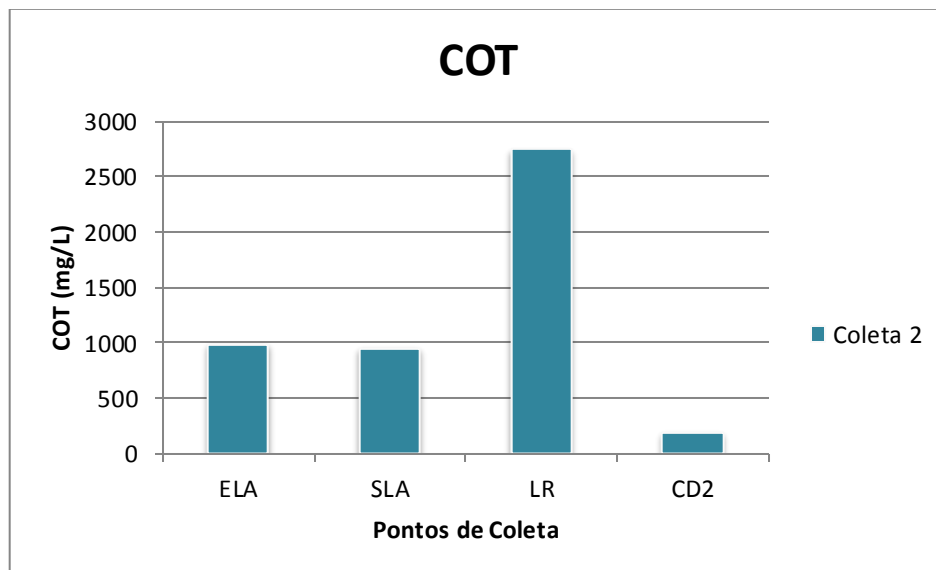


Figura 6. Carbono orgânico total nas amostras de efluente da coleta 2.

Com a quantificação de carbono no efluente, um indicador de matéria orgânica carbonácea, pode-se verificar pela Figura 6 que houve redução significativa de matéria orgânica do efluente pré-tratado ao clarificado.

Em águas superficiais o teor de COT varia de 1 a 20 mg/L, elevando-se para até 1000 mg/L nas águas residuárias (LIBÂNIO *et al.*, 2000). Desta forma, uma alteração significativa deste parâmetro no corpo receptor constitui-se em indicativo de fontes poluidoras.

Quando a redução de COT não é satisfatória para auxiliar na remoção do carbono orgânico total vem sendo empregadas técnicas como a coagulação química e a adsorção com carvão ativado. Com o mesmo intento, tem sido utilizada nos EUA, principalmente em unidades industriais, a filtração por membranas (LIBÂNIO *et al.*, 2000).

A Resolução CONSEMA 128/2006 não estabelece limite de emissão em função de COT, porém, ele é complementar às análises de DBO e DQO das águas residuárias.

Outro parâmetro analisado foi a presença de sólidos no efluente do tratamento biológico.

A Figura 7 representa a divisão feita para analisar a composição dos sólidos no efluente.

O resultado desta análise pode ser encontrado, resumidamente, nas Figuras 8 e 9, onde se verifica que a maior parte dos sólidos do efluente do curtume é fixo (não foi volatilizado ao ser inflamado a 550 – 600 °C), geralmente, os sais. Os resultados de concentrações de sólidos, salvo alguma variação, foi muito similar entre as duas coletas realizadas.

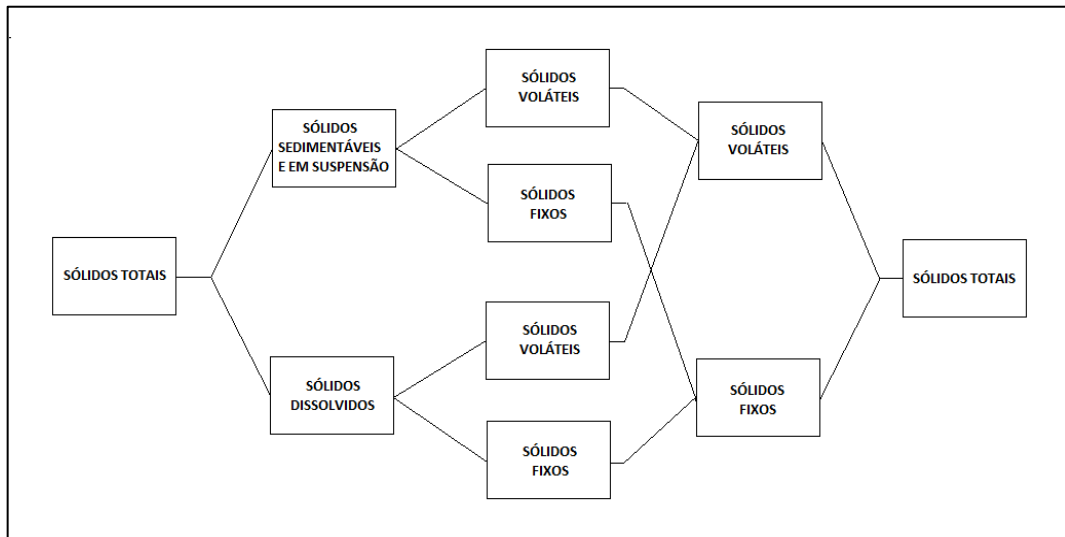


Figura 7. Composição dos sólidos no efluente – frações analisadas.

Os sólidos agem de maneira indireta sobre a vida aquática, impedem a penetração da luz e diminuem a quantidade de oxigênio dissolvido no meio.

A Tabela 4 apresenta na sequência, entre outros valores, a concentração de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Sólidos Suspensos Totais (SST) do efluente em estudo, onde pode se constatar que a maior fração é a de sólidos dissolvidos (os que não são retidos na filtração). Chegou-se a suposição de que os sais, como o cloreto de sódio, seriam a principal contribuição dessa parcela, em vista disso foi realizada a análise de cloretos para verificar sua concentração no efluente.

O excesso de sólidos dissolvidos na água pode causar alterações no sabor e problemas de corrosão. Já os sólidos em suspensão, provocam a turbidez da água gerando problemas estéticos e prejudicando a atividade fotossintética.

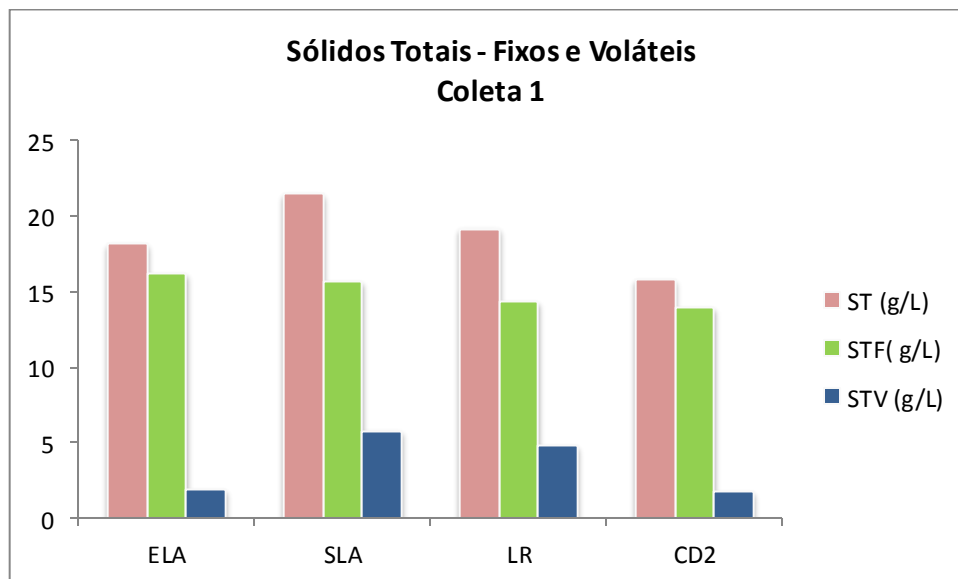


Figura 8. Concentração de sólidos totais (fixos e voláteis) no efluente da coleta 1.

Tabela 4: Apresentação geral dos resultados obtidos nas análises para os parâmetros avaliados.

Análise	Coleta 1				Coleta 2			
	Pontos de coleta de efluente				Pontos de coleta de efluente			
	Entrada lagoa	Saída lagoa	Lodo reciclo	Clarificado	Entrada lagoa	Saída lagoa	Lodo reciclo	Clarificado
DBO ₅ (mg/L)	360	-	-	170	-	-	-	-
DQO (mg/L)	549	-	-	235,6	-	-	-	-
Fósforo Total (mg/L)	0,314	-	-	0,219	-	-	-	-
COT (mg/L)	-	-	-	-	987,9	950,9	2741	188,6
NTK (mg/L)	1180	1240	1580	1060	1240	1250	1610	1030
Cloreto (mg/L)	-	-	-	-	7052,82	6364,25	6536,1	6503,9
ST (g/L)	1,92	2,03	2,1	1,63	1,97	2,07	2,65	1,68
STF (%)	89,33	73,03	74,86	88,27	89,48	73,03	76,85	92,00
STV (%)	10,67	26,97	25,14	11,73	10,52	23,97	23,15	8,00
SST (mg/L)	75	5750	4820	77	67	4820	6000	162,6
SDT (mg/L)	18100	15766	14380	14866	18392	15955	14616	15415

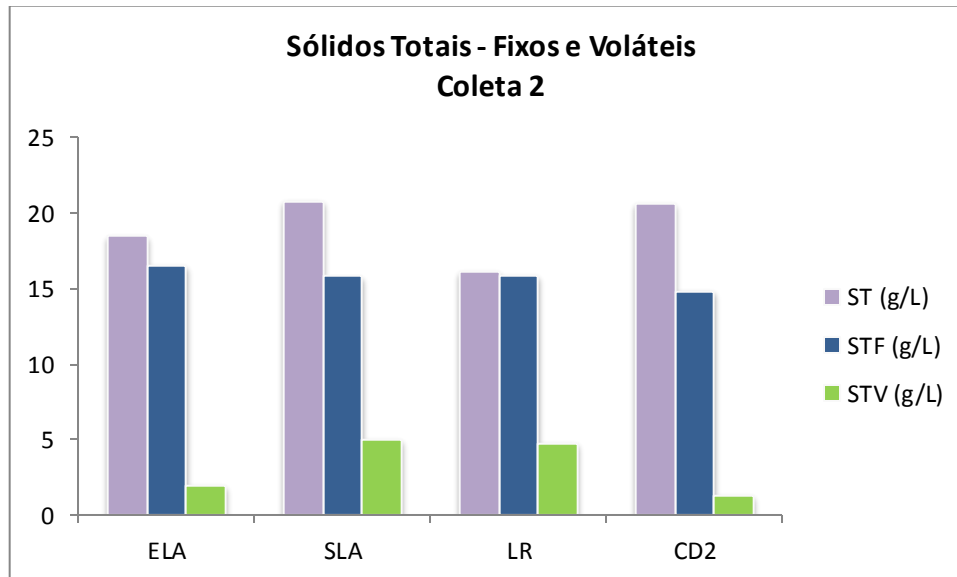


Figura 9. Concentração de sólidos totais (fixos e voláteis) no efluente da coleta 2.

A análise para determinação de cloretos presentes na amostra tem seu resultado apresentado na Figura 10.

A indústria do couro gera um efluente com alto teor de cloreto originário, principalmente, do sal (NaCl) utilizado para conservação da pele do animal desde o abate até sua chegada ao curtume. Há uma etapa mecânica inicial de “bater sal”, porém, uma quantidade considerável do cloreto de sódio permanece na pele e só é retirada nas primeiras etapas do processamento da pele, sendo transferida para os banhos destas, ou seja, restando nas águas residuárias do processo (AQUIM *et al.*, 2004). Também se utiliza cloreto de sódio na etapa de píquel – preparação da pele para penetração do curtente cromo.

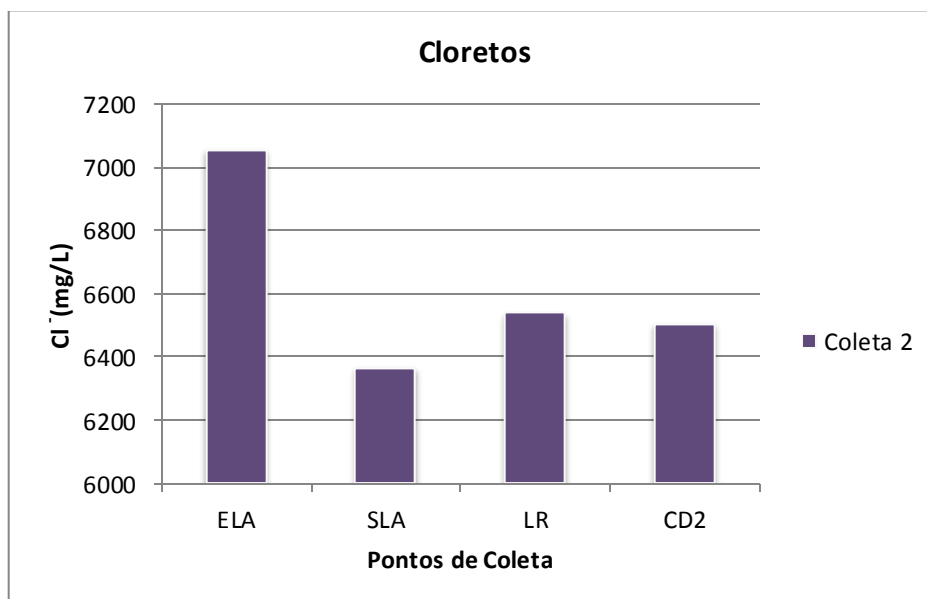


Figura 10. Concentração de cloretos no efluente.

Santos (2010) observou que em efluentes com alta concentração de cloretos há uma diminuição no tamanho dos flocos de lodo ativado prejudicando a decantação da matéria orgânica. Além disso, o cloreto provoca alteração na pressão osmótica das células de

organismos (CETESB, 2013) sendo, portanto, outra causa provável da baixa remoção de nitrogênio no tratamento biológico, pois inibe o crescimento dos microrganismos responsáveis pela remoção do nitrogênio.

Além disso, a presença de cloretos no efluente causa corrosão nas estruturas hidráulicas, interfere na determinação da DQO e na determinação de nitratos. Ainda, os cloretos podem se ligar à matéria orgânica e formar compostos organoclorados que são, em geral, altamente tóxicos, de difícil degradação natural e tendem a se bioacumular no meio ambiente (FREIRE, 2000).

Conforme se verifica na Figura 10, a concentração de cloretos na entrada da lagoa é alta e não há uma remoção eficiente destes íons ao final do tratamento biológico. Cloretos são muito estáveis, não sendo removidos em estações convencionais, exigem processos especiais como os de membrana, osmose reversa e processos à base de troca iônica - tratamentos complexos e caros (CEPEMA, 2013).

Para a análise de DBO_5 e DQO, os resultados encontram-se representados na Figura 11.

Geralmente, a DBO_5 e a DQO do efluente bruto de curtumes são extremamente altas (superiores a 10000 mg/L) (AQUIM, 2009). Sendo que, do curtume em estudo, foram analisados os pontos de entrada da lagoa de aeração e o clarificado do decantador secundário, deve-se considerar que boa parte da carga orgânica já havia sido removida no tratamento primário (físico-químico).

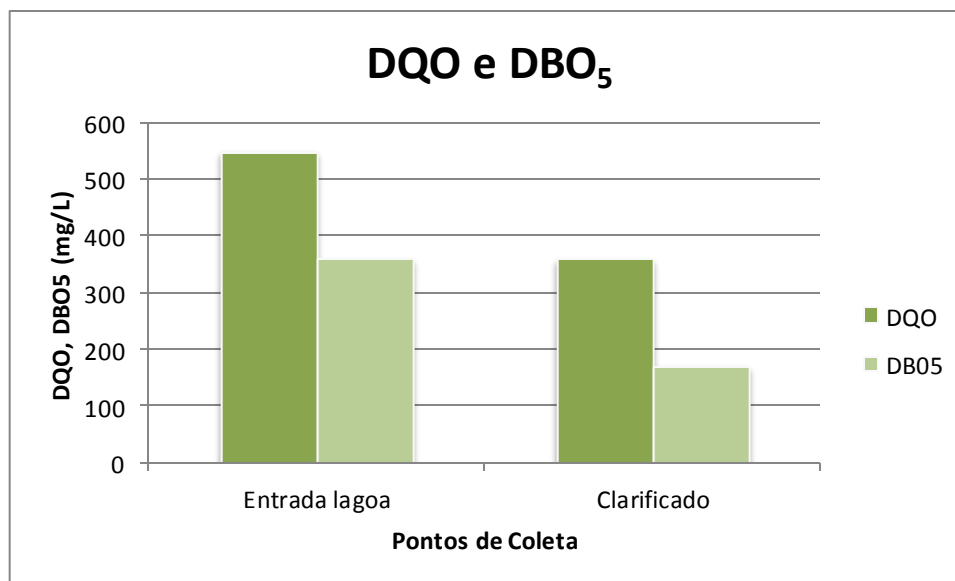


Figura 11. Análise de DQO e DBO_5 para coleta 1.

Conforme se verifica na Figura 11, houve redução considerável dos dois parâmetros ao final do tratamento biológico. A Resolução CONSEMA 128/2006 estabelece um padrão de emissão de 110 mg/L para a DBO_5 e de 330 mg/L para DQO para a faixa de vazão em que a ETE opera. Vale ressaltar, também, que o clarificado ainda passa por outro tratamento físico- químico antes de ser lançado no corpo receptor.

Outra análise realizada foi a quantificação de fósforo total (Figura 12). Foram coletadas amostras do efluente de entrada da lagoa e saída do decantador secundário, analisando assim a remoção de fósforo no tratamento biológico.

Para este parâmetro, a Resolução CONSEMA 128/2006 limita a uma concentração de 3 mg/L para emissão ou 75% de remoção para empreendimentos com vazões de efluente entre 100 e 1000m³/d (faixa em que a ETE do curtume em questão opera).

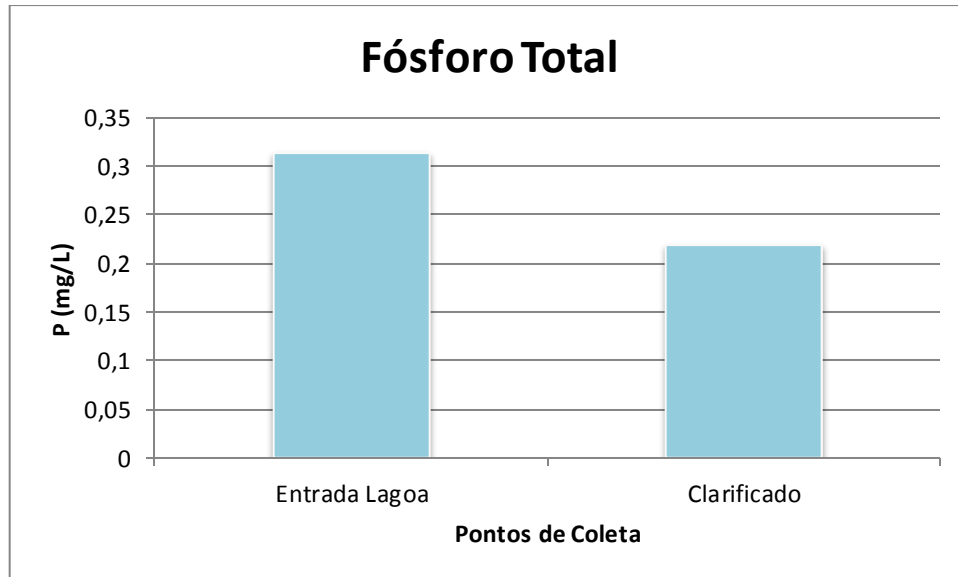


Figura 12. Concentração de fósforo total no efluente do tratamento biológico.

A análise realizada nos pontos de coleta citados indicou que a remoção de fósforo no tratamento primário (físico-químico) já havia sido satisfatória, pois a concentração de entrada na lagoa foi de 0,314 mg/L (dentro dos padrões estipulados pela legislação para lançamento). Na ETE há a adição de cloreto férrico ao efluente no tratamento primário, responsável pela separação do fósforo do líquido (CHAO, 2006).

Quanto ao tratamento secundário, geralmente, não é projetado para remoção de nutrientes. Parte do fósforo dos efluentes é removida por incorporação no lodo biológico - bactérias heterotróficas presentes na biomassa ativa acumulam fósforo na forma de polifosfatos (WANG *et al.*, 2008) - e outra parte pode ser encontrada na forma solubilizada (CHAO, 2006). A remoção atingida no efluente em estudo na etapa biológica foi de apenas 30%, indicando que as condições encontradas na lagoa não são as mais favoráveis para o crescimento e metabolismo dessas bactérias.

De maneira a simplificar a interpretação da sequência de análises realizadas e os respectivos resultados obtidos, a Figura 13 representa a porcentagem de remoção de todos os parâmetros analisados neste trabalho, da entrada na lagoa de aeração à saída do decantador secundário.

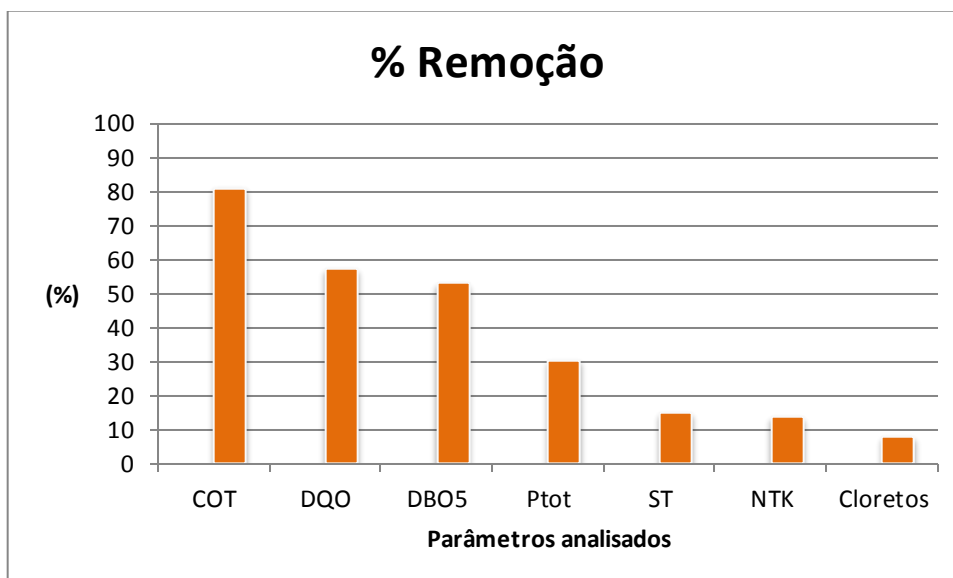


Figura 13. Porcentagem de remoção dos parâmetros analisados no tratamento biológico de efluentes do curtume.

Verificou-se uma maior eficiência na remoção de matéria orgânica, avaliada nos parâmetros COT, DQO e DBO₅. Os demais itens avaliados obtiveram remoções inferiores a 50%, indicando a necessidade de um monitoramento contínuo, além da investigação da origem dos poluentes no processo produtivo e analisando o comportamento desses parâmetros nos tratamentos primário e terciário.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

De uma maneira geral, o sistema de tratamento secundário do efluente de curtume apresentou eficiência satisfatória em parte dos parâmetros avaliados e necessidade de reavaliação em outros. Os resultados comparados entre as duas coletas espaçadas de dez dias realizadas mostraram boa repetitividade, o que indicou que tanto a ETE estava operando em condições estáveis, como as análises feitas tiveram boa confiabilidade.

Apresentando uma redução de 80%, o COT foi o parâmetro em que se obteve a melhor eficiência de remoção. Os valores de DQO e DBO_5 encontrados para o efluente foram baixos, possivelmente por uma parte destes já ter sido removida no tratamento primário (físico-químico).

Quanto ao parâmetro Fósforo Total, apesar de ter apresentado remoção de apenas 30%, vale ressaltar que o valor quantificado era baixo (0,314 mg/L). Já a análise de sólidos demonstrou que a maior parcela consiste de sólidos fixos e dissolvidos, geralmente, matéria inorgânica – os sais. Assim, em função do alto uso de sais no processamento do couro, foi realizada a análise de cloretos presentes no efluente do reator biológico, verificando-se que há uma concentração elevada destes sais (aproximadamente 7000 mg/L). Pode-se relacionar esta concentração de cloretos à alta concentração de sólidos dissolvidos e, ainda, à baixa remoção de nitrogênio (13,5%) pelos microrganismos, haja vista que o cloreto, em altas concentrações, pode atuar inibindo a atividade biológica.

Como trabalhos futuros, sugere-se:

-Testar técnicas de tratamento avançado para melhorar a remoção de cloretos: processos especiais como os de membrana, osmose reversa e processos de troca iônica.

-Implantar um sistema de aquecimento na lagoa de aeração para as épocas mais frias e monitorar a redução de nitrogênio total nesse período visto que foi constatado, por outros pesquisadores, que a remoção de nitrogênio é prejudicada a baixas temperaturas.

-Verificar se um tempo de detenção hidráulica maior do efluente no reator biológico é capaz de melhorar os índices que apresentaram baixo percentual de remoção, bem como implementar um reator biológico anóxico para desnitrificação do efluente.

6 Referências

ACQUA ENGENHARIA - **Manual de lodos ativados**. Disponível em: <<http://www.acquaeng.com.br/wpcontent/uploads/2010/01/manualodosativados1.pdf>> Acesso em 30 mai. 2013

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>>. Acesso em 20 jun. 2013.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington D.C.: APHA, 1998.

AQUIM, P. M. **GESTÃO EM CURTUMES: USO INTEGRADO E EFICIENTE DA ÁGUA**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

AQUIM, P. M. *et al.* **Análise dos Efluentes Gerados nos Processos de Ribeira e Curtimento da Indústria do Couro**. In: IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2004, Porto Alegre.

BAUR, L. **Estudo e identificação de nitrogênio em efluentes de curtume**. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Química, UFRGS, Porto Alegre, 2012.

CEPEMA (São Paulo). **Parâmetros de caracterização da qualidade das águas e efluentes industriais**. Disponível em: <<http://www.cepema.usp.br/wp-content/uploads/2011/06/8-Par%C3%A2metros-de-caracteriza%C3%A7%C3%A3o-da-qualidade-das-aguas-e-efluentes-industriais.pdf>>. Acesso em 18 jun. 2013.

CETESB (São Paulo). **Variáveis de qualidades das águas**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas#cloreto>>. Acesso em 20 jun. 2013.

CHAO, I. R. S. **Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP, São Paulo, 2006.

COOPER, M. *et al.* **Environmental Developments and Researches in Brazilian Leather Sector**. Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists, v. 95, p. 243-249, 2011.

COTTA, J. A. *et al.* Validação do método para determinação de Nitrogênio Kjeldahl. **Revista Analytica**, n. 26, p. 68-75, 2007. Disponível em: <http://www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/26/art06.pdf>. Acesso em 20 jun. 2013.

EPA - United States Environmental Protection Agency St. **Facility Pollution Prevention Guide**. Ohio: Global Professional Publications, 1992, p.156

FONSECA, J. C. L. *et al.* Avaliação da confiabilidade analítica das determinações de carbono orgânico total (COT). **Eclética Química**, São Paulo, 2006, v. 31, n. 3, p.47-52.

Trimestral. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702006000300006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 24 abr. 2013.

FRITSCH, Z. G.; AQUIM, P. **Remoção de nitrogênio em sistemas biológicos de tratamento de efluentes**. In: XIX Encontro Nacional da ABQ TIC, 2011, Franca. XIX Encontro Nacional da ABQ TIC, 2011.

FREIRE, R. S. *et al.* Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 4, n. 23, p.504-511, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2650.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2013.

GIORDANO, G. **Tratamento e Controle de efluentes industriais**. Apostila da ABES. Mato Grosso, 2004.

GUTTERRES, M.; Aquim, P. M. Wastewater Reuse Focused on Industrial Applications. *Wastewater Reuse and Management*. 1 ed. , 2013, v. , p. 127.

JOST, P. T. **Tratamento de Efluentes de Curtume**. Porto Alegre, SENAI/RS, 1990.

LEME, E. J. A. **Manual Prático de tratamento de águas residuárias**. São Carlos: Edufscar, 2010. 595 p.

LEMMERTZ, I. S. **Curtume: processo, efluentes, toxicidade e novas tecnologias**. 2012. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Química, Feevale, Novo Hamburgo, 2012.

LIBÂNIO, M. *et al.* Avaliação da relevância do carbono orgânico total como parâmetro de de caracterização de águas de abastecimento. **Rbrh - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, v. 5, n. 4, p.41-55, out/dez. 2000.

MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos**. 1997. 208 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 1997.

MELLA, B. *et al.* **Avaliação quali-quantitativa das operações unitárias envolvidas nas estações de tratamento de efluentes em curtumes do estado do Rio Grande do Sul**. In: XVIII CONGRESSO DA FEDERAÇÃO LATINO AMERICANA DOS QUÍMICOS E TÉCNICOS DA INDÚSTRIA DO COURO, Montevideo, 2012.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão – A alternativa Energética**. Nobel: São Paulo, 1986.

PEARSON, H. *et al.* The influence of pond geometry and configuration on facultative and maturation waste stabilization pond performance and efficiency. **Wat. Sci. Tech.**, v. 31, n. 12, p. 129-139, 1995.

RAMALHO, R. S. **Tratamiento de aguas residuales**. Barcelona: Reverté, 1996.

SABESP (São Paulo). **Esgoto: tipos de tratamento**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=61>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

SCAPINI, L. **Avaliação do desempenho da osmose reversa e da troca iônica para tratamento de efluente de curtume (Aimoré Couros Ltda – Encantado) visando a reutilização da água.** 2007. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais, UNISC, Santa Cruz do Sul, 2007.

SANT'ANNA JUNIOR, G. L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações.** Rio de Janeiro: Interciencia, 2010.

SANTOS, C. **Prevenção à Poluição Industrial: Identificação de Oportunidades, Análise dos Benefícios e Barreiras.** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

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.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SIMIÃO, J. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

TCHOBANOGLIOUS G, BURTON FL, DAVID-STENSEL H. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse In: Metcalf & Eddy, Inc. 4th ed.** New York McGraw-Hill Companies, 2003. p.1819. (McGraw-Hill Series in Civil and Environmental Engineering).

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 1996. 211 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.2).

VON SPERLING, M. **Lodos ativados.** 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2002. 428 p. (Princípio do tratamento biológico de águas residuárias; v.4).

WANG, D. et al. Biological Phosphorus removal in sequencing batch reactor with single-stage oxic process. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 13, p. 5466-5473, 2008.

WINTER, C. **Avaliação analítica de proteínas e gorduras para detecção de constituintes da pele em meios aquosos.** Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Química) – UFRGS, 2011.