

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**ENGENHARIA QUÍMICA**

**VINICIUS MARGON MASSI**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE EFLUENTES (ETE) DIDÁTICO DE BANCADA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2020**

**VINICIUS MARGON MASSI**



**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE EFLUENTES (ETE) DIDÁTICO DE BANCADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do departamento acadêmico de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli.

Coorientador: Denilton da Conceição Fritz Junior.

**PONTA GROSSA**

**2020**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES  
(ETE) DIDÁTICO DE BANCADA

por

Vinicius Margon Massi

Monografia apresentada no dia 15 de outubro de 2020 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

\_\_\_\_\_  
Prof. Matheus Lopes Demito  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Profa. Erica Roberta Lovo Da Rocha Watanabe  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Profa. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli  
(UTFPR)  
Orientadora

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Juliana de Paula Martins  
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente aos meus pais, que me apoiaram desde a escolha do curso, até a mudança de Estado, para que eu realizasse este sonho de me tornar Engenheiro Químico da UTFPR campus Ponta Grossa.

À minha professora orientadora Juliana Pietrobelli, que esteve ao meu lado durante boa parte da minha graduação e me deu a oportunidade de desenvolver este Trabalho de Conclusão de Curso, que se tornou um orgulho pessoal. Além de se mostrar uma verdadeira amiga durante momentos importantes da minha jornada na Engenharia Química. Agradeço a orientação na Iniciação Científica, no TCC, nos estágios e na vida.

Ao meu coorientador Denilton, que iluminou o caminho das minhas ideias, trouxe inúmeros conhecimentos práticos, além de disponibilizar seu tempo e não medir esforços para fazer este projeto acontecer.

Gostaria também de deixar registrado meu agradecimento geral à instituição UTFPR, campus Ponta Grossa, todos os colaboradores, investimentos e estruturas que tornaram possível a realização deste trabalho.

## RESUMO

MARGON MASSI, Vinicius. **Desenvolvimento de um modelo de estação de tratamento de efluentes (ETE) didático de bancada**. 2020.40 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Química – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2020.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de representar e avaliar operações de tratamento de efluentes industriais usuais em escala de bancada, utilizando materiais alternativos. Para isto, foi construído um modelo representativo de sistemas de tratamento de níveis preliminar, primário, secundário e terciário, envolvendo assim, processos químicos microbiológicos. O modelo foi construído com materiais alternativos e de baixo custo, tais como caixas organizadoras e compressores de aquário. Para realização dos testes e validação do modelo foi utilizado efluente bruto doado por uma indústria de embalagens e o lodo anaeróbio por uma cervejaria. A eficiência do processo, foi mensurada por meio da porcentagem de remoção dos parâmetros Turbidez (uT), DQO (mg/L O<sub>2</sub>), DBO (mg/L O<sub>2</sub>) e sólidos totais (mg/L). O parâmetro que apresentou maior redução foi turbidez (75%). Pelos resultados obtidos pode-se confirmar que o modelo proposto de Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) em escala de bancada e desenvolvido para fins didáticos foi validado.

**Palavras-chave:** Estação de tratamento de efluentes. Escala de bancada. Materiais alternativos. Eficiência.

## **ABSTRACT**

This work aimed to represent and evaluate wastewater treatment operations in a bench scale using alternative materials. For that, a representative model of wastewater treatment was constructed, in preliminary, primary, secondary and tertiary levels, with alternative low cost materials, as organizing boxes and aquarium compressors. For the analysis and model validation, the raw effluente was donated by a packaging industry and the anaerobic sludge by a brewery. The process efficiency was measured by means of the drop percentage in the following indicators: Turbidity (uT), COD (mg/L O<sub>2</sub>), BOD (mg/L O<sub>2</sub>) and total solids (mg/L). The parameter with the highest percentage reduction was turbidity (75%). The results confirmed the possibility of a wastewater plant bench scale representation.

**Keywords:** Wastewater plant. Bench scale. Alternative materials. Efficiency.

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros e padrões nacionais para lançamento de efluentes.....	11
Quadro 2 - Parâmetros e padrões estaduais para a lançamento de efluentes líquidos.....	12
Quadro 3 - Orçamento do material para a construção do Módulo ETE.....	23
Quadro 4 – Resultados comparativos entre efluente bruto e tratado.....	30
Quadro 1A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos do beneficiamento da mandioca.....	40
Quadro 2A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos de Sucroalcooleira..	40
Quadro 3A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de laticínios.....	40
Quadro 4A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de Curtume.....	41
Quadro 5A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias Frigoríficas.....	41
Quadro 6A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de tinturaria, têxteis e lavanderias industriais.....	41
Quadro 7A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de extração e refino de óleo de soja.....	42
Quadro 8A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de bebidas.....	42
Quadro 9A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em industrias Maltearias.....	42
Quadro 10A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias tratamento de superfície (galvanotécnica).....	42
Quadro 11A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias químicas.....	43
Quadro 12A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de papel e celulose.....	43
Quadro 13A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em outras atividades (podem mudar de acordo com a características das atividades).....	43

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
1.2 OBJETIVO GERAL.....	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>9</b>
3.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	9
3.1.1 Legislação Ambiental Nacional.....	10
3.1.2 Legislação Ambiental Estadual.....	12
3.1.3 Legislação Ambiental Municipal.....	12
3.2 OPERAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	14
3.2.1 Nível Preliminar de Tratamento.....	15
3.2.2 Nível Primário de Tratamento.....	16
3.2.3 Nível Secundário de Tratamento.....	18
3.2.4 Nível Terciário de Tratamento.....	21
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>22</b>
4.1 PLANEJAMENTO.....	22
4.2 CONSTRUÇÃO DO MÓDULO ETE.....	24
4.3 REALIZAÇÃO E MONITORAMENTO DO EXPERIMENTO.....	24
4.4 ANÁLISES CONCLUSIVAS.....	25
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>26</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>
ANEXO A.....	40



## 1 INTRODUÇÃO

No século XVIII a humanidade presenciou a primeira grande revolução industrial, marcada pelo crescimento exponencial das indústrias, dos processos industriais, além de um desenvolvimento urbano como nunca presenciado até então. O número de indústrias cada vez maior veio acompanhado também de um aumento desacerbado da poluição, já que o meio ambiente foi, por muito tempo, considerado apenas como fonte lucrativa de curto prazo, sem compreender as consequências de um uso exploratório demasiado.

As medidas de proteção ambiental começaram a surgir nos anos 70 e com elas a necessidade de meios eficientes de tratar resíduos industriais. As Estações de Tratamento de Efluentes Industriais surgiram como solução para o tratamento de resíduos líquidos advindos do consumo de água na indústria.

A utilização de água pela indústria pode ocorrer de diversas formas, as mais comuns são: a incorporação ao produto, lavagens do ambiente industrial assim como seus equipamentos, sistemas de resfriamento e de aquecimento, além da água advinda do esgoto sanitário utilizado dentro da empresa que nem sempre é encaminhado para uma estação de tratamento de água. Toda a água utilizada, exceto a incorporada aos produtos ou perdida por evaporação, é classificada como resíduo do processo industrial, tornando-se efluentes líquidos e estes efluentes não passarem pelo tratamento adequado antes de serem despejados em algum corpo receptor serão configurados como poluidores hídricos (KRAEMER, 2005).

Poluição hídrica pode ser definida como qualquer alteração física, química ou biológica na qualidade de um corpo hídrico (PEREIRA, 2003). Atualmente a legislação define parâmetros e padrões para descarte de efluentes, que estão englobados na Resolução nº 357 de 2005 e complementada pela nº 430, de 13 de maio de 2011, estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

As Estações de Tratamento de Efluentes, que são comumente encontradas nas indústrias, atualmente dispõem de quatro principais níveis de remoção de poluentes, sendo eles: tratamento preliminar, em que serão retirados os sólidos mais grosseiros, normalmente incorporado no início do processo, para evitar danos futuros decorrentes da passagem de material particulado. Tratamento primário, onde ocorrerão etapas físicas e químicas em que as impurezas serão removidas ou por

ação física, como decantação, ou por meio de reações químicas ocorrentes entre efluente e substância química adicionada. O tratamento secundário envolve a ação biológica no efluente, provocando a degradação da matéria orgânica, eliminando poluentes desta origem. Por fim, e nem sempre tão comum, o tratamento terciário, que normalmente está associado com o enquadramento do efluente em padrões específicos ou ainda um polimento final, para quando os processos anteriores não são o bastante para a liberação para o despejo em corpos receptores.

Dentro deste contexto, este trabalho propôs um sistema didático de bancada para o tratamento de efluentes, para que se torne possível uma visão prática de diversos processos de tratamento em diferentes níveis. Este módulo ficará disponível para os alunos e a instituição, podendo ser destinado para estudos, novos projetos e aprimoramentos, permitindo o desenvolvimento da área de conhecimento dentro na universidade.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um modelo de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) em escala de bancada, com materiais alternativos e de baixo custo, possibilitando a análise didática dos processos empregados em tratamentos de efluentes industriais.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar e selecionar os processos de tratamento de efluentes;
- Planejar o módulo ETE de bancada;
- Executar a montagem da ETE;
- Realizar teste no protótipo utilizando efluente bruto;
- Avaliar a eficiência do módulo ETE por meio de análises de turbidez, DQO, DBO e sólidos totais.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O ser humano, desde o início das civilizações, tem se desenvolvido à beira de rios, mares e fontes de água, atualmente aproximadamente 50% da população mundial vive dentro de 150 km da região costeira. A transposição e vasta utilização de rios também foi de primordial importância para o desenvolvimento das regiões mais centrais dos países. Nota-se, então, que a água é um recurso de extrema importância, não apenas para o desenvolvimento da nossa espécie, mas também para a própria sobrevivência. Esse entendimento aliado com as consequências do uso desacerbado de recursos hídricos durante a história, criaram uma necessidade de desenvolvimento de meios para regeneração deste recurso tão crucial e tão desgastado pela modernidade (SCOTT; et al., 2018).

Então, para um gerenciamento da poluição hídrica causada pela população e pelas indústrias se tornou necessária a criação de parâmetros sanitários para os efluentes, visto que estes muitas vezes vinham acompanhados de uma carga pesada de poluentes.

#### 3.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Até os anos 70 o meio industrial ainda carecia de medidas de proteção ou prevenção ambiental, mas já era visível algumas das consequências, como por exemplo o decaimento da qualidade das águas para consumo. Em 1972 foi realizada a primeira conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) – a Conferências de Estocolmo – em que foi abordado a discussão acerca de problemas ambientais. A partir de então foram instauradas as primeiras leis de controle ambiental, criando uma aproximação entre meio ambiente e desenvolvimento econômico. Entretanto, os efluentes passaram a ser, cada vez mais, um fator gerador de custos dentro do cenário industrial, sendo necessário formas eficientes e práticas de gerenciamento deste resíduo. Com isso surgiram as Estações de Tratamento de Efluentes (CAVALCANTI, 1994).

No Brasil a legislação ambiental nacional é a mais abrangente quando se trata de padrões de lançamentos de efluentes industriais, porém não é a única a estabelecer legislações referentes à poluição hídrica de corpos receptores. Além

desta tem-se a legislação estadual e municipal, que também devem ser levadas em consideração. Os parâmetros e padrões nacionais são estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que é um órgão nacional consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e foi instituído pela Lei 6.938/81, que dispõe da política nacional do meio ambiente, regulamentada atualmente pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e completada pela nº 430/2011. Já quando se trata das legislações estatais, nota-se uma variação de estado para estado. No Paraná o órgão responsável pela regulamentação ambiental é o Instituto Água e Terra (IAT), instituído em 1992 por meio da Lei Estadual nº 10.066 de 27 de julho desse ano, com a criação da Secretaria de Estado e de Meio Ambiente. Na esfera municipal também se encontra regulamentos acerca da política ambiental, sendo regida pelo Conselho Municipal de Meio Ambiente (COMDEMA) compreendido na Lei nº 7637/2014, e pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA).

É crucial desenvolver um estudo acerca da legislação vigente no local em que o efluente será despejado, visto que esta é a primeira condicionante para um projeto de uma estação de tratamento de efluentes industriais. O fato da especificidade de cada localidade leva, muitas vezes, a uma inviabilidade de utilização de uma mesma ETE em indústrias em diferentes regiões, mesmo que sejam da mesma empresa (GIORDANO, 2004).

### 3.1.1 Legislação Ambiental Nacional

No Quadro 1 a seguir encontram-se as condições e padrões de lançamento de efluente em corpos receptores, segundo a legislação nacional estabelecida pela Resolução do CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.

**Quadro 1 – Parâmetros e padrões nacionais para lançamento de efluentes**

Parâmetros	Padrões
pH	≥ 5 e ≤ 9
Temperatura	< 40°C (corpo receptor não deverá exceder 3°C)
Turbidez	≤ 40 UNT
Materiais sedimentáveis	< 1 mL/L
Vazão de lançamento	≤ 1,5 vezes a vazão média do agente poluidor
Óleos e graxas	Minerais: ≤ 20 mg/L
	Vegetais e animais: ≤ 50 mg/L
Materiais flutuantes	Ausência
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Remoção mínima: 60%
Arsênio total	≤ 0,5 mg/L
Bário total	≤ 5,0 mg/L
Boro total	≤ 5,0 mg/L
Cádmio total	≤ 0,2 mg/L
Chumbo total	≤ 0,5 mg/L
Cianeto total	≤ 1,0 mg/L
Cianeto livre	≤ 0,2 mg/L
Cobre dissolvido	≤ 1,0 mg/L
Cromo hexavalente	≤ 0,1 mg/L
Cromo trivalente	≤ 1,0 mg/L
Estanho total	≤ 4,0 mg/L
Ferro dissolvido	≤ 15,0 mg/L
Fluoreto total	≤ 10,0 mg/L
Manganês dissolvido	≤ 1,0 mg/L
Mercúrio total	≤ 0,01 mg/L
Níquel total	≤ 2,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	≤ 20,0 mg/L
Prata total	≤ 0,1 mg/L
Selênio total	≤ 0,30 mg/L
Sulfeto	≤ 1,0 mg/L
Zinco total	≤ 5,0 mg/L
Benzeno	≤ 1,2 mg/L
Clorofórmio	≤ 1,0 mg/L
Dicloroetano	≤ 1,0 mg/L
Estireno	≤ 0,07 mg/L
Etilbenzeno	≤ 0,84 mg/L
Fenóis totais	≤ 0,5 mg/L
Tetracloroeto de carbono	≤ 1,0 mg/L
Tricloroetano	≤ 1,0 mg/L
Tolueno	≤ 1,2 mg/L
Xileno	≤ 1,6 mg/L

Fonte: Resolução CONAMA nº 430/2011

O não cumprimento destes padrões de lançamento estabelecidos antes do descarte do efluente no meio ambiente implica desde multa até 5 anos de cadeia, segundo está disposto na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.

### 3.1.2 Legislação Ambiental Estadual

Na esfera paranaense os parâmetros exigidos dos efluentes são menos específicos, destaca-se a maioria que já são padrões estabelecidos nacionalmente. Os padrões disponibilizados no portal do IAP são apresentados no Quadro 2, destaca-se a inclusão de Demanda Química de Oxigênio (DQO) como um parâmetro e a presença de valores de Demanda Bioquímica e Química de Oxigênio por volume de efluente, estes dois parâmetros são de extrema importância para a quantificação de poluentes de origem orgânica e para a verificação da potabilidade da água.

**Quadro 2 - Parâmetros e padrões estaduais para o lançamento de efluentes líquidos**

Parâmetros	Padrões
pH	$\geq 5$ e $\leq 9$
Temperatura	$< 40^{\circ}\text{C}$ (corpo receptor não deverá exceder $3^{\circ}\text{C}$ )
Materiais sedimentáveis	$< 1$ mL/L
Vazão de lançamento	$\leq 1,5$ vezes a vazão média do agente poluidor
Óleos e graxas	Vegetais e animais: $\leq 50$ mg/L
Materiais flutuantes	Ausência
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	$\leq 50$ mg/L
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	$\leq 150$ mg/L
Cobre	$\leq 1,0$ mg/L
Zinco	$\leq 5,0$ mg/L
Nitrogênio amoniacal total	$\leq 20$ mg/L

Fonte: Portal IAP (2018)

O descumprimento destas condições de lançamento de efluentes também resultará na punição segunda a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.

### 3.1.3 Legislação Ambiental Municipal

Segundo a Lei municipal de Ponta Grossa nº 11.233, que dispõe sobre a política ambiental municipal, em seu artigo 4º, inc. IV, declara como objetivo desta política promover o tratamento e a disposição final de resíduos e efluentes de qualquer natureza. Os efluentes industriais e comerciais deverão ter destinação ambiental que siga, também, os parâmetros e padrões estabelecidos pela esfera municipal. Neste caso as especificações fornecidas pela prefeitura de Ponta Grossa são bem mais específicas e levam em conta o tipo de indústria para a caracterização do efluente. Os

quadros de 1A a 13A presentes no ANEXO A, fornecidos pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA), dispõem dos padrões de lançamento de efluentes líquidos de diferentes ramos industriais. De acordo com o artigo 70º da mesma Lei nº 11.233 estes padrões devem ser seguidos e monitorados. Além disso, a Lei em questão também reforça a obrigatoriedade de atender as demais condições de lançamento de efluentes estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005 complementada pela nº 430/2011.

Em arquivos disponibilizados pela SMMA, 2018, constam critérios para avaliação da toxicidade de efluentes líquidos. Muitas vezes pela complexidade que se dá a análise de cada uma das impurezas que podem estar presentes no efluente, esta quantificação é adquirida de forma indireta, por meio da análise da toxicidade por diferentes organismos teste. A legislação municipal de Ponta Grossa cita a Resolução CONAMA 357/2005, que em seu art. 34º, parágrafos 1º e 2º estabelece critérios e padrões de emissão em águas superficiais, salinas e salobras, relativos a toxicidade do efluentes líquidos.

É importante enfatizar que para um efluente ser considerado apto ao lançamento no corpo receptor ele deverá atender aos padrões mais rigorosos especificados pelos órgãos reguladores citados, considerando todas as esferas, nacional, estadual e municipal.

### 3.2 OPERAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A grande prioridade das estações de tratamento de efluentes é atender a legislação ambiental vigente e algumas ainda são utilizadas para o enquadramento do efluente em padrões para um posterior reuso da água na própria indústria. Para o cumprimento destes padrões, tanto ambientais quanto internos da empresa, é preciso definir níveis e operações de tratamento que estejam de acordo com a carga poluidora da descarga, para essa definição existem diversas operações unitárias a ser consideradas para a seleção da mais adequada, de acordo com o processo operado na indústria (CARVALHO, 2011).

Vários fatores devem ser considerados quando se trata de seleção dos processos que irão compor uma estação de tratamento de efluentes, alguns deles



requerem atenção adicional. A aplicação do processo está no topo das prioridades e reflete, diretamente, na habilidade e experiência do engenheiro do projeto, isto pode ser adquirido por meio de experiências acumuladas e disponibilidade de projetos parecidos para estudo. A aplicabilidade desse tipo de projeto nunca é a mesma para diferentes empresas e diferentes regiões, então para a melhor seleção dos equipamentos e operações são necessários estudos pilotos direcionados especificamente para cada ponto de implantação. Além desse fator, é de extrema importância, também, o pleno conhecimento das operações utilizadas e disponíveis, para que com as características do efluente, arranje-se de forma mais coerente possível o processo de tratamento destes resíduos (METCALF; EDDY, 2008).

Atualmente, quando se discute tratamento de efluentes, tem-se que os processos essenciais para o sucesso do tratamento são processos físicos, químicos e biológicos, para que a carga poluidora do efluente seja tratada em sua integralidade, já que a abrangência destes tratamentos engloba todas as fontes de impurezas do efluente a serem consideradas. A seguir são listados e explicados cada um dos tipos de processos (CQR, 2013).

- **Processos físicos:** Remove impurezas grosseiras, não dissolvidas no efluente e que podem ser separadas por meio de processos físicos. Entre estas impurezas estão englobados sólidos em suspensão, sedimentáveis e flutuantes. Além disso, processos físicos também podem ser capazes de remover matéria orgânica e inorgânica em suspensão coloidal. Estes processos também tem a finalidade de desinfecção e estabilização do descarte. Alguns dos processos mais populares que podem ser citados são o de gradeamento, separação de óleos e gorduras, sedimentação, caixa de areia, tanque de equalização, entre outros (CQR, 2013).

- **Processos químicos:** Envolve a remoção de contaminantes por processos químicos, por meio de interações entre efluente e reagentes dosados, tais como agentes de coagulação, de floculação, neutralização de pH, oxidação, redução e desinfecção. Também utilizado quando se torna necessário o condicionamento do efluente para posteriores processos. Os processos mais populares na atualidade envolvem clarificação química, coagulação com agentes coagulantes, oxidação por ozônio, troca iônica, entre outros (CQR, 2013).

- **Processos biológicos:** São empregadas reações bioquímicas com o objetivo de eliminar os contaminantes de origem orgânica, além da digestão, pela

biomassa, da matéria orgânica presente no efluente, abaixando assim, o valor de parâmetros relacionados a contaminantes orgânicos, como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO). Estes dois parâmetros são de extrema importância para a identificação de toxicidade e de nível de contaminação do efluente, estando sempre presentes em padrões estabelecidos para a análise da qualidade da água. Os processos biológicos de tratamento reproduzem em escala menor de tempo e área os fenômenos de autodepuração que ocorrem naturalmente em corpos hídricos. Estes processos podem incluir reatores anaeróbios, reatores aeróbios, filtros biológicos, lagoas, entre outros (ARAÚJO, 2015).

Esses processos são englobados em diferentes etapas (níveis), envolvendo operações unitárias, em uma planta de tratamento de efluentes industriais. Objetivando sempre o tratamento mais eficiente, estas etapas são projetadas para englobar as operações envolvidas em cada um dos processos de forma mais harmoniosa e condizente possível. Muito comumente estas etapas são pensadas de forma contínua, tendo o envolvimento direto de uma etapa na outra, como meio de condicionamento prévio do resíduo a ser tratado, tornando tudo um grande único processo de tratamento de efluentes integrado. Segundo Giordano (1999), os níveis de tratamento são definidos como preliminares, primários, secundários e terciários.

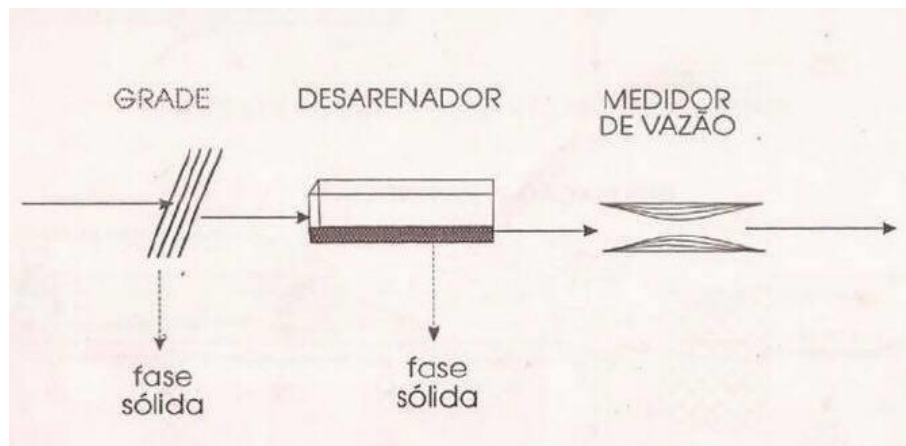
### 3.2.1 Nível Preliminar de Tratamento

O tratamento preliminar de efluentes em uma indústria, ou até em estações de tratamento de água, é localizado no início dos processos, sendo o primeiro receptor do efluente, que baseia-se na remoção, principalmente, de sólidos grosseiros e areia. Os mecanismos de remoção aplicados nesta etapa são de ordem unicamente física, logo tratam-se de processos físicos.

Normalmente os procedimentos utilizados para a remoção de sólidos grosseiros são grades, peneiras ou trituradores, em que os materiais com dimensões maiores do que os orifícios de passagem são retidos ou triturados, necessita-se de manutenção contínua da remoção deste material retido para evitar o congestionamento e entupimento desses fluxos e esta remoção pode ser de forma manual, mas normalmente são mecanizadas para a maior eficiência e otimização dos processos. Para a remoção da areia contida na entrada da estação são utilizadas

unidades especiais denominadas desarenadores, em que ocorrem a sedimentação dos grãos devido às suas maiores dimensões e densidade. Em algumas estações, também são incorporadas unidades de medidores de vazão, normalmente constituída por uma calha com dimensões padronizadas, onde o efluente fluirá e essas dimensões serão relacionadas com a vazão do líquido. Um desenho esquemático deste tratamento preliminar é apresentado na Figura 1. (SPERLING, 2005)

**Figura 1 - Fluxograma típico de um tratamento preliminar**



Fonte: SPERLING (2005)

A principal importância da remoção destes sólidos logo no início do processo de tratamento do efluente é a proteção dos dispositivos de transporte, como bombas e tubulações, preservação das unidades de tratamento subsequentes, além da proteção dos corpos receptores. Já quando se trata da areia, sua retirada é essencial para evitar a possibilidade de obstrução de tubulações e tanques pela posterior sedimentação e facilitar o transporte líquidos, principalmente através de lodos, em suas diversas fases (SPERLING, 2005).

### 3.2.2 Nível Primário de Tratamento

O tratamento primário localiza-se logo em seguida do processo preliminar, em que o efluente se encontra menos grosseiro, mas ainda nitidamente poluído por sólidos não grosseiros em suspensão, podendo ser eles de origem inorgânica ou

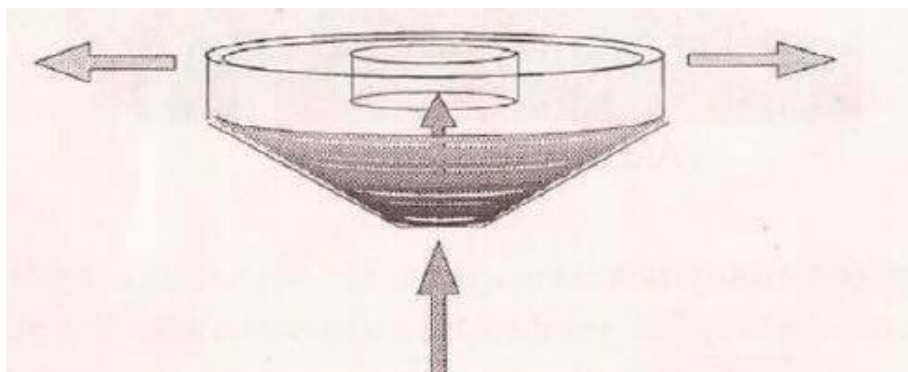
orgânica, além dos sólidos mais densos que a água, como óleos e graxas, também são encontrados em suspensão nesta etapa (SPERLING, 2005).

Segundo Sperling (2005), esta fase do tratamento tem como objetivo a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, por meios físicos ou químicos. Os sólidos em suspensão não grosseiros podem ser parcialmente removidos em unidades de sedimentação, chamados de decantadores, em que durante a passagem vagarosa, ou estadia na unidade, ocorre a decantação de particulados com maior densidade que a água. Para uma otimização deste processo e maior sedimentação de fundo em menor tempo, são comumente utilizados agentes químicos, chamado agentes coagulantes, para a formação de um aglomerado maior de material, aumentando assim sua densidade e tornando o processo mais eficiente, esse corpo de fundo sólido adquirido no final do processo é denominado lodo primário. Já quando se trata de poluentes com menor densidade que a água, estes ficam despostos na superfície do tanque e são removidos, manualmente ou mecanicamente, para o posterior tratamento.

Esta fase do tratamento é a primeira etapa em que ocorre remoção de matéria orgânica em suspensão, e com isso os níveis Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e de Demanda Química de Oxigênio (DQO) começam a ser abaixados. Demanda Bioquímica de Oxigênio é um indicador utilizado para determinar, indiretamente, a concentração de matéria orgânica biodegradável presente no efluente, essa quantificação é alcançada por meio da medição de quantidade de oxigênio utilizada na respiração de microrganismos para a oxidação da matéria orgânica. Então para um efluente com uma maior carga orgânica será necessário um consumo maior de oxigênio, e pela medição deste consumo mensura-se a quantidade de material orgânico degradado. Quando se trata da Demanda Química de Oxigênio, o objetivo é o mesmo, a medição de matéria orgânica presente do líquido por meio de quantidade de oxigênio consumido, mas a diferença deste método é que a matéria orgânica será oxidada por agentes químicos oxidantes fortes em meio ácido, e com isso toda a matéria orgânica, sendo ela biodegradável ou não, será oxidada, logo se obtêm um valor mais absoluto da carga orgânica do efluente. Uma vantagem da DQO em relação à DBO é a duração do processo, enquanto para realizar a medição da DBO são necessários 5 dias a DQO é medida em poucas horas (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

Sperling (2005) descreve dois principais layouts para reatores de tratamento primário: circulares e retangulares. De acordo com a avaliação da influência da geometria em decantadores, desenvolvida por Ornelas (2017), tanques circulares apresentam mais vantagens e menos desvantagens quando comparados a retangulares. Algumas vantagens que podem ser citadas é o recolhimento mais simples do lodo primário, menores custos de operação e manutenção além da maior resistência a ação de ventos, pela sua aerodinâmica. Na Figura 2 é exemplificado um modelo de reator circular comum em tratamento de efluentes.

**Figura 2 - Decantador primário circular**



**Fonte: SPERLING (2005)**

Neste decantador, o efluente é forçado a circular pelo tanque e com os choques das partículas nas paredes a sedimentação dos sólidos é beneficiada, formando o lodo primário ao fundo, que pela geometria será retirado de forma mais simples, ocasionando menos perdas de líquido que continuará no tratamento (SPERLING, 2005).

### 3.2.3 Nível Secundário de Tratamento

Esta etapa é normalmente localizada após o efluente passar pelos processos físicos e químicos e muitas condições são exigidas do líquido, como uma faixa de pH e temperatura ótimos para a realização das operações. A partir deste nível, o tratamento é biológico e, então, para a chegada do efluente nos parâmetros desejados

este deverá ser previamente preparado, normalmente no tratamento primário (SPERLING, 2005).

Com principal objetivo de remover a matéria orgânica presente no efluente, os tratamentos biológicos que ocorrem durante estas operações afetam tanto a matéria orgânica em suspensão, que já foi parcialmente retirada no tratamento primário, quanto a matéria orgânica dissolvida, a qual não é removida por processos de ordem meramente física ou química, como os até este nível (SPERLING, 2005). Com essa remoção os valores de DQO e DBO também serão reduzidos, como representado por Aygun, Nas e Berkay (2008), que mensuraram uma média de remoção de DQO em um reator biológico de 95% considerando escala de bancada. Em relação a remoção de DBO, Sperling (2005), enquadra a remoção num intervalo de 60 a 99%. Logo, entende-se que depois dos processos secundários de tratamento, os efluentes apresentam-se bem mais clarificados e tratados, apresentando assim, um índice de toxicidade bem inferior quando comparado com as características iniciais.

A concepção do tratamento secundário de efluentes é baseada em reproduzir mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente em corpos hídricos, em que a biomassa digere a matéria orgânica presente. Nas estações é interessante o controle e otimização deste processo para que ele ocorra em intervalos de tempo menores e mais eficientemente. Bactérias, protozoários e fungos são alguns dos muitos microrganismos capazes de realizar esse tipo de processo, que se baseia no contato da matéria orgânica presente no efluente com essa biomassa, de tal forma que esse material sirva de alimento para a população de microrganismos, e com isso, durante a digestão celular esse alimento servirá de fonte de energia para a população microbiana crescer e se reproduzir (METCALF; EDDY, 2008)

Existe dois tipos de tratamentos biológicos atualmente aplicados no tratamento de efluentes industriais: os realizados na ausência de oxigênio, chamados tratamentos anaeróbios, e os na presença de oxigênio, chamados tratamentos aeróbios.

- **Sistemas de tratamento aeróbio:** Neste tipo de operação ocorre a representação da principal depuração que ocorre nos próprios corpos hídricos, que disponibilizam de oxigênio. A matéria orgânica que será consumida pelos

microrganismos aeróbios obrigatórios e facultativos será em parte convertida em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e em parte em mais biomassa, que fará parte do lodo aeróbio. Para um processo interessante comercialmente é importante destacar a necessidade de um sistema de aeração, para a depuração na presença de oxigênio se dar de forma mais rápida, um tanque de decantação para o lodo formado, além de um sistema para recirculação do lodo, para evitar o acúmulo e conseqüente poluição do efluente (DA COSTA; DA SILVA; MARTINS, 2009).

- **Sistemas de tratamento anaeróbio:** O grande sucesso dos reatores biológicos anaeróbios veio com a introdução de reatores de alta taxa, que conseguia tratar de forma contínua e eficiente uma grande quantidade de efluente. Neste tipo de reatores são encontradas biomassas formadas por microrganismos anaeróbios obrigatórios ou facultativos, presentes no lodo em que será percorrido pelo efluente, este lodo fica disposto diferentemente de acordo com o reator escolhido. Um exemplo de reator muito utilizado é o reator de fluxo ascendente de alta eficiência, UASB, também conhecido no Brasil como RALF, em que o efluente percorrerá o lodo anaeróbio de baixo para cima e durante o caminho a matéria orgânica será oxidada (SYLVESTRE, 2013).

Para o entendimento desses processos é necessário, também, um conhecimento acerca das características dos lodos presentes. O lodo, ou genericamente tratado como lodo ativado, é o nome dado para a população microbiana diversificada que é mantida em suspensão num meio aeróbio ou anaeróbio formando flocos biológicos sedimentáveis. Estes flocos, segundo Bento (2005), constituem um microssistema complexo formado por bactérias, fungos, protozoários e micrometazoários, em que mesmo as bactérias sendo as principais responsáveis pela depuração da matéria orgânica, os demais microrganismos também são de extrema importância para a manutenção de uma comunidade microbiana equilibrada. O lodo em excesso, resultado do crescimento da biomassa, deve ser retirado e encaminhado para processos de secagem e tratamento, visto que este apresenta uma carga orgânica que pode se tornar prejudicial ao ambiente.

Após esta etapa do processo de tratamento, muitos efluentes já se apresentam em condições para o lançamento. Nesta etapa do processo nem sempre é necessário utilizar os dois sistemas de tratamento (anaeróbio e aeróbio), normalmente a etapa anaeróbia é escolhida pela maior remoção de matéria orgânica,

o tratamento aeróbio pode ser incorporado como um processo secundário ou terciário (SANT'ANNA JR, 2011).

### 3.2.4 Nível Terciário de Tratamento

O tratamento terciário não é tão comumente implantado, ele normalmente vem como um tratamento extra, para quando os efluentes apresentam toxicidade elevada por presença de alguma substância específica, ou ainda como polimento final para o despejo ou reuso. Para esses tipos de caso é implementado mais um nível de tratamento para o efluente, que objetiva a remoção dos poluentes específicos, usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis, ou ainda um tratamento complementar, caso o efluente, após o tratamento secundário, ainda não se enquadrar nas especificações desejadas (DOS SANTOS; et al., 2011).

A partir desta etapa, obtêm-se água de qualidade superior, com uma elevada remoção de matéria orgânica, bactérias patogênicas e nutrientes, tais como nitrogênio, fósforo e sódio, que quando em excesso são prejudiciais para a qualidade da água (SILVA FILHO, 2009). Apesar da maioria dos casos este nível de tratamento ser aplicado para a adequada remoção de impurezas, o tratamento terciário também é útil para que os efluentes residuais de alguns processos possam ser enquadrados em padrões para ser reusados ou reciclados, direto ou indiretamente, na planta industrial. Este auto suprimento de água, além de ser interessante ambientalmente pela diminuição do desperdício, também resulta numa garantia maior de um efluente dentro dos padrões estabelecidos pela legislação e que esteja de acordo com a tolerância do corpo receptor à carga de poluentes (MACHADO, 2005). No Brasil, atualmente, é muito raro encontrar alguma indústria um nível terciário de tratamento de efluentes.



## 4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a construção do módulo se deu de maneira a adaptar materiais populares de baixo custo às operações e níveis de tratamento que foram apresentados na revisão bibliográfica. Se tratando de um modelo para fins didáticos, é importante que a estação represente as principais operações de tratamento de efluentes empregados pelas indústrias. Durante a fase de planejamento, foi estruturado um módulo que representasse as etapas primária, secundária, e terciária de forma adaptada.

### 4.1 PLANEJAMENTO

O módulo ETE foi projetado para atender a diversos tipos de efluentes industriais, pois independente da disponibilidade de torna-se possível a utilização e operação da estação. Entendendo que a ETE será alocada em um laboratório para uso institucional, a praticidade da estrutura torna-se um fator muito importante. Assim, para a construção foi idealizado um layout prático, que pode ser desmontado e realocado dependendo do efluente a ser tratado, permitindo assim, um equipamento de fácil transporte e alocação.

A estação foi projetada para seguir a ordem de operações de acordo com o Fluxograma 1.

**Fluxograma 1 – Ordem das operações na ETE**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

Após o projeto da estação, foram selecionados todos os materiais necessários para a montagem. Para uma projeção mais realista da montagem do módulo e adaptação das operações, foi necessário um estudo dos materiais a serem utilizados na montagem do módulo, assim como os custos envolvidos na compra. Para este fim foram selecionados os seguintes materiais:

- 1 recipiente 100 L (caixa do efluente bruto);
- 1 recipiente 50 L (tanque físico-químico);
- 2 recipientes 13,8 L (tanque anaeróbio);
- 2 recipientes 20 L (filtro aeróbio);
- 2 lâminas serras de metal;
- 2 termostatos;
- 2 bombas peristálticas 100 mL/min;
- 4 pedras porosas;
- 1 Kg de cascalho de aquário;
- 4 compressores de oxigênio;
- 8 metros de mangueira de silicone;
- 500 g de carvão ativado;
- 1 unidade de Perlon (lã de aquário).

No Quadro 4 é apresentada a relação dos materiais necessários para a construção do modelo e seus respectivos preços. Salienta-se que os valores em questão representam o valor mais barato de três orçamentos coletados para cada produto na cidade de Ponta Grossa – PR.

**Quadro 3 - Orçamento do material para a construção do Módulo ETE**

Material	Orçamento
Recipiente 100 L	R\$ 95,90
Recipiente 50 L	R\$ 51,91
Recipiente 13,8 L	R\$ 119,90
Recipiente 20 L	R\$ 57,00
Lâmina serra de metal	R\$ 14,00
Lixa 100	R\$ 0,59
Termostato	R\$ 39,90
Bomba Peristáltica	R\$ 150,00
Pedra Porosa	R\$ 12,00
Cascalho	R\$ 2,00
Compressor de Oxigênio	R\$ 135,00
Mangueira de Silicone	R\$ 12,00
Carvão Ativado	R\$ 20,61
Perlon (lã de aquário)	R\$ 3,90
Total	R\$ 714,71

**Fonte: Autoria própria (2018)**

Destaca-se que os produtos idealizados para a construção da ETE foram escolhidos, em sua maioria, de acordo com a disponibilidade regional de materiais.

Após de todo o planejamento e aquisição dos materiais necessários, o processo de construção teve início.

#### 4.2 CONSTRUÇÃO DO MÓDULO ETE

O módulo foi construído de maneira totalmente integrada, permitindo que o processo ocorra continuamente, desde a saída do efluente da caixa de efluente, até o final do último filtro.

Os tanques foram construídos adaptando-se os materiais comprados: furos para saídas e entradas de mangueiras, cortes para entrada do efluente e para construir e isolar os tanques foi utilizada cola branca à prova d'água (acetato de polivinil).

Na sequência da montagem foram realizados testes para verificação de vazamentos, passando água por toda a estação. Após sanados os vazamentos, a estação ficou apta para o início dos experimentos.

#### 4.3 REALIZAÇÃO E MONITORAMENTO DO EXPERIMENTO

O efluente foi obtido em uma indústria de embalagens de papelão e o lodo doado por uma indústria cervejeira. Ambos foram armazenados em galões de 5 L, somando 30 L de efluente e 2,5 L de lodo.

Primeiramente, antes do início do experimento, o lodo foi alocado no reator anaeróbio, isolando-o do ambiente externo. Em seguida, todos o efluente foi despejado na caixa de efluente e misturado e, então, foram recolhidas as amostras de efluente bruto para análises comparativas (turbidez, DQO, DBO e sólidos totais) ao final.

Após um último teste de todos os equipamentos, o experimento teve início, foi aberta a torneira da caixa de efluente até que o primeiro tanque estivesse com os termostatos completamente submersos, estes então foram ligados, e o efluente ficou

cerca de 10 minutos equalizando. Passado o tempo, realizou-se o ajuste de pH, utilizando hidróxido de sódio, e adição do coagulante Sulfato de Zinco ao efluente e ligou-se os compressores para a sua homogeneização. A agitação ocorreu por mais 15 minutos, seguido pelo descanso de 20 minutos para a floculação. O reator foi disposto levemente inclinado para que o sólido decantado não obstruísse a saída do efluente.

Na sequência do primeiro reator, o efluente continuou sua passagem por toda a estação de forma contínua com duração média de 7 horas. O processo completo é apresentado e ilustrado no próximo capítulo.

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO

A metodologia das análises conclusivas, após o efluente passar por todos os tratamentos, foi baseada no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Apha (1998). Neste trabalho, os parâmetros para a quantificação da qualidade do efluente em questão foram: pH, turbidez, sólidos totais, DQO e DBO. A medição do pH e análise de sólidos totais foram realizadas, em triplicata, nos laboratórios da UTFPR – Ponta Grossa, com o uso de pHmetro, estufa e estrutura laboratorial da Universidade. A determinação de DQO, DBO e turbidez foram realizadas por um laboratório de análises químicas terceirizado. Com isso foi possível determinar a eficiência referente a estes parâmetros como a porcentagem de redução da carga final em relação à carga inicial.

## 5 RESULTADOS

O efluente selecionado para a realização do experimento, doado por uma indústria de embalagens, apresentava uma coloração marrom esverdeada, opacidade elevada e odor acético forte. O lodo anaeróbico utilizado no tratamento secundário, fornecido por uma indústria cervejeira, apresentava uma viscosidade elevada, com presença de “flocos” de coloração preta. Na Imagem 1 visualiza-se ambos, lodo e efluente, antes do experimento.

**Imagem 1 – Efluente bruto e lodo anaeróbico**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

Para o desenvolvimento do projeto foram englobados os processos mais comuns nas operações de tratamento de efluentes industriais, para uma representação mais fiel a realidade, estes tratamentos são:

- Tratamento preliminar: Para esta etapa utilizou-se a operação de peneiramento, que está presente na grande maioria das estações de tratamento de efluentes e é de extrema importância para os processos seguintes, pela retirada dos sólidos grosseiros antes da entrada nos tanques. Além disso é necessário a seleção de um material que não degrade ou desgaste com a passagem do efluente. Foi

utilizada uma lã de aquário na entrada do primeiro tanque, que se mostrou visualmente muito eficiente da remoção dos pedaços mais grosseiros de embalagens dissolvidos no efluente.

- Tratamento primário: Este ocorreu em um primeiro tanque, onde o efluente passou por um processo de equalização, em que o líquido ficou disposto inalterado por um tempo para a sua estabilização. Em seguida foi adicionado um agente coagulante (sulfato de zinco) e a floculação agitada por um compressor de oxigênio e posterior repouso por 20 minutos, permitindo a decantação dos flocos de impurezas. Finalmente, antes da passagem para um tratamento secundário, o pH do efluente foi ajustado aos padrões, utilizando hidróxido de sódio, e também houve controle da temperatura, por meio de dois termostatos alocados próximos à saída do tanque. Na saída do tanque o pH estava em 7 e a temperatura na faixa de 30 graus.

- Tratamento secundário: Este ocorreu dentro de um reator anaeróbio construído com duas caixas de acrílico. O efluente, após o tratamento primário, foi bombeado com uma vazão bem reduzida ao fundo deste reator recheado com lodo ativado. Com a passagem do efluente através do lodo ocorreram processos fermentativos de digestão da matéria orgânica, em que gás metano foi gerado. Por se tratar de um sistema isolado foi necessária uma captação de gás, que se deu por meio de uma proveta cheia de água virada para baixo em um béquer de 2000 mL também preenchido com água, para que o gás gerado ficasse contido dentro desta proveta. Na Imagem 2 observa-se o sistema de captação durante a operação, com bolhas de gás formadas na superfície do líquido.

**Imagem 2 – Captação de gás**

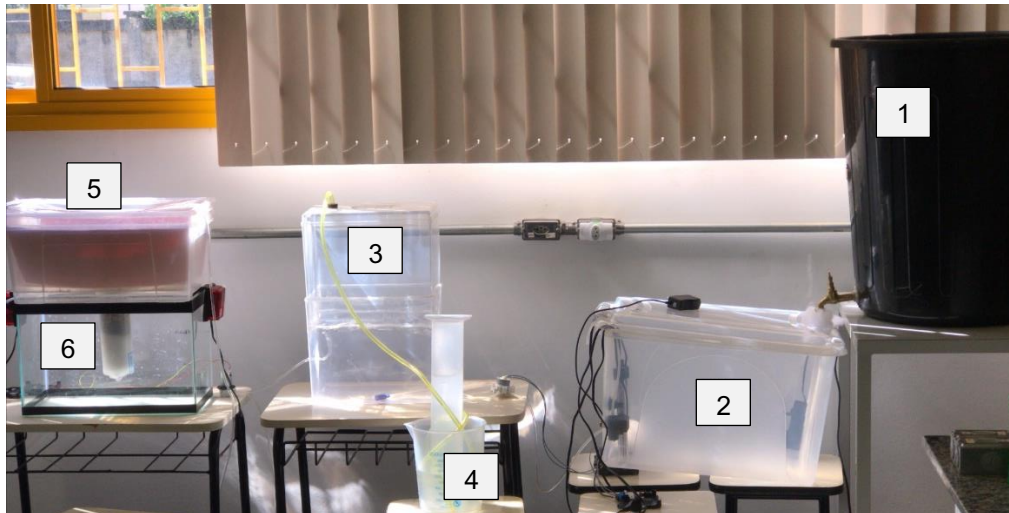


**Fonte: Autoria própria (2020)**

- Tratamento terciário: Este tratamento foi idealizado como um polimento final do efluente e é composta por um tratamento aeróbio e um filtro. O tratamento aeróbio é uma representação de um filtro aeróbio percolador, que consiste na passagem do efluente por pedras de argila expandida enquanto uma corrente de ar ascendente é fornecida por dois compressores na base do filtro, formando, com isso, biofilmes com colônias de bactérias digestivas aeróbias facultativas presentes no efluente, normalmente oriundas do próprio lodo anaeróbio. Este último processo de digestão, assim como no tratamento secundário, objetivou diminuir os parâmetros de DQO e DBO no produto final. Após esta operação o efluente passou por um filtro com uma camada de cascalhos, uma de carvão ativado e uma de lã de aquário, todas compactadas como um leito fixo, pelo qual o percorreu. Este leito fixo construído contribui para que o efluente saia mais clarificado e sem odores.

A estação montada está apresentada na Imagem 3, seguida da legenda relacionando cada equipamento com a sua respectiva operação de tratamento.

**Imagem 3 – Módulo Estação de Tratamento de Efluentes**



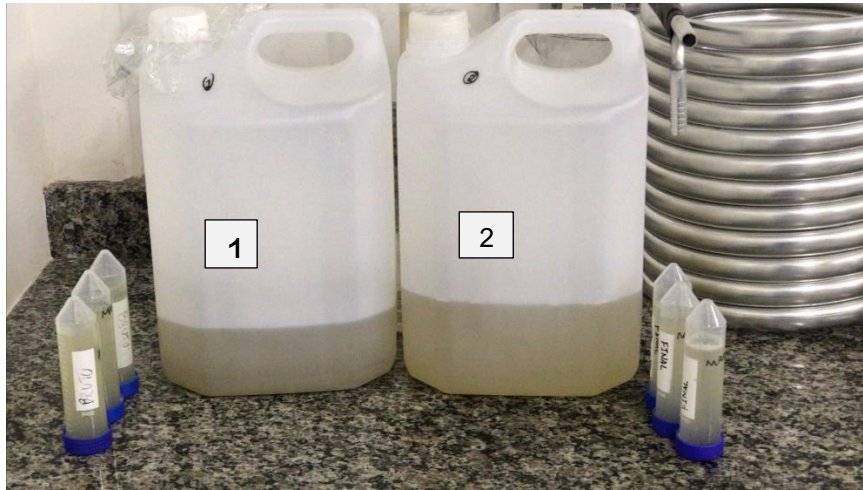
**Fonte: Autoria própria (2018)**

- 1 – Caixa de efluente: Armazenamento do efluente bruto;
- 2 – Tanque de equalização: Peneiramento, equalização, floculação, ajuste de pH e temperatura.
- 3 – Tanque anaeróbio: Digestão anaeróbia;
- 4 – Recolha de gás: Armazenagem de metano proveniente do tanque anaeróbio;
- 5 – Filtro aeróbio percolador: Digestão aeróbia com injeção ascendente de ar;
- 6 – Filtro de leito fixo: Filtro de cascalhos, carvão ativado e lã de aquário.

No intervalo de tempo entre a coleta das amostras e a realização da análise de sólidos totais, as amostras ficaram armazenadas sob refrigeração. Os efluentes coletados são apresentados na Imagem 4. Logo após a coleta do efluente final, percebeu-se uma melhora tanto no odor, quanto em seu aspecto visual em relação ao efluente inicial.



**Imagem 4 – Efluente antes (1) e depois (2) do tratamento**



**Fonte: Aatoria própria (2020)**

A análise de sólidos totais foi realizada no laboratório C003 da UTFPR, já as análises de turbidez, DQO e DBO foram terceirizadas para um laboratório local. O pH foi aferido no momento do experimento. Os resultados obtidos são evidenciados no Quadro 5.

**Quadro 4 – Resultados comparativos entre efluente bruto e tratado**

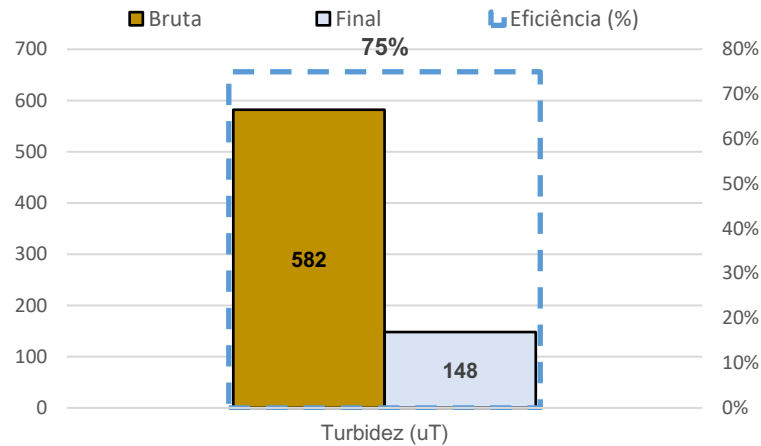
AMOSTRA	Turbidez (uT)	DBO (mg/L O <sub>2</sub> )	DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)	pH
Bruta	582	4837,7	8492,6	8816,667	6,6
Final	148	3243,4	5804,2	6070	6,0
<b>Eficiência (%)</b>	<b>75%</b>	<b>33%</b>	<b>32%</b>	<b>31%</b>	-

**Fonte: Aatoria própria (2020)**

Realizando uma análise mais aprofundada sobre a qualidade do efluente bruto, nota-se que o efluente apresenta como maior valor o indicador de sólidos totais, o que era o esperado, já que o efluente é oriundo do processamento de embalagens de papelão, influenciando também no alto valor de turbidez, devido à alta presença de sólidos suspensos. Valores de carga orgânica elevada também são confirmados (altos valores de DQO e DBO), tendo relação com a carga orgânica proveniente do papel.

Os parâmetros usados para o cálculo das eficiências são apresentados nos Gráficos 1, 2 e 3. A eficiência média de todos os processos foi de 42,75%.

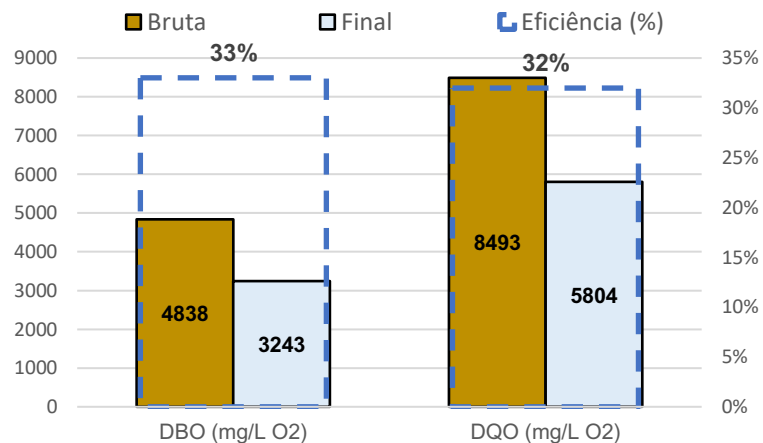
**Gráfico 1 – Remoção da turbidez e eficiência**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

A maior eficiência foi observada no parâmetro turbidez, que envolve a presença de sistemas coloidais, assim como impurezas mais estáveis dissolvidas na amostra, que a torna mais opaca e dificulta a passagem de luz pelo líquido. A melhora da turbidez normalmente ocorre no tratamento terciário, em que o efluente passa pelo filtro aeróbio e pelo filtro de leito fixo logo em seguida.

**Gráfico 2 – Remoção da DQO e DBO e eficiências**

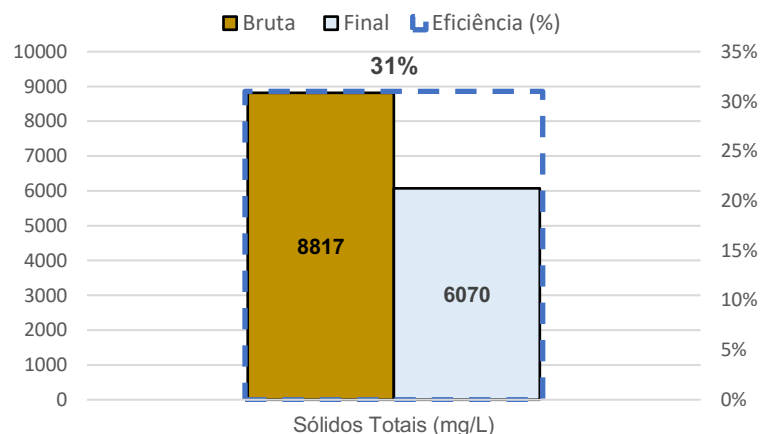


**Fonte: Autoria própria (2020)**

As demandas química e bioquímica da amostra apresentaram aproximadamente a mesma eficiência, a influência nestes dois parâmetros acontece basicamente no tratamento secundário, e no filtro percolador. Analisando as condições em que a operação ocorreu, algumas hipóteses podem indicar a redução da eficiência desta operação:

- Contato do lodo com o ar: como o lodo secundário objetiva uma digestão totalmente anaeróbia, é necessária uma quantidade grande de bactérias fermentativas desde tipo ativadas, como o lodo não foi transferido direto do tanque em que foi recolhido para o reator do experimento, este teve contato com oxigênio, prejudicando a atividade das bactérias fermentativas desejadas. Durante a operação da ETE, as colônias, agora isoladas de oxigênio, conseguem se propagar e aumentar sua concentração no lodo. Caso o experimento continuasse seria possível observar um aumento da eficiência na remoção de carga orgânica, mas devido ao volume limitado de efluente e tempo não foi possível manter o processo contínuo por um maior período.
- Temperatura de operação: A temperatura para o tratamento anaeróbio foi ajustada no tanque anterior (tanque de equalização), antes da passagem do efluente pelo lodo, que tem uma temperatura ótima de atividade entre 30 e 35 °C, e esta passagem ocorreu lentamente, o efluente perdeu calor para o ambiente e não se manteve acima de 30 °C durante todo o processo, tendo assim, uma influência negativa sobre a eficiência da digestão anaeróbia neste reator.

**Gráfico 3 – Remoção de sólidos totais e eficiência**



Fonte: Autoria própria (2020)

A menor eficiência do experimento foi observada nos sólidos totais, a maior influência sobre este indicador ocorre no tratamento físico-químico primário, em que ocorre a floculação das impurezas sedimentáveis. Para isto foi dosado sulfato de zinco, único coagulante disponível para uso coletivo nos laboratórios. Este apresenta sua melhor performance em um pH mais básico, o que foi evitado devido à dificuldade de alterar este antes do tratamento seguinte (anaeróbio), em que é altamente prejudicado por valores de pH acima de 7,5.

## 6 CONCLUSÃO

Ao analisar os resultados obtidos é possível comprovar que, a Estação de Tratamento de Efluentes construído, em escala de bancada, é funcional e reproduz as operações de tratamento abordadas neste trabalho, tendo redução nos parâmetros turbidez, DQO, DBO e sólidos totais.

Apesar das condições adversas, principalmente no reator anaeróbio de tratamento, foi possível observar a efetividade da operação, tendo em vista que houve produção de gás, e redução do pH durante o processo, efeito comum em processos fermentativos de digestão de matéria orgânica.

Considerando todas as análises levantadas até agora, conclui-se que a representação das operações de tratamento de efluentes, em escala de bancada, foi efetiva. Resultando em uma diminuição de impurezas, da carga orgânica, na melhora no aspecto visual e odor do efluente em questão.

Com a comprovação da possibilidade da realização de operações de tratamento de efluentes em escala de bancada com o modelo construído, este poderá ser utilizado em atividades acadêmicas, como aulas de laboratório, projetos futuros, sendo uma maneira prática de observação e estudo das operações mais usuais de tratamento de efluentes industriais. Além disto, o modelo ficará disponível para melhorias e aprimoramentos futuros. Sendo então, um legado deixado para a instituição.

## REFERÊNCIAS

AYGUN, A.; NAS, B.; BERKTAY, A. **Influence of high organic loading rates on COD removal and sludge production in moving bed biofilm reactor**, Environmental Engineering Science, V.25, p. 1311-1316. 2008.

MACHADO, B. J. F. **Reuso de efluentes em torres de resfriamento** – estudo de caso: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. 2005. p. 106 Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2005. Rio de Janeiro – RJ.

SANT'ANNA JR, G. L.. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. IV, junho 2011.

HESPANHOL, I.; et al. **Manual de Conservação e Reuso de água na Indústria**. Centro Internacional de Referência em Reuso de Água – CIRRA/IRCWR. 1. ed. Rio de Janeiro: DIM, 2006.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento De Efluentes E Recuperação De Recursos**. Bookman Companhia Editora, 5. ed. p. 254-294. 2008.

CQR – Conselho Regional de Química. **Operação de Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos Processo físico-químico**. Ribeirão Preto, SP, 2013. Disponível em:  
<[https://www.crq4.org.br/sms/files/file/2013\\_09\\_28\\_Apostila\\_ETE\\_Ribeirão\\_Preto\\_silte.pdf](https://www.crq4.org.br/sms/files/file/2013_09_28_Apostila_ETE_Ribeirão_Preto_silte.pdf)>. Acesso em: 13 ago. 2018.

ARAÚJO, R. R.; DIAS, L. S.; BENINI, S. M. **Água: tratamento, efluentes e lodos**. Editora ANAP, 1. ed. p. 128. Tupã – SP, 2015.

KRAEMER, M. E. P. **A questão ambiental e os resíduos industriais**. Publicado em: XXV ENEGEP Porto Alegre, RS, Brasil, 2005.

PEREIRA, R. S. **Poluição hídrica: causas e consequências**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS. 2003. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABEKwAE/poluicao-hidrica-causas-consequencias>>. Acesso em: 13 ago. 2018.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, p. 58-63. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-COONAMA**. Publicada no DOU nº 92, de 16/05/2011, p. 89. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

SCOTT, W. C.; et al. **Spatial and temporal influence of onsite wastewater treatment systems, centralized effluent discharge, and tides on aquatic hazards of nutrients, indicator bacteria, and pharmaceuticals in a coastal bayou**. Science of the Total Environment 650. p. 354-364. Texas – EUA, 2018.

PONTA GROSSA. Lei nº 11.233, de 27/12/2012. **Dispõe sobre a política ambiental municipal de Ponta Grossa e dá outras providências**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pr/p/ponta-grossa/lei-ordinaria/2012/1123/11233/lei-ordinaria-n-11233-2012-dispoe-sobre-a-politica-ambiental-municipal-de-ponta-grossa-e-da-outras-providencias.html>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

CAVALCANTI, C.; et al. **DESENVOLVIMENTO E NATUREZA: Estudos para uma sociedade sustentável**. INPSO/FUNDAJ. Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério da Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Outubro 1994. p. 262.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Ministério do Meio Ambiente, Departamento de Apoio ao Conselho Nacional do Meio Ambiente – DCONAMA. Brasília – DF. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

IAP. **Instituto Ambiental do Paraná**. Curitiba – PR. Disponível em: < <http://www.iap.pr.gov.br/>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

COMDEMA. **Conselho Municipal de Meio Ambiente**. IPLAN, Ponta Grossa – PR. Disponível em: < <https://iplan.pontagrossa.pr.gov.br/conselho-municipal-de-meio-ambiente-comdema/>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

SMMA. **Secretaria Municipal de Meio Ambiente**. Prefeitura Municipal de Ponta Grossa –PR. Disponível em: < <https://smma.pontagrossa.pr.gov.br/>>. Acesso em: 4 nov. 2018.

GIORDANO, G. **TRATAMENTO E CONTROLE DE EFLUENTES INDUSTRIAIS**. Revista ABES, v. 4. ed. 76. 2004.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências**. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm)>. Acesso em: 3 nov. 2018.



CARVALHO, K. Q.; et al. **Tratamento de efluentes**. Caderno para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec. 1. ed. Curitiba: Ed. UTFPR, 2011.

GIORDANO, G. **Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgotos**. Dissertação de Mestrado em Ciência Ambiental, Universidade Federal Fluminense, p. 137, Niterói – RJ, 1999.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 169-215. UFMG, 2005.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição o ribeirão Lavapés/Botucatu – SP**. Eclérica Química, v. 22, p. 49-66. São Paulo, 1997.

DA COSTA, A. P. J.; DA SILVA, A. L.; MARTINS, R. S. **Um estudo sobre estações de tratamento de efluentes industriais e sanitários da empresa Dori Alimentos LTDA**. REGRAD – Revista de Graduação UNIVEM, v. 1, ano 2, p. 6-22. Marília – SP, 2009.

SYLVESTRE, S. H. Z. **Desempenho de sistemas de reatores anaeróbios e aeróbio na remoção de coliformes e ovos de helmintos de águas residuárias de suinocultura**. Dissertação de mestrado, Microbiologia Agropecuária, UNESP/Jaboticabal – SP, 2013.

BENTO, A. P.; et al. **Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: Um instrumento de avaliação e controle do processo**. Eng. Sanit. Ambient. v. 10, nº 4, p. 329-338. Out/dez 2005.

DOS SANTOS, D. V.; et al. **Engenharia do Meio Ambiente Tratamento Terciário de Esgoto**. Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas – FACET, graduação em Engenharia de Petróleo. Itaperuna, nov. 2011.

SILVA FILHO, A. **Tratamento terciário de efluentes de uma indústria de refrigerantes visando ao reuso – Um estudo de caso**. Dissertação de mestrado, Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, UFRJ. Rio de Janeiro - RJ, 2009.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association. WaterEnvironmentalFederation, ed. 20. 1998.

## ANEXO A – Padrões de lançamentos de efluentes líquidos para diferentes tipos de indústrias

**Quadro 1A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos do beneficiamento da mandioca**

Tipos de água	Parâmetros	Padrões
Águas de lavagem de mandioca	DBO <sub>5</sub>	≤ 100 mg/L
	DQO	≤ 350 mg/L
	Cianeto total	≤ 0,2 mg/L CN
	Toxicidade aguda	≤ 8 FTd ≤ 8 FTbl
Água vegetal	DBO <sub>5</sub>	≤ 100 mg/L
	DQO	≤ 350 mg/L
	Cianeto total	≤ 0,2 mg/L CN
	Toxicidade aguda	≤ 8 FTd ≤ 8 FTbl
Processos sem segregação de efluentes	DBO <sub>5</sub>	≤ 100 mg/L
	DQO	≤ 250 mg/L
	Cianeto total	≤ 0,2 mg/L CN
	Toxicidade aguda	≤ 8 FTd ≤ 8 FTbl

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 2A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos de Sucoalcooleira**

Parâmetros	Padrões
DBO <sub>5</sub>	≤ 100 mg/L
DQO	≤ 300 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	≤ 50 mg/L
Óleos minerais	≤ 20 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 3A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de laticínios**

Parâmetros	Padrões
DBO <sub>5</sub>	≤ 50 mg/L
DQO	≤ 200 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	≤ 50 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 4A - Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de Curtume**

Parâmetros	Padrões
DBO <sub>5</sub>	≤ 100 mg/L
DQO	≤ 350 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	≤ 50 mg/L
Óleos minerais	≤ 20 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	≤ 20,0 mg/L
Cromo total	≤ 0,5 mg/L
Sulfetos	≤ 1,0 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl
Toxicidade crônica	≤ 8 FTd

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 5A: Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias Frigoríficas**

Parâmetros	Padrões
DBO	≤ 60 mg/L
DQO	≤ 200 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	≤ 50 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 6A: Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de tinturaria, têxteis e lavanderias industriais**

Parâmetros	Padrões
DBO <sub>5</sub>	≤ 50 mg/L
DQO	≤ 200 mg/L
Cromo total	≤ 0,5 mg/L
Cádmio total	≤ 0,2 mg/L
Cianeto total	≤ 0,2 mg/L
Ferro dissolvido	≤ 15,0 mg/L
Níquel total	≤ 2,0 mg/L
Cobre dissolvido	≤ 1,0 mg/L
Zinco total	≤ 5,0 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 7A: Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de extração e refino de óleo de soja**

Parâmetros	Padrões
DBO <sub>5</sub>	≤ 50 mg/L
DQO	≤ 200 mg/L
Óleos vegetais e gorduras animais	≤ 50 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 8A: Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de bebidas**

Parâmetros	Padrões
DBO <sub>5</sub>	≤ 50 mg/L
DQO	≤ 200 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 9A: Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias Maltearias**

Parâmetros	Padrões
DBO <sub>5</sub>	≤ 50 mg/L
DQO	≤ 200 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 10A: Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias tratamento de superfície (galvanotécnica)**

Parâmetros	Padrões
DBO <sub>5</sub>	≤ 50 mg/L
DQO	≤ 300 mg/L
Cianeto total	≤ 0,2 mg/L
Cromo total	≤ 0,5 mg/L
Cádmio total	≤ 0,2 mg/L
Cianeto total	≤ 0,2 mg/L
Ferro dissolvido	≤ 15,0 mg/L
Níquel total	≤ 2,0 mg/L
Cobre dissolvido	≤ 1,0 mg/L
Zinco total	≤ 5,0 mg/L
Óleos minerais	≤ 20 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 16 FTd
	≤ 8 FTbl

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 11A: Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias químicas**

Parâmetros	Padrões
DBO <sub>5</sub>	≤ 50 mg/L
DQO	≤ 300 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl
Toxicidade crônica	≤ 8 FTd

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 12A: Padrões de lançamento de efluentes líquidos em indústrias de papel e celulose**

Parâmetros	Padrões
DBO <sub>5</sub>	≤ 50 mg/L
DQO	≤ 300 mg/L
Sulfetos	≤ 1,0 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl
Toxicidade crônica	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl

Fonte: SMMA (2018)

**Quadro 13A: Padrões de lançamento de efluentes líquidos em outras atividades (podem mudar de acordo com a características das atividades)**

Parâmetros	Padrões
DBO <sub>5</sub>	≤ 50 mg/L
DQO	≤ 200 mg/L
Toxicidade aguda	≤ 8 FTd
	≤ 8 FTbl

Fonte: SMMA (2018)

DEFINIÇÕES - Resolução CONAMA 357/2005:

**Fator de toxicidade (FT):** menor diluição da amostra na qual não se observa efeito deletério agudo ou no caso de algas, efeito crônico, sobre os organismos-teste, nas condições prescritas em cada metodologia;

**Toxicidade:** propriedade potencial que uma amostra possui de provocar efeito adverso em consequência de sua interação com o organismo-teste;

**Toxicidade aguda:** efeito deletério (usualmente letalidade ou alguma outra manifestação que a anteceda) causado por amostra simples ou composta, a organismos-teste em curto período de exposição em relação ao seu ciclo de vida;

**FTd:** Fator de Toxicidade para o microcrustáceo *Daphnia magna*;

**FTbl:** Fator de Toxicidade para a bactéria luminescente *Vibrio fischeri*;

**Fta:** Fator de Toxicidade para algas clorofíceas *Scenedesmus subspicatus*