

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CURSO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**BRUNA VAZ MENEGOTTO**

**CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES  
GERADOS POR MECÂNICAS AUTOMOTIVAS**

**Bagé  
2019**

**BRUNA VAZ MENEGOTTO**

**CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES  
GERADOS POR MECÂNICAS AUTOMOTIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Marcilio Machado  
Morais

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tânia Regina  
de Souza

**Bagé  
2019**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo (a) autor (a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

M541c Menegotto, Bruna Vaz

Caracterização e proposta de tratamento de efluentes gerados por mecânicas automotivas / Bruna Vaz Menegotto.

89 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA QUÍMICA, 2019.

"Orientação: Marcilio Machado Morais".

1. Caracterização de efluentes. 2. Separação óleo e água. 3. Tratamento preliminar. 4. Tratamento primário. I. Título.

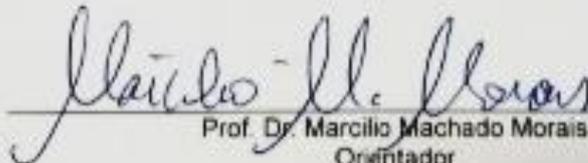
**BRUNA VAZ MENEGOTTO**

**CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES  
GERADOS POR MECÂNICAS AUTOMOTIVAS**

Trabalho de Conclusão de Curso II  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Química da Universidade Federal do  
Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Química.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 9 de julho de 2019.

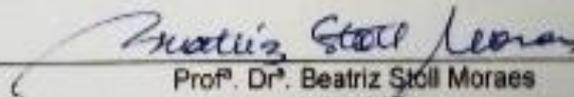
Banca examinadora:



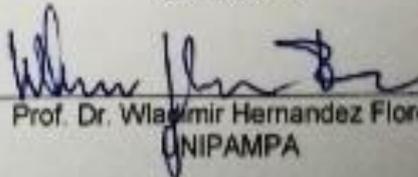
Prof. Dr. Marcilio Machado Moraes  
Orientador  
UNIPAMPA



Prof. Dr. Tânia Regina de Souza  
UNIPAMPA



Prof. Dr. Beatriz Stoll Moraes  
UNIPAMPA



Prof. Dr. Wladimir Hernandez Flores  
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Angela Menegotto e André Menegotto  
que, que sempre me incentivaram e me  
estruturaram durante toda esta trajetória.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por iluminar a minha vida.

Agradeço aos meus pais, Angela Antônia Vaz Menegotto e André Menegotto, por todo amor e orientação incessantes.

Agradeço aos meus avós, Josefina Menoncin Menegotto, Domingos Severino Menegotto e Dozolina Fantinel Vaz, todos *in memoriam*, por sempre me incentivarem a estudar.

Agradeço a toda minha família, por estarem sempre desejando-me o melhor.

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Marcílio Machado Moraes, e a minha coorientadora, professora Dr<sup>a</sup>. Tânia Regina de Souza, por toda atenção e orientação durante o decorrer deste trabalho e da minha graduação.

Agradeço à professora Dr<sup>a</sup>. Maria Alejandra Liendo e ao professor Dr. Wladimir Hernandez Flores, por todos os conselhos, os ensinamentos e as orientações a mim concedidos no início desta pesquisa.

Agradeço à professora Dr<sup>a</sup>. Beatriz Stoll Moraes, pelas considerações e contribuições acerca desta pesquisa.

Agradeço aos professores do curso de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa que contribuíram de forma significativa na construção da minha formação acadêmica até este momento.

Agradeço aos colegas de curso, pela amizade construída, a qual será sempre lembrada.

Agradeço aos amigos, pelo incentivo, conversas, companheirismo, paciência e amizade nos momentos mais difíceis.

Enfim, este trabalho tem a presença de cada um de vocês. Muito obrigada!

“A imaginação é mais importante do que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.”

Albert Einstein

## RESUMO

A demanda por serviços de reparação automotiva realizados nas oficinas mecânicas cresce com o aumento do número de veículos que circulam pelas ruas diariamente. Tais oficinas geram efluentes líquidos e resíduos sólidos que se descartados de forma incorreta aumentam as fontes de poluição e contaminação do meio ambiente. Os efluentes gerados nas oficinas mecânicas representam um sério problema ambiental devido ao seu alto teor de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e óleos e graxas, necessitando, em virtude disso, um aprimoramento do seu tratamento. Ao confrontar com essa realidade, este trabalho teve por objetivo a caracterização dos efluentes gerados em mecânicas automotivas, bem como o seu tratamento com vistas à reutilização ou descarte na natureza. Para isto, os efluentes foram coletados em quatro mecânicas automotivas do município de Bagé (RS) e em uma mecânica automotiva do município de Bento Gonçalves (RS). A caracterização dos efluentes foi feita com relação aos seguintes parâmetros: temperatura, pH, turbidez, óleos e graxas, DQO, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), condutividade elétrica e sólidos dissolvidos. O efluente da mecânica automotiva de Bento Gonçalves (RS) foi tratado por meio de tratamento preliminar (caixa separadora de óleo e água) e primário (coagulação, floculação e filtração). No tratamento preliminar construiu-se uma caixa de retenção com vistas a separação de óleo e graxa da fase aquosa em sistema pseudocontínuo. A fase aquosa foi submetida ao tratamento primário, que consistiu da adição de policloreto de alumínio (PAC) como coagulante e um polímero aniônico como agente floculante. O processo de coagulação e floculação deu origem a duas fases: o clarificado e o lodo. O clarificado foi filtrado e após caracterizado com relação aos parâmetros físico-químicos citados anteriormente e o possível enquadramento em uma classe da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) irá caracterizá-lo para um possível reuso ou, então, o enquadramento nas Resoluções CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) e CONSEMA nº 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017) para lançamento dos efluentes em corpos receptores. Os efluentes brutos oriundos das oficinas mecânicas da cidade de Bagé (RS) e de Bento Gonçalves (RS) apresentaram uma alta DQO (acima de 50.000 mg/L), altos valores de condutividade elétrica (superiores a 500 µS), uma turbidez elevada (acima de 890 NTU), além de altos teores de óleos e graxas (acima de 30%), demonstrando a necessidade do tratamento destes efluentes. A caixa de retenção reduziu em aproximadamente 83% a turbidez e em 87% a quantidade de óleo presente no efluente. Após o processo de filtração, os percentuais de remoção aumentaram para cerca de 99,5% de turbidez, 27,5% de condutividade elétrica, 38% de sólidos dissolvidos e 99,8% de DQO. Com base nisso, o efluente tratado possui valores de pH, óleos e graxas, turbidez e sólidos dissolvidos aceitáveis pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (reuso classe II) (BRASIL, 2005) e, os valores de temperatura e DQO do efluente tratado estão dentro da faixa aceitável pela Resolução CONSEMA nº 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017).

Palavras-chave: Caracterização de efluentes. Separação óleo e água. Tratamento preliminar. Tratamento primário.

## ABSTRACT

The demand for automotive repair services performed in the mechanic's workshops grows with the increase in the number of vehicles that circulate on the streets daily. Such workshops generate liquid effluents and solid waste that if discarded incorrectly increase the sources of pollution and contamination of the environment. The effluents generated in the workshops represent a serious environmental problem due to its high COD (Chemical Oxygen Demand) and oils and greases, necessitating, therefore, an improvement of its treatment. When confronted with this reality, this work had as objective the characterization of effluents generated in automotive mechanics, as well as its treatment with a view to reuse or disposal in nature. For this, the effluents were collected in four automotive mechanics of the city of Bagé (RS) and in an automotive mechanic of the municipality of Bento Gonçalves (RS). The characterization of the effluents was done with respect to the following parameters: temperature, pH, turbidity, oils and greases, COD, biochemical oxygen demand (BOD), electrical conductivity and dissolved solids. The effluents were treated by preliminary treatment (oil and water separation box) and primary (coagulation, flocculation and filtration) treatment. In the preliminary treatment, a retention box was constructed with a view to the separation of oil and grease from the aqueous phase in a pseudo-continuous system. The aqueous phase was subjected to the primary treatment, which consisted of the addition of aluminum polychloride (PAC) as a coagulant and anionic polymer as a flocculating agent. The process of coagulation and flocculation gave rise to two phases: the clarified and the sludge. The clarified was filtered and after characterized with respect to the physicochemical parameters mentioned above and the possible framing in a class of CONAMA resolution n°. 357/2005 (BRASIL, 2005) will characterize it for a possible reuse or, CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011) and CONSEMA n° 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017) for the discharge of effluents into receiving bodies. Were observed in the raw materials from the mechanical workshops in the city of Bagé (RS) and Bento Gonçalves (RS) a high COD (above 50.000 mg/L), high electrical conductivity values (greater than 500  $\mu$ S) and high turbidity (above 890 NTU) as well as high oil and grease contented (above 30%), demonstrating the need to treat these effluents. The retention box reduced turbidity by approximately 83% and by 87% the amount of oil presented in the effluent. After the filtration process, removal percentages increased to about 99,5% turbidity, 27,5% electrical conductivity, 38% dissolved solids and 99,8% COD. Based on this, the treated effluent has values of pH, oil and greases, turbidity and dissolved solids acceptable to CONAMA Resolution 357/2005 (reuse class II) (BRASIL, 2005), and the values of temperature and COD of the treated effluent are within the range acceptable by Resolution CONSEMA n° 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017).

Keywords: Characterization of effluents. Separation oil and water. Preliminary treatment. Primary treatment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de blocos simplificado do processo de tratamento de efluentes.....	31
Figura 2 – Caixa de retenção de óleos e graxas.....	33
Figura 3 – Esquema geral da metodologia analítico-experimental utilizada no presente trabalho.....	49
Figura 4 – Desenho esquemático do aparto de separação construído no presente trabalho.....	54
Figura 5 – Módulo de Jar Test utilizado nos experimentos.....	56
Figura 6 – Filtro de areia e carvão ativado utilizado no tratamento primário.....	57
Figura 7 – Tampa das caixas de captação do efluente (amostras B e C).....	59
Figura 8 – Efluentes brutos oriundos de mecânicas automotivas.....	60
Figura 9 – Demanda Biológica de Oxigênio das amostras de efluentes brutos ao longo de cinco dias.....	64
Figura 10 – Demanda Química de Oxigênio das amostras de efluentes brutos....	65
Figura 11 – Aparato de separação óleo e água.....	67
Figura 12 – Testes das quantidades ótimas de coagulação e floculação em Jar Test (compartimentos 1, 2 e 3 da esquerda para a direita).....	71
Figura 13 – Análise visual do clarificado, do lodo e do efluente tratado.....	74
Figura 14 – Difratoograma da fase oleosa.....	75
Figura 15 – Difratoograma da fase oleosa do efluente oriundo de mecânica automotiva.....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição da frota automobilística nas unidades federativas brasileiras com maior número de veículos.....	20
Tabela 2 – Valores de DBO <sub>5</sub> para diversos tipos de efluentes.....	42
Tabela 3 – Concentração em termos de DBO <sub>5</sub> e DQO.....	43
Tabela 4 – Padrões de lançamento e reuso de efluentes industriais.....	46
Tabela 5 – Dimensões do filtro utilizado no presente trabalho.....	57
Tabela 6 – Caracterização do efluente bruto de mecânicas automotivas.....	60
Tabela 7 – Relação DQO/DBO <sub>5</sub> para os efluentes brutos.....	66
Tabela 8 – Materiais utilizados para construção da caixa separadora de óleo e água.....	68
Tabela 9 – Propriedades físicas do efluente bruto na amostra F na temperatura de 21 °C.....	69
Tabela 10 – Parâmetros de caracterização do efluente após caixa de separação	69
Tabela 11 – Parâmetros utilizados no ensaio de Jar Test.....	72
Tabela 12 – Percentual de redução de compostos do efluente tratado.....	72
Tabela 13 – Comparação dos parâmetros do efluente tratado com os parâmetros aceitáveis pelas legislações ambientais vigentes.....	73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resíduos sólidos característicos de oficinas mecânicas, classificação e destinação.....	24
--	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABIPEÇAS – Associação Brasileira da Indústria de Autopeças  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
APHA – Associação Americana de Saúde Pública  
APROMAC – Associação de Proteção ao Meio Ambiente de Cianorte  
CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas  
COMUNA – Conselho Municipal de Meio Ambiente  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente  
CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco  
CST – Companhia Siderúrgica de Tubarão  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
DRX – Difração de Raio-X  
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental  
FUNASA – Fundação Nacional de Saúde  
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IQA – Instituto de Qualidade Automotiva  
LI – Licença de Instalação  
LP – Licença Prévia  
NBR – Norma Brasileira  
NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez  
O&G – Óleos e Graxas  
OD – Oxigênio Dissolvido  
OLUC – Óleos Lubrificantes Usados e Contaminados  
PAC – Policloreto de Alumínio  
PET – Polietileno Tereftalato  
PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
PVC – Policloreto de Vinila  
RS – Rio Grande do Sul

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SENAI-ES – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial do Espírito Santo

SINDIPEÇAS – Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores

SINDIREPA-RS – Sindicato da Indústria de Reparação de Veículos e Acessórios do Estado do Rio Grande do Sul

SP – São Paulo

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\rho$  – Massa específica

$Re$  – Número de *Reynolds*

$\nu$  – Viscosidade cinemática

$\mu$  – Viscosidade dinâmica

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
2.1 Veículos automotores.....	20
2.1.1 Poluição e contaminação.....	21
2.2 Oficinas mecânicas.....	22
2.2.1 Resíduos sólidos gerados em mecânicas automotivas.....	23
2.2.2 Efluentes líquidos gerados em mecânicas automotivas.....	26
2.2.2.1 Poluição pontual e poluição difusa.....	27
2.2.2.2 Óleos lubrificantes e graxas.....	28
2.3 Tratamento de efluentes líquidos.....	30
2.3.1 Tratamento preliminar.....	32
2.3.2 Tratamento primário.....	33
2.3.2.1 Coagulação.....	33
2.3.2.2 Floculação.....	35
2.3.2.3 Sedimentação.....	36
2.3.2.4 Jar Test.....	36
2.3.2.5 Filtração.....	37
2.3.3 Tratamento secundário.....	37
2.3.4 Tratamento terciário.....	38
2.4 Características físicas e químicas.....	38
2.4.1 Turbidez.....	39
2.4.2 Condutividade elétrica e sólidos dissolvidos.....	39
2.4.3 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	40
2.4.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	40
2.4.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	42
2.4.6 Óleos e Graxas (O&G).....	43
2.4.7 Temperatura.....	44
2.4.8 Difração de Raios-X (DRX).....	44
2.5 Legislação.....	45
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>48</b>
3.1 Coleta do efluente.....	49
3.2 Métodos para determinação dos parâmetros físico-químicos.....	50

<b>3.2.1 Turbidez.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.2 Condutividade elétrica e sólidos dissolvidos.....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH).....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.6 Teor de Óleos e Graxas (O&amp;G).....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.7 Difração de Raios-X (DRX).....</b>	<b>53</b>
<b>3.3 Tratamentos preliminar.....</b>	<b>53</b>
<b>3.4 Tratamento primário.....</b>	<b>56</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>58</b>
<b>4.1 Coleta dos efluentes.....</b>	<b>58</b>
<b>4.2 Resultados preliminares da caracterização do efluente bruto.....</b>	<b>60</b>
<b>4.3 Resultados da construção do aparato de separação.....</b>	<b>66</b>
<b>4.4 Resultados do tratamento primário.....</b>	<b>70</b>
<b>4.5 Resultados da caracterização da fase oleosa.....</b>	<b>75</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>78</b>
<b>6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O constante crescimento populacional no Brasil e no mundo tem ocasionado uma maior demanda por veículos automotores e, conseqüentemente, a necessidade do uso de mecânicas de reparação automotiva.

O processo de manutenção de veículos automotores dentro de oficinas mecânicas teve origem nos anos 30 e de lá para cá só tem aumentado devido ao crescimento do número de automóveis que circulam pelas ruas diariamente.

O incremento dessa atividade na indústria nacional leva a preocupações com a conservação ambiental. Os principais impactos ambientais negativos relacionados à manutenção de veículos estão associados à geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos que, na maioria das oficinas, não são tratados, tornando-se fontes de poluição e contaminação que ameaçam constantemente o meio ambiente, principalmente, os corpos d'água receptores (rios, lagos, açudes, oceanos) (GOMES, 2010).

Com o aumento dos períodos de estiagem no Brasil, faz-se necessário aperfeiçoar os setores de prestação de serviços, com o intuito de reduzir o uso de água e aprimorar o sistema de tratamento de efluentes, para que seja possível reutilizá-lo ou lançá-los em corpos hídricos, sem comprometer o desenvolvimento da biota (DALABONA, 2012).

No caso de oficinas mecânicas que trabalham com veículos movidos pelo uso de derivados de petróleo, o cumprimento da legislação ambiental vigente no que diz respeito à disposição final e ao gerenciamento adequado dos resíduos sólidos e efluentes industriais gerados é um ponto extremamente importante que deve ser avaliado continuamente. Portanto, os tratamentos de efluentes líquidos industriais ganham extrema relevância, sendo, em muitos casos, o item de maior dificuldade operacional e necessidade de controle (DALABONA, 2012).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011), estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora poderão ser lançados nos corpos hídricos somente após o adequado tratamento desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nessa Resolução e em outras normas aplicáveis.

Os efluentes oriundos de mecânicas automotivas possuem elevada turbidez, elevada Demanda Química de Oxigênio (DQO) e alto teor de óleos e graxas. Esses óleos presentes nos efluentes são óleos lubrificantes, em grande maioria, óleos minerais que, quando despejados em mananciais superficiais, sem o devido tratamento, causam contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas (VON SPERLING, 2002).

Os efluentes oriundos deste tipo de estabelecimento são extremamente variáveis na composição, quantidade gerada, porte da unidade geradora e grau de modernidade de seus processos de acondicionamento e destinação (CAVALCANTI, 2009). Em virtude disso, é necessário o acompanhamento periódico dos parâmetros exigidos pelos órgãos ambientais competentes, para que se possa acompanhar o grau de toxicidade dos efluentes.

Ao confrontar com essa realidade, o presente trabalho teve como objetivo coletar e caracterizar os efluentes brutos gerados em quatro oficinas mecânicas do município de Bagé (RS) e em uma mecânica automotiva do município de Bento Gonçalves (RS), através da avaliação de temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, óleos e graxas, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), tratá-los nos níveis preliminar (caixa separadora de óleo e água) e primário (coagulação, floculação e filtração) e caracterizá-los novamente após o sistema de tratamento. Por fim, comparar os parâmetros de caracterização dos efluentes tratados e enquadrá-los nas Resoluções CONAMA n° 430/2011 (BRASIL, 2011), CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005) e CONSEMA n° 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017).

Para a exposição do presente trabalho, organizou-se a seguinte estrutura: **revisão da literatura**, a qual apresentará a relevância de tratar os efluentes gerados por mecânicas automotivas, bem como os seus possíveis tratamentos; **metodologia** adotada, que consiste em pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo (coleta de efluentes, desenvolvimento de aparato de separação óleo e água e tratamento dos efluentes); **resultados e discussão, conclusão, sugestões de pesquisas futuras**, seguidas das **referências**. Acredita-se que este estudo tem relevância para a comunidade acadêmica e comunidade local, além de visar à preservação do meio ambiente.

## 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Veículos automotores que circulam pelas ruas diariamente, aumento da geração de resíduos sólidos e efluentes pelas oficinas mecânicas, tratamento dos efluentes líquidos em questão, características físico-químicas e legislação acerca dos efluentes produzidos por esses estabelecimentos são temas fundamentais para a discussão deste estudo e serão apresentados com mais detalhes a seguir.

### 2.1 Veículos automotores

A frota de veículos automotores tem apresentado crescimento ao longo dos últimos anos. Segundo a pesquisa realizada pelo Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS) e pela Associação Brasileira da Indústria de Autopeças (ABIPEÇAS), em março de 2018, o número de automóveis que circulam pelas ruas do Brasil tem apresentado crescimento, fechando o ano de 2017 com cerca de 36 milhões de unidades circulantes no país, o que corresponde a aproximadamente 83% da frota nacional. O Rio Grande do Sul (RS) apresenta 8,5% dessa frota e ocupa a quarta posição na classificação das unidades federativas com maior número de veículos do Brasil conforme é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição da frota automobilística nas unidades federativas brasileiras com maior número de veículos

Unidade Federativa	Participação (%)
São Paulo	36,82%
Minas Gerais	10,36%
Rio de Janeiro	8,98%
Rio Grande do Sul	8,50%
Paraná	8,14%
Santa Catarina	4,90%
Demais unidades federativas	22,30%
Total	100%

Fonte: Adaptada de Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores; Associação Brasileira da Indústria de Autopeças (2018)

Com o crescimento do número de automóveis que circulam pelas ruas do país diariamente, aumenta a demanda por serviços de reparo nas oficinas mecânicas. Essas, durante a realização das atividades geram resíduos sólidos e efluentes, sendo assim, potenciais fontes de poluição e contaminação do ambiente (PAULINO, 2009).

### **2.1.1 Poluição e contaminação**

De acordo com Fellenberg (1980), a poluição ambiental abrange uma série de aspectos naturais ou potencializados pela ação humana, que são interpretados de forma variada e, dessa forma, diversas definições de poluição são encontradas na literatura.

Para que se entenda o verdadeiro significado de poluição, é necessário conhecer o conceito de meio ambiente. O art. 3º da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981) define meio ambiente como “O conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas. ” Por isso, qualquer alteração no equilíbrio dessas condições, leis, influências e interações causada pela emissão de matéria ou energia, que ultrapasse a capacidade de suporte do meio ambiente, resultará em poluição.

O conceito de poluição que se encontra na literatura técnica, de uma maneira geral, tem a seguinte definição: introdução no meio ambiente de qualquer forma de matéria ou energia que possa afetar negativamente o homem ou outros organismos (SÁNCHEZ, 2008).

O ambiente poluído apresenta condições inadequadas ou prejudiciais à vida, devido às alterações nas características desse ambiente de forma que inviabilize a sobrevivência dos seres que ali habitam, sendo o poluente um agente passivo. Como exemplo, tem-se a emissão de carga orgânica em um curso d'água, o que implica em um aumento na DBO e redução do oxigênio dissolvido (OD), resultando em prejuízos ou morte dos organismos aeróbios (BRAGA, 2005).

Por outro lado, o contaminante apresenta um caráter ativo, pois ele mesmo, em determinada concentração, pode prejudicar a vida dos organismos. A emissão de mercúrio em um curso d'água é um exemplo de contaminação. O mercúrio traz

riscos à saúde dos organismos, devido às características carcinogênicas, recalcitrantes ou de difícil degradação, que acarreta o fenômeno de amplificação biológica (aumento da concentração de determinados compostos ao longo da cadeia alimentar) (BRAGA, 2005).

## **2.2 Oficinas mecânicas**

De acordo com Paulino (2009), as oficinas mecânicas realizam diversos tipos de atividades relacionadas à reparação de veículos automotores como, por exemplo: troca de óleo lubrificante, troca e limpeza de peças, retífica de motores, entre outras. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2018) apresenta uma Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), em que a atividade de manutenção de veículos automotores desenvolvida pelas oficinas de reparação de automóveis é enquadrada na CNAE 4520-0/01. Essa atividade compreende: a manutenção e reparação (mecânica, elétrica, eletrônica, etc.) de veículos automotores (leves e pesados); os serviços de conversão de motores em veículos automotores; a adaptação de veículos para atender a necessidades especiais de deficientes físicos e similares; e a manutenção e reparação de tanques, reservatórios e cilindros metálicos para veículos automotores.

Esses estabelecimentos apresentam diversos portes e encontram-se espalhados por todo o território nacional e produzem quantidades de resíduos sólidos e efluentes muitas vezes desconhecidas pelos órgãos ambientais, assim como a destinação dada aos mesmos. Esses resíduos sólidos e efluentes, se descartados de maneira inadequada, podem poluir o meio ambiente e causar riscos à saúde pública (PAULINO, 2009; LUCENA; MELQUÍADES, 2012; BOMBARDELLI; HEMKEMEIER, 2015).

Devido à ausência de informações a respeito dos resíduos produzidos pelas mecânicas automotivas, esses estabelecimentos merecem uma atenção especial, sendo necessário um estudo sobre as características dos resíduos sólidos e efluentes líquidos produzidos por essa atividade industrial, a fim de evitar o descarte irregular dos mesmos (MIRANDA; FERREIRA; RIBEIRO, 2011).

### 2.2.1 Resíduos sólidos gerados em mecânicas automotivas

De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 10.004 de 2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2004), resíduos sólidos são resíduos no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial e agrícola. Incluem-se nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, assim como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Diversos tipos de resíduos sólidos estão associados às atividades de reparação de veículos automotores. Entre os principais encontram-se plásticos, papéis, papelões, óleos usados, filtros de óleos usados, latas, estopas sujas de óleo, embalagens de óleos vazias, embalagens de peças, entre outros. Muitos desses resíduos podem ser reciclados ou reutilizados se separados e armazenados corretamente (DACROCE; FUJIHARA; BERTOLINI, 2015; GERHARDT *et al.*, 2014; PAULINO, 2009).

De acordo com o Instituto de Qualidade Automotiva (IQA) (2018), os resíduos sólidos gerados em oficinas mecânicas mais prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública são óleo lubrificante usado, descarte de sólidos (panos, papelão e peças) encharcados em óleo, produtos minerais e ferrosos, plásticos e baterias.

Segundo a NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), os resíduos sólidos são considerados tóxicos quando apresentarem alguma contaminação com óleo lubrificante. Os resíduos sólidos atóxicos (sem contaminação com óleo) podem ser encaminhados à coleta seletiva e, devem ser depositados em pontos específicos para posterior reciclagem. Já os resíduos que apresentam alguma toxicidade deverão ser separados, de acordo com a sua perigosidade, de modo a evitar contaminações e danos à saúde pública, e devem ser encaminhados às empresas responsáveis pelo descarte adequado desse tipo de material. Essas empresas que recolhem os resíduos devem disponibilizar um guia de acompanhamento de resíduos o que, muitas vezes, não ocorre na prática.

De acordo com a classificação da NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), os resíduos sólidos são classificados de acordo com o risco que oferecem à saúde pública e ao meio ambiente, sendo divididos em dois grupos: Classe I (resíduos perigosos) e Classe II (resíduos não perigosos não inertes (classe II-A) e inertes (classe II-B)), que são descritos a seguir:

- **Classe I (perigosos):** se gerenciados de forma incorreta, as propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas podem acarretar riscos à saúde pública e/ou ao meio ambiente;
- **Classe II (não perigosos):** divididos em: Classe II – A (são resíduos não inertes, ou seja, podem apresentar propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade, solubilidade em água, etc.) e Classe II – B (são resíduos inertes, ou seja, não sofrem modificações que possam ocasionar risco).

Dessa forma, o tratamento, o armazenamento, o transporte e a destinação final desses resíduos devem seguir as normas para controle e prevenção de possíveis impactos ambientais. No Quadro 1 são apresentados alguns tipos de resíduos sólidos típicos de oficinas mecânicas, sua classificação de acordo com a NBR 10.004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) e sua correta destinação final.

Quadro 1 – Resíduos sólidos característicos de oficinas mecânicas, classificação e destinação

<b>Tipos de resíduos</b>	<b>Classe NBR 10.004/2004</b>	<b>Destinação Final</b>
Latas vazias contaminadas de óleo e graxa	Classe I	Aterro industrial, siderurgia
Estopas contaminadas com óleo	Classe I	Aterro industrial, coprocessamento, incineração
Óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC)	Classe I	Rerrefinadora
Embalagens plásticas	Classe I, II – A e II – B	Reciclagem, aterro industrial, coprocessamento

Fonte: Adaptado de Seramim; Zanella; Bertolini (2015)

O descarte de resíduos de forma inadequada e sem a devida licença é proibido. Misturar resíduos de classes diferentes pode contaminar e tornar um resíduo não perigoso em perigoso, dificultando seu gerenciamento e aumentando os custos da sua destinação (DACROCE; FUJIHARA; BERTOLINI, 2015). Conforme Simião (2011), a separação dos resíduos sólidos evita a contaminação, possibilitando, dessa forma, que os resíduos recicláveis retornem à cadeia produtiva para a fabricação de novos produtos.

De acordo com as legislações que dispõem sobre essa atividade industrial, as oficinas mecânicas têm a obrigatoriedade de manter atualizados todos os registros relativos ao tipo e quantidade de resíduos produzidos, bem como os armazenados, transportados, tratados, valorizados ou eliminados. Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) é um documento técnico que identifica a tipologia e a quantidade de geração de cada tipo de resíduo e indica as formas ambientalmente corretas para o manejo nas etapas de geração, acondicionamento, transporte, tratamento, reciclagem, destinação e disposição final. A elaboração do PGRS é obrigatória, pois, entende-se que com ele, é possível reduzir a poluição e promover o desenvolvimento sustentável. Segundo o PGRS, os consumidores, fabricantes, comerciantes, importadores e governo são responsáveis pelos produtos desde a produção até o descarte.

Os resíduos sólidos gerados dentro das oficinas mecânicas requerem cuidados especiais pois, devido à sua periculosidade, afetam a qualidade de vida das pessoas e o meio ambiente (SERAMIM; ZANELLA; BERTOLINI, 2015; GOMES; OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2008). Essa situação é agravada ao identificar que a maioria das oficinas não possui um PGRS seja por falta de recursos ou por falta de conhecimento (DACROCE; FUJIHARA; BERTOLINI, 2015). As empresas que não cumprem o que determina a PNRS sofrem penalidades, que podem ser perda da licença de operação, pagamento de multas ou até a reclusão, de um até três anos, dos responsáveis da empresa.

No entanto, a questão mais preocupante é a geração e incorreta destinação de efluentes líquidos tóxicos que, muitas vezes, são direcionados às redes de coletas de esgotos e acabam contaminando os corpos aquáticos e, conseqüentemente, a biota local.

### **2.2.2 Efluentes líquidos gerados em mecânicas automotivas**

O incremento da atividade de manutenção de veículos automotores na indústria nacional leva a preocupações com a conservação ambiental. Os principais impactos ambientais negativos relacionados à manutenção de veículos estão associados com a geração de efluentes líquidos que, na maioria das oficinas, não são tratados e se tornam fontes de poluição e contaminação que ameaçam constantemente o meio ambiente, principalmente, os corpos d'água receptores (rios, lagos, açudes, oceanos, lençóis freáticos) e o solo (DACROCE; FUJIHARA; BERTOLINI, 2015; GOMES, 2010).

Apesar de um processo produtivo simples, a reparação de veículos automotores apresenta uma produção significativa de efluentes líquidos tóxicos, principalmente, pelo alto teor de óleos e graxas (O&G) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (BOMBARDELLI; HEMKEMEIER, 2015). De acordo com Von Sperling (2002), os óleos minerais, quando despejados em mananciais superficiais, sem o devido tratamento, causam contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas, além de prejudicar os processos de fotossíntese dos organismos aquáticos e a taxa de transferência de gases para a atmosfera, agindo como uma camada impermeabilizante na superfície da água. De acordo com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) um litro de óleo pode contaminar vinte mil litros de água (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2007).

De acordo com Paulino (2009), os efluentes oriundos de mecânicas automotivas, por apresentarem alto teor de óleos lubrificantes e graxas em sua composição, podem poluir ou contaminar cursos d'água, causar danos à saúde pública e obstruir ou entupir as tubulações de esgoto convencionais se forem lançados sem tratamento prévio nas redes de coleta de esgotos.

O efluente líquido gerado em mecânicas automotivas é uma mistura de água, óleo e hidrocarbonetos (gasolina, óleo diesel, querosene, lubrificantes), a qual pode apresentar algumas partículas de metais dissolvidos provenientes do desgaste de peças dos automóveis que são continuamente carregadas pelo óleo lubrificante que passa na interface das peças (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM

INDUSTRIAL DO ESPÍRITO SANTO; COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO, 1997).

Postos de gasolina possuem procedimentos normativos que disciplinam o tratamento e controle de efluentes, impermeabilização da área onde são realizadas as atividades, sendo condicionantes para a obtenção de licenças ambientais. É o caso da Resolução CONAMA nº 273 de 29 de novembro de 2000 (BRASIL, 2000) que exige, para emissão das licenças prévia (LP) e de instalação (LI), o detalhamento do tipo de tratamento e controle de efluentes, provenientes de tanques, áreas de bombas e áreas sujeitas a vazamentos de derivados de petróleo ou de resíduos oleosos. No entanto, as oficinas mecânicas, apesar de apresentarem aspectos ambientais com potencial poluidor, não são submetidas a exigências legais na esfera ambiental para sua instalação e operação (PAULINO, 2009).

O óleo lubrificante usado e contaminado (OLUC) contém diversos elementos tóxicos (cromo, chumbo, arsênio, etc.) que podem ser bioacumulativos e podem causar diversos problemas graves de saúde e ao meio ambiente (ASSOCIAÇÃO DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE DE CIANORTE, 2010).

De acordo com Push *et al.* (2007), a drenagem urbana tem sido identificada como fonte substancial de contaminantes para os corpos aquáticos. A pesquisa revela que, concentrações de Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) foram determinadas em amostras provindas de, dentre outras fontes, partes integrantes de veículos, como óleo lubrificante e desgaste de pneus e freios. Através desse estudo, observa-se a relevância das contribuições das fontes difusas de poluição no processo de contaminação dos corpos hídricos.

### **2.2.2.1 Poluição pontual e poluição difusa**

As fontes de poluição podem ser pontuais ou difusas. As fontes pontuais de poluição das águas, como descargas industriais, de rede de esgoto sanitário ou de estações de efluentes sanitários, são mais facilmente identificadas, mensuráveis e controladas. Diferentemente, as fontes difusas de poluição emanam de localizações não pontuais (a superfície terrestre ou a atmosfera) e são mais difíceis de serem identificadas, mensuradas e controladas. São consideradas cargas difusas de poluição aquelas que o lançamento da fonte poluidora é intermitente. São

transportadas a partir de longas distâncias, não sendo possível dizer exatamente qual foi sua origem. Incluem-se como fontes de poluição difusa de áreas urbanas: o escoamento superficial das vias públicas, deposição atmosférica seca e úmida, atividades que gerem lixo e resíduos sobre o solo, lançamentos de efluentes de áreas sem coleta e/ou tratamento de esgotos, entre outros. A maioria dos países já controlam as fontes de poluição pontuais, porém não conseguem atingir resultados desejáveis quanto à qualidade das águas devido às fontes de poluição difusas (HAUPT, 2009).

As atividades das oficinas mecânicas de veículos automotivos incluem-se como fonte de poluição difusa quando não controladas de forma adequada, pois emitem efluentes e/ou resíduos sólidos que podem poluir ou contaminar o meio ambiente. Essas fontes difusas de poluição contribuem com uma parcela pequena nos impactos ambientais quando consideradas isoladamente, porém, quando seus efeitos são somados tornam-se expressivos (PAULINO, 2009).

#### **2.2.2.2 Óleos lubrificantes e graxas**

Os óleos lubrificantes são substâncias utilizadas entre duas superfícies, para reduzir o atrito (resistência ao movimento) e o desgaste de peças, lubrificando e aumentando a vida útil das máquinas (ASSOCIAÇÃO DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE DE CIANORTE, 2010).

Os lubrificantes podem ser de origem animal ou vegetal (óleos graxos), derivados de petróleo (óleos minerais) ou produzidos em laboratório (óleos sintéticos), podendo ainda ser constituídos pela mistura de dois ou mais tipos (óleos compostos).

Os OLUC são classificados como resíduos sólidos perigosos por apresentarem toxicidade. De acordo com a Resolução CONAMA nº 450, de 06 de março de 2012 (BRASIL, 2012) que dispõe sobre as orientações para recolhimento e descarte de óleo lubrificante usado, o uso prolongado destes em um automóvel resulta na sua deterioração parcial, o qual reflete na formação de compostos como: ácidos orgânicos, cetonas e aromáticos polinucleares de alta viscosidade potencialmente carcinogênicos. Em virtude disso, o descarte desse resíduo no solo ou em cursos d'água (esgotos, afluentes, rios e mares) é proibido pelos órgãos de

proteção ambiental, pois gera graves danos ao meio ambiente e à saúde pública (PAULINO, 2009).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 450/2012 (BRASIL, 2012) e com o Serviço Nacional De Aprendizagem Industrial Do Espírito Santo/Companhia Siderúrgica De Tubarão (SENAI/CST) (1997), os OLUC devem ser recolhidos por empresas credenciadas pelo Ministério do Meio Ambiente e destinados ao rerrefino (processo tecnológico de reciclagem que extrai do resíduo a matéria-prima com as mesmas características do produto do primeiro refino), que posteriormente os revenderão para outros fins (DACROCE; FUJIHARA; BERTOLINI, 2015; GERHARDT *et al.*, 2014). É importante salientar que os óleos, quando utilizados como combustíveis no processo de queima em caldeiras de indústrias de fundição, liberam substâncias tóxicas, que resultam em riscos para a saúde pública e qualidade do meio ambiente (PAULINO, 2009). Em virtude disso, as leis ambientais consideram o rerrefino como o método ambientalmente mais seguro para a reciclagem do óleo lubrificante usado ou contaminado.

Já as graxas podem ser definidas como produtos formados por uma combinação semissólida de produtos de petróleo (óleo de base) e de um sabão metálico (espessante) ou ainda mistura de sabões metálicos (de cálcio, de sódio, de lítio, entre outros), adequada para certos tipos de lubrificação. As graxas são empregadas em pontos onde os óleos lubrificantes não seriam eficazes, em virtude de sua tendência de escorrer, ainda que se tratassem de óleos muito viscosos. É conveniente utilizar graxas onde se pretende ter a formação de um selo protetor, evitando a entrada de poluentes (MOURA; CARRETEIRO, 1975).

Assim como os óleos lubrificantes, as graxas também podem ser melhoradas com o uso de aditivos. Elas possuem vantagens e desvantagens em relação aos óleos lubrificantes. Entre as vantagens, têm-se: as graxas que promovem uma melhor vedação contra a água e impurezas, as quais são aplicadas em locais onde os óleos têm maior tendência a escoar para fora do sistema. Já os óleos lubrificantes possuem vantagens em relação às graxas, pois dissipam melhor o calor, lubrificam melhor em altas velocidades e resistem melhor à oxidação (MOURA; CARRETEIRO, 1975; SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL DO ESPÍRITO SANTO; COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO, 1997).

Como toda indústria, as mecânicas automotivas necessitam tratar seus efluentes, procurando garantir a adequação aos padrões de lançamento previstos pela legislação. Atualmente, muitos estabelecimentos não tratam os efluentes gerados durante o processo produtivo e, quando o tratamento acontece, ele não é efetivo. Em virtude disso, há a necessidade de se estudar tratamentos que auxiliem no enquadramento adequado de lançamentos de efluentes em corpos hídricos, para garantir maior equilíbrio entre o meio ambiente, a saúde humana e a saúde animal.

### **2.3 Tratamento de efluentes líquidos**

Os efluentes, também conhecidos como águas residuais, são correntes líquidas advindas de um processo. Um efluente industrial pode contaminar o ambiente em que será despejado caso não haja tratamento adequado (SILVA, 2016). De acordo com Von Sperling (2007), em um tratamento de efluente são analisadas as seguintes condições: estudo dos impactos ambientais do corpo receptor, objetivos do tratamento do efluente, nível do tratamento e a eficiência de remoção da matéria orgânica, sólidos em suspensão e demais compostos que sejam prejudiciais aos corpos receptores. Os processos utilizados para tratamento de efluentes podem ser classificados como processos físicos, químicos e biológicos.

Os processos físicos são utilizados para remoção de resíduos sólidos grosseiros (sólidos em suspensão, sedimentáveis e flutuantes) da água, sendo habitualmente usados nos níveis preliminares de tratamento. Geralmente, os processos físicos de tratamentos estão associados à separação de fases (gradeamento, peneiramento, decantação, filtração, sedimentação, separação de óleos e gorduras, flotação e centrifugação) (HILAL *et al.*, 2004).

Os processos químicos são métodos de tratamento primário no qual a remoção ou transformação de contaminantes (metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, etc.) ocorre pela adição de produtos químicos ou devido a reações químicas (precipitação química, oxidação química e correção de pH).

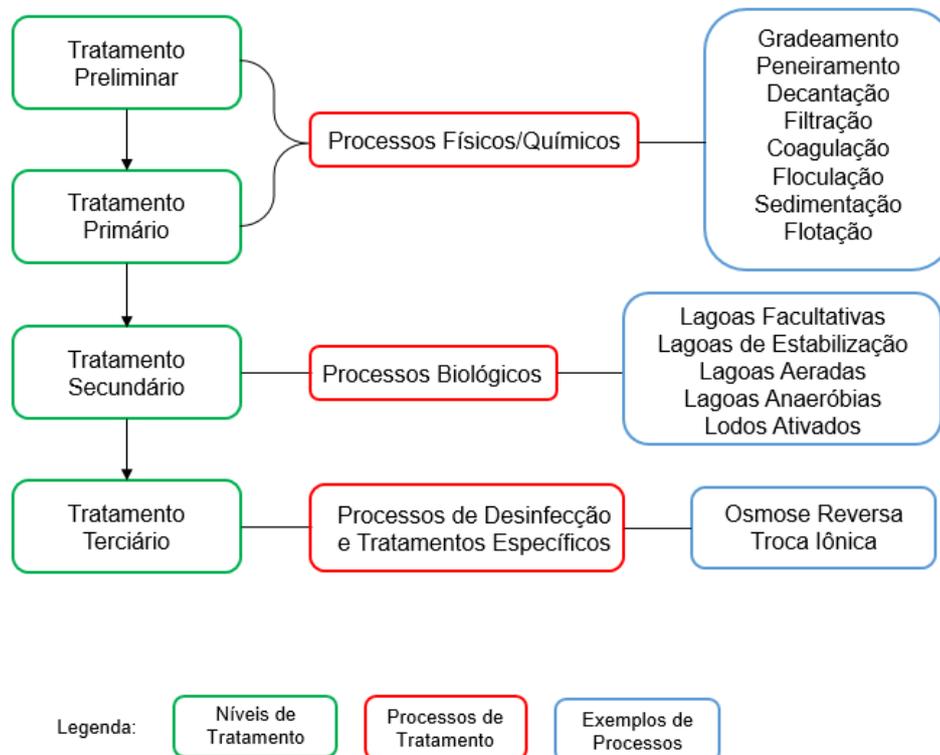
A remoção de diversos componentes ocorre através da combinação de processos físico-químicos para clarificação de águas residuais. Em geral, esses processos são coagulação, floculação e sedimentação (SILVA, 2016).

Já os processos biológicos são empregados no nível de tratamento secundário e se dividem em dois grandes grupos: aeróbios e anaeróbios. Destacam-se: as lagoas facultativas, as lagoas aeradas, os sistemas aeróbios com biofilmes, os reatores anaeróbios e lodos ativados. Os objetivos do tratamento biológico são a remoção de sólidos coloidais não sedimentáveis e estabilização da matéria orgânica e a remoção de nutrientes que causam eutrofização das águas (nitrogênio, fósforo e em menor quantidade, potássio) (METCALF; EDDY, 2003).

Os processos de tratamento biológicos têm como princípio utilizar a matéria orgânica dissolvida ou em suspensão como substrato para microrganismos (bactérias, fungos e protozoários) que a transformam em gases, água e novos microrganismos. Os produtos formados após os processos biológicos são mais estáveis e têm uma significativa redução da presença de microrganismos e menor concentração de matéria orgânica (remoção da DBO em suspensão e da DBO solúvel).

O diagrama de blocos da Figura 1 esquematiza, de forma genérica, o processo de tratamento de efluentes.

Figura 1 – Diagrama de blocos simplificado do processo de tratamento de efluentes



Fonte: Autora (2018)

### 2.3.1 Tratamento preliminar

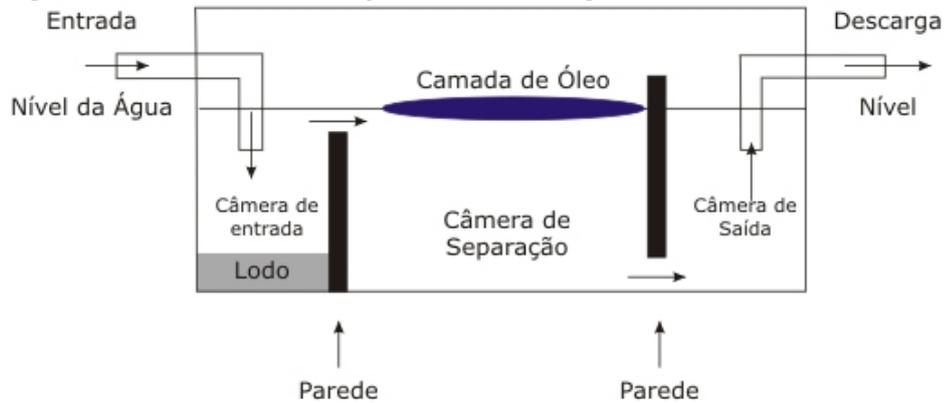
A primeira etapa do processo de tratamento de efluentes é o tratamento preliminar que tem como objetivo a remoção de sólidos grosseiros e areia a fim de que esses não danifiquem as próximas etapas do processo. Nas mecânicas automotivas esse tratamento é realizado mediante caixas de retenção de óleos e graxas.

O Sindicato da Indústria de Reparação de Veículos e Acessórios do Estado do Rio Grande do Sul (SINDIREPA-RS) (2018) orienta que o tratamento de efluentes seja realizado na oficina, com destaque para a retenção da areia e óleo. O processo baseia-se na recepção da água contaminada com hidrocarbonetos e materiais sólidos que, por meio de uma tubulação, chegam à caixa de retenção.

No primeiro estágio, o material sólido (areia e outros) precipita e fica retido no fundo. No segundo estágio, a água contaminada fica em repouso e os hidrocarbonetos (óleo, solvente, etc.), que apresentam densidade menor do que a da água, permanecem na superfície. Há um desnível de 10 cm entre a entrada e a saída da caixa da água que faz com que o óleo da superfície seja desviado para uma caixa de retenção, que poderá ser vendido para o processo de rerrefino/regeneração (SINDICATO DA INDÚSTRIA DE REPARAÇÃO DE VEÍCULOS E ACESSÓRIOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2018).

A água deve passar por uma abertura de 20 cm por baixo de uma placa de cimento que divide o segundo estágio e, dessa forma, mesmo que passe um pouco de hidrocarbonetos, estes ficarão retidos na superfície e a água irá para a rede de esgotos através de um sifão mergulhado a uma profundidade de 30 cm isenta destes contaminantes (SINDICATO DA INDÚSTRIA DE REPARAÇÃO DE VEÍCULOS E ACESSÓRIOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2018). Um desenho esquemático da caixa de retenção de óleos e graxas é apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Caixa de retenção de óleos e graxas



Fonte: NaturalTec (2018)

Esse método hoje é recomendado pelo IQA, mas futuramente passará a ser um requisito obrigatório para a certificação do estabelecimento (VILANOVA, 2015).

Um estudo feito por Paulino (2009) mostra que 47% das mecânicas automotivas do município de São Carlos (SP) possuem caixa separadora de óleo e água, porém essa não é a realidade nacional e muitos estabelecimentos, principalmente os afastados dos grandes centros comerciais, não possuem sistemas de tratamento de efluentes e acabam direcionando-os para a rede de esgotos dos municípios.

Lucena e Melquíades (2012) identificaram que a maioria das oficinas mecânicas de João Pessoa, na Paraíba, não possui caixa separadora de óleo e água. Gerhardt *et al.* (2014) também identificou a falta da caixa separadora de óleo e água em uma mecânica do Rio Grande do Sul.

## 2.3.2 Tratamento primário

### 2.3.2.1 Coagulação

O termo **coagulação** vem do latim *coagulare*, que significa “manter-se junto”. O processo de coagulação descreve o efeito produzido pela adição de um produto químico sobre uma dispersão coloidal, resultando na desestabilização das partículas através da redução das forças que tendem a manter as partículas afastadas (BAUMANN, 1971).

A coagulação é empregada para a remoção de material em suspensão ou coloidal (que causam cor e turbidez nas águas) que não sedimentam e, em virtude disso, não podem ser removidas por processos de tratamento físico convencionais. Os coloides possuem propriedades elétricas que criam uma força de repulsão que impede a sua aglomeração e sedimentação. A desestabilização dos coloides por meio da adição de produtos químicos adequados na água provoca a aglomeração das partículas para posterior remoção delas por meio de sedimentação, flotação ou filtração (CARDOSO, 2003; DALABONA, 2012; ECKENFELDER, 1989).

De acordo com Di Bernardo (2005), as reações de desestabilização são muito rápidas e dependem de características como pH, temperatura, condutividade elétrica, concentração de impurezas, etc.

Algumas medidas como redução do potencial zeta, agitação do sistema para que se tenha um maior número de choques entre as partículas e a adição de produtos químicos que auxiliem a formação de aglomerados de partículas são necessárias para se obter a coagulação/floculação (DALABONA, 2012).

Dentre os vários coagulantes de origem química, os sais de alumínio e ferro são os mais utilizados no tratamento de água e efluentes por apresentarem baixo custo. De acordo com a Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) (2001), quanto maior a valência do íon maior será a sua capacidade de coagulação. Isso justifica o uso de íons  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  como agentes de coagulação dos sistemas coloidais nos quais a água é a fase contínua. Porém, pesquisas comprovam problemas de saúde causados pelo alumínio residual em águas tratadas o que é decorrente da utilização excessiva de grandes quantidades de sulfato de alumínio nos tratamentos. Por esse motivo, testes de coagulação em escala laboratorial são usados para determinar a dosagem ideal de reagentes para o tratamento em questão para que não haja excesso de alumínio na água tratada (VAZ, 2009).

Os sais de alumínio são amplamente utilizados em todo o mundo como agentes coagulantes e, de acordo com Silva (1999), o processo de coagulação é efetivo na faixa de pH entre 5,0 a 8,0. Já os sais de ferro reagem de forma a neutralizar as cargas dos coloides e proporcionam a formação de hidróxidos insolúveis de ferro e, em virtude disso, podem agir numa ampla faixa de pH (entre 5,0 a 11,0) (PAVANELLI, 2001; SPINELLI, 2001).

O Potencial Zeta pode ser utilizado na determinação da dosagem ótima de coagulante a ser empregado em um processo de tratamento de efluentes uma vez que ele avalia a estabilidade e a tendência à floculação de sistemas coloidais. O Potencial Zeta corresponde à determinação da carga eletrostática superficial de partículas coloidais (partículas dispersas com tamanho médio compreendido entre 1 e 100 nm). Quanto maior o Potencial Zeta, mais provável que a suspensão seja estável, pois as partículas carregadas se repelem umas às outras e essa força supera a tendência natural à agregação (DI BERNARDO, 1993).

### **2.3.2.2 Floculação**

O processo subsequente à coagulação é denominado floculação. A diferença básica entre a coagulação e a floculação, sob ponto de vista operacional, está no tempo em que cada uma ocorre e na diferença do valor adotado no gradiente hidráulico. Enquanto a coagulação se processa na unidade de mistura rápida em um curto espaço de tempo, a floculação exige um sistema de baixa turbulência, onde a velocidade de agitação é menor e o tempo de agitação é maior. Dessa forma, tem-se a efetiva agregação das partículas, possibilitando a formação de flocos, com tamanho e massa específica que favoreçam sua remoção por sedimentação, flotação ou filtração (DALABONA, 2012; DI BERNARDO; DANTAS, 2005; RICHTER; NETTO, 1991).

Existem vários fatores que afetam o fenômeno da floculação, entre eles: o sistema químico, incluindo o tipo e a concentração do coagulante, pH, alcalinidade, tipo e concentração dos íons no meio líquido e grau de mistura do sistema. O pH de floculação do meio líquido é muito importante. Um pH entre 6 e 7 está numa variação efetiva para floculação com sais de alumínio, porém, sais de ferro (como cloreto férrico e sulfato férrico) fornecem uma variação muito grande de pH para a formação dos flocos (MCCONHACHIE *et al.*, 1999).

Os polímeros utilizados para esse processo são classificados em catiônicos, aniônicos e não iônicos, os quais deverão ser escolhidos conforme o efluente a ser tratado, visto que cada um apresenta uma carga distinta.

### **2.3.2.3 Sedimentação**

No processo de sedimentação, as partículas se separam do fluido por meio da força gravitacional. Esta é uma das operações unitárias mais utilizadas na indústria química. Nela os sólidos são desprendidos da fase líquida pela diferença de peso. Em grandes tanques sedimentadores, conhecidos também como clarificadores, a velocidade do fluido é baixa e, assim, as partículas têm tempo suficiente para sedimentarem e serem retiradas pelo fundo (GEANKOPLIS, 1998; McCABE; SMITH; HARRIOTT, 1991; NUNES, 2008).

Nos processos de tratamento de efluentes, a sedimentação pode ser aplicada no tratamento primário, para a remoção de uma grande variedade de sólidos orgânicos e inorgânicos presentes no efluente bruto e para a remoção dos flocos formados nos processos de coagulação e floculação (CASSINI, 2008).

### **2.3.2.4 Jar Test**

A fim de estudar as melhores condições de trabalho dos processos de coagulação, floculação e sedimentação, utiliza-se um sistema de testes em escala laboratorial das dosagens dos reagentes e suas proporções no respectivo efluente. Esse sistema é conhecido como Jar Test ou teste de jarros (SILVA, 2016).

O sistema de tratamento que utiliza coagulação, floculação e decantação depende de alguns fatores como: pH, tipo de coagulante, dosagem do coagulante, tempo de coagulação e floculação, velocidade de agitação e tempo de sedimentação. Esses fatores podem ser estudados no teste de jarros, propondo as melhores condições de operação da planta de tratamento de água ou efluentes. Conforme Della (2006), é indicado que o teste seja aplicado diariamente nas estações de tratamento, pois na maioria das empresas a característica do efluente altera-se frequentemente e o volume a ser tratado é considerável. Dessa forma, a dosagem em excesso pode representar um montante significativo de reagentes no final do mês.

### **2.3.2.5 Filtração**

É um processo físico de separação sólido-líquido de misturas heterogêneas que consiste basicamente na passagem do líquido através de um meio permeável (poroso) capaz de reter as partículas sólidas (filtro). Este processo de separação é amplamente utilizado e proporciona a obtenção de um filtrado purificado e livre de partículas sólidas.

Há dois tipos de filtração, a filtração simples e a filtração a vácuo. Na primeira, o papel filtro é posicionado em um funil e a mistura é transferida para que a filtração ocorra. As partículas sólidas ficam retidas no papel e o líquido passará pelos poros e será recolhido em outro recipiente posicionado logo abaixo. Já na filtração a vácuo, a diferença é que há presença de vácuo dentro do recipiente que coleta a solução filtrada, o que acelera o processo de filtração.

A filtração também pode ocorrer em filtros de areia e carvão ativado. Os filtros de areia retiram turbidez, particulados e pequena quantidade de emulsão ou partículas coloidais. Porém, não retiram microrganismos e, em virtude disso, não podem ser utilizados sozinhos no controle de pragas e doenças. Já a filtração por carvão ativado retira as impurezas de um meio sem interferir na sua composição. Na superfície do carvão ativado há diversos poros e, as partículas sólidas ficam retidas no interior deles. Como o carvão ativado tem capacidade de “coletar” gases, a amostra sai desta etapa livre de odores.

### **2.3.3 Tratamento secundário**

O tratamento em nível secundário tem como objetivo a remoção da matéria orgânica e nutrientes (nitrogenados e fosfatados) por meio de mecanismos biológicos. A degradação biológica de águas residuais ocorre por meio de microrganismos (bactérias, fungos, protozoários e algas), os quais metabolizam a matéria orgânica estabilizando-a sob a forma de subprodutos (gases e tecidos celulares) (CAVALCANTI, 2009; VON SPERLING, 2007).

Existe uma variedade de processos de tratamentos secundários, sendo os mais comuns, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, sistemas de lodos ativados, reatores de biofilmes aeróbios (VON SPERLING, 2007).

As lagoas de estabilização são um dos métodos mais difundidos no mundo, sobretudo em locais com grandes áreas e clima tropical, devido às inúmeras vantagens, tais como baixo custo de implantação e boa adaptabilidade. O desempenho das lagoas de estabilização pode estar relacionado a diversos fatores, desde as condições climáticas e a própria qualidade do afluente até a configuração geométrica do sistema (HAMADA; MATSUNAGA, 2000 *apud* CONDE; STACHIW; FERREIRA, 2014; NUNES, 2008).

De acordo com Ruggeri Junior (2011), a atividade microbiológica e as reações que prevalecem para a estabilização da matéria orgânica se classificam em: anaeróbia, facultativa e de maturação.

#### **2.3.4 Tratamento terciário**

Após as etapas de tratamento de efluentes citadas anteriormente têm-se o tratamento terciário que consiste em técnicas físico-químicas para remoção de poluentes específicos (matéria orgânica, compostos não biodegradáveis, nutrientes, metais pesados, entre outros) que não foram retirados pelos outros processos mais comuns (VON SPERLING, 2007).

Os processos de tratamento terciário (ou avançado) podem incluir diversas etapas que vão depender do tipo de poluição do efluente e do grau de depuração que se deseja obter. Os processos de tratamento mais comuns são: adsorção em carvão ativado, microfiltração, osmose reversa, troca iônica, ozônio, radiação ultravioleta, entre outros (NUNES, 2001; VON SPERLING, 2007).

#### **2.4 Características físicas e químicas**

Os efluentes apresentam características específicas de acordo com a sua origem em determinado processo. Os tópicos a seguir exibem algumas das características mais relevantes para caracterização de efluentes.

### **2.4.1 Turbidez**

A turbidez é uma expressão da propriedade óptica que faz com que a luz seja espalhada e absorvida ao invés de transmitida. Ela pode ser definida como o grau de interferência à passagem de luz, através da água, devido à presença de partículas em suspensão e em estado coloidal, como partículas de areia fina, argila e microrganismos, ou seja, quanto maior a intensidade da luz dispersa, maior a turbidez da amostra em questão (DI BERNARDO, 1993; VON SPERLING, 2005).

Em corpos aquáticos, a turbidez pode reduzir a incidência de luz, prejudicando a fotossíntese. As partículas de menor tamanho e com baixa massa específica são mais difíceis de serem removidas por apresentarem menor velocidade de sedimentação. Quanto menor a turbidez da água, mais eficiente é a remoção de sólidos suspensos contidos nela. A medida da turbidez pode ser feita por meio de equipamentos chamados de turbidímetros. É importante ressaltar que para valores idênticos de turbidez, pode haver grande diferença no número e no tamanho das partículas e, em virtude disso, um efluente que apresenta uma menor turbidez não será, necessariamente, o mais fácil de tratar (DI BERNARDO, 1993; VON SPERLING, 2005).

### **2.4.2 Condutividade elétrica e sólidos dissolvidos**

A condutividade elétrica refere-se à concentração de eletrólitos, a qual determina a capacidade da água em conduzir uma corrente elétrica através dos íons dissolvidos. Com o aumento do número de sais ionizados, têm-se uma diminuição da resistência de uma solução aquática ao fluxo de elétrons. Quanto mais pura for a água maior será sua resistência ao fluxo elétrico e menor é o número de sais ionizados presentes na amostra (AGUIAR, 2008).

Por meio da medida da condutividade elétrica pode-se detectar o nível de poluição das águas uma vez que altos valores de condutividade são característicos de cursos d'água poluídos (AGUIAR, 2008; SANTOS, 2009).

Já os sólidos dissolvidos são encontrados naturalmente nas águas devido ao desgaste de rochas por intemperismo e, em grandes concentrações decorrem do lançamento de efluentes domésticos e industriais. Correspondem à soma das

concentrações dos íons que compõem a solução. É formado pelos sólidos filtráveis (substâncias que não passam através de um filtro de 0,45 µm e ficam depositadas como resíduo quando a água se evapora). Os sólidos dissolvidos são a soma dos cátions, ânions e sílica dissolvidos na água (MACIEL JUNIOR, 2000; AGUIAR, 2008).

### **2.4.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O pH consiste na indicação do caráter básico ou ácido de uma dada solução, representado pela atividade do íon hidrogênio. A escala de pH é logarítmica e graduada de 1 a 14.

Trata-se de um parâmetro importante nas etapas de coagulação, floculação, filtração, desinfecção e controle da corrosão. Nos sistemas de abastecimento, águas com valores baixos de pH (ácidas) tendem a ser corrosivas a certos metais e paredes de concreto, enquanto águas com valor elevado de pH (básicas) tendem a formar incrustações. O pH também interfere no crescimento de microrganismos nos sistemas de tratamento biológicos, além de intervir na cinética das reações e na toxicidade de determinados compostos (NUNES, 2001).

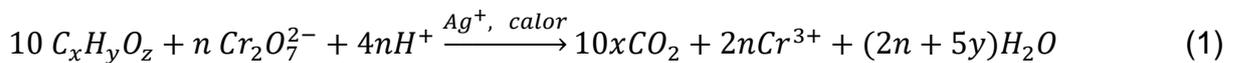
A leitura do pH está diretamente relacionada com a composição química de detergentes, desengraxantes e solventes automotivos que apresentam característica neutra, básica e ácida dependendo do tipo de aplicação e fabricante. Um exemplo é o metassilicato de sódio que possui em sua composição química carbonatos e alcalinizantes que conferem uma característica básica ao efluente. Outra consideração importante é que o pH ácido também influencia na quebra de emulsões dos óleos e graxas em processos de saponificação (BOHN, 2014).

### **2.4.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é uma medida do oxigênio requerido para a estabilização da matéria orgânica (não afetada pela nitrificação) na amostra que é susceptível à oxidação por um oxidante forte (comumente dicromato de potássio ou permanganato de potássio) em uma solução ácida. De acordo com Silva

(2004), a DQO leva em consideração qualquer fonte que necessite de oxigênio, seja mineral ou orgânica.

A DQO é um parâmetro que diz respeito à quantidade de oxigênio consumido durante a oxidação química de compostos orgânicos presentes na água. Neste processo, ocorre a oxidação do carbono orgânico de um carboidrato e este é convertido em gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O). A reação é catalisada por íons de prata na presença de mercúrio (II) como complexante/eliminador de cloretos. Conforme Zuccariet *al.* (2005), se C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub> for uma substância orgânica redutora genérica contida em águas, a reação representada pela Equação 1 mostra tal oxidação.



sendo:

$$n=4x+y-2z.$$

A DQO foi selecionada como parâmetro indireto para avaliar a presença de solventes e combustíveis nas águas residuárias dos estabelecimentos automotivos devido à característica recalcitrante dos combustíveis e solventes utilizados nas oficinas mecânicas e à facilidade e larga aplicabilidade do método na avaliação do potencial poluidor de efluentes industriais (BOHN, 2014).

Para Von Sperling (2007), o teste apresenta algumas vantagens como: rapidez, tempo aproximado de duas a três horas e a rápida resposta do teste faz com que ele possa ser utilizado para o controle operacional de um tratamento. E, como desvantagem do método, pode-se citar, que, devido à oxidação da matéria orgânica presente, eventuais parcelas de óleos dissolvidos e detergentes presentes na amostra também podem ser oxidadas e, dessa forma, influenciar na leitura da DQO, mascarando a influência dos solventes e combustíveis (BOHN, 2014).

Os valores de DQO são maiores ou no máximo iguais aos de DBO e podem ser muito maiores quando quantidades significantes de materiais orgânicos estão presentes. É importante salientar também que quanto menor for o valor da DQO, mais biodegradável será o efluente (CAVALCANTI, 2009; COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2009).

### 2.4.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de uma amostra de água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. As substâncias que consomem oxigênio são compostas por porções carbonáceas, que se referem ao teor de carbono do efluente (carbono reage com o oxigênio dissolvido, produzindo CO<sub>2</sub>) e nitrógenas, que se referem ao teor de amônia (que também reage com o oxigênio dissolvido).

O aumento da concentração de DBO num corpo hídrico é provocado por despejos de origem orgânica e a presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir ao completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2009).

O teste de DBO é extenso e, para otimizar o resultado, convencionou-se o teste por 5 dias (DBO<sub>5</sub>). De acordo com Von Sperling (1996), um rio bastante límpido apresenta um valor de DBO<sub>5</sub> em torno de 1 mg/L. No entanto, ao tratar-se de efluentes, estes valores são muito elevados antes de um tratamento adequado. Na Tabela 2 é apresentado o valor de DBO<sub>5</sub> para diversos tipos de efluentes.

Tabela 2 – Valores de DBO<sub>5</sub> para diversos tipos de efluentes

Efluente	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
Esgoto	120-500
Efluente de Refinaria de Petróleo após a remoção de óleos e graxas	350-700
Efluente de Cervejaria	300-800
Efluente da Parboilização de Arroz	1.600-4.580
Vinhoto (produção de álcool)	5.000-15.000

Fonte: Dezotti (2008)

Assim como na DBO, quanto maior o teor de oxigênio equivalente de um dado efluente, maior é a sua DQO e, conseqüentemente, maior é o seu poder poluente. A principal diferença entre a DQO e a DBO é a fonte de oxidação. Na

primeira ocorre por meio de um forte oxidante em meio ácido e a segunda ocorre uma oxidação bioquímica da matéria orgânica pela ação de microrganismos.

As análises de DQO e DBO conduzem a diferentes resultados, sendo o valor do primeiro parâmetro sempre maior do que o segundo. Isso se dá devido ao fato da oxidação química ser sempre mais efetiva que a oxidação microbiológica e envolver, em função disso, a oxidação da parcela biodegradável e da parcela não biodegradável (CASSINI, 2008).

A relação DQO/DBO<sub>5</sub> funciona como um indicador do grau de biodegradabilidade da água. Valores de 2 a 4 evidenciam que os poluentes são predominantemente biodegradáveis, sugerindo, tratamentos biológicos. Já valores acima de 8 indicam que este grau de biodegradabilidade é baixo (não biodegradáveis), sugerindo que este efluente seja tratado por processos físico-químicos (CAPAZ; NOGUEIRA, 2014).

Na Tabela 3 está apresentado as concentrações em termos de DBO<sub>5</sub> e DQO.

Tabela 3 – Concentração em termos de DBO<sub>5</sub> e DQO

Concentração	Fraca	Média	Grande	Muito Grande
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	200	350	500	750
DQO (mg/L)	400	700	1000	1500

Fonte: Silva e Mara (1979)

#### 2.4.6 Teor de Óleos e Graxas (O&G)

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. São raramente encontrados em águas naturais, sendo normalmente oriundos de despejos e resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolina, estradas e vias públicas (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2009).

Durante a manutenção de veículos automotores se faz necessário lavar algumas peças oriundas dos motores dos automóveis. Essas, por estarem em contato com óleos lubrificantes e graxas, quando lavadas dão origem à efluentes com altos teores de óleos e graxas.

A pequena solubilidade desses compostos em água constitui um fator negativo, pois eles diminuem a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico, impedindo, dessa maneira, a transferência de oxigênio da atmosfera

para a água. Em virtude disso, ocorre morte dos peixes por sufocamento, morte do plâncton e de pequenos crustáceos, algas e plantas (DALABONA, 2012).

#### **2.4.7 Temperatura**

A temperatura é um dos fatores mais importantes no tratamento de efluentes. Nos processos de tratamento físico-químicos, ela pode afetar a eficiência do sistema de remoção dos sólidos, pois a diminuição da temperatura aumenta a viscosidade do líquido, porém diminui a eficiência de sedimentação dos sólidos presentes no líquido, além de, nos processos biológicos, afetar o tipo, o desenvolvimento e a atividade dos microrganismos presentes no efluente (CASSINI, 2008).

De acordo com Metcalf e Eddy (2015), o aumento da temperatura pode causar alterações nas espécies de peixes existentes nos corpos hídricos receptores, bem como a elevação da taxa das reações bioquímicas, o que pode causar diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido na água. Em virtude disso, a temperatura é um parâmetro que precisa ser rigorosamente controlado. Por isso, a faixa ótima deve ser entre 25 e 35 °C de temperatura.

Conforme Mello (2007), a temperatura influi diretamente na taxa de qualquer reação química, exceto onde a alta temperatura produza alterações no catalisador ou nos reagentes da reação.

#### **2.4.8 Difração de Raios-X (DRX)**

A difração de raios-X (DRX) é uma técnica, não destrutiva, de caracterização de estruturas cristalinas dos materiais bastante difundida e largamente utilizada. A técnica baseia-se na Lei de Bragg que está relacionada com o espalhamento de ondas que incidem em um cristal. Quando uma onda atravessa uma região onde não há obstáculos, ela sofre um espalhamento denominado difração. O resultado desse espalhamento é a propagação da onda original em várias direções distintas da inicial (FONSECA; LOPES, 2013; SILVA, 2013).

Os difratômetros possuem um detector móvel capaz de varrer vários ângulos de reflexão, o qual é denominado goniômetro. Assim, são detectadas diferenças na

intensidade do feixe refletido em função do ângulo de reflexão (FONSECA; LOPES, 2013).

O gráfico da intensidade do feixe de raios-X detectado versus ângulo de incidência denomina-se difratograma. E, a partir desse gráfico, pode-se inferir informações sobre as propriedades dos diferentes compostos cristalinos presentes na amostra. A identificação desses compostos cristalinos baseia-se na comparação de um perfil desconhecido com um conjunto de difração padrão. Cada pico do difratograma representa a reflexão dos raios X nos planos do retículo cristalino das fases componentes da amostra, apresentando uma determinada intensidade (altura), área e posição angular (FONSECA; LOPES, 2013; SILVA, 2013).

Dentre as vantagens da técnica, tem-se a simplicidade e a rapidez do método, a confiabilidade dos resultados obtidos (já que cada padrão obtido é peculiar a cada fase) e a possibilidade de realização de análise em amostras constituídas de várias fases cristalinas (FONSECA; LOPES, 2013).

## **2.5 Legislação**

De acordo com a Lei 9.605, Lei dos Crimes Ambientais, de 12 de fevereiro de 1998, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (1998), os resíduos devem ter descarte específico feito por empresas capacitadas e credenciadas para essa prática. A Lei dos Crimes Ambientais também descreve que o lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, detritos, óleos ou substâncias oleosas no esgoto pode gerar uma pena de reclusão de 1 a 5 anos.

Mesmo sabendo-se do potencial poluidor das atividades de reparação automotiva, essas não são objetos de licenciamento ambiental e não existem normas específicas que regularizem suas atividades (PAULINO, 2009). Dessa forma, as oficinas mecânicas devem ter uma atenção especial com relação às seguintes resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA):

- Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001, que estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos sólidos para a coleta seletiva (BRASIL, 2001);

- Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002, que dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos industriais (BRASIL, 2002);
- Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (BRASIL, 2005);
- Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2011);
- Resolução CONAMA nº 450, de 06 de março de 2012, que dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado (OLUC) (BRASIL, 2012).

Tratando-se das legislações que regulamentam especificamente a liberação de efluentes industriais em corpos hídricos e o seu reuso, apresentam-se na Tabela 4 as exigências dispostas na Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011), na Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) nº 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017); e na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

Tabela 4 – Padrões de lançamento e reuso de efluentes industriais<sup>1</sup>

Parâmetro	Resolução CONAMA nº 430/2011	Resolução CONSEMA nº 355/2017	Resolução CONAMA nº 357/2005 <sup>(f)</sup>
Temperatura (°C)	<40 <sup>(a)</sup>	40	-
pH	5-9	6-9	6-9
Turbidez (NTU)	-	-	Até 100
Sólidos Dissolvidos (ppm)	-	-	Até 500
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	Remoção mínima de 60% <sup>(b)</sup>	40-120 <sup>(e)</sup>	Até 5
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	-	150-330 <sup>(e)</sup>	-
Óleos e Graxas (mg/L)	até 20 <sup>(c)</sup> até 50 <sup>(d)</sup>	≤10 <sup>(c)</sup> ≤30 <sup>(d)</sup>	Visualmente ausentes

Fonte: Autora (2018)

<sup>1</sup> Em <sup>(a)</sup>, a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C. Em <sup>(b)</sup>, este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. Em <sup>(c)</sup>, para óleos minerais. Em <sup>(d)</sup>, para óleos vegetais e gorduras animais. Em <sup>(e)</sup>, faixas de valores variam conforme a vazão de efluente. Em <sup>(f)</sup>, parâmetros para enquadramento na classe 2.

Atividades que não são passíveis de licenciamento pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) (2019) ou não foram incluídas nas Resoluções do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) e nas Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) devem possuir licenciamento ambiental em nível municipal, pela Resolução do Conselho Municipal de Meio Ambiente (COMUMA). Ou seja, postos de lavagem de carros, oficinas mecânicas, de pintura e de chapeação devem ser licenciados pelo COMUMA, para que esses estabelecimentos tenham o mínimo de adequações com o intuito de reduzir os impactos ambientais e deem a destinação correta a seus resíduos sólidos e efluentes.

De acordo com Passos *et al.* (2014), os municípios já estão se estruturando de forma a orientar, fiscalizar, punir por meio de multas e suspender o alvará de funcionamento de empresas que não se adequem à legislação. Por essa razão, a tendência é que nenhuma empresa funcione sem a devida adequação às leis ambientais.

### 3 METODOLOGIA

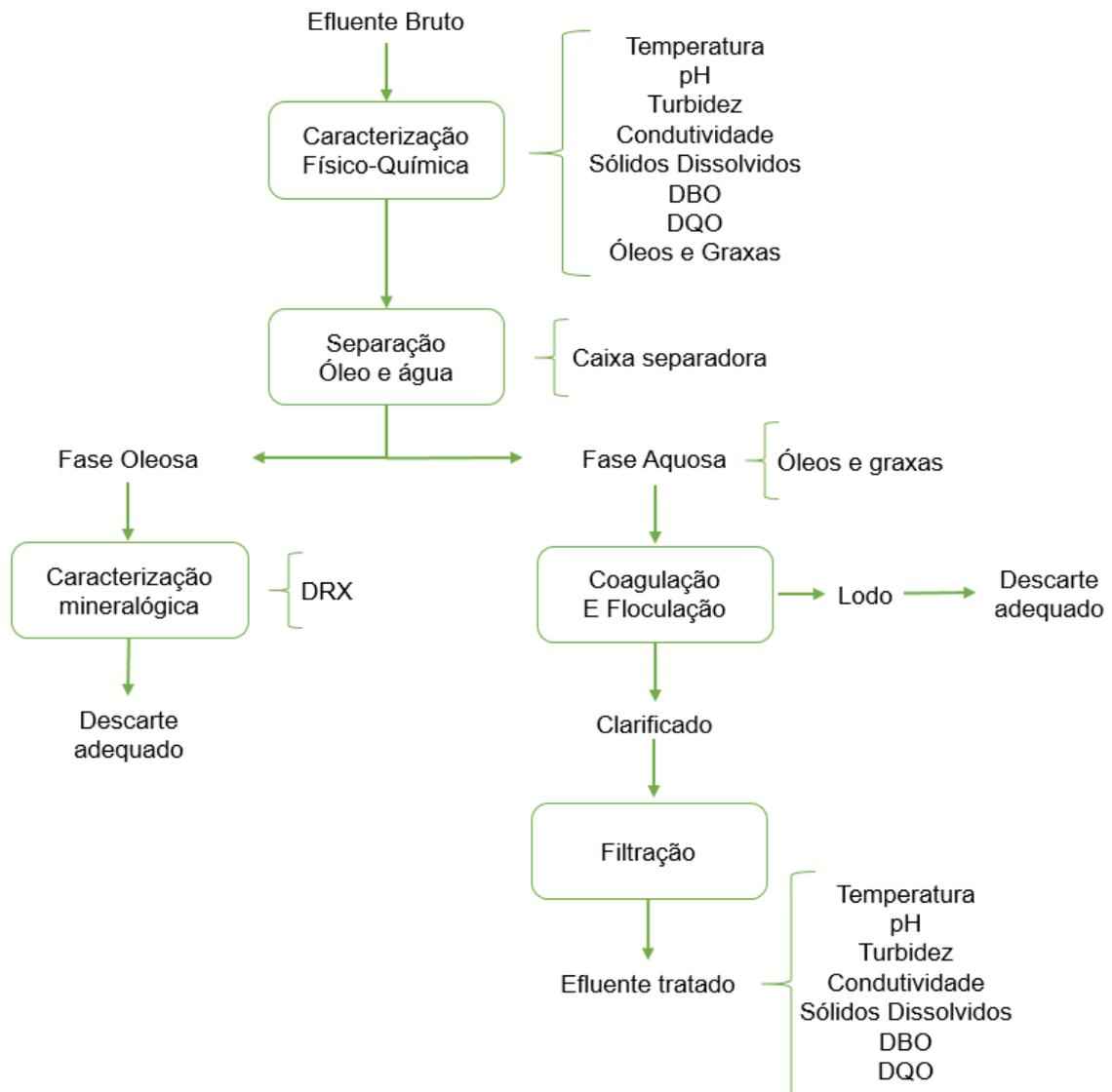
Neste capítulo, expõe-se a metodologia empregada na realização da parte experimental do presente trabalho. Na seção 3.1 está apresentado o procedimento de coleta das amostras do efluente bruto; na seção 3.2 está descrito os equipamentos e métodos utilizados para as análises físicas e químicas empregadas para a caracterização do efluente; na seção 3.3 está descrito a construção da caixa separadora (retenção) para separação óleo/água; e na seção 3.4 está descrito o ensaio de coagulação, floculação e sedimentação em Jar Test bem como o ensaio de filtração em filtro de areia e carvão ativado.

A parte experimental do presente trabalho foi realizada nos laboratórios:

- 1101 – Laboratório de materiais, tratamento de efluentes e caracterização de sólidos particulados;
- 1102 – Laboratório de física e raio-X;
- 1111 – Laboratório de fenômenos de transporte;
- 2102 – Laboratório de ensino de química;
- 2106 – Laboratório de físico-química;
- 2107 – Laboratório de Engenharia Química.

Na Figura 3 está apresentado um esquema geral da metodologia analítico-experimental utilizada no presente trabalho.

Figura 3 – Esquema geral da metodologia analítico-experimental utilizada no presente trabalho



Fonte: Autora (2019)

### 3.1 Coleta do efluente

Os efluentes empregados nos experimentos preliminares foram coletados em quatro mecânicas automotivas do município de Bagé (RS). Já o efluente tratado pela metodologia desenvolvida no presente trabalho, foi coletado em uma mecânica automotiva do município de Bento Gonçalves (RS), o qual foi submetido a um processo de tratamento nos níveis preliminar (caixa separadora de óleo e água) e primário (coagulação, floculação, sedimentação e filtração).

A escolha dos estabelecimentos fornecedores dos efluentes submetidos aos ensaios preliminares se deu em função da disponibilidade de participação das oficinas do município de Bagé. Já a escolha do estabelecimento fornecedor do efluente tratado no presente trabalho, deu-se em função do volume de efluente disponível no estabelecimento.

Em virtude da variação de composição do efluente gerado nas mecânicas automotivas, optou-se por escolher um estabelecimento que fornecesse um lote de efluente com uma quantidade representativa para ser utilizada durante todo o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

A coleta foi realizada em horário de operação dos estabelecimentos e, para isso, seguiu-se as instruções da NBR 9898/87 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987) que dispõe sobre preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

Após a coleta, as amostras foram conduzidas aos Laboratórios de Engenharia Química da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – *campus* Bagé, onde foram mantidas resfriadas em torno de 4°C até a sua utilização.

Os efluentes em questão foram caracterizados com relação a alguns parâmetros físico-químicos como: temperatura, turbidez, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, pH, demanda química de oxigênio (DQO), demanda biológica de oxigênio (DBO) e teor de óleos e graxas.

### **3.2 Métodos para determinação dos parâmetros físico-químicos**

As determinações dos parâmetros físico-químicos foram realizadas de acordo com as metodologias descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1999).

#### **3.2.1 Turbidez**

O aparelho utilizado para os ensaios de medida de turbidez é um turbidímetro digital Del Lab, modelo DLT-WV, calibrado com as soluções indicadas pelo fornecedor. A leitura da turbidez é dada de forma direta, sendo expressa em NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez). O limite máximo de detecção/quantificação do

equipamento é de 1.000 NTU. De acordo com a NBR 9898/87 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987), a análise de turbidez possui prazo de 24 horas para ser realizada após a coleta do efluente.

### **3.2.2 Condutividade elétrica e sólidos dissolvidos**

A determinação da condutividade elétrica foi realizada através da leitura instrumental de um condutivímetro da marca Hanna, modelo HI 9835. O mesmo equipamento fornece o valor dos sólidos dissolvidos. Conforme a NBR 9898/87 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987), a análise de condutividade elétrica possui prazo de 28 dias para ser realizada após a coleta do efluente, porém essa norma não dispõe sobre o prazo de análise de sólidos dissolvidos.

### **3.2.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

A determinação do pH das amostras não oleosas foi realizada através da leitura instrumental de um peagâmetro digital Metrohm, modelo 827, com eletrodo de vidro, calibrado com as soluções indicadas pelo fornecedor. Já para as amostras que possuem quantidade significativa de óleo, a medição de pH foi realizada com o auxílio das fitas medidoras de pH. Segundo a NBR 9898/87 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987), a análise de pH possui prazo de 6 horas para ser realizada após a coleta do efluente.

### **3.2.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

A medida da DQO foi realizada segundo o *Standard Methods 5220 B*, utilizando o método de refluxo aberto. Para a realização do experimento de DQO das amostras oriundas das mecânicas automotivas do município de Bagé, foram utilizados 20 µL de amostra diluídos em 20 mL de água destilada (diluição de 1.000 vezes). Já para a realização do experimento de DQO da amostra oriunda da mecânica automotiva do município de Bento Gonçalves, foram utilizados 1 mL de amostra diluídos em 200 mL de água destilada (diluição de 200 vezes). Essa diluição

foi estipulada a partir de testes preliminares, visto que as amostras de efluente das mecânicas automotivas apresentavam-se muito concentradas e inviáveis para realização do experimento de DQO.

Mesmo sem ter seu valor regulamentado pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), a DQO é um parâmetro importante em estudos sobre a qualidade de água. É um teste rápido e dá uma indicação do oxigênio requerido para estabilização da matéria orgânica. Para a NBR 9898/87 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987), a análise de DQO possui prazo de 7 dias para ser realizada após a coleta do efluente.

### **3.2.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

A realização da análise de DBO, seguiu os procedimentos do equipamento Aqualytic, modelo AL606. Inicialmente, foi verificado o pH das amostras, ajustando-o quando necessário (soluções de NaOH 0,1M ou HCl 0,1M), dentro do intervalo de pH 6,5 a 7,5. A análise da DBO<sub>5</sub> consiste em armazenar as amostras de efluente juntamente a um inibidor de nitrificação (para garantir a degradação apenas da fração carbonácea) nos frascos medidores de DBO. Adiciona-se, em seu copo de vedação, cerca de 3 gotas de hidróxido de potássio 45%. Os frascos ficam no interior de uma incubadora, marca BOD Oxylab, modelo OXY-101, a uma temperatura de 20°C por um período de 5 dias. Após esse período de incubação, o equipamento lista o resultado diário da DBO.

De acordo com a NBR 9898/87 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987), a análise de DBO possui prazo de 7 dias para ser realizada após a coleta do efluente.

### **3.2.6 Teor de Óleos e Graxas (O&G)**

A análise do teor de óleos e graxas seguiu o procedimento descrito no *Standard Methods* 5520 – D com adaptação. A adaptação foi referente à forma de preparo da amostra, a qual foi vertida sobre papel filtro para que o mesmo a absorvesse ao invés de ser filtrada conforme está descrito no referido método padrão. Com isso, garantiu-se que toda a amostra ficasse absorvida no papel. Após,

a amostra foi acondicionada a vidros relógios e levada à estufa por 12 h à 103°C. O material seco contendo papel filtro e amostra foi inserido em um cartucho de extração *Soxhlet* para a extração e quantificação dos óleos e graxas em solvente hexano. Segundo a NBR 9898/87 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987), a análise de O&G possui prazo de 28 dias para ser realizada após a coleta do efluente.

### **3.2.7 Difração de Raios-X (DRX)**

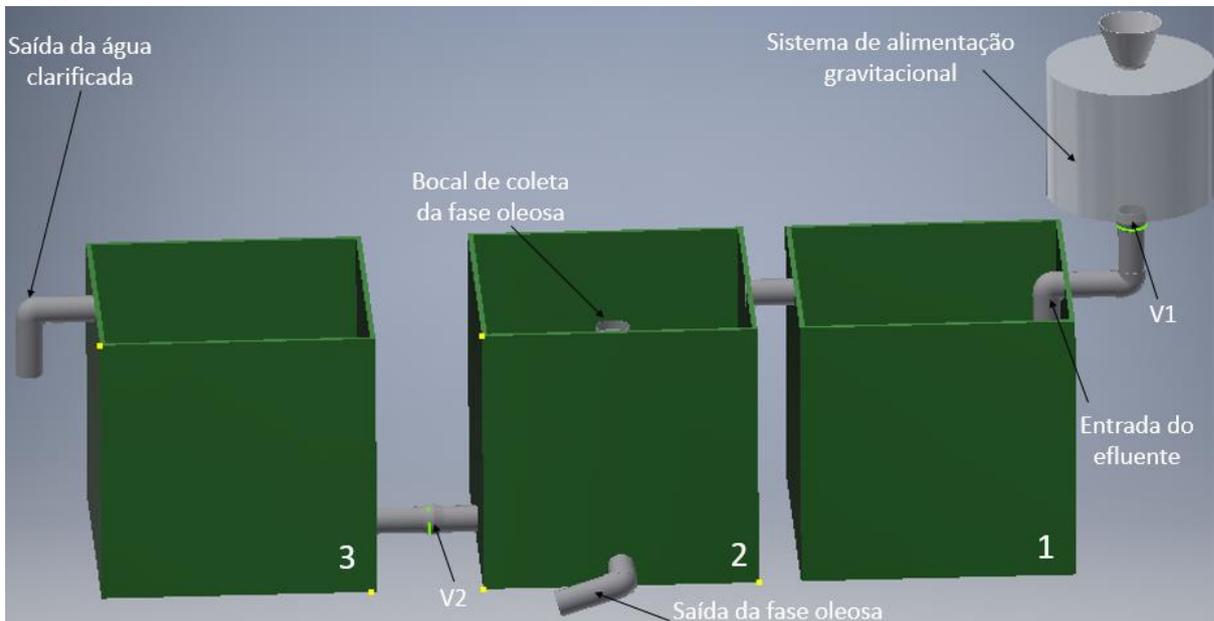
A análise das fases cristalinas dos minerais contidos no efluente foi realizada em um difratômetro de raios-X (DRX), marca *Rigaku Ultima IV*, localizado no laboratório de física e raio-X, do *campus* Bagé, da UNIPAMPA. As amostras que foram utilizadas no procedimento foram previamente carbonizadas em mufla 550°C por 4 h, a fim de se obter os compostos minerais presentes no efluente.

### **3.3 Tratamento preliminar**

O efluente bruto foi tratado segundo os tratamentos preliminar e primário. O tratamento preliminar foi realizado em uma caixa separadora de óleo e água, desenvolvida e construída no presente trabalho, baseada nos princípios de separação apresentados na Figura 2 (ver subseção 2.3.1.1).

O aparato de separação construído no presente trabalho foi montado a partir de três galões de 20L de óleo lubrificante obtidos em um posto de combustível. Removeu-se a parte superior desses galões para que ficassem abertos para a atmosfera e, após furou-se os galões em diferentes posições e acoplou-se flanges rosqueáveis e canos de PVC para permitir a conexão entre eles, formando três compartimentos em série, os quais foram nomeados em 1, 2 e 3 conforme Figura 4. O desenho esquemático do aparato de separação utilizado foi realizado no software Autodesk® Inventor® 2019 disponível na versão estudante.

Figura 4 – Desenho esquemático do aparato de separação construído no presente trabalho



Fonte: Autora (2019)

Na porção superior do compartimento 1, há um sistema de alimentação gravitacional formado por um cilindro cônico de aproximadamente 5L para permitir que o sistema seja alimentado com uma vazão constante.

A entrada do efluente no recipiente 1 se deu pela parte inferior do compartimento para que o escoamento ocorresse no sentido ascendente, a fim de minimizar as perturbações no sistema. O primeiro recipiente tem como objetivo a separação da fase sólida (composta por partículas em suspensão) e da fase líquida. Através de uma válvula esfera de PVC de 20 mm (V1) na tubulação de entrada desse compartimento, pôde-se regular a vazão de alimentação do sistema.

O segundo compartimento (compartimento 2) foi conectado ao primeiro (compartimento 1) por um cano de PVC (policloreto de vinila) situado na parte superior de ambos os recipientes. Nele está disposto 12 garrafas PET (polietileno tereftalato) perfuradas que fizeram a função de uma placa coalescente. Esta destinou-se a capturar e agregar pequenas gotas de óleo, o que evita que as partículas menores sejam arrastadas pelo fluxo da fase aquosa ao invés de serem separadas. Na parte superior desse compartimento, está presente um bocal de coleta da fase oleosa a qual, por ser menos densa que a fase aquosa, apresentou-se como sobrenadante.

Os compartimentos 2 e 3 foram conectados pela parte inferior e uma válvula esfera de PVC de 20mm (V2) foi instalada entre os compartimentos para garantir a separação da fase oleosa em estado estacionário no segundo compartimento. Na parte superior do terceiro compartimento tem-se a saída de água clarificada.

É necessário que a vazão de alimentação do sistema não seja muito elevada para que não ocorra turbulência nos compartimentos e, dessa forma, ocorra a separação óleo e água. Em virtude disso, faz-se necessário conhecer o número de *Reynolds* ( $Re$ ) do escoamento (relação entre forças inerciais e viscosas) o qual pode ser calculado pela Equação 2.

$$Re = \frac{\dot{V}}{\nu \cdot D_{eq}} \quad (2)$$

sendo  $\dot{V}$  a vazão volumétrica ( $m^3/s$ ),  $\nu$  a viscosidade cinemática do efluente ( $m^2/s$ ) e  $D_{eq}$  o diâmetro equivalente do recipiente (m).

O recipiente possui uma seção quadrada, logo a sua dimensão característica pode ser representada pelo seu diâmetro equivalente ( $D_{eq}$ ) ou diâmetro hidráulico, o qual é definido como sendo 4 (quatro) vezes o seu raio hidráulico, conforme mostrado na Equação 3.

$$D_{eq} = \frac{4 \cdot a_{esc.}}{P_{molhado}} \quad (3)$$

sendo  $a_{esc.}$  a área de escoamento ( $m^2$ ) e  $P_{molhado}$  o perímetro molhado (m).

E o valor da viscosidade cinemática é dado pela Equação 4.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (4)$$

sendo  $\nu$  a viscosidade cinemática ( $m^2/s$ ),  $\mu$  a viscosidade dinâmica (Pa.s) e  $\rho$  a massa específica do efluente ( $kg/m^3$ ).

### 3.4 Tratamento primário

O tratamento primário da fase aquosa, previamente separada no tratamento preliminar, seguiu o procedimento usual, consistindo na adição de agentes coagulantes e floculantes para remoção de sólidos em suspensão e, eventualmente, pequenas gotículas de óleos e graxas. A determinação da dosagem ótima de coagulante, floculante, tempo sedimentação, melhor pH e melhor gradiente de velocidade foi realizada em um Jar Test, em experimentos de coagulação/floculação em bancada. O módulo utilizado é dotado de um sistema de agitação e três recipientes (jarros) com capacidade para 1L de amostra em cada um.

Inicialmente, foram adicionadas quantidades pré-determinadas de coagulante a cada um dos jarros, sendo promovida a agitação para propiciar a mistura rápida da solução. Em seguida, foi adicionada certa quantidade de floculante e a agitação foi menos vigorosa para que as partículas se agrupassem.

A dosagem de coagulante e floculante utilizada variou, e a combinação que apresentou melhor clarificação foi considerada satisfatória para o efluente em questão. Na Figura 5 está apresentado o equipamento utilizado no teste de jarros.

Figura 5 – Módulo de Jar Test utilizado nos experimentos



Fonte: Autora (2018)

Após o tratamento mediante coagulação e floculação, o clarificado foi submetido a uma filtração com areia e carvão ativado. O ensaio foi realizado em um filtro disponível no módulo didático de sedimentação contínua da marca Eco Educacional. Na Figura 6 está apresentado o filtro de areia e carvão ativado utilizado

para o experimento de filtração e, na Tabela 5, encontram-se as dimensões do filtro em questão.

Figura 6 – Filtro de areia e carvão ativado utilizado no tratamento primário



Fonte: Autora (2019)

Tabela 5 – Dimensões do filtro utilizado no presente trabalho

Parâmetro	Dimensão (cm)
Largura	13
Comprimento	30
Altura	22
Altura do leito de areia grossa	2
Altura do leito de pedregulho fino	3
Altura do leito de pedregulho grosso	3
Altura do leito de carvão ativado	6

Fonte: Autora (2019)

Após o tratamento do efluente em questão, foi realizada a sua caracterização frente aos parâmetros de temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, DBO e DQO. Esses parâmetros de caracterização também foram realizados no efluente bruto e, dessa forma, foi possível estimar o percentual de redução de contaminantes do meio.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo são apresentados dados de coleta e resultados da caracterização físico-química dos efluentes brutos em relação aos parâmetros de: temperatura, turbidez, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), óleos e graxas, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos e pH. Além disso, nesta seção, apresentam-se os dados do tratamento preliminar realizado através da caixa separadora de óleo e água e dados do tratamento primário realizado através dos ensaios de coagulação, floculação e filtração. O óleo coletado através da separação foi analisado através da difração de raio-X. O efluente tratado foi caracterizado com relação aos mesmos parâmetros do efluente bruto.

### **4.1 Coleta dos efluentes**

O efluente bruto utilizado nos ensaios preliminares foi coletado em quatro estabelecimentos situados no município de Bagé (RS), no segundo semestre, do ano de 2018. Um total de seis estabelecimentos foram contatados, porém, dois deles despejam o efluente contaminado com óleo e água diretamente na rede de esgoto do município inviabilizando, dessa forma, a coleta.

No primeiro estabelecimento, a lavagem das peças contaminadas com óleo lubrificante é feita com um solvente desengraxante. Esse fluido (amostra A) recircula no sistema de lavagem de peças por um período de dois a três meses e, após, é acondicionado em um tambor de 200L, juntamente com óleo lubrificante usado e contaminado, e enviado para uma empresa terceirizada que faz a destinação final.

No segundo estabelecimento visitado, coletaram-se duas amostras (B e C). As amostras são oriundas do sistema de lavagem de veículos e, quando há a necessidade de lavagem de peças contaminadas com óleo, esse processo é feito no mesmo sistema de lavagem dos carros. É importante ressaltar que esse efluente possui resíduos de sabão utilizado na lavagem dos veículos que, em contato com o óleo, pode saponificar. O estabelecimento possui duas caixas de concreto que recebem esse efluente. A primeira caixa recebe o efluente mais concentrado (amostra B) e a segunda caixa recebe o efluente mais límpido que sai da primeira

caixa (amostra C). Ambas as caixas de concreto encontram-se enterradas no lado externo do estabelecimento e possuem uma grade metálica como “tampa”, conforme mostrado na Figura 7. Quando ocorrem tempestades, esses efluentes misturam-se com a água da chuva, e o óleo, que está presente no efluente, pode escoar para o solo caso a caixa transborde.

Figura 7 – Tampa das caixas de captação do efluente (amostras B e C)



Fonte: Autora (2018)

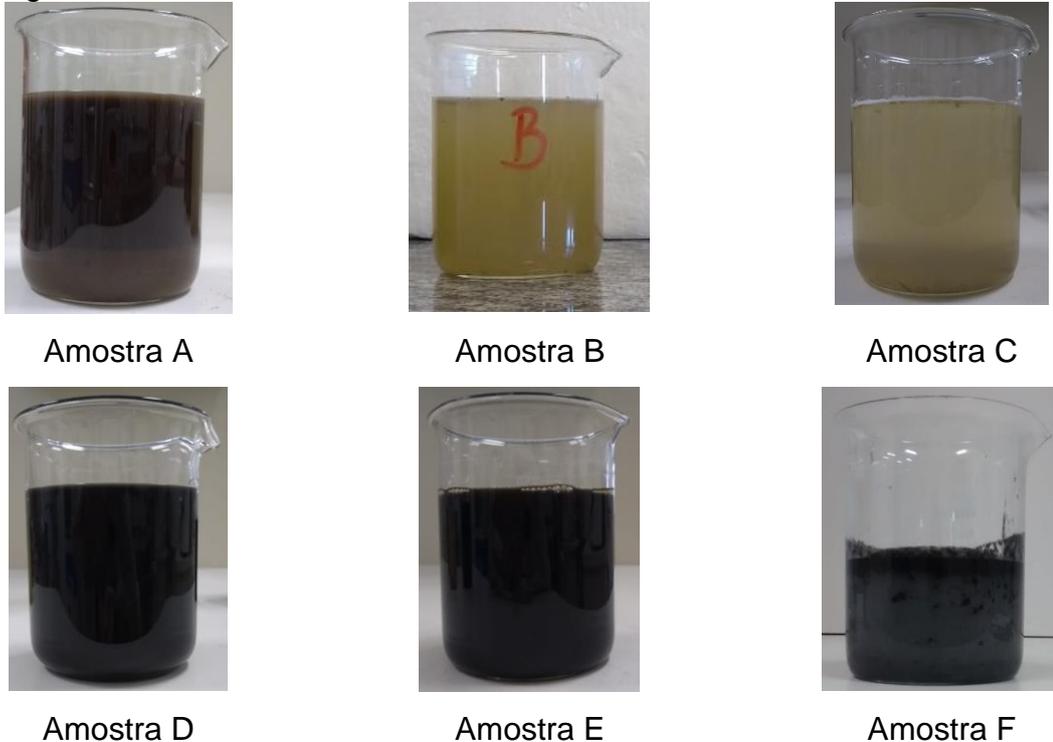
No terceiro estabelecimento visitado, o efluente é oriundo da lavagem de peças contaminadas, utilizando óleo diesel como solvente. É também acondicionado em uma caixa coletora de concreto. A amostra coletada nesse estabelecimento foi identificada como sendo a amostra D.

No quarto estabelecimento visitado, o efluente é oriundo da lavagem de peças de automóveis e fica acondicionado em um tambor de 200L, dentro da própria oficina. A amostra coletada nesse estabelecimento foi identificada como sendo a amostra E.

O efluente bruto utilizado para os tratamentos preliminar e primário foi coletado em um estabelecimento situado no município de Bento Gonçalves (RS). A escolha desse estabelecimento se deu frente à disponibilidade de coleta de 60L de efluente necessários, para que se conseguisse fazer uma batelada de separação, na caixa separadora de óleos e graxas. A amostra coletada nesse estabelecimento foi identificada como sendo a amostra F.

Na Figura 8, estão apresentados os efluentes brutos coletados nas mecânicas automotivas supracitadas.

Figura 8 – Efluentes brutos oriundos de mecânicas automotivas



Fonte: Autora (2019)

Através da análise visual da Figura 8, percebe-se que as amostras A, D, E e F possuem altos teores de óleos e graxas em sua composição. Já as amostras B e C, oriundas do sistema de lavagem de veículos automotores, não apresentam partículas de óleos e graxas visíveis a olho nu.

#### 4.2 Resultados preliminares da caracterização do efluente bruto

Na Tabela 6, estão apresentados os resultados da caracterização do efluente bruto oriundo de mecânicas automotivas frente aos parâmetros de temperatura, pH, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos, óleos e graxas e turbidez.

Tabela 6 – Caracterização do efluente bruto de mecânicas automotivas<sup>2</sup>

<sup>2</sup> (a) Medida realizada com a fita de pH. (b) Limite de detecção do equipamento. (c) Não realizou-se o ensaio para essas amostras. (d) Valor superior ao limite de detecção do equipamento.

Parâmetro	Temp. (°C)	pH	Condutividade elétrica (µS/cm)	Sólidos Dissolvidos (ppm)	Óleos e Graxas (%)	Turbidez (NTU)
Amostra A	22	5-6 <sup>(a)</sup>	-(b)	-(b)	6,8	44,2±0,3
Amostra B	22	9,8±0,1	258,7	129,6	-(c)	491,2±0,4
Amostra C	22	10,7±0,1	525	262	-(c)	898,2±9,9
Amostra D	21	5-6 <sup>(a)</sup>	-(b)	-(b)	-(c)	-(d)
Amostra E	23	5-6 <sup>(a)</sup>	-(b)	-(b)	32,0	-(d)
Amostra F	22	5-6 <sup>(a)</sup>	1114	634	43,2	-(d)

Fonte: Autora (2019)

A temperatura das amostras analisadas está dentro das faixas estabelecidas pelas normativas nacional e estadual, Resolução CONAMA, n°. 430/2011 (BRASIL, 2011) e Resolução CONSEMA, n°. 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017), respectivamente, que dispõem sobre o lançamento de efluentes em corpos hídricos. Já a Resolução CONAMA, n°. 357/2005 (BRASIL, 2005) não estabelece os padrões de temperatura para que a água em questão seja reutilizada como classe II.

As amostras A, D, E e F encontram-se dentro do limite de potencial hidrogeniônico estabelecido pela Resolução CONAMA, n°. 430/2011 (BRASIL, 2011), porém, encontram-se numa faixa limite ao estabelecido pela Resolução CONSEMA, n°. 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017) e pela Resolução CONAMA, n°. 357/2005 (BRASIL, 2005). Já as amostras B e C, apresentaram pH básico, o que se deve, a presença de sabão em sua composição. Em virtude disso, o pH afasta-se da neutralidade e, conseqüentemente, as amostras encontram-se fora dos padrões estipulados por ambas as resoluções. Dalabona (2012) obteve pH de 9,2 para efluentes oriundos de mecânicas automotivas.

A condutividade elétrica dos efluentes não é normatizada pelas três Resoluções descritas anteriormente. Entretanto, segundo a Fundação Nacional de Saúde (2014), a condutividade elétrica da água também pode ser considerada um fator indicativo de qualidade e sugere que águas naturais apresentem teores de condutividade elétrica na faixa de 10 a 100 µS/cm, enquanto em ambientes poluídos por esgoto doméstico ou industrial, esses valores aumentam, podendo atingir cerca de 1000 µS/cm.

Dessa forma, as amostras B, C e F enquadram-se nos valores estipulados para ambientes poluídos (condutividade acima de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), de acordo com a Fundação Nacional de Saúde (2014). Já as amostras A, D e E apresentam valores de condutividade superiores ao limite de detecção do equipamento utilizado (500 mS) e, considerando-se esse limite, as amostras também se enquadram nos valores estipulados para ambientes poluídos.

As Resoluções CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011) e CONSEMA nº 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017) não dispõem sobre os padrões de sólidos dissolvidos necessários para que os efluentes industriais possam ser destinados aos corpos hídricos. Porém, a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) permite até 500 ppm de sólidos dissolvidos para águas de reuso classe II. Sendo assim, as amostras B e C encontram-se dentro da faixa de valores permitidos por esta resolução e a amostra F encontra-se fora do limite aceitável. Já as amostras A, D e E apresentaram teor de sólidos dissolvidos superior ao limite de detecção do equipamento e, conseqüentemente, apresentam altos valores de sólidos dissolvidos.

Observou-se que as amostras com maior teor de sólidos dissolvidos, apresentaram maior condutividade elétrica. Isso está de acordo com o encontrado na literatura pois esses parâmetros são correlacionados. A medida que o teor de sólidos dissolvidos aumenta a condutividade elétrica tende a aumentar.

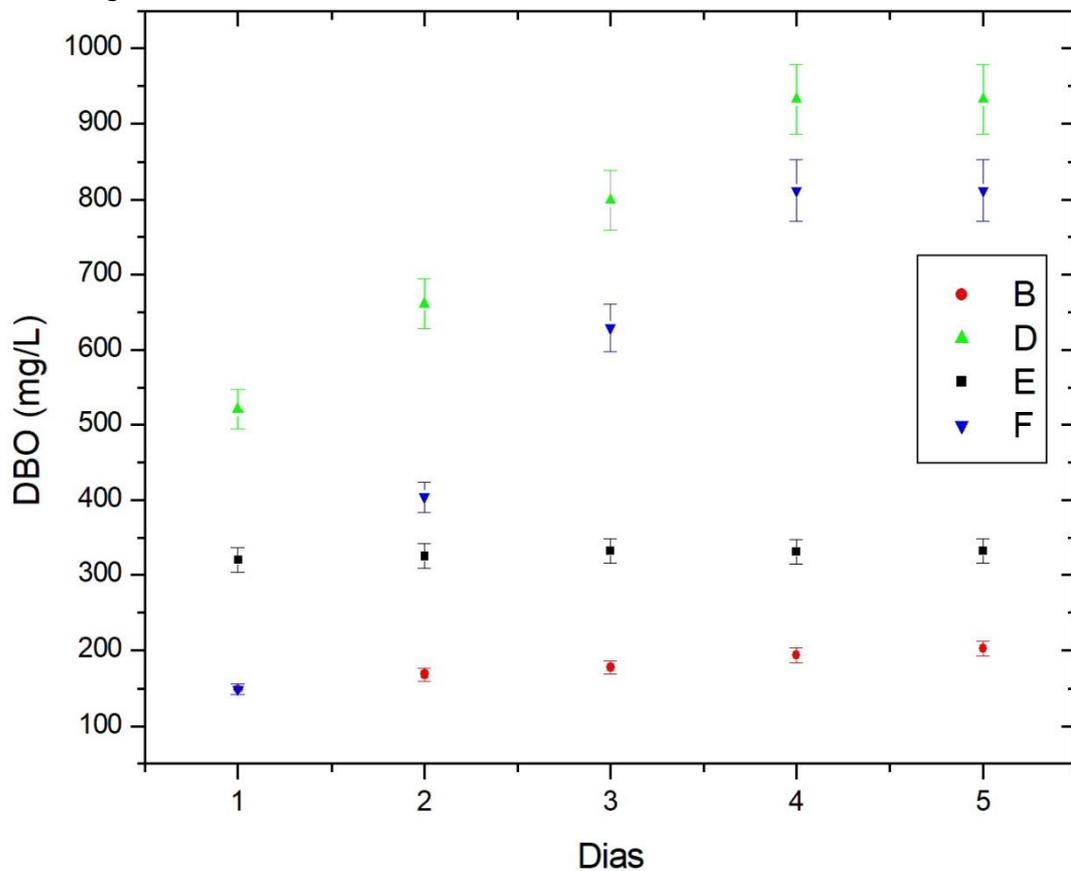
A análise de óleos e graxas forneceu valores de, aproximadamente, 6,8% (55.434mg/L) para a amostra A, 32% (319.246 mg/L) para a amostra E e 43% (424.831 mg/L) para a amostra F. O ensaio não foi realizado para as amostras B e C, pois estas não apresentavam óleos e graxas visíveis a olho nu e, em virtude disso, poderiam nem ser detectados pela sensibilidade do método. Já o ensaio para a amostra D, não foi realizado, porque é muito semelhante à amostra E e, por causa disso, a quantidade de óleos e graxas em ambas deve ser muito semelhante. A Resolução CONAMA, nº. 357/2005 (BRASIL, 2005) salienta que os óleos e graxas devem ser visualmente ausentes para que o efluente possa ser reutilizado como água classe II. Já as Resoluções CONSEMA, nº. 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017) e CONAMA, nº. 430/2011 (BRASIL, 2011) estabelecem limites máximos de 10 e 20 mg/L, respectivamente, de óleos minerais presentes no efluente. Dessa forma, percebe-se que os valores de óleos e graxas encontrados para as amostras em questão encontram-se muito acima do aceitável pelas legislações vigentes.

A Resolução CONAMA, nº. 430/2011 (BRASIL, 2011) e a Resolução CONSEMA, nº. 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017) não estabelecem padrões de lançamento para turbidez, porém, a Resolução CONAMA, nº. 357/2005 (BRASIL, 2005) estabelece que a turbidez deve ser de até 100 NTU, para que o efluente, em questão, possa ser reutilizado como água classe II. Seguindo-se essa normativa, apenas a amostra A está dentro desse padrão. As amostras B e C apresentam altos valores de turbidez, mas ainda dentro da faixa de quantificação do equipamento. E, as amostras D, E e F apresentam valores de turbidez que extrapolam os limites de detecção do equipamento utilizado (1000 NTU), possuindo, assim, um valor de turbidez mais elevado.

Todos os valores de  $DBO_5$  das amostras analisadas ultrapassaram a faixa de valores permitida pela Resolução CONSEMA, nº. 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017) que vai de 40 a 120 mg/L, sendo que essa faixa de valores varia de acordo com a vazão de efluente. A Resolução CONAMA nº. 357/2005 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005) prevê uma  $DBO_5$  de até 5 mg/L, para que o efluente seja utilizado como classe II e a Resolução CONAMA, nº. 430/2011 (BRASIL, 2011) salienta que a  $DBO_5$  deve possuir percentual mínimo de remoção de 60%.

Na Figura 9, está apresentado o gráfico da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), ao longo dos cinco dias, em que as amostras de efluente bruto permaneceram na incubadora.

Figura 9 – Demanda Biológica de Oxigênio das amostras de efluentes brutos ao longo de cinco dias



Fonte: Autora (2019)

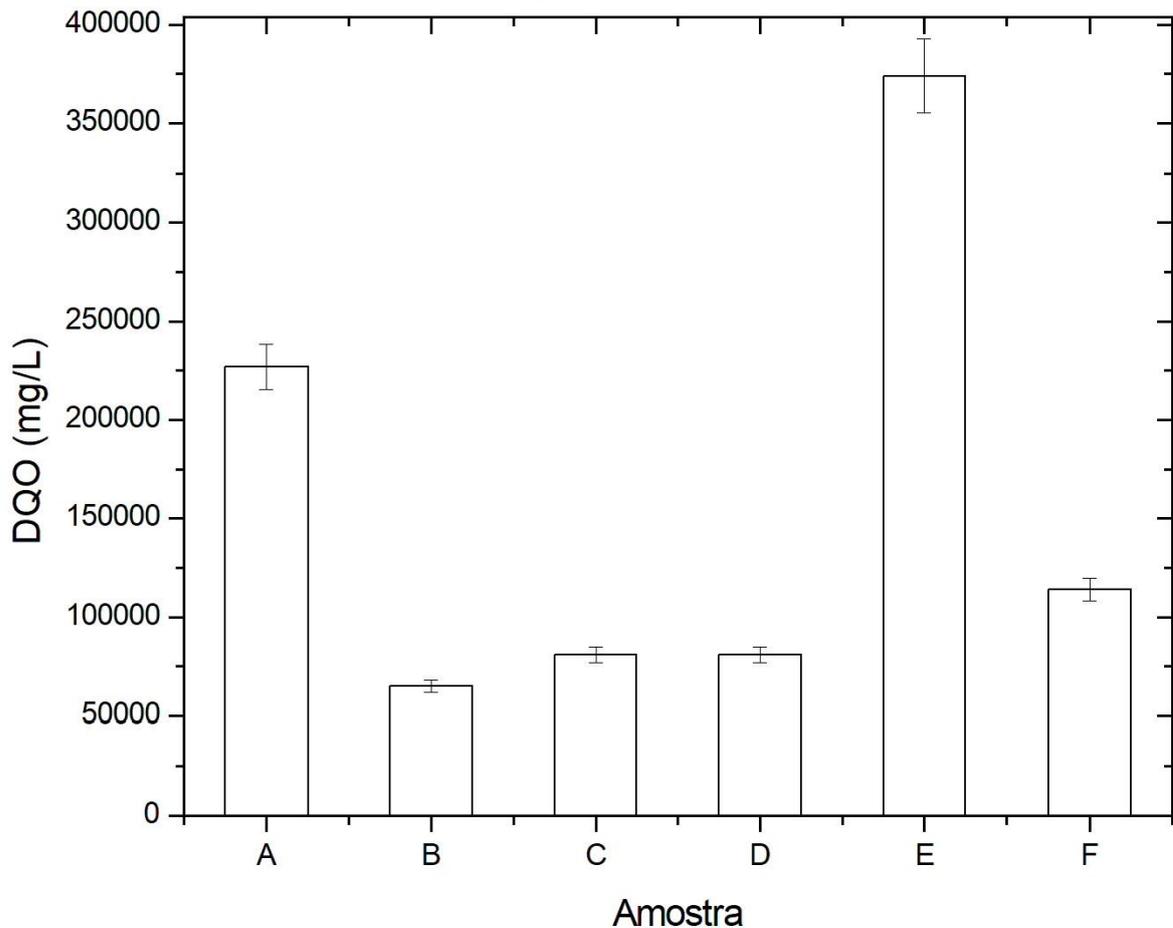
A variação dos valores de DBO ao longo dos dias representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia. Assim sendo, as amostras D e F apresentaram uma maior variação de DBO ao longo dos cinco dias, necessitando de mais oxigênio para oxidar a matéria orgânica presente na amostra do que as amostras B e E. Além disso, quanto maior a DBO maior o grau de poluição da água. Tendo em vista essa informação, pode-se afirmar que a amostra D é a mais poluída seguida das amostras F, E e B.

Alguns sensores da incubadora utilizada para a realização do ensaio de  $DBO_5$  apresentaram problemas de leitura dos valores de oxigênio consumido ao longo dos cinco dias e, em virtude disso, não obteve-se os valores de  $DBO_5$  para as amostras A e C. De acordo com Dezotti (2008), as amostras B e E apresentam valores de  $DBO_5$  que podem ser enquadrados dentro da faixa de  $DBO_5$  esperada para esgoto

doméstico (entre 120 e 500 mg/L). Já as amostras D e F possuem valor de  $DBO_5$  mais elevado do que a faixa de valores da literatura para efluentes de refinaria de petróleo, após a remoção de óleos e graxas (entre 350 e 700 mg/L).

Na Figura 10 estão apresentados os dados de DQO das amostras de efluente bruto analisados.

Figura 10 – Demanda Química de Oxigênio das amostras de efluentes brutos



Fonte: Autora (2019)

As seis amostras de efluente bruto analisadas apresentaram altos valores de DQO quando comparados com os dados da literatura. De acordo com Dalabona (2012), os valores de DQO para efluentes da retificação de motores automotivos encontram-se na faixa de 3.000 a 3.500 mg/L. Entretanto, Bombardelli (2015) obteve valores de DQO de aproximadamente 1.237 mg/L para efluentes de retifica de motores. Os altos valores de DQO obtidos para as amostras em questão podem

estar relacionados à presença de combustíveis e solventes utilizados nas oficinas mecânicas.

Segundo a Resolução CONSEMA, nº. 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2005), os valores de DQO máxima permitida para o lançamento do efluente em corpos receptores é de 330 mg/L e as Resoluções CONAMA, nº. 357/2005 (BRASIL, 2005) e a CONAMA, nº. 430/2011 (BRASIL, 2011) não dispõem valores de DQO permitidos para lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Na Tabela 7 está apresentado a relação DQO/DBO<sub>5</sub> para os efluentes brutos analisados no presente trabalho.

Tabela 7 – Relação DQO/DBO<sub>5</sub> para os efluentes brutos

	Amostra	Amostra	Amostra	Amostra	Amostra	Amostra
	A	B	C	D	E	F
DQO/DBO <sub>5</sub>	-	322	-	87	1129	140

Fonte: Autora (2019)

Todas as amostras analisadas apresentam baixo grau de biodegradabilidade e, por essa razão, os tratamentos propostos são os tratamentos físico-químicos e não tratamentos biológicos.

Os resultados da caracterização do efluente bruto mostraram uma variação relativamente grande em relação aos parâmetros analisados. Isso se deve, provavelmente, em virtude da variação da composição dos efluentes oriundos dos diversos estabelecimentos analisados no presente trabalho.

A amostra que foi levada aos ensaios de tratamento preliminar e primário foi a amostra F em virtude do volume de efluente bruto disponível.

### 4.3 Resultados da construção do aparato de separação

Na Figura 11, tem-se o aparato de separação óleo e água construído no presente trabalho.

Figura 11 – Aparato de separação óleo e água



Aparato de separação



Detalhe do sistema de alimentação



Compartimento 1



Placa coalescente e bocal de captação de óleo (compartimento 2)



Efluente livre de óleos e graxas (compartimento 3)

Fonte: Autora (2019)

Na Tabela 8, estão apresentados os materiais utilizados para construção da caixa separadora de óleo e água, o custo unitário médio dos materiais e o custo total de construção.

Tabela 8 – Materiais utilizados para construção da caixa separadora de óleo e água

Material	Quantidade utilizada	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Luva de 20mm com rosca externa	4	0,90	3,60
Cano de PVC de 20mm	1	0,60	0,60
Válvula esfera de PVC	2	14,80	29,60
Nípel rosqueável	1	0,60	0,60
Redutor de ¾ pra ½ in	1	1,70	1,70
Joelho 90°	5	1,60	8,00
Flange	7	10,00	70,00
Ampliação 20-40	1	2,80	2,80
Garrafa de 5 L	1	-	-
Galões de 20 L de óleo	3	-	-
Garrafas PET	12	-	-
Custo Total			116,90

Fonte: Autora (2019)

O sistema tem capacidade para aproximadamente 50L e opera com uma vazão de 250 mL/min determinada, a partir de um ensaio de proveta. É necessário que essa vazão seja pequena, pois é importante garantir que o sistema opere em regime laminar, com baixo número de *Reynolds*, para que não haja turbulência e, dessa forma, ocorra a devida separação as fases (água e óleo). A partir da Equação 2, calculou-se o *Reynolds* do escoamento e obteve-se um valor de aproximadamente 12 (laminar), corroborando com as observações experimentais do ensaio de proveta.

Os compartimentos possuem uma seção quadrada de 0,26 m x 0,26 m, em virtude disso, a dimensão característica pôde ser representada pelo diâmetro equivalente (0,26 m). Já o diâmetro do galão, utilizado no sistema de alimentação, é

de aproximadamente 0,16 m. A caixa de retenção de óleos e graxas construída no presente trabalho possui um tempo de retenção de aproximadamente 200 minutos.

A viscosidade cinemática da amostra F foi determinada a partir do ensaio com o viscosímetro de copos. E a sua massa específica foi determinada a partir do ensaio de picnometria. Na Tabela 9, estão os resultados obtidos para os ensaios supracitados.

Tabela 9 – Propriedades físicas do efluente bruto da amostra F na temperatura de 21°C

$\nu \times 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$\mu \times 10^3$ (Pa.s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
1,29±0,03	1,27±0,03	988±2

Fonte: Autora (2019)

Com base na Tabela 9 pode-se observar que a viscosidade do efluente é superior à da água na mesma temperatura ( $1,002 \cdot 10^{-3}$  Pa.s) e isso se deve a presença de óleo no efluente o qual é mais viscoso que a água. Já a massa específica do efluente em questão é menor do que a da água na mesma temperatura (997,98 kg/m<sup>3</sup>) e isso também se deve à presença de óleo uma vez que o óleo é menos denso que a água e, em virtude disso, possui uma massa específica menor. Portanto, percebe-se que a presença de óleo no efluente aumenta a sua viscosidade e diminui a sua massa específica.

Na Tabela 10, encontram-se os parâmetros de caracterização do efluente após o processo de separação da fase oleosa e da fase aquosa e seus respectivos percentuais de remoção comparados aos dados de caracterização do efluente bruto.

Tabela 10 – Parâmetros de caracterização do efluente após caixa de separação

Parâmetro	Valor	% redução
Turbidez (NTU)	861	83,31
Condutividade ( $\mu$ S/cm)	1106	0,75
Sólidos dissolvidos (ppm)	553	12,82
Óleos e Graxas (mg/L)	5,65	86,90

Fonte: Autora (2019)

A partir da análise dos percentuais de remoção dos parâmetros mostrados acima, pode-se perceber que a caixa separadora de óleo e água construída no presente trabalho é eficiente para remoção de turbidez e óleos e graxas. Isso está

de acordo com o encontrado na literatura uma vez que, os tratamentos preliminares (pré-tratamentos) têm como objetivo a remoção de sólidos grosseiros, areia e óleos e graxas. Essa separação se dá devido à diferença de densidade entre as fases. Enquanto os sólidos decantam, a fase oleosa sobrenada o sistema. Tendo em vista esses conceitos, pode-se afirmar que a eficiência do processo de tratamento descrito acima (caixa separadora de óleo e água) ocorre pelo fato do aparato de separação levar em consideração, na sua construção, tais fundamentos físicos.

Dalabona (2012) cita que o tratamento físico-químico é pouco eficiente para remoção de óleos e graxas quando aplicado unicamente pois, somente é possível tratar uma pequena parcela que se encontra entre os vazios das moléculas de água ligadas as moléculas dos coagulantes. E, em virtude disso, justifica-se o fato de remover a fase oleosa no processo preliminar.

O efluente que percolou a caixa separadora de óleo e água possui uma fase oleosa que corresponde a cerca de 20% do seu volume e, conseqüentemente, uma fase aquosa que corresponde a 80% do volume. A partir dessa informação, percebe-se que a fase aquosa apresenta-se em maior volume e, por isso, é mais relevante que se faça o tratamento dela.

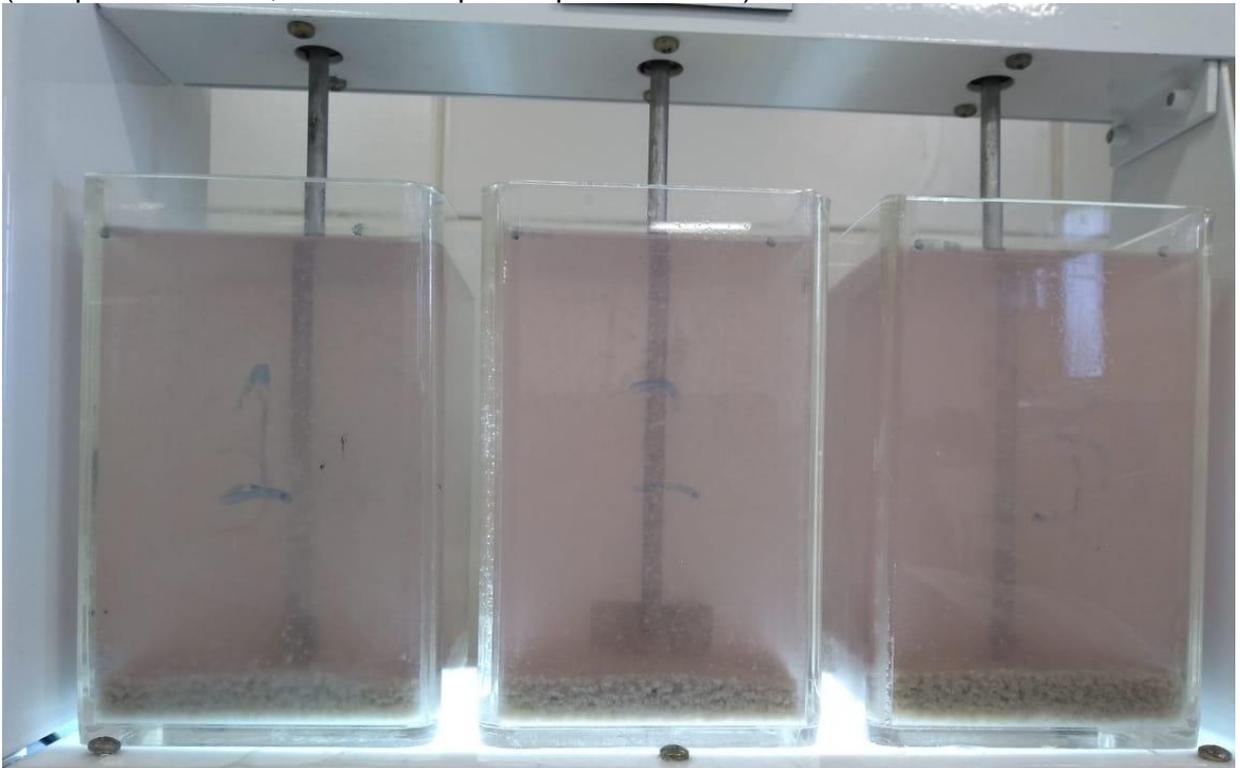
#### **4.4 Resultados do tratamento primário**

Para os ensaios de coagulação e floculação, utilizou-se o policloreto de alumínio (PAC) como agente coagulante e um polímero aniônico como agente floculante. A escolha do primeiro reagente se deu por ele ser tão eficiente quanto o sulfato de alumínio (coagulante comercial), porém o PAC não deixa residual de alumínio no lodo formado. O polímero aniônico, utilizado como agente floculante, auxilia na formação dos flocos e, dessa forma, a quantidade de coagulante a ser utilizada é bem menor.

Testou-se em Jar Test diferentes concentrações de PAC e de policloreto de alumínio até se obter uma combinação satisfatória. Esses testes se deram com a adição de 0,5, 1 e 1,5 mL de PAC em cada jarro. Após a adição do insumo, agitou-se o sistema e, através de observação visual, definiu-se qual a quantidade ideal a ser adicionada (1 mL). Após definida a quantidade ideal de coagulante a ser utilizada definiu-se então a quantidade de floculante. Para isso, encheram-se os jarros

novamente com efluente livre de insumos e adicionou-se 1 mL de PAC a cada um deles. Posteriormente, adicionou-se 0,3 mL, 0,5 mL e 1 mL de polímero aniônico. Através de observações visuais, chegou-se a conclusão de que o sistema que melhor coagulou/floculou foi o que utilizou 1 mL de PAC e 0,5 mL de polímero aniônico. Na Figura 12 pode-se visualizar os sistemas após a sedimentação dos flocos formados.

Figura 12 – Testes das quantidades ótimas de coagulação e floculação em Jar Test (compartimentos 1, 2 e 3 da esquerda para a direita)



Fonte: Autora (2019)

Através da análise visual dos sistemas apresentados na Figura 12 pode-se perceber que no primeiro compartimento (1 mL PAC e 0,3 mL de polímero aniônico) muitos flocos não sedimentaram. No segundo compartimento (1 mL PAC e 0,5 mL de polímero aniônico) percebe-se que houve significativa remoção das partículas em suspensão, o que tornou o efluente mais límpido. Já no terceiro compartimento (1 mL PAC e 1 mL de polímero aniônico) também observou-se uma remoção significativa das partículas em suspensão porém, a dosagem ótima de insumos utilizados no tratamento descrito foi de 1 mL de coagulante e 0,5 mL de floculante. Na Tabela 11, estão apresentados os parâmetros utilizados no ensaio de Jar Test.

Tabela 11 – Parâmetros utilizados no ensaio de Jar Test

	Coagulação	Floculação	Sedimentação
Rotação (rpm)	340	150	-
Tempo (min)	5	1	10
Policloreto de alumínio 1:2 (mL)	1	-	-
Polímero aniônico (mL)	-	0,5	-

Fonte: Autor (2019)

O processo de coagulação, floculação e sedimentação deu origem a duas fases, o lodo e o clarificado. O lodo correspondeu a cerca de 7% do volume total, enquanto que, o clarificado, correspondeu a cerca de 93%. O lodo foi descartado adequadamente, enquanto que o clarificado seguiu para o processo de filtração com areia e carvão ativado.

Na Tabela 12, encontram-se os parâmetros analisados após o tratamento de coagulação, floculação e filtração proposto e o percentual de redução dos compostos do clarificado em relação ao efluente bruto (ver Tabela 6).

Tabela 12 – Percentual de redução de compostos do efluente tratado<sup>3</sup>

Parâmetro	Pós coagulação e floculação	% redução coagulação e floculação	Pós filtração	% redução filtração	% redução final <sup>(a)</sup>
Temperatura	22	-(b)	22	-(b)	-(b)
pH	5-6	-(b)	5-6	-(b)	-(b)
Turbidez (NTU)	237	72	24	90	99,5
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	896	19	808	10	27,5
Sólidos dissolvidos (ppm)	486	12	394	19	37,9
DQO (mg/L)	-(c)	-(c)	200	-(d)	99,8

Fonte: Autora (2019)

<sup>3</sup> (a) Em relação ao efluente bruto. (b) Não houve variação dos parâmetros antes e depois do tratamento e, consequentemente, não houve percentual de redução. (c) O ensaio não foi realizado para essas amostras. (d) Não foi possível estimar o percentual de redução pois não se tinha o valor anterior a essa análise.

Através da Tabela 12 pode-se perceber que elevados percentuais de redução de turbidez foram encontrados após os processos de coagulação, floculação e filtração. Já no que diz respeito a condutividade elétrica da amostra, pode-se dizer que os processos de coagulação e floculação mostraram-se mais eficientes do que a filtração. Porém, quando analisa-se o parâmetro de sólidos dissolvidos percebe-se que no processo de filtração ocorre sua maior redução. Porém, observa-se que quando esses tratamentos são realizados seguidos um do outro, têm-se um maior percentual de redução dos compostos, chegando a percentuais de remoção de turbidez e DQO de aproximadamente, 99,5% e 99,8%.

A partir da análise dos percentuais de remoção dos parâmetros mostrados acima, pode-se perceber que o processo de coagulação e floculação é eficiente para remoção de turbidez, condutividade elétrica e sólidos dissolvidos. Porém, esses parâmetros possuem maiores percentuais de remoção após a passagem pelo filtro de areia e carvão ativado. Na Tabela 13 estão apresentados os dados da caracterização físico-química do efluente tratado e a sua comparação com as legislações ambientais vigentes.

Tabela 13 – Comparação dos parâmetros do efluente tratado com os parâmetros aceitáveis pelas legislações ambientais vigentes<sup>4</sup>

Parâmetros	Efluente tratado	Resolução CONAMA n° 430/2011	Resolução CONSEMA n° 355/2017	Resolução CONAMA n° 357/2005 <sup>(e)</sup>
Temperatura	22	<40 <sup>(a)</sup>	40	-
pH	5-6	5-9	6-9	6-9
Turbidez (NTU)	23,88	-	-	Até 100
Condutividade elétrica (µS/cm)	808	-	-	-
Sólidos dissolvidos (ppm)	394	-	-	Até 500
Óleos e graxas (mg/L)	5,65	Até 20 <sup>(b)</sup> Até 50 <sup>(c)</sup>	≤10 <sup>(b)</sup> ≤30 <sup>(c)</sup>	Visualmente ausentes
DQO (mg/L)	200	-	150-330 <sup>(d)</sup>	-

Fonte: Autora (2019)

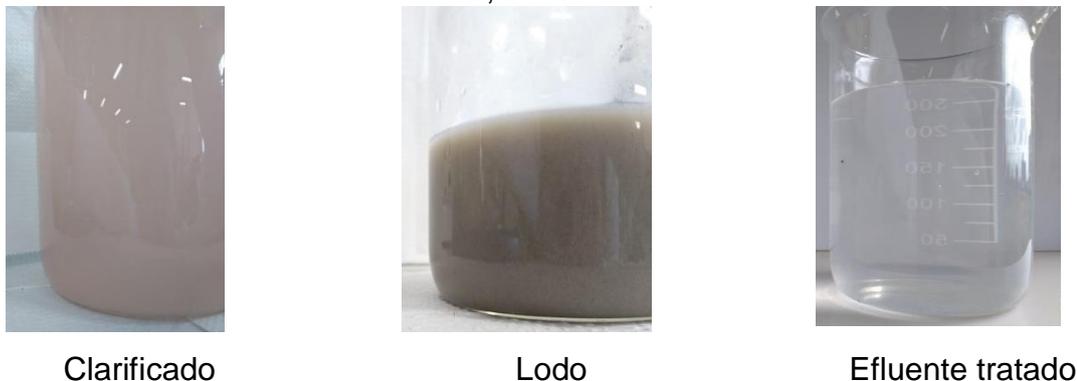
<sup>4</sup> (a) A variação de temperatura não deverá exceder a 3°C. (b) Óleos minerais. (c) Óleos vegetais e gorduras animais. (d) Valores variam conforme a vazão de efluente. (e) Parâmetros para classe 2.

Com base na Tabela 13, pode-se afirmar que o efluente tratado no presente trabalho encontra-se dentro dos limites de pH, turbidez, sólidos dissolvidos e óleos e graxas estabelecidos pela Resolução CONAMA nº357/2005 (BRASIL, 2005) para reuso de águas classe II. Esta resolução não dispõe sobre os limites de temperatura e DQO aceitáveis, porém, a Resolução CONSEMA nº 355/2017 (RIO GRANDE DO SUL, 2017) estabelece que a temperatura deve ser de até 40°C e a DQO deve estar compreendida entre 150 e 330 mg/L, variando conforme a vazão de descarga do efluente nos corpos aquáticos. Além disso, pode-se salientar que os parâmetros de temperatura, pH e óleos e graxas também estão de acordo com o estabelecido pela Resolução CONAMA nº 430/2011(BRASIL, 2011).

Com base nisso, conclui-se que o efluente tratado atende aos requisitos de pH, turbidez, sólidos dissolvidos e óleos e graxas estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005(BRASIL, 2005) para reuso classe II e, em virtude disso, pode ser reutilizado no processo de lavagem de peças automotivas. Além disso, o efluente tratado atende aos limites de temperatura, pH, DQO e óleos e graxas aceitáveis pela Resolução CONSEMA nº 355/2017(RIO GRANDE DO SUL, 2017) para lançamento de efluentes em corpos aquáticos.

Na Figura 13 estão apresentadas as fotos do clarificado e do lodo provenientes do processo de coagulação e floculação. Conforme descrito anteriormente, o clarificado foi submetido ao processo de filtração e o efluente tratado, resultante desse processo, também está apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Análise visual do clarificado, do lodo e do efluente tratado



Fonte: Autora (2019)

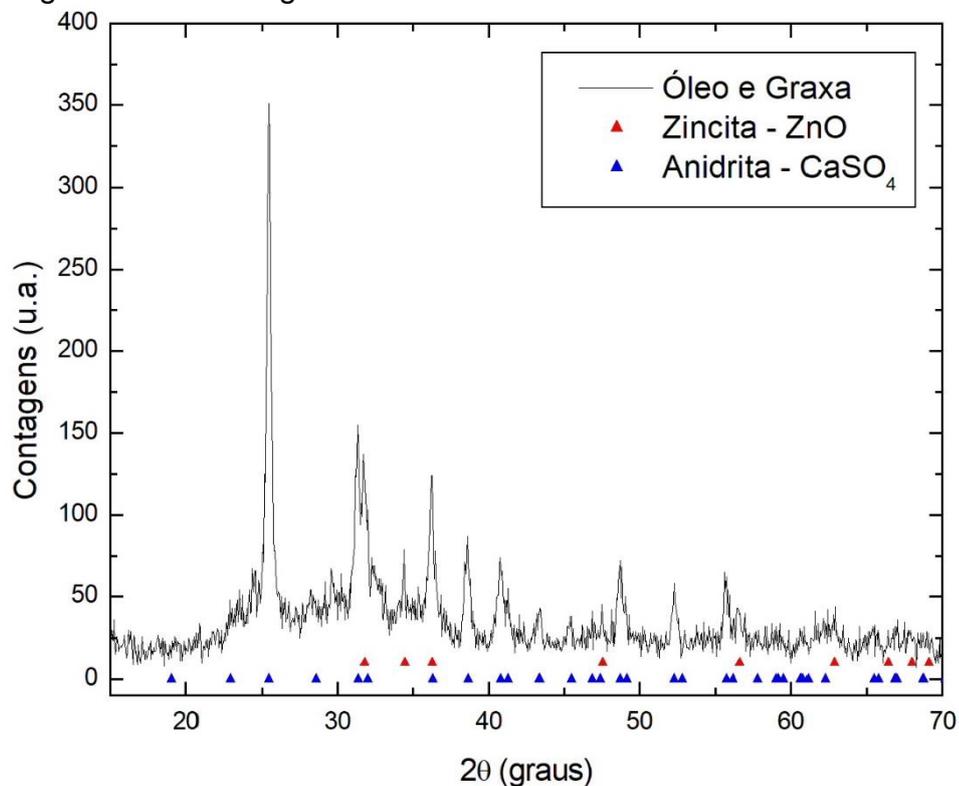
Com base na análise visual da Figura 13, pode-se observar que houve uma melhora significativa do aspecto visual do efluente ao longo dos processos de tratamento propostos. O efluente bruto (ver Figura 7 – amostra F) possuía uma grande película de óleo superficial, a qual foi removida pelo tratamento preliminar. Após, com os processos de coagulação, floculação e filtração, obteve-se uma amostra mais límpida, ou seja, percebe-se que não existem partículas de óleo e de sólidos visíveis a olho nu.

De maneira geral, as eficiências dos tratamentos primários mostraram-se satisfatórias, pois, com pequenas dosagens de coagulante e floculante, foi possível obter bons resultados de redução de DQO e turbidez, ficando acima de 99% de redução para ambos.

#### 4.5 Resultados da caracterização da fase oleosa

A fase oleosa do efluente em questão foi caracterizada através da técnica de difração de raio-X e na Figura 14 está apresentado o difratograma da amostra F.

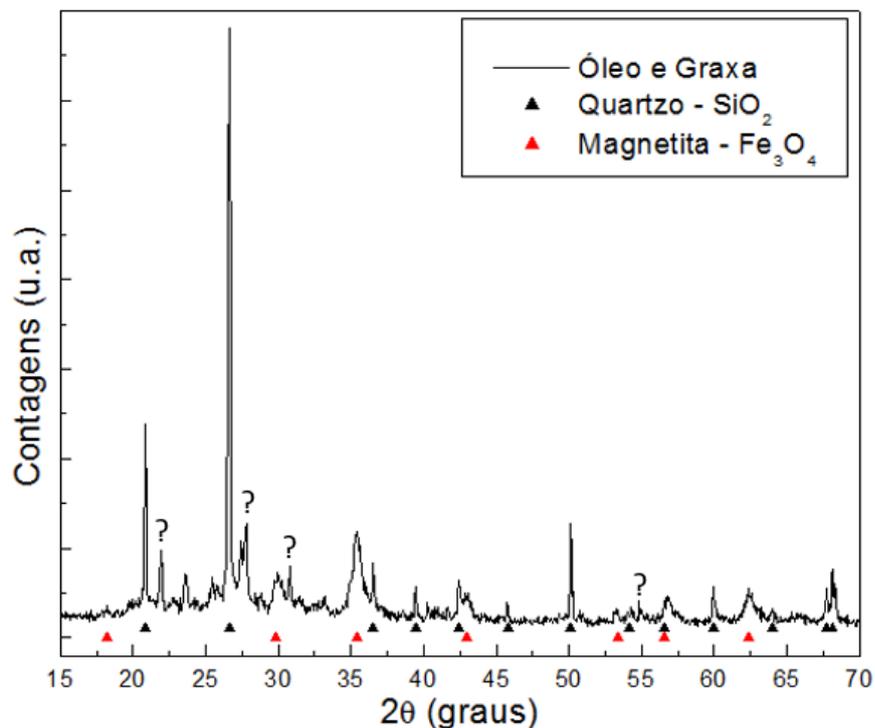
Figura 14 – Difratograma da fase oleosa



Fonte: Autora (2019)

Através da análise da Figura 14, observam-se picos característicos de zinicita (ZnO) e anidrita (CaSO<sub>4</sub>). Estes metais encontram-se presentes nos aditivos utilizados em óleos lubrificantes, sendo o cálcio (Ca) um indicador da presença de aditivos detergentes/dispersantes, utilizados para manter as superfícies limpas e os materiais insolúveis em suspensão. Já o zinco (Zn) funciona como antioxidante, inibidor de corrosão e, principalmente, antidesgastes (ALVES, 2016).

Figura 15 – Difratoograma da fase oleosa do efluente oriundo de mecânica automotiva



Fonte: Menegotto (2017)

Na Figura 15 está apresentado o difratograma de óleos e graxas oriundos de mecânicas automotivas obtido por Menegotto (2017). Com a análise da Figura 15, percebe-se a presença de silício e de ferro na composição dos óleos e graxas. De acordo com Alves (2016), pode-se concluir que a sílica presente na amostra deve ser oriunda de aditivos antiespumante utilizado em praticamente todos os óleos lubrificantes. Já o ferro pode ser advindo do desgaste de cilindros, engrenagens, rolamentos, corrosão, entre outros.

Com base nas Figuras 14 e 15, pode-se concluir que a composição dos óleos lubrificantes, presentes nos efluentes oriundos de mecânicas automotivas, é muito

variada e Alves (2016) cita que a presença de molibdênio, alumínio, cromo, cádmio, cobre, níquel e chumbo também são comuns neste tipo de amostra.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na caracterização dos efluentes brutos, concluiu-se que possuem alta carga de DQO (acima de 50.000 mg/L) e óleos e graxas (superior a 55.434 mg/L) e, em virtude disso, não podem ser descartados em corpos aquáticos.

O aparato de separação construído no presente trabalho é uma ferramenta eficiente para remoção de óleos e graxas (86,90% de redução) e turbidez (83,31% de redução) dos efluentes oriundos de mecânicas automotivas além de possuir baixo custo de implementação, o que justifica a sua utilização. A construção do aparato de separação respeitou os princípios de separação gravitacional em que os sólidos decantaram e os óleos e graxas sobrenadaram. Assim sendo, pode-se concluir que é um processo de tratamento barato e que possui princípios de funcionamento simples o que possibilita sua aplicação nos mais diversos estabelecimentos geradores de efluentes com alta carga de óleos e graxas.

Com base nos ensaios de coagulação e floculação, pode-se afirmar que os processos são adequados em virtude da redução de turbidez (72%), condutividade elétrica (19%) e sólidos dissolvidos (12%). Além de gerar pouco lodo (20%), após o processo de sedimentação o que facilita o seu acondicionamento.

E, após o processo de filtração, o efluente tratado possui baixos valores de turbidez (23,88 NTU), condutividade elétrica (808  $\mu$ S), sólidos dissolvidos (394 ppm), DQO (200 mg/L) e óleos e graxas (5,65 mg/L) o que enquadra o efluente na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) que dispõe sobre o reuso de águas classe II.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista a ampla abrangência do presente trabalho, são pertinentes algumas sugestões para trabalhos futuros como:

- determinar a presença de metais (Cr, Cu, Fe, Mg, Mo, Pb) no efluente;
- estudar o processo de adsorção após a realização da coagulação/floculação para a remoção dos metais presentes no efluente;
- aumento de escala do protótipo de separação;
- análise de fluorescência de raio-X para a fase oleosa;
- tratamento da fase oleosa e do lodo com vistas as suas reutilizações.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. R. **Análise das alterações ambientais na lagoa negra, Viamão/RS: enfoque na qualidade da água.** 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/15008>. Acesso em: 16 jun. 2019.

ALVES, L. F. N. **Determinação de metais em óleos lubrificantes utilizando a técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser.** 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Materiais) – Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Ciências, São Paulo, 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/Acer/Downloads/2016AlvesDeterminacao.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2019.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** Washington, 1999. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Arif\\_Reza/post/Can\\_you\\_give\\_me\\_the\\_APHA\\_method\\_for\\_trace\\_metal\\_analysis/attachment/59d63565c49f478072ea35b5/AS%3A273663767580673%401442257934916/download/standard+methods+for+the+examination+of+water+and+wastewater+%281000-3000%29.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Arif_Reza/post/Can_you_give_me_the_APHA_method_for_trace_metal_analysis/attachment/59d63565c49f478072ea35b5/AS%3A273663767580673%401442257934916/download/standard+methods+for+the+examination+of+water+and+wastewater+%281000-3000%29.pdf). Acesso em: 5 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR9898:** preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.898-Coleta-de-Amostras.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 10.004:** resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE DE CIANORTE – APROMAC. **Guia básico de gerenciamento de óleos lubrificantes usados ou contaminados.** 2010. Disponível em: [https://www.mprs.mp.br/media/areas/ambiente/arquivos/oleos\\_lubrificantes/manuais/gestao\\_oleos\\_lubrificantes.pdf](https://www.mprs.mp.br/media/areas/ambiente/arquivos/oleos_lubrificantes/manuais/gestao_oleos_lubrificantes.pdf). Acesso em: 13 out. 2018.

BAUMANN, E. R. **Water quality and treatment: a handbook of public water supplies.** 3th ed. [S.l.]: McGraw – Hill, 1971.

BOHN, F. P. **Tratamento do efluente gerado na lavagem de veículos.** 2014. 48 f. Dissertação (Engenharia Mecânica) – Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2014. Disponível em: <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2289/TCC.pdf?sequence=1>. Acesso em: 16 jun. 2019.

BOMBARDELLI, D. B.; HEMKEMEIER, M. Pós-tratamento físico químico de efluente de uma retífica de motores do sul do Brasil. **Revista CIATEC – UPF**, v. 7. p. 52-62. Passo Fundo, 2015. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/ciatec/article/view/4353/3623>. Acesso em: 05 jun. 2019.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2005.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 17 set. 2018.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 273, de 29 de novembro de 2000**. Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2000. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=271>. Acesso em: 20 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001**. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2001. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>. Acesso em: 26 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002**. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335>. Acesso em: 26 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 03 set. 2018.

\_\_\_\_\_. **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-CONAMA. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 18 jun. 2018.

\_\_\_\_\_**Resolução nº 450, de 06 de março de 2012.** Altera os Arts. 9º, 16, 19, 20, 21 e 22, e acrescenta o art. 24-A à Resolução n 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, que dispõe sobre recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2012. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=674>. Acesso em: 26 set. 2018.

CAPAZ, R. S.; NOGUEIRA, L. A. H. **Ciências ambientais para Engenharia.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

CARDOSO, M. **Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água.** 2003. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84922/193336.pdf?sequence=1>. Acesso em: 5 jun. 2019.

CASSINI, A. S. **Estudo de processos alternativos no tratamento de isolados proteicos.** 2008. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/13518/000650231.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 jun. 2019.

CAVALCANTI, J. E. W. de A. **Manual de tratamento de efluentes industriais.** 3. ed. [S.l.]: Engenho, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas de amostragem.** São Paulo, 2009. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-E-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-2016.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2019.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. **Efeitos de óleos e graxas para a tratabilidade de esgotos e poluição difusa.** São Paulo, 2007. Disponível em: [http://site.sabesp.com.br/uploads/file/audiencias\\_sustentabilidade/Efeitos%20de%20%C3%93leos%20e%20Graxas%20na%20Tratabilidade%20de%20Esgotos%20e%20Polui%C3%A7%C3%A3o%20Difusa.pdf](http://site.sabesp.com.br/uploads/file/audiencias_sustentabilidade/Efeitos%20de%20%C3%93leos%20e%20Graxas%20na%20Tratabilidade%20de%20Esgotos%20e%20Polui%C3%A7%C3%A3o%20Difusa.pdf). Acesso em: 5 jun. 2019.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE – CPRH. **Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização:** tipologia galvanoplastia. Recife: GTZ, 2001.

CONDE, T. T.; STACHIW, R.; FERREIRA, E. Aterro sanitário como alternativa para a preservação ambiental. **Revista de Ciências Brasileiras da Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 69-80, 2014. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/aterro-sanitario-como-alternativa-para-a-preservacao-ambiental/>. Acesso em: 5 jun. 2019.

DACROCE, N. P. D.; FUJIHARA, H. M. L.; BERTOLINI, G. R. F. Resíduos de oficina mecânica: proposta de gerenciamento de resíduos sólidos – LP radiadores e baterias Ltda. **Revista da Micro e Pequena Empresa**, v. 10, n. 2. p. 97-113. Campo Limpo Paulista, 2015. Disponível em: <http://engemasp.submissao.com.br/17/anais/arquivos/202.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2019.

DALABONA, V. **Tratamento físico-químico por flocculação de efluente de retifica de motores**. 2012. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Passo Fundo, Curso de Engenharia Ambiental, Passo Fundo, 2012. Disponível em: <http://docplayer.com.br/11514843-Tratamento-fisico-quimico-por-flocculacao-de-efluente-de-retifica-de-motores.html>. Acesso em: 5 jun. 2019.

DELLA, L.O. P. **Avaliação do processo de tratamento de efluente gerado no beneficiamento do arroz parboilizado com sistema de coagulação/floculação**. 2006. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) Universidade do Extremo Sul Catarinense, Curso de Engenharia Ambiental, Criciúma, 2006. Disponível em: <http://www.cadastro.aguas.sc.gov.br/sirhsc/baixararquivo.jsp?id=483&NomeArquivo=Avalia%20do%20processo%20de%20tratamento%20de%20efluentes%20gerado%20no%20beneficiamento%20de%20arroz%20parboilizado%20com%20sistema%20de%20coagula%20e%20flocula%20o.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2019.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: Rima, 1993.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2.ed. São Carlos: Rima, 2005.

ECKENFELDER JUNIOR, W. W. **Industrial water pollution control**. 2. ed. Nova York: Mc-Graw-Hill Inc., 1989.

FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. São Paulo: ERU, 1980.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – FEPAM. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/>. Acesso em: 24 jun. 2019.

FONSECA FILHO, H. D.; LOPES, G. A. C. Avanços em caracterização de amostras sólidas cristalinas através de difratometria de raios-X. **Estação Científica**, v.3, n.1, p. 31-45, jan.-jun. Macapá, 2013. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/estacao/article/download/1127/henriquev3n1.pdf>. Acesso em: 7 maio 2019.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE – FUNASA. **Manual de controle da água para técnicos que trabalham em ETA's**. Brasília, 2014. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manualcont\\_quali\\_agua\\_tecnicos\\_trab\\_emetas.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf). Acesso em: 05 jun. 2019.

GEANKOPLIS, C. J. **Procesos de transporte y operaciones unitarias**. México: Companhia Editorial Continental, 1998.

GERHARDT, A. E. *et al.* Diagnóstico para o gerenciamento dos resíduos sólidos em oficina mecânica: estudo de caso em concessionária do município de Frederico Westphalen – RS. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 2899 – 2908, fev., 2014. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs2.2.2/index.php/remoa/article/view/10933>. Acesso em: 22 set. 2018.

GOMES, B. M. **Pré-tratamento físico-químico de efluentes industriais de um abatedouro de bovinos**. 2010. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade de Passo Fundo, Curso de Engenharia e Arquitetura, Passo Fundo, 2010. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2010-2/B%C1RBARA%20MARIA%20FRITZEN%20GOMES.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019.

HAUPT, J. P. O. **Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa**: estudo de caso da bacia do rio Jundiáí. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2009. Disponível em: [file:///C:/Users/Acer/Downloads/HAUPT\\_J\\_P\\_O.pdf](file:///C:/Users/Acer/Downloads/HAUPT_J_P_O.pdf). Acesso em: 5 jun. 2019.

HILAL, N. *et al.* The use of UF and nanofiltration membranes in the treatment of metal-working fluids. **Journal Dessalination**, v. 167, p. 227-238, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001191640400373X>. Acesso em: 13 set. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)**. Disponível em: [https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html?option=com\\_cnae&view=atividades&Itemid=6160&tipo=cnae&chave=4520&versao\\_classe=7.0.0&versao\\_subclasse=9.1.0](https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html?option=com_cnae&view=atividades&Itemid=6160&tipo=cnae&chave=4520&versao_classe=7.0.0&versao_subclasse=9.1.0). Acesso em: 3 set. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Lei da vida: lei dos crimes ambientais: Lei n° 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e Decreto n° 6.514, de 22 de julho de 2008.** 2.ed. Revista e atualizada. CNIA. Brasília: Ibama, 2014. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/ALeiCrimesAmbientais.pdf>. Acesso em: 08 out. 2018.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA (IQA). **Instituto da Qualidade Automotiva.** Disponível em: <http://www.iqa.org.br/publico/>. Acesso em: 24 set. 2018.

LUCENA, K. F. M.; MELQUÍADES, T. F. O comportamento ambiental de empresas do ramo de oficina mecânica: um estudo de caso em João Pessoa – PB. *In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO*, 7, 2012, Palmas. **Anais [...]**. Palmas: CONNEPI, 2012. Disponível em: <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/1791/2262>. Acesso em: 7 out. 2018.

MACIEL JUNIOR, P. **Zoneamento das águas: um instrumento de gestão dos recursos hídricos.** Belo Horizonte: 2000.

McCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. **Unit operations of chemical engineering.** 5. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1991.

MCCONNACHIE, G. L. *et al.* Field trials of appropriate hydraulic flocculation processes. **Water Research**, v. 33, n. 6, p. 1425-1434, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004313549800339X>. Acesso em: 10 out. 2018.

MELLO, E. J. R. **Tratamento de esgoto sanitário: avaliação da estação de tratamento de esgoto do bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari – MG.** 2007. 99 f. Monografia (Especialização em Engenharia Sanitária) – União Educacional de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia Sanitária, Uberlândia, 2007. Disponível em: [http://www.sae-araguari.com.br/desenv/downloads/tratamento\\_esgoto\\_-\\_ETE\\_compacta.pdf](http://www.sae-araguari.com.br/desenv/downloads/tratamento_esgoto_-_ETE_compacta.pdf). Acesso em: 5 jun. 2019.

MENEGOTTO, B. V. Técnicas alternativas de caracterização de efluente oriundo de mecânica automotiva. *In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO*, 9., 2017, Bagé. **Anais [...]**. Santa do Livramento: UNIPAMPA, 2017. Disponível em: <http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/30983>. Acesso em: 29 jun. 2019.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** 5 ed. Nova York: McGraw-Hill, 2015.

\_\_\_\_\_. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.** 3 ed. Nova York: McGraw-Hill, 2003.

MIRANDA FILHO, R.; FERREIRA, Q. C.; RIBEIRO, F. A. Avaliação ambiental das oficinas mecânicas que realizam troca de óleo na cidade de Monte Carmelo – MG. **Revista GETEC**, v. 1, n. 1. Monte Carmelo, 2011. Disponível em: <http://www.fucamp.edu.br/editora/index.php/getec/article/view/168/252>. Acesso em: 05 jun. 2019.

MOURA, C. R. S.; CARRETEIRO, R. P. **Lubrificante e lubrificação**. Ipiranga, 1975. Disponível em: <ftp://ftp.sm.ifes.edu.br/professores/ViniciusErler/Lubrificacao/Engenharia/7%20Graxas%20Lubrificantes.pdf>. Acesso em: 5 maio 2019.

NATURALTEC. **Tratamento preliminar. Separadores água-óleo**. Disponível em: <http://www.naturaltec.com.br/separadores-agua-oleo-3/>. Acesso em: 9 nov. 2018.

NUNES, J. F. **Estudo da sedimentação gravitacional de suspensões floculentas**. 2008. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Uberlândia, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15108/1/Janaina.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2019.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. Aracaju: Triunfo, 2001.

PASSOS, L. A. *et al.* Análise prévia sobre o destino dos combustíveis lubrificantes utilizados nas oficinas de Humaitá-Am. **Revista EDUCamazônia - Educação, Sociedade e Meio Ambiente**. ano 7, vol. 12, n. 1, p. 57-71, jun./jul. 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/Acer/Downloads/Dialnet-AnalisePreviaSobreODestinoDosCombustiveisLubrifica-4730998.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2019.

PAULINO, P. F. **Diagnóstico dos resíduos gerados nas oficinas mecânicas de veículos automotivos do município de São Carlos-SP**. 2009. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista, Curso de Engenharia Ambiental, Rio Claro, 2009. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/acc4/f4e896f6259524f7936a97251c6e41350feb.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2019.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, São Carlos, 2001. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-21012003-084719/publico/Pavanelli+G.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2019.

PUSH, P. B.; GUIMARÃES, J. R.; GRASSI, M. T. **Estimativa de cargas de metais a partir de fontes difusas de poluição urbana**. 2007. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Paulo, 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237799716\\_ESTIMATIVA\\_DE\\_CARGAS\\_DE\\_METAIS\\_A\\_PARTIR\\_DE\\_FONTES\\_DIFUSAS\\_DE\\_POLUICAO\\_URBANA](https://www.researchgate.net/publication/237799716_ESTIMATIVA_DE_CARGAS_DE_METAIS_A_PARTIR_DE_FONTES_DIFUSAS_DE_POLUICAO_URBANA). Acesso em: 5 jun. 2019.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água – tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1991.

RIO GRANDE DO SUL. Secretária do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução CONSEMA nº 355/2017**. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Conselho Estadual do Meio Ambiente, 2017. Disponível em: [http://www.laboratoriogreenlab.com.br/images/pdf\\_gerais/Consema\\_355-2017.pdf](http://www.laboratoriogreenlab.com.br/images/pdf_gerais/Consema_355-2017.pdf). Acesso em: 17 nov. 2018.

RUGGERI JUNIOR, H. C. **Pós tratamento de efluente de lagoa facultativa visando a remoção de nitrogênio amoniacal**. 2011. 366 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Ambiental) – Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Ambiental, São Paulo, 2011. Disponível em: [http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-19072011-103911/publico/Tese\\_Humberto\\_Ruggeri\\_Junior.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-19072011-103911/publico/Tese_Humberto_Ruggeri_Junior.pdf). Acesso em: 5 jun. 2019.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. v.1. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANTOS, V. R., **Avaliação da qualidade da água do Rio Andrada através do modelo QUAL2k**. 2009. 142 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia e Arquitetura) – Universidade de Passo Fundo, Curso de Engenharia e Arquitetura, Passo Fundo, 2009. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2009-1/VIVIANE%20ROCHA%20DOS%20SANTOS.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2019.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL DO ESPÍRITO SANTO - SENAI-ES e COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO – CST. **Mecânica e lubrificação**. Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção. 1997. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/docs/apostilas/Mecanica-Lubrificacao.pdf?viewType=Print&viewClass=Print>. Acesso em: 5 jun. 2019.

SERAMIM, R. J.; ZANELLA, T. P.; BERTOLINI, G. R. F. Gestão de resíduos sólidos: estudo de caso em oficina mecânica de Cascavel – Paraná. **Revista Inteligência Competitiva**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 190-215, out./dez. 2017. Disponível em: <http://www.inteligenciacompetitivarev.com.br/ojs/index.php/rev/article/view/228>. Acesso em: 5 maio 2019.

- SILVA, A. L. **Caracterização mineralógica por difração de raios X e determinação de terras raras por ICP-MS de rochas da região sul da Bahia.** 2013. 114f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: [http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-97XP2T/dissertacao\\_amanda.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-97XP2T/dissertacao_amanda.pdf?sequence=1). Acesso em: 3 jun. 2019.
- SILVA, E. M. **Estudo e caracterização do efluente em indústria beneficiadora de arroz parboilizado.** 2016. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Química, Bagé, 2016.
- SILVA, T. S. S. **Estudo da tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto.** 1999. 87 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz/Escola Nacional de Saúde Pública. Programa de Pós-Graduação de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/4660>. Acesso em: 5 jun. 2019.
- SIMIÃO, J. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa.** 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos/ Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, São Carlos, 2011. Disponível em: <file:///C:/Users/Acer/Downloads/simiao.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2019.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE COMPONENTES PARA VEÍCULOS AUTOMOTORES - SINDIPEÇAS e ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS – ABIPEÇAS. **Relatório da frota circulante de 2018.** Disponível em: [https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2018/R\\_Frota\\_Circulante\\_2018.p.df](https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2018/R_Frota_Circulante_2018.p.df). Acesso em: 15 set. 2018
- SINDICATO DA INDÚSTRIA DE REPARAÇÃO DE VEÍCULOS E ACESSÓRIOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – SINDIREPA. **Caixa de retenção de areia e óleo.** Disponível em: <https://www.sindirepa-rs.com.br/ambiental>. Acesso em: 29 ago. 2018.
- SPINELLI, V. A. **Quitosana: polieletrólito natural para o tratamento de água potável.** 2001. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/82191/201719.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 jun. 2019.

VAZ, L. G. L. **Performace do processo de coagulação/floculação no tratamento de efluente líquido gerado na galvanoplastia**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Toledo, 2009. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/1892#preview-link0>. Acesso em: 5 jun. 2019.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

\_\_\_\_\_. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

\_\_\_\_\_. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

ZUCCARI, M. L.; GRANER, C. F.; LEOPOLDO, P. R. Determinação da demanda química de oxigênio (DQO) em águas e efluentes por método calorimétrico alternativo. **Energ. Agríc.**, Botucatu, v. 20, n. 4, p.69-82, 2005. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/106905/1/1809.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2019.