

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CÂMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**BRUNO BOARETTO SANTOS**

**TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE VEÍCULOS POR  
FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO VISANDO O REÚSO**

Trabalho de Conclusão de Curso

**LONDRINA  
2016**

**BRUNO BOARETTO SANTOS**

**TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE VEÍCULOS POR  
FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO VISANDO O REÚSO**

Trabalho de Conclusão de Curso, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi

**LONDRINA**

**2016**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná



Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia Ambiental  
TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

**TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE VEÍCULOS POR  
FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO VISANDO O REÚSO**

por

**BRUNO BOARETTO SANTOS**

Monografia apresentada no dia 24 de novembro de 2016 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

---

Prof. Dr. AJADIR FAZOLO

---

Prof. Dr. ORLANDO DE CARVALHO JUNIOR

---

Prof. Dr. RICARDO NAGAMINE COSTANZI

Orientador

---

Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista

Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

**A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso**

## AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo as duas pessoas que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões, que estavam sempre do meu lado me aconselhando, que me emprestaram o ombro quando necessário e me estenderam a mão sempre que precisasse de ajuda, ou seja, meus pais, Hilário de Jesus Santos e Cleide Boaretto. Sem vocês, essa caminhada nesses 5 anos de mudanças constantes não teriam sido a mesma coisa e possivelmente não teria sido tão bem aproveitado.

Aos meus irmãos, Jéssica e Leonardo, que sempre me alegraram os dias, mesmo que as vezes nem soubessem, com aquela música/vídeo engraçado ou com algum comentário “desnecessário”.

A minha família, tios e tias, primos e primas, que sempre me deram forças, ideias e me aconselharam de alguma forma nos meus momentos mais confusos ou conflitantes. Aos meus avós, Nair e Antônio Boaretto, cuja convivência, amor e carinho dados me moldaram e me transformaram no que sou hoje.

Aos meus amigos de desde os tempos de colégio, Rafael, Rogério, Maicon, Igor, Hamilton, Taisa e Érica que me ajudaram em listas e estudos e problemas relacionados a universidade... e também indo tomar aquela gelada para distrair um pouco. Aos novos amigos feitos na UTFPR, Bruna, Amanda, Nathalia, Ana Alicia, André, Fernanda e Leo que assim como eu compartilham vários momentos ímpares nesses anos juntos, alguns de extrema alegria, outros de algumas tristezas, mas que estávamos sempre ali, um apoiando o outro e um sempre pronto para escutar o outro.

Ao meu orientador, Ricardo Nagamine Costanzi, que sempre conseguiu sanar minhas dúvidas sobre o projeto e que entre uma coleta e outra sempre conversávamos sobre os mais diversos assuntos.

A Ana Paula Cosso, sempre solícita e prestativa, me ajudando nos ensaios de laboratório e dando várias dicas sobre como montar e estruturar o TCC em sim. Muito do que escrevi aqui nesse trabalho só foi possível graças a sua ajuda.

A todos os que passaram em minha vida, citados ou não aqui, o meu mais profundo obrigado, pois parte do que sou hoje é graças a todos vocês que passaram na minha vida e parte desse trabalho e de muitos outros que virão possuem um pouco da influência de cada um.

*“As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu.  
Assim devemos ser todo dia, mutantes, porém, leais  
com o que pensamos e sonhamos;  
lembre-se, tudo se desmancha no ar,  
menos os pensamentos”*

*(Paulo Baleki)*

## RESUMO

SANTOS, Bruno B. Tratamento Físico-Químico De Água De Lavagem De Veículos Por Flotação Por Ar Dissolvido Visando o Reúso. 2016. 57 f. Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2. – Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. Londrina, 2016.

Atualmente, no setor industrial discorre-se sobre métodos e procedimentos para utilização da água disponível visando minimizar custos ambientais e evitar o descumprimento de leis ambientais mais rigorosas. Diante deste contexto, as empresas de transporte estão utilizando estratégias como o reúso de água para lavagem de veículos, economizando água potável para outros fins e diminuindo gastos monetários relacionados ao consumo excessivo de água. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar o sistema de tratamento físico-químico por meio da flotação por ar dissolvido (FAD) de uma empresa de ônibus do município de Londrina/Paraná. O coagulante tanino, considerado atóxico e efetivo em ensaios de flotação, foi utilizado neste trabalho. Doze ensaios de FAD foram realizados com diferentes concentrações, utilizando-se concentrações diferentes de coagulantes e pH por meio do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). As variáveis condutividade elétrica, pH, cor aparente, DQO e Turbidez foram utilizadas como parâmetro de eficiência do processo de tratamento proposto. Por meio dos resultados, estabeleceu-se um ponto ótimo com a posterior análise de eficiência de sólidos suspensos, totais e voláteis; surfactantes e Nitrogênio Total (NTK). O estudo concluiu que o uso de um pH próximo de 6,5 se mostrou mais efetivo para uma concentração na faixa de 60 a 95 mg.L<sup>-1</sup> de tanino. Também concluiu-se que o tempo de flotação exerce influência na remoção devido ao transporte de flocos para o efluente tratado com o uso de taxas maiores que 70 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>.

Palavras-chave: Reuso, Flotação, Água de Lavagem, Tanino.

## ABSTRACT

SANTOS, Bruno B. Tratamento Físico-Químico De Água De Lavagem De Veículos Por Flotação Por Ar Dissolvido Visando o Reúso. 2016. 57 f. Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2. – Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. Londrina, 2016.

Nowadays in the industrial sector, some methods and procedures are discoursed about the use of available water to minimize environmental costs and avoid the non-compliance with stricter environmental laws. In this context, transport companies are using strategies such as water reuse for vehicle washing, saving potable water for other purposes and reducing expenses related to excessive water consumption. Thus, the present work focus in analysing the physicochemical treatment system through Dissolved Air Flotation (DAF) of a bus company in the city of Londrina/Paraná. For this project, the coagulant tannin, considered effective in flotation tests and a non-toxic substance was used. Twelve FAD tests were performed using different pH and tannin concentrations by means of Central Composite Design (CCD). The variables tested were electrical conductivity, pH, apparent colour, COD and Turbidity and were used as parameters of efficiency of the proposed treatment process. By means of these results, it was established an optimum point with the later analysis of the efficiency of suspended, total and volatile solids; Surfactants and Total Nitrogen (NTK). The study concluded that the use of a pH close to 6.5 proved to be more effective at a concentration of tannin between 60 to 95 mg.L<sup>-1</sup>. It was also concluded that the flotation time exerts influence on the removal, due to the transport of flocs to the treated effluent with the use of rates greater than 70 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>.

Keywords: Reuse, flotation, washing water, tannin.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Característica do efluente gerado na lavagem de automóveis.....	23
Tabela 2 - Parâmetros Avaliados no Efluente de Lavagem de Veículo.....	24
Tabela 3 - Mistura com rotações variando conforme o tempo .....	35
Tabela 4 - Valores codificados do DCCR, dosagem de AQUA-FLOC/LS e pH do efluente para ensaio de flotação .....	36
Tabela 5 - Variáveis para a verificação da eficiência do FAD .....	37
Tabela 6 - Variáveis para os ensaios ótimos.....	38
Tabela 7 - Análise do efluente bruto.....	39
Tabela 8 - Resultado do Ensaio no Jar-Test utilizando as taxas de $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ e $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ .....	40
Tabela 9 – Continuação da Tabela 11: Resultado do Ensaio no Jar-Test utilizando as taxas de $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ e $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ (Continuação).....	40
Tabela 10 - Eficiência de remoção .....	41
Tabela 11 – Dados Significativos .....	42
Tabela 12 – Modelos Matemáticos.....	42
Tabela 13 - Resultado da Série de Sólidos para o efluente bruto e para as taxas de $150$ e $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ .....	51
Tabela 14 - Resultado para Nitrogênio NTK para o efluente bruto e para as taxas de $150$ e $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ .....	52
Tabela 15 – Resultado para Surfactantes para o efluente bruto e para as taxas de $150$ e $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ .....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reúso Intencional de Água. ....	15
Figura 2 – Simplificação dos processos de tratamento de efluente .....	21
Figura 3 – Efluente Gerado na Lavagem de Ônibus .....	24
Figura 4 – Variáveis importantes para uma coagulação eficiente .....	27
Figura 5 - Fluxograma do sistema de tratamento de água de lavagem de ônibus e lavanderia de empresa de transporte rodoviário .....	32
Figura 6 - Flotador por Ar Dissolvido.....	33
Figura 7 - Tanque posterior a caixa de separação de óleo .....	34
Figura 8 – Ensaio sendo executado no Jar-Test no momento da geração dos flocos .....	35
Figura 9 - Superfície Resposta para Remoção de Cor. A) Taxa de remoção a $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ e B) Taxa de remoção a $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ .....	44
Figura 10 - Superfície Resposta para Remoção de Turbidez. A) Taxa de remoção a $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ e B) Taxa de remoção a $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ .....	46
Figura 11 - Superfície Resposta para Remoção de DQO. A) Taxa de remoção a $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ e B) Taxa de remoção a $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ .....	48
Figura 12 - Comparações do pH do efluente bruto e após os ensaios.....	50

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. OBJETIVOS .....	13
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO .....	14
3.1.1 QUANTO AO MÉTODO .....	14
3.1.2 QUANTO AO USO FINAL .....	15
3.2 A LEGISLAÇÃO PARA ÁGUA DE REÚSO .....	17
3.2.1 LEGISLAÇÃO EM AMBITO NACIONAL .....	17
3.2.2 LEGISLAÇÃO EM AMBITO ESTADUAL E MUNICIPAL .....	18
3.3 REÚSO DE ÁGUA EM SISTEMAS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS .....	19
3.3.1 SISTEMAS DE TRATAMENTO .....	19
3.3.2 NÍVEIS DE TRATAMENTO .....	20
3.4 CARACTERÍSTICAS DA LAVAGEM DE VEÍCULOS .....	22
3.4.1 EFLUENTES GERADOS NA LAVAGEM DE VEÍCULOS .....	22
3.5 PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS .....	25
3.5.1 SISTEMAS COLOIDAI E EMULSÕES .....	25
3.5.2 ASPECTOS GERAIS DA COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO .....	26
3.5.3 FLOTAÇÃO .....	28
3.5.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS NA RECICLAGEM DO EFLUENTE ..	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	32
4.1 LOCAL DE ESTUDO .....	32
4.1.1 COLETA DO EFLUENTE .....	33
4.2 ENSAIO DE FLOTAÇÃO .....	34
4.2.1 COAGULANTE .....	34
4.2.2 ENSAIO DE FAD E JAR-TEST .....	34
4.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL .....	36
4.4 VARIÁVEIS .....	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
5.1 ANÁLISE DO EFLUENTE BRUTO .....	39

5.2 ANÁLISE DE FLOTAÇÃO.....	39
5.2.1 ANÁLISE DA COR APARENTE.....	42
5.2.2 ANÁLISE DA TURBIDEZ.....	45
5.2.3 ANÁLISE DA DQO.....	47
5.2.4 ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	49
5.2.5 ANÁLISE DO PH FINAL .....	49
5.3 AVALIAÇÃO DO PONTO ÓTIMO .....	50
5.3.1 OBTENÇÃO DOS PONTOS ÓTIMOS.....	50
5.3.2 SÉRIE DE SÓLIDOS .....	50
5.3.3 NITROGÊNIO NTK.....	51
5.3.4 SURFACTANTES .....	52
6. CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

## 1. INTRODUÇÃO

O potencial de produção de água potável tem se mantido praticamente constante ao longo do tempo, porém a população mundial tem crescido continuamente, o que gera a intensificação de conflitos por água com qualidade adequada para os usos urbanos e agroindustriais (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2015). No Brasil, mesmo com a localização privilegiada no trópico, a disponibilidade de água ainda depende muito do clima, onde eventos como *el niño*, *la niña* e a variação de temperatura nos oceanos produzem secas drásticas como as de 1877, 1983 e 1998 no Nordeste; 2004-2006 no Sul do Brasil; 2001 no Centro-Oeste e Sudeste; 1926, 1983, 1998; e 2005 na Amazônia (MARENGO, 2008). Mais recentemente, em 2014, a região Sudeste sofreu com uma grande seca que atingiu principalmente os reservatórios de água em São Paulo (OLIVEIRA, 2015).

Devido a esses fatos, existe uma discussão atual sobre como gerar ações visando preservar a água. Gestores e pesquisadores defendem métodos que vão desde o aumento de taxas para quem consome mais do que a média (OLIVEIRA, 2015) até a limitação de uso em alguns processos.

No caso do setor industrial, uma das melhores alternativas para diminuir o consumo de água é o reúso (VALENTE, 2015). Tal prática visa diminuir os custos operacionais, bem como otimizar o seu uso. A água de reúso é obtida pelo tratamento de efluentes com o objetivo de utilizá-lo para fins de reposição em sistemas que normalmente usariam águas tratadas segundo a MS-2914 (BRASIL, 2011).

A frota de ônibus no Brasil é de 590.657 veículos (DENATRAN, 2015) que corresponde a uma economia de água potencial de aproximadamente 1.181.314 pessoas. Se considerarmos o número de veículos automotores na forma de automóveis, caminhões e ônibus, este potencial de economia seria de aproximadamente 11.427.351 pessoas. É um setor que utiliza água para a lavagem de grandes veículos e para manter garagens, terminais e áreas administrativas limpas (SPURBANUSS, 2014). Além disso, a lavagem de veículo possui um potencial poluidor considerável, devido a presença de surfactantes, óleos, graxas, alta concentração de matéria orgânica, metais pesados e sólidos totais suspensos (ROSA et al., 2011). Muitos desses poluentes são conhecidos por serem

persistentes no meio ambiente, prejudicando não só a fauna e flora como também trazendo diversos riscos à saúde humana (ODUM; BARRET, 2007; RICKLEFS, 2003).

Frente aos problemas citados, faz-se do reúso planejado uma necessidade. Em alguns estados uma legislação específica foi criada. Em São Paulo, por exemplo, a Lei nº 16.610/15 obriga postos de combustíveis e lava rápidos a utilizarem água de reúso nesses estabelecimentos (RADAR NACIONAL, 2015). No estado do Paraná, todavia, não há lei estadual que exija tal obrigatoriedade, porém algumas empresas utilizam o reúso como forma de cortar gastos e se adequar às exigências ambientais associadas a disposição de efluentes, evitando assim possíveis sanções relacionadas ao impacto ambiental (CONAMA 357/2005) e a outorga de água.

Assim, neste trabalho será estudado o uso de sistema de flotação por ar dissolvido em bancada com o uso de tanino para avaliar a remoção de sólidos e outros parâmetros para viabilizar o reúso de água em sistemas de lavagem de veículos.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho visa avaliar a eficiência do tratamento físico-químico por tanino associado a Flotação por Ar Dissolvido (FAD) de água proveniente da lavagem de veículos de uma empresa de frota de ônibus visando o reúso.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar a caracterização físico-química do efluente produzido pela empresa;
- Otimizar o sistema de tratamento por FAD existente na empresa;
- Propor soluções aplicáveis ao reúso de lavagem de veículos automotivos de transporte coletivo.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA ÁGUA DE REÚSO

A Água de reúso pode ser classificada de diferentes maneiras. Rodrigues (2005) separou o reúso em duas grandes áreas: quanto ao método e quanto ao uso final.

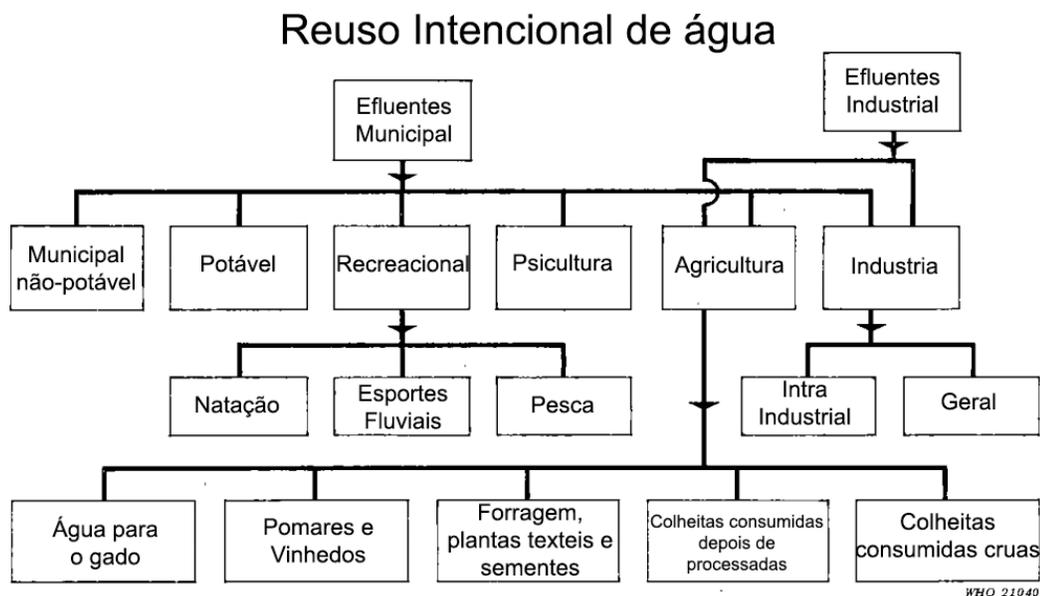
##### 3.1.1 QUANTO AO MÉTODO

**Reúso Indireto:** Ocorre quando o efluente é tratado e então lançado em corpo hídrico (superficial ou subterrâneo). Devido a quantidade de água lançada, a mesma dilui-se no corpo hídrico, sendo mais tarde novamente captada para uso (MORELLI, 2005).

**Reúso Direto:** De acordo com Brasil (2005), é considerado reúso direto o “uso planejado de água de reúso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos”.

Rodrigues (2005) diz ainda que o reúso pode ser classificado também de acordo com a sua intenção de uso.

**Reúso Intencional ou Planejado:** é o tratamento do efluente feito de maneira planejada e consciente, que mais tarde poderá ser utilizado de diversas maneiras como pode ser visto na Figura 1.



Adaptado de: WHO, 1973

**Figura 1 - Reúso Intencional de Água.**  
**Fonte: WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1973**

**Reúso não-Intencional, não-Planejado ou Inconsciente:** geralmente ocorre no reúso indireto. O uso da água é feito logo após o efluente ser lançado no corpo hídrico e aqueles que fazem uso dessa água não tem consciência dessa ocorrência (FERNANDES, 2006).

### 3.1.2 QUANTO AO USO FINAL

A disponibilidade de água, em geral com qualidade inferior, mas de uso diversificado, é o ponto positivo do reúso. Kubler, Fortin e Molleta (2015), classificam essa atividade em dois grupos: potável (direto e indireto) e não potável.

**Potável Direto:** o efluente é recuperado por meio de um tratamento avançado e reutilizado no sistema de tratamento de esgoto. Projetos desse tipo ainda são raros, sendo o mais conhecido o da cidade de Windhoek, na Namíbia, onde a evaporação elevada em conjunto com a baixa precipitação anual fez-se necessário a construção desse projeto.

**Potável Indireto:** o efluente é pré-tratado e posteriormente misturado (e consequentemente dissolvido) nas águas superficiais ou subterrâneas para posteriormente ser captada, tratada e utilizada na rede de abastecimento público.

**Não Potável:** o reuso não potável é o que apresenta maior potencial. Por não exigir níveis muito altos de tratamento, é economicamente viável e de uso diversificado. No Quadro 1 é possível observar os mais diversos usos do reuso não potável.

**Quadro 1- Água de reuso não potável.**

<b>Tipo de Reuso</b>	<b>Descrição</b>
<b>Para fins agrícolas</b>	Tem como objetivo principal a irrigação de plantas alimentícias e não alimentícias. Também pode ser utilizada para saciar a sede de animais.
<b>Para fins Industriais</b>	Usado na refrigeração, para a utilização em caldeiras, entre outros.
<b>Para fins recreacionais</b>	Pode ser utilizado para encher lagos ornamentais, irrigação de plantas, campos de esporte, etc.
<b>Para fins domésticos</b>	Mais comum em grandes edifícios. Pode ser utilizado principalmente para regar jardins e em descarga sanitária.
<b>Para manutenção de vazões</b>	A correta manutenção de vazão visa diluir possíveis cargas poluidoras presentes em efluentes, auxiliando no tratamento do mesmo. Também proporciona uma vazão mínima na estiagem.
<b>Aquacultura ou Aquicultura</b>	Utilizado na produção de plantas aquáticas e criação de peixes com a finalidade de o efluente final proporcionar energia/alimento a eles.
<b>Para recarga de aquíferos subterrâneos</b>	Recarga de aquíferos subterrâneos com efluentes tratados.

Fonte: MORELLI, 2015

Considera-se então a água de reuso de lavagem de ônibus, de acordo com o método, como Direto-Intencional e não potável.

### **3.2 A LEGISLAÇÃO PARA ÁGUA DE REÚSO**

Efluentes com altas cargas de derivados de petróleo e surfactantes são difíceis de se tratar, sendo correto se fazer um pré-tratamento antes de se jogar esse efluente no esgoto público ou ainda ser reutilizado para outros fins. Faz-se necessário que haja uma padronização da qualidade final do efluente tratado, sem lançamentos no meio-ambiente de maneira incorreta, causando problemas ambientais que podem acarretar em sanções para a empresa. Nesse contexto, a legislação para o reuso é de suma importância, guiando o utilizador desse sistema a obter um melhor tratamento do seu efluente para a reutilização, onde o reuso pode ser aplicado, e a sua disposição de acordo com a legislação de cada município (quando houver). Serão discutidas algumas dessas legislações nos itens 3.2.1 e 3.2.2.

#### **3.2.1 LEGISLAÇÃO EM AMBITO NACIONAL**

Recentemente, o Governo Federal, visando melhorar a eficiência na gestão de água, principalmente, para irrigação e indústria, vem tentando regulamentar uma normatização nacional para a água de reuso (PORTAL BRASIL, 2015). Essa normatização ganhou impulso devido a recente seca na região Sudeste e sua criação poderia auxiliar na economia de água.

Hoje em dia existem duas normas de âmbito nacional que tratam da água de reuso no Brasil: a resolução CNRH nº 54/2005 e a NBR 13.969 de 1997. A primeira, estabelece as “modalidades, diretrizes e critérios gerais que regulamentem e estimulem a prática de reuso direto não potável de água” (BRASIL, 2005). É uma resolução que fala de tratamento de uma maneira geral e estabelece as quatro modalidades de reuso (fins agrícolas, ambientais, industriais e aquicultura). Já a

NBR 13.969 possui um item dedicado ao tema, com definições das classes de água reúso e padrões de qualidade. Essa norma ainda descreve unidades de pós tratamento e sugere algumas alternativas de disposição final em tanques sépticos (NBR ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997).

### 3.2.2 LEGISLAÇÃO EM AMBITO ESTADUAL E MUNICIPAL

No Paraná, as cidades de Curitiba, Maringá e Guarapuava possuem legislação própria sobre o reúso de água, enquanto que o Instituto Ambiental do Paraná, IAP, comenta sobre os postos com lavagem de veículos em âmbito estadual. O órgão especifica que

“Os Postos com lavagem de veículos deverão possuir sistema exclusivo de tratamento primário para as águas residuárias geradas (caixa de separação de material sedimentável, e caixa de separação de óleos e graxas, modelo industrial com placas coalescentes, certificada pelo INMETRO)” (IAP, 2016)

Para estabelecimentos onde são lavados veículos pesados (caminhões, tratores e máquinas agrícolas), deverá ser utilizado também o tratamento secundário. O padrão de lançamento da água em rede de esgoto público, bem como para o seu reúso deverá ser o estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05, Art. 34, § 1º, § 4º itens I, II, III, IV, V e VI e § 5º.

Maringá possui a Lei 13.412/15 (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE MARINGÁ, 2015), que é específica para o reúso em postos de combustíveis e lava rápidos. Esta lei adequa estes estabelecimentos para captar a água de lavagem de veículos e realizar o tratamento necessário para reutilização desta água.

Guarapuava, no centro do estado, aprovou em 2015 a lei Nº 2431 que

“Dispõe sobre o disciplinamento das instalações de atividades que geram resíduos de óleo, graxa, provenientes de derivados de petróleo e de produtos químicos utilizados em lavagens, como oficinas mecânicas, postos de lavagem de veículos, postos de abastecimento de combustíveis, ou outras atividades afins” (CÂMARA MUNICIPAL DE GUARAPUAVA, 2015)

A lei obriga estabelecimentos de lavagem de veículos, abastecimento de automóveis, concessionárias e/ou outras que exercem atividade que gerem derivados de petróleo e produtos utilizados em lavagens de veículos a promover medidas de prevenção, tratamento e saneamento básico essenciais ao meio ambiente.

Já o governo do estado de São Paulo publicou o Decreto 48.138 (2003), determinando que haja a redução no consumo de água em todos os órgãos da administração direta, autarquias, fundações instituídas ou mantidas pelo poder público e nas empresas controladas direta ou indiretamente por ele. No artigo primeiro, é estabelecido que a lavagem de áreas externas só pode ser feita com a água de reúso. Há ainda a Lei 16.174 (2015) da cidade de São Paulo que estabelece:

“O regramento e medidas para fomento ao reúso de água para aplicações não potáveis, oriundas do polimento do efluente final do tratamento de esgoto, de recuperação de água de chuva, da drenagem de recintos subterrâneos e de rebaixamento de lençol freático” (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2015)

Nessa Lei pode-se encontrar diversas destinações ao reúso, incluindo a lavagem externa de ônibus, trens e caminhões. Outra lei homologada especialmente para a cidade de São Paulo é ainda mais específica para o reúso em postos de combustíveis, garagens e lava rápidos. A Lei 16.160 (2015) “cria o Programa de reúso de água em postos de serviços e abastecimento de veículos e lava-rápidos no Município de São Paulo, e dá outras providências”, após tratamento adequado.

### **3.3 REÚSO DE ÁGUA EM SISTEMAS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS**

#### **3.3.1 SISTEMAS DE TRATAMENTO**

Morelli (2005) diz que o sistema de tratamento, “é uma sequência de operações unitárias e processos definidos em razão de três requisitos”. São eles:

- As características do líquido que irá ser tratado;

- O objetivo final pretendido com o tratamento;
- A capacidade de remoção de cada um dos processos unitários empregados.

Pode-se utilizar apenas um processo unitário ou uma gama de processos, que pode incluir, por exemplo, oxidação biológica, coagulação química, filtração, remoção de sólidos dissolvidos, desinfecção etc. No caso do reúso de água para a lavagem de veículos, a variedade de sequência de processos também é grande, devido principalmente a variabilidade do efluente final desejado.

Os componentes de um sistema de reúso podem ser estabelecidos por experiência anterior do projetista, ensaios de laboratório, por informações bibliográficas ou ainda pela combinação desses fatores. De uma maneira geral, os processos vão sendo adicionados sucessivamente, formando assim diferentes graus de depuração, proporcionando uma qualidade cada vez maior para o efluente (MORELLI, 2005).

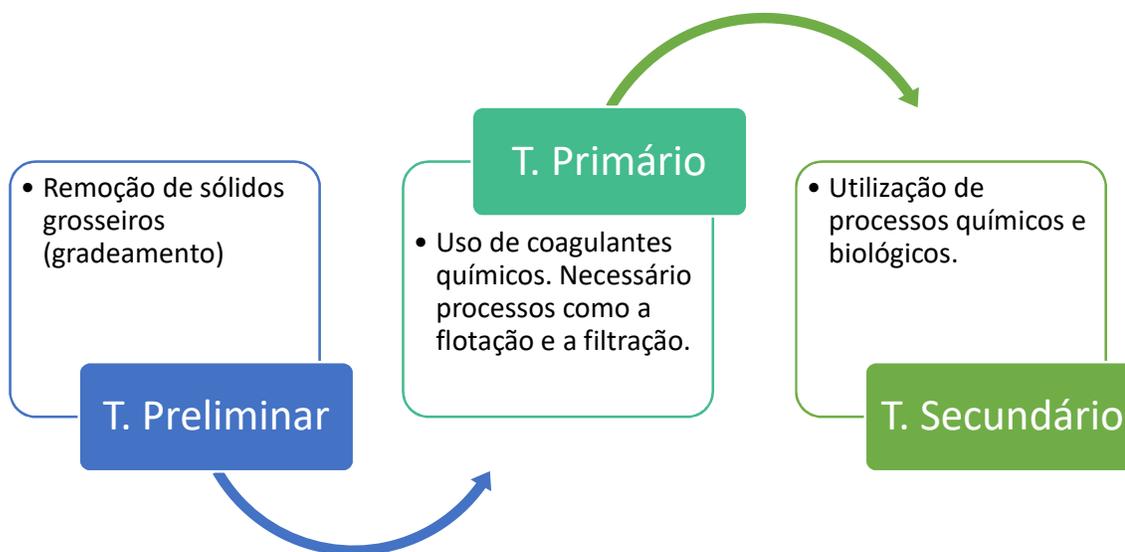
### **3.3.2 NÍVEIS DE TRATAMENTO**

Para Tchobanoglous et al. (2003), as estações de tratamento passaram por vários avanços tecnológicos que possibilitaram um aumento na eficiência de remoção de contaminantes. Atualmente existem vários níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário ou terciário. No tratamento preliminar, sólidos grosseiros são removidos para que não obstruam processos e equipamentos.

Coagulantes químicos são usados tendo como fim acelerar a sedimentação. Ainda que com o uso desses químicos, partículas finas e coloidais permaneçam no efluente, causando turbidez. Outros processos podem ser necessários, melhorando assim a qualidade da água. A flotação por ar dissolvido, seguida de filtração, mostra-se como uma solução apropriada para sistemas de tratamento de água (PIMENTEL, 2016).

No tratamento secundário, processos químicos e biológicos são utilizados para que se remova grande parte da matéria orgânica. Já no tratamento terciário,

combinações de operações e processos unitários são utilizados, removendo assim sólidos residuais e outros constituintes que não serão removidos nos tratamentos anteriores (TCHOBANOGLIOUS et al., 2003). Na Figura 2 é possível visualizar as etapas de uma maneira resumida, para melhor entendimento.



**Figura 2 – Simplificação dos processos de tratamento de efluente**

Processos físico-químicos e biológicos possuem uma série de vantagens e desvantagens no tratamento de efluentes. Crittenden (2012) pontua que sistemas físico-químicos possuem uma série de vantagens e desvantagens conforme pode ser visto no Quadro 2:

**Quadro 2 – Vantagens e Desvantagens do tratamento por FAD**

(continua)

Vantagens	Desvantagens
Alta taxa de capacidade de resíduos (entre 10 e 20 m.h <sup>-1</sup> ).	Requer local coberto para proteger o lodo flotado de vento e precipitações.
Produção de lodo denso.	Mecanicamente complexo se comparado com clarificadores por gravidade.

**Quadro 2 – Vantagens e Desvantagens do tratamento por FAD**

(Conclusão)

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Na flotação por ar dissolvido, nem sempre é necessário o uso de polímeros. O uso de coagulantes pode ser utilizado algumas vezes.	Usa maior quantidade de energia se comparado com a floculação convencional ou sedimentação.
Tempo de floculação menor	Geralmente não é eficiente na remoção de altas taxas de turbidez.
Remoção eficiente de algas.	Para equipamentos intensivamente mecânicos, o local de construção pode ser uma desvantagem, por problemas de logística.
Remoção eficiente de <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> , dependendo da temperatura.	
Menor utilização de área, quando comparado à sedimentação por gravidade, por exemplo.	

**Adaptado de: Crittenden, 2012**

### 3.4 CARACTERÍSTICAS DA LAVAGEM DE VEÍCULOS

#### 3.4.1 EFLUENTES GERADOS NA LAVAGEM DE VEÍCULOS

O efluente gerado é caracterizado principalmente pelo seguinte fatores: poluentes da superfície do veículo, os produtos químicos utilizados na lavagem, quantidade de água utilizada, tipo e parte do veículo que será enxaguada e efeitos sazonais do clima. Esse efluente possui grandes quantidades das mais variadas substâncias como óleos, graxas, surfactantes, areia, sólidos suspensos, e alta carga orgânica (HAMADA; MIYAZAKI, 2004). Possui ainda, de acordo com Teixeira (2003) sabão e cera misturados no efluente final. Com relação ao óleo e graxas encontrados, Jönsson e Jönsson (1995) diz que são, em sua maioria, oriundos do motor e sistema de freios, o que deixa a sua constituição bastante complexa e faz com que a rede municipal de esgotos seja contaminada por fontes significativas de DQO. Se a parte inferior do veículo não é lavada, as concentrações de agentes

desengraxantes, solventes e metais pesados, são mais baixas. A US EPA (1999) chegou a conclusão de que os constituintes inorgânicos mais comuns eram, dentre outros, cloretos, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais.

O despejo de detergentes é um dos grandes problemas no tratamento de efluentes. Devido a quantidade e complexidade de sua composição, a água tem suas propriedades organolépticas afetadas e a formação de espuma auxilia na proliferação de microrganismos parasitas (CAVALCANTI, 2012). Já a presença do óleo na água, dependendo do caso, é de fácil separação. Há três possíveis cenários de presença de óleo na água: mistura imiscível, emulsão instável e emulsão secundária. Nos dois primeiros casos, processos ou mecanismos físico-químicos separam um do outro de maneira fácil e sem muitos problemas. No terceiro caso, devido a presença de surfactantes a emulsão secundária de óleo e água torna-se estável, com gotas de óleo misturadas à água na ordem de micrometros de diâmetro e, por isso, de difícil remoção por métodos convencionais (TIR; MOULAI-MOSTEFA, 2008). Fez-se então o uso de eletrocoagulação para a sua remoção. De acordo com a United States Patent (2000), cada tipo de lavagem possui um tipo diferente de efluente. Na Tabela 1 é possível observar as faixas de concentrações típicas referente ao efluente da água de lavagem de veículos e na Figura 3 o efluente como visto logo após a lavagem de veículo em uma empresa de ônibus de Londrina-PR.

**Tabela 1 – Característica do efluente gerado na lavagem de automóveis**

<b>Característica</b>	<b>Faixas de Concentração (mg.L<sup>-1</sup>)</b>
Óleos e Graxas	10 – 200
Bário	0,15 – 0,30
Chumbo	0,02 - 0,03
Crômio	0,05 - 0,30
Cadmio	0,02 - 0,15
Manganês	0,10 – 2,00
Cobre	0,10 – 0,40
Zinco	0,30 – 3,00
Ferro (mg/L)	0,50 – 20,0
Compostos Orgânicos Voláteis (mg/L)	300 – 600

**Fonte: Adaptado de UNITED STATES PATENT, 2000**



**Figura 3 – Efluente Gerado na Lavagem de Ônibus**

Lau et al. (2012) em sua análise dos parâmetros dos efluentes gerados, incluem Sólidos Totais Dissolvidos, Condutividade elétrica e Turbidez, conforme observado na Tabela 2.

**Tabela 2 - Parâmetros Avaliados no Efluente de Lavagem de Veículo**

<b>Características</b>	<b>Faixas de Valores</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	27,0 – 28,4
<b>pH</b>	6,51 – 8,74
<b>DQO (mg/L)</b>	75,0 – 738,0
<b>Turbidez (NTU)</b>	34,7 – 86,0
<b>Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)</b>	89,2 – 151,8
<b>Condutividade Elétrica (µS/m)</b>	150,7 – 260,7

Fonte: Adaptado de Lau et al. 2012

Tanto Paxéus (1996) quanto Jönsson e Jönsson (1995) dizem que para uma remoção eficiente de poluentes do despejo, é necessário compreender os mecanismos de emulsificação e desemulsificação.

### **3.5 PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS**

#### **3.5.1 SISTEMAS COLOIDAIS E EMULSÕES**

Mendes (1989) afirma que as partículas coloidais possuem grande superfície específica (com tamanhos variáveis que vão de  $10^{-6}$  a  $10^{-3}$  mm). Essas partículas estão dispersas e divididas por todo o sistema coloidal de um sistema.

Di Bernardo e Dantas (2005), pontua que do ponto de vista energético algumas partículas coloidais são termicamente instáveis enquanto outras, estáveis. As estáveis, também denominadas de coloides reversíveis, incluem as moléculas de sabão, proteínas, alguns polímeros de cadeias maiores e amidos. Os instáveis, ou irreversíveis, são os sujeitos à coagulação e incluem argilas, óxidos metálicos, microrganismos, entre outros.

Essas partículas, quando submetidas a um campo elétrico, irão se movimentar para um dos eletrodos. Esse evento é chamado de eletroforese e tanto seu sinal quanto sua magnitude são funções da natureza do material coloidal. Íons de carga elétrica contrárias são atraídos para a superfície das partículas coloidais enquanto que íons de mesma carga sofrem o inverso. Com relação a camada de íons, cargas contrárias atraem os de carga oposta, resultando em concentrações grandes de íons. Denomina-se isso como dupla camada elétrica sendo ela constituída de duas camadas compactas, a camada que se manifesta mais próxima da superfície da partícula e de camada difusa. Quando uma partícula se desloca pela fase dispersante, ela carrega uma parte de sua atmosfera iônica, onde há forças de interação dos íons presentes sobre as forças de cisalhamento ali presentes devido ao fluído que se movimenta. Nesse meio, ocorre o valor do potencial zeta, que está correlacionado com a carga da superfície da partícula e com o grau de estabilidade da suspensão coloidal (MENDES, 1989).

Para esse projeto, a emulsão que interessa é a relacionada a de óleo e água. No geral, as partículas de óleo são chamadas de coloides. Todavia, para ser classificada com uma emulsão, a mistura água e óleo necessita ainda de um terceiro agente, o emulsificador, mantendo assim sua estabilidade (SAWAMURA, 1997). Os agentes emulsificadores auxiliam na estabilização da emulsão por meio do aumento da tensão superficial entre a água e outros líquidos. Esta mudança faz com que se forme uma barreira em volta das gotículas, impedindo, então a junção de duas ou mais gotas para formar uma só, mas com área interfacial menor.

### 3.5.2 ASPECTOS GERAIS DA COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

A coagulação depende de alguns fatores como pH, cor, turbidez, temperatura, condutividade elétrica, a dosagem de coagulante (Por exemplo, o sulfato de alumínio), entre outros. Para Di Bernardo e Dantas (2005), qualquer tecnologia de tratamento deve dispor de um sistema de coagulação exemplar, pois uma coagulação precária resulta em um efluente com impurezas que não serão captadas no sistema de filtração.

A coagulação tem como objetivo reduzir o potencial zeta para assim fazer com que as forças de repulsão entre as partículas sejam menores que as forças de atração de *Van Der Waals*. Quando o potencial zeta chega perto de valores próximos a zero, a possibilidade de estabilização da dispersão coloidal diminui, provocando assim a ruptura da emulsão (SAWAMURA, 1997).

O ato de desestabilizar as partículas quimicamente ocorre por meio da adição de coagulantes somada ao ato da agitação do meio líquido, promovendo a colisão das partículas presentes e a dispersão do produto químico (mistura rápida).

Existem duas formas de estabilização de partículas e moléculas: I) Estabilidade Eletrostática e II) Estabilidade Esférica. Para ambas, são considerados dois aspectos: a) a estrutura da interface solido-líquido e b) força entre duas interfaces entre si (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Ainda segundo Di Bernardo e Dantas (2005), os coloides são estáveis em razão de sua carga eletrostática na superfície e sua capacidade de se hidratar. Para isso, dependem essencialmente da estrutura química e da superfície da partícula na

interface com a água. Cátions, ânions e a molécula da água interagem com a superfície por meio das ligações iônicas, covalentes, de hidrogênio e polar, além da de *Van Der Waals*. Logo, pode-se dizer que em um sistema de coagulação, a desestabilização das partículas é o objetivo principal do sistema/processo.

Para Teixeira (2003), o propósito da floculação é “promover o choque entre as partículas previamente desestabilizadas para seja possível sua agregação e formação dos flocos”, obtendo-se assim as condições para separação mais eficiente da fase líquida nos outros processos de remoção (como a decantação, a flotação ou a filtração direta). O processo em si consiste em deixar a amostra por um certo período de agitação lenta para assim conseguir maximizar a agregação e minimizar a possibilidade de ruptura dos flocos. Dentre as variáveis mais importantes, pode-se citar a quantidade de coagulante, pH, gradiente de velocidade, tempo de agitação, o número e as características das partículas presentes.

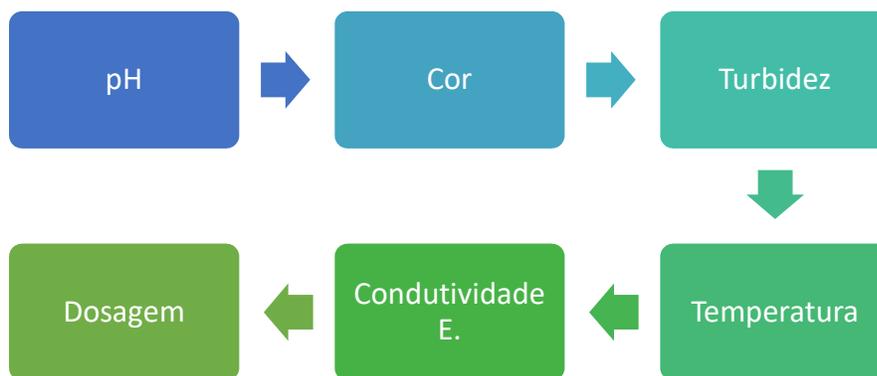


Figura 4 – Variáveis importantes para uma coagulação eficiente

#### • COAGULANTE E FLOCULANTE NATURAL TANINO

A escolha do processo e do coagulante para realizar o tratamento do efluente de lavagem veicular depende de múltiplos fatores, como as características do efluente, a qualidade exigida do efluente após o tratamento, a disponibilidade de área, disponibilidade tecnológica e os custos (HASSEMER, 2000). Assim, uma

alternativa para remoção de cor de efluentes têxtil é a utilização de coagulantes denominados como naturais: tanino.

O tanino é extraído da Acácia Negra (*Acacia mearnsii*). O produto AquaFLOC/LS é uma marca comercial de coagulante. O produto é um polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular à base de tanino que atua como coagulante e floculante. O tanino é efetivo em uma ampla faixa de pH e é recomendando nas seguintes áreas de aplicação: efluentes de metalurgia, papel e papelão, curtumes, alimentícias, têxteis, químicas; petroquímicos, cerâmica, abatedouros de aves, tratamento de água de abastecimento (CASTRO-SILVA et al., 2004; MARTÍN et al., 2010; TANAC, 2015). Atualmente tem-se pesquisado o uso de tanino em outras áreas. Desta forma, este trabalho tem a intenção e proposta de uso de tanino como coagulante substituto de óxidos metálicos.

### 3.5.3 FLOTAÇÃO

Para Lacerda et al. (1998) a flotação é um processo que remove as partículas inserindo-se pequenas bolhas de ar na água e que, quando entram em contato com essas partículas, formam um amontoado de partículas e bolhas, com densidade menor que da água, resultando na flotação até a superfície de onde é retirado.

De acordo com Gochin E Solari (1983), a flotação é uma tecnologia cuja aplicações serão bastante ampliadas nos últimos anos. Começou sendo empregada em processamento de minério e hoje em dia é utilizada em operações como recuperação de fibras na indústria de papel, remoção de óleos e gorduras, pós tratamento de esgotos, remoção de algas em efluentes de lagoa de estabilização, entre outros.

A aplicação conjunta dos mecanismos de coagulação, floculação e flotação para efluentes contendo óleos e graxas, de acordo com Delchad (1992), traz as seguintes vantagens:

- I. Lodos mais concentrados (se comparado ao obtido por sedimentação);
- II. Baixo consumo de coagulantes;
- III. Menor necessidade de área;

- IV. Menor sensibilidade aos efeitos negativos provocados por mudanças de temperatura.

Dentro dos processos envolvidos na flotação, tem-se a geração de bolhas no tamanho adequado, ligação das bolhas ao material a ser flotado, separação sólido/líquido ou ainda líquido/líquido e a remoção do sobrenadante.

- **FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD)**

Segundo a US EPA (1997), a flotação de ar dissolvido é utilizada quando a sedimentação se mostra ineficiente na remoção dos sólidos em suspensão. As bolhas de gás são previamente dissolvidas em água e obtidas por meio da liberação do gás a partir da mudança de pressão no sistema líquido-gás na entrada do tanque de flotação.

O tratamento envolve a coagulação e a aglomeração de sólidos e emulsões de óleo, seguido pela flotação do floco formado, a partir da modificação da densidade relativa devido as bolhas aderidas.

Alguns metais, por exemplo, podem formar substâncias insolúveis após a reação com sais inorgânicos, agrupando-se na massa de flocos. Alguns auxiliares de floculação (polímeros catiônicos, por exemplo) podem ser utilizados, alterando-se assim as características dos flocos, e, com isso, modificando seu tamanho, peso específico e afinidade com as bolhas de ar.

Lacerda et al. (1998) pontua que a flotação por ar dissolvido com pressurização parcial é o sistema mais utilizado para a clarificação do efluente. A água, já floculada, entra no flotador, segue para a câmara de mistura com água saturada de oxigênio (fornecido na câmara de saturação). As pequenas bolhas de ar são liberadas e por fim se unem aos flocos que sobem e são removidos pelo raspador de lodo e pela descarga de lodo.

Uma parte da água segue para fora do flotador e outra parte é recirculada para dentro da câmara de saturação. Ali a água recirculada é saturada por um compressor de aeração, retornando para a câmara de mistura. Algumas vezes, os flocos podem sedimentar e, por isso, o flotador possui uma zona de adensamento de

sedimentos e descarga de fundo. A flotação por ar dissolvido com pressurização parcial do efluente clarificado é a tecnologia mais recomendada para o tratamento físico-químico do efluente pois minimiza a ruptura dos flocos formados na etapa de coagulação/floculação.

### 3.5.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS NA RECICLAGEM DO EFLUENTE

Para a viabilização da reutilização da água de lavagem, Teixeira (2003) afirma que o sistema deve atender as premissas de:

- Eliminar qualquer indício de risco à saúde de usuários e operadores;
- Evitar possíveis danos aos veículos;
- Minimizar a diluição dos efluentes tratados;
- Minimizar seu lançamento na rede de esgotos, águas superficiais ou ainda em fossas sépticas de forma inadequada.

A partir dos requisitos, os principais benefícios advindos do reúso de água são:

- Minimização de impactos ambientais em sistemas hídricos;
- Redução da inserção de poluentes tóxicos relacionados a contaminação de água;
- Minimização de poluentes tóxicos na rede de esgotos;
- Economia de água.

No entanto, há problemas que ainda precisam ser enfrentados no desenvolvimento de tecnologias para a reciclagem da água de lavagem de veículos. Para Teixeira (2003), as problemáticas envolvem:

- **Área Ocupada:** É provável que será instalado em um local onde já existe um equipamento de lavagem e, por isso, deve ser preferencialmente pequena;

- **Geração de Odores:** deve controlar os odores gerados devido a proliferação de microrganismos encontrados nas águas armazenadas para posterior reciclagem;
- **Geração de Lodo:** grande parte dos sistemas de tratamento de efluentes gera resíduos que deverão ter seu volume minimizado e serem dispostos adequadamente;
- **Custo de Implantação:** Deve ser barato de forma que possa ser competitivo com o custo da água e assim recuperar o investimento em menor prazo;
- **Operação e Manutenção:** Sistemas simples são mais fáceis de operar. Sistemas complexos podem ser inviáveis tanto economicamente, como operacionalmente;
- **Concentração de Sólidos Dissolvidos:** conforme a água recircula pelo sistema de lavagem, certos poluentes podem concentrar-se devido ao fato de não serem totalmente removidos no tratamento;
- **Necessidade de Diluição:** devido ao aumento na concentração de certos poluentes, a diluição pode ser necessária para que se mantenha a qualidade da água a ser reciclada.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL DE ESTUDO

O efluente amostrado foi coletado em uma empresa de transporte urbano localizada na cidade de Londrina/Paraná. A empresa conta com uma frota de cerca de 500 veículos, gerando em torno de  $45\text{m}^3.\text{d}^{-1}$  de efluente resultante da lavagem dos veículos.

A princípio, o efluente gerado passa por um sistema de separação de óleo (caixa SAO) e é armazenado em um grande tanque anexo ao processo de tratamento inicial. Posteriormente, o efluente é bombeado para um sistema de tratamento composto por FAD com adição de coagulante e correção de pH (sendo possível visualizar o FAD na Figura 6). O tratamento é complementado por um reator biológico tipo biofiltro aerado, visando diminuir a matéria orgânica e compostos dissolvidos passíveis de degradação biológica. O efluente final é armazenado em um reservatório final, onde parte do efluente tratado é reutilizado e outra parte excedente é descartado em corpo hídrico. Todo o processo pode ser visto de maneira resumida na Figura 5.



**Figura 5 - Fluxograma do sistema de tratamento de água de lavagem de ônibus e lavanderia de empresa de transporte rodoviário**



**Figura 6 - Flotador por Ar Dissolvido**

#### **4.1.1 COLETA DO EFLUENTE**

A coleta do efluente foi feita em dias normais de operação, sendo realizada em três períodos: manhã (9hrs), tarde (por volta das 14hrs) e final da tarde (por volta das 17hrs). A coleta ocorreu no primeiro tanque de recebimento após a Caixa de Separação de Óleo (Figura 7).

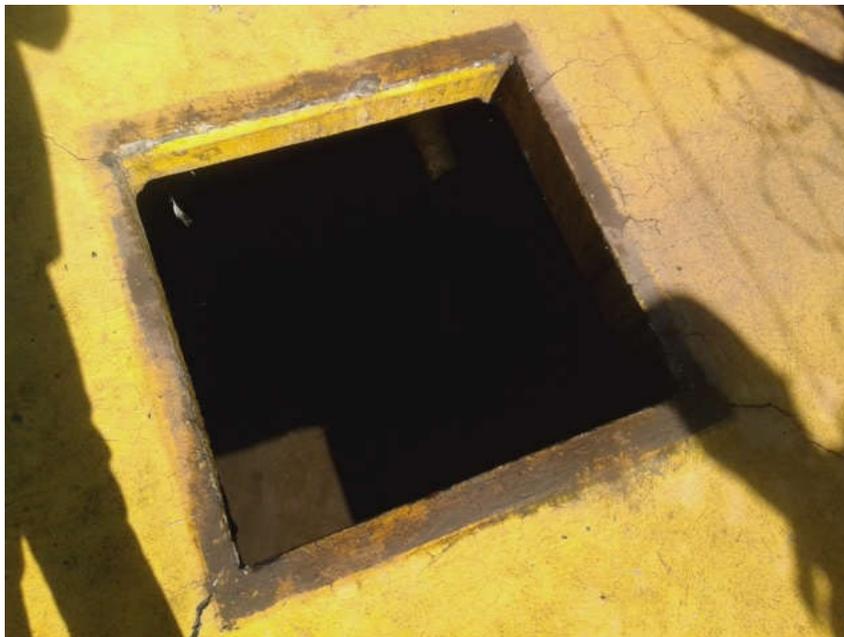


Figura 7 - Tanque posterior a caixa de separação de óleo

## **4.2 ENSAIO DE FLOTAÇÃO**

### **4.2.1 COAGULANTE**

O coagulante utilizado foi o AQUA-FLOC/LS, composto por agente de coagulação básico de tanino. É um polímero natural bastante eficaz no tratamento de água em geral, sendo eficiente quando utilizado para águas de lavagem.

### **4.2.2 ENSAIO DE FAD E JAR-TEST**

O ensaio no flotateste se inicia com a preparação da solução saturada de ar. Um compressor é conectado a câmara de saturação onde ocorre a mistura água/ar. O compressor é ajustado para propiciar uma pressão de aproximadamente 5 bar na entrada dos jarros de flotação. Antes de iniciar a operação na câmara de saturação, o sistema ar/líquido é saturado com ar durante 10 minutos.

Para a preparação do efluente foi utilizado, jarros de 2 litros (que podem ser visualizados na Figura 8). Os jarros são colocados no equipamento para que este seja misturado mecanicamente. A mistura ocorre em velocidades diferentes e tempos diferentes (Tabela 3). A variação de rotação no sistema de jarros permite a ocorrência de 2 processos: Mistura completa com Coagulação e Floculação.



Figura 8 – Ensaio sendo executado no *Jar-Test* no momento da geração dos flocos

Tabela 3 - Mistura com rotações variando conforme o tempo

Mistura	Rotação ( $s^{-1}$ )	Tempo (min)
Rápida	400	1
Lenta 1	80	10
Lenta 2	60	5
Lenta 3	40	5

Na mistura rápida, o tanino é adicionado. Ao fim da mistura Lenta 3, o ar dissolvido é injetado até atingir a taxa de recirculação de 20%.

Neste trabalho foi realizado o uso de duas taxas de aplicação superficial: de  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  e de  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ . Sabe-se que a variação de altura,  $\Delta S$ , é de 7cm. Desta forma pode-se determinar os tempos de coleta após a inserção de água/ar no sistema de jarros, com a Equação 2:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \text{Equação 1}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{v} \quad \text{Equação 2}$$

Obtendo-se assim os tempos de aproximadamente 40 segundos de flotação para a taxa de  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$  e 86 segundos para a taxa de  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ .

#### 4.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Para a dosagem de tanino, assim como o pH desejado, utilizou-se o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). As variáveis analisadas, bem como os níveis codificados e reais podem ser observados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Valores codificados do DCCR, dosagem de AQUA-FLOC/LS e pH do efluente para ensaio de flotação**

(Continua)

Ensaio	Variáveis Codificadas		Variáveis Reais	
	Concentração AQUA-FLOC/LS	pH	Concentração ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) AQUA-FLOC/LS	pH
1	-1,00	-1,00	34,50	6,40
2	1,00	-1,00	105,50	6,40
3	-1,00	1,00	34,50	8,56
4	1,00	1,00	105,40	8,56

**Tabela 4 - Valores codificados do DCCR, dosagem de AQUA-FLOC/LS e pH do efluente para ensaio de flotação**

(Conclusão)

Ensaio	Variáveis Codificadas		Variáveis Reais	
	Concentração AQUA-FLOC/LS	pH	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> ) AQUA-FLOC/LS	pH
5	-1,41	0,00	20,00	7,50
6	1,41	0,00	120,00	7,50
7	0,00	-1,41	70,00	6,00
8	0,00	1,41	70,00	9,00
9	0,00	0,00	70,00	7,50
10	0,00	0,00	70,00	7,50
11	0,00	0,00	70,00	7,50
12	0,00	0,00	70,00	7,50

O modelo matemático foi validado pela análise de variância (ANOVA). O nível de confiança foi de 95%.

#### 4.4 VARIÁVEIS

As variáveis a serem analisadas para verificação da eficiência do sistema de tratamento por FAD são:

**Tabela 5 - Variáveis para a verificação da eficiência do FAD**

Variável	Método
Condutividade Elétrica	2510 A
Cor Aparente	2120 C
DQO	5220 D
pH	4500 H+B
Turbidez	2130 B

Fonte: Adaptado de APHA, 2012

As variáveis foram analisadas antes e depois do ensaio de FAD, verificando-se a eficácia do ensaio. Os valores de ensaio ótimos foram repetidos com análise de mais parâmetros:

**Tabela 6 - Variáveis para os ensaios ótimos**

<b>Variável</b>	<b>Método</b>
Sólidos Suspensos	2540 A
Sólidos Totais	2540 A
Sólidos Voláteis	2540 A
Surfactantes	5540 C
Nitrogênio NTK	4500 B

**Fonte: Adaptado de APHA, 1998**

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE DO EFLUENTE BRUTO

Coletado o efluente bruto, analisou-se as variáveis cor, turbidez, pH, DQO e condutividade elétrica, conforme pode ser visto na Tabela 7:

**Tabela 7 - Análise do efluente bruto**

Cor (UH)	240,00
Turbidez (UNT)	48,70
pH	6,75
DQO (mg.O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	155,00
Condutividade (μS.cm <sup>-1</sup> )	453,20

Observando-se os dados, pode-se dizer que os valores encontrados estão dentro dos valores analisados por Lau et al. (2012), já discutidos no capítulo 3.4.1, para águas provenientes de lavagem de veículos. Desta forma, o efluente apresenta característica específica de sistemas de lavagem de veículos, podendo ser comparado e utilizado para outros estudos e técnicas similares

### 5.2 ANÁLISE DE FLOTAÇÃO

Logo após a análise do efluente bruto, iniciou-se o ensaio de flotação, cujo os resultados podem ser vistos na Tabela 8 e Tabela 9, que possui as variáveis analisadas e a quantidade de tanino e correção de pH de acordo com o DCCR:

Tabela 8 - Resultado do Ensaio no *Jar-Test* utilizando as taxas de  $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  e  $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ 

Ensaio	Aquafloc (mg/L)	pH de coagulação	Cor (UH)		Turbidez (UNT)	
			150	70	150	70
1	34,50	6,40	14,00	13,00	3,15	2,00
2	105,50	6,40	9,00	9,00	1,72	1,46
3	34,50	8,56	85,00	72,00	17,70	13,00
4	105,40	8,56	36,00	36,00	5,95	5,13
5	20,00	7,50	75,00	54,00	20,70	10,70
6	120,00	7,50	9,00	8,00	1,97	1,48
7	70,00	6,00	9,00	8,00	1,64	1,55
8	70,00	9,00	54,00	53,00	7,74	7,04
9	70,00	7,50	11,00	9,00	1,72	1,68
10	70,00	7,50	12,00	11,00	2,40	1,74
11	70,00	7,50	15,00	12,00	2,14	2,13
12	70,00	7,50	13,00	10,00	1,94	1,75

Tabela 9 – Continuação da Tabela 11: Resultado do Ensaio no *Jar-Test* utilizando as taxas de  $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  e  $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  (Continuação)

Ensaio	pH final	DQO ( $\text{mg}.\text{O}_2.\text{L}^{-1}$ )		Condutividade ( $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ )	
		150	70	150	70
1	7,04	89,20	84,20	418,30	438,60
2	7,00	84,20	81,60	421,10	421,50
3	8,22	120,70	110,60	377,00	377,60
4	8,00	105,60	91,70	379,70	380,60
5	7,80	115,70	100,50	349,10	348,00
6	7,65	80,40	80,40	365,30	363,70
7	6,62	77,80	70,30	358,20	354,20
8	8,73	111,90	87,90	391,00	391,50
9	7,74	86,70	77,80	359,60	358,20
10	7,77	72,80	77,80	361,50	365,20
11	7,82	91,70	86,70	353,00	354,30
12	7,78	81,60	85,40	352,20	347,60

O pH de coagulação e o final se mantiveram praticamente semelhantes quanto a sua faixa de valores (entre 6 e 8). A Cor aparente e a turbidez foram as variáveis que obtiveram melhor remoção. Lacerda et al. (1998) comenta que pH próximos a 7 e com uma certa quantidade de coagulante são os que apresentam melhores taxa de remoção. A DQO e a Condutividade Elétrica foram as variáveis com a menor taxa de remoção.

Por fim, a eficiência de remoção de cada variável foi calculada (vide Tabela 10).

**Tabela 10 - Eficiência de remoção**

Ensaio	Cor (%)		Turbidez (%)		DQO (%)		Condutividade (%)	
	150	70	150	70	150	70	150	70
1	94	95	94	96	42	46	8	3
2	96	96	96	97	46	47	7	7
3	65	70	64	73	22	29	17	17
4	85	85	88	89	32	41	16	16
5	69	78	57	78	25	35	23	23
6	96	97	96	97	48	48	19	20
7	96	97	97	97	50	55	21	22
8	78	78	84	86	28	43	14	14
9	95	96	96	97	44	50	21	21
10	95	95	95	96	53	50	20	19
11	94	95	96	96	41	44	22	22
12	95	96	96	96	47	45	22	23

Para a comprovar a eficiência de remoção, utilizou-se o método por Regressão ANOVA. Os dados gerados se mostraram significativos, conforme pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11 – Dados Significativos

	Cor		DQO		Turbidez	
	150	70	150	70	150	70
<b>f (calculado)</b>	27,520	44,720	15,270	23,040	12,240	10,390
<b>f (tabelado)</b>	4,387	4,387	4,120	4,066	4,066	4,387
<b>R<sup>2</sup></b>	96,000	97,000	85,000	95,000	87,000	79,000

O f calculado por meio da regressão mostrou-se maior que o tabelado a 5% de probabilidade de Fisher-Snedecor. Soma-se a isso os modelos matemáticos gerados por meio de programa estatístico, conforme mostra a Tabela 12:

Tabela 12 – Modelos Matemáticos

Variável	Modelo Matemático
<b>Cor – Taxa 150</b>	% = $94,7 + 7,68x_1 - 6,04x_1^2 - 8,34x_2 - 3,84x_2^2 + 4,58(x_1 \cdot x_2)$
<b>Cor – Taxa 70</b>	% = $95,63 + 5,48x_1 - 4,47x_1^2 - 7,80x_2 - 4,36x_2^2 + 3,33(x_1 \cdot x_2)$
<b>DQO – Taxa 150</b>	% = $39,79 + 5,67x_1 - 8,18x_2$
<b>DQO – Taxa 70</b>	% = $46,86 + 4,04x_1 - 3,90x_1^2 - 4,98x_2$
<b>Turbidez – Taxa 150</b>	% = $93,99 + 10,19x_1 - 8,67x_1^2 - 7,04x_2$
<b>Turbidez – Taxa 70</b>	% = $96,25 + 5,51x_1 - 4,50x_1^2 - 5,77x_2 - 2,65x_2^2 + 3,76(x_1 \cdot x_2)$

Para as equações da Tabela 12, deve-se utilizar os dados codificados na substituição de  $x_1$  e  $x_2$ .

### 5.2.1 ANÁLISE DA COR APARENTE

Observando-se a Tabela 10, tem-se uma faixa de eficiência de remoção variando de 69 a 96% para a taxa de  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$  e de 70 a 90% para a taxa de  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ , apresentando-se assim uma alta taxa de remoção para essa variável. A

eficiência se deve ao processo de flotação em si, como defendem Rubio, Souza e Smith (2001). O processo de FAD apresenta alto poder de clarificação e remoção da cor aparente.

A Figura 9A apresenta o gráfico de superfície a taxa de  $150 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ . Observando-se essa figura, para se obter a maior eficiência na remoção, seria necessário um pH ótimo entre 6 e 7 e a concentração de tanino entre 65 e 98  $\text{mg}.\text{L}^{-1}$ . A Figura 9B, com o gráfico de superfície para a taxa de  $70 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ , mostra que para uma taxa de remoção maior que 95% o pH deveria também estar entre 6 e 7 e a concentração de tanino entre 69 e 95  $\text{mg}.\text{L}^{-1}$ . Para fins de comparação, utilizando-se da mesma eficiência que da taxa de  $150 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ , o pH deveria estar entre 6 e 7,5 e a concentração de coagulante entre 50 e 100  $\text{mg}.\text{L}^{-1}$ , não sendo vantajoso um menor tempo de retenção. Observa-se ainda que na taxa de  $70 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  seria utilizado menos coagulante com a faixa de pH mais baixa, obtendo-se maior eficiência na remoção (isso mantendo-se os valores para uma eficiência de remoção maior que 95%). Parte da eficiência alta na segunda taxa se deve ao tempo no *Jar-Test*. Lacerda, et al. (1998) defende que a cor aparente será removida de forma mais satisfatória se o tempo de repouso no *Jar-Test* for maior. Além disso, a faixa de pH mais próximo do neutro ajuda na eficiência na formação dos flocos.

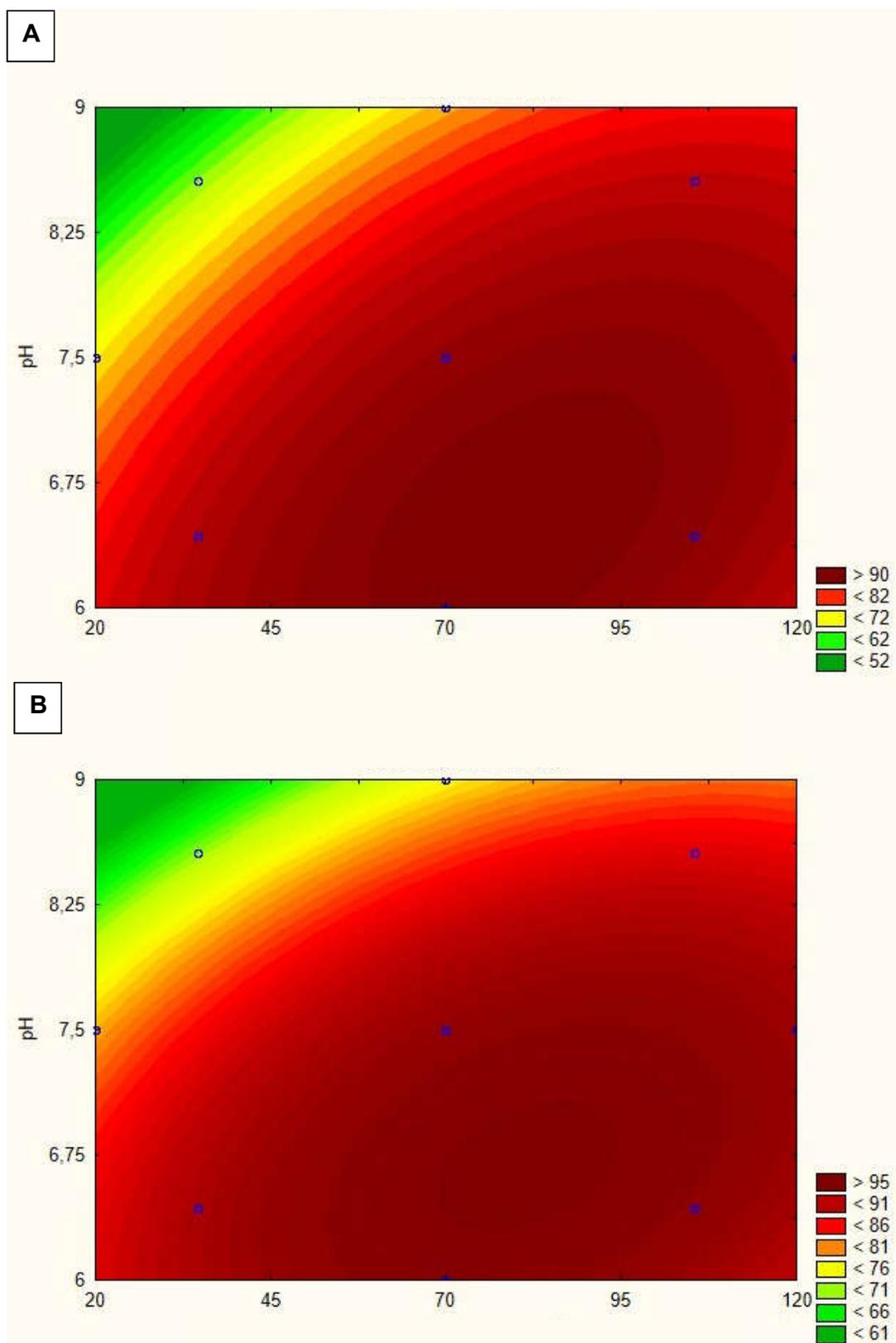


Figura 9 - Superfície Resposta para Remoção de Cor. A) Taxa de remoção a  $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  e B) Taxa de remoção a  $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$

## 5.2.2 ANÁLISE DA TURBIDEZ

A eficiência na remoção da turbidez para a taxa de  $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  ficou entre 57 e 97% e entre 73 e 97% para a taxa de  $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ . A alta eficiência na remoção (acima de 99%) se deu no pH entre 6 e 7, aproximadamente, e com a concentração de coagulante indo de 60 a  $120\text{mg.L}^{-1}$ , como pode ser visto na Figura 10 A e B. Percebe-se novamente que a segunda taxa se mostrou mais eficiente na remoção dessa variável. A turbidez, assim como a cor aparente, também é eficazmente removida com o uso do FAD (AL-SHAMRANI, JAMES, XIAO, 2002). Esse sucesso na remoção, todavia, não é o suficiente para se enquadrar dentro do que a NBR 13.969 (1997) como um valor ótimo para a turbidez em um efluente classe 1 tratado. A norma pontua que os ensaios de turbidez devem resultar em valores menores que 5 UNT. Observando-se a Tabela 8, percebe-se que os ensaios 3, 4, 5 e 8 apresentaram valores superiores ao que a NBR considera como aceitável. A aplicação de outros sistemas complementares, como por exemplo sistemas de filtração de areia sob pressão, podem ajudar a enquadrar os valores dentro da NBR.

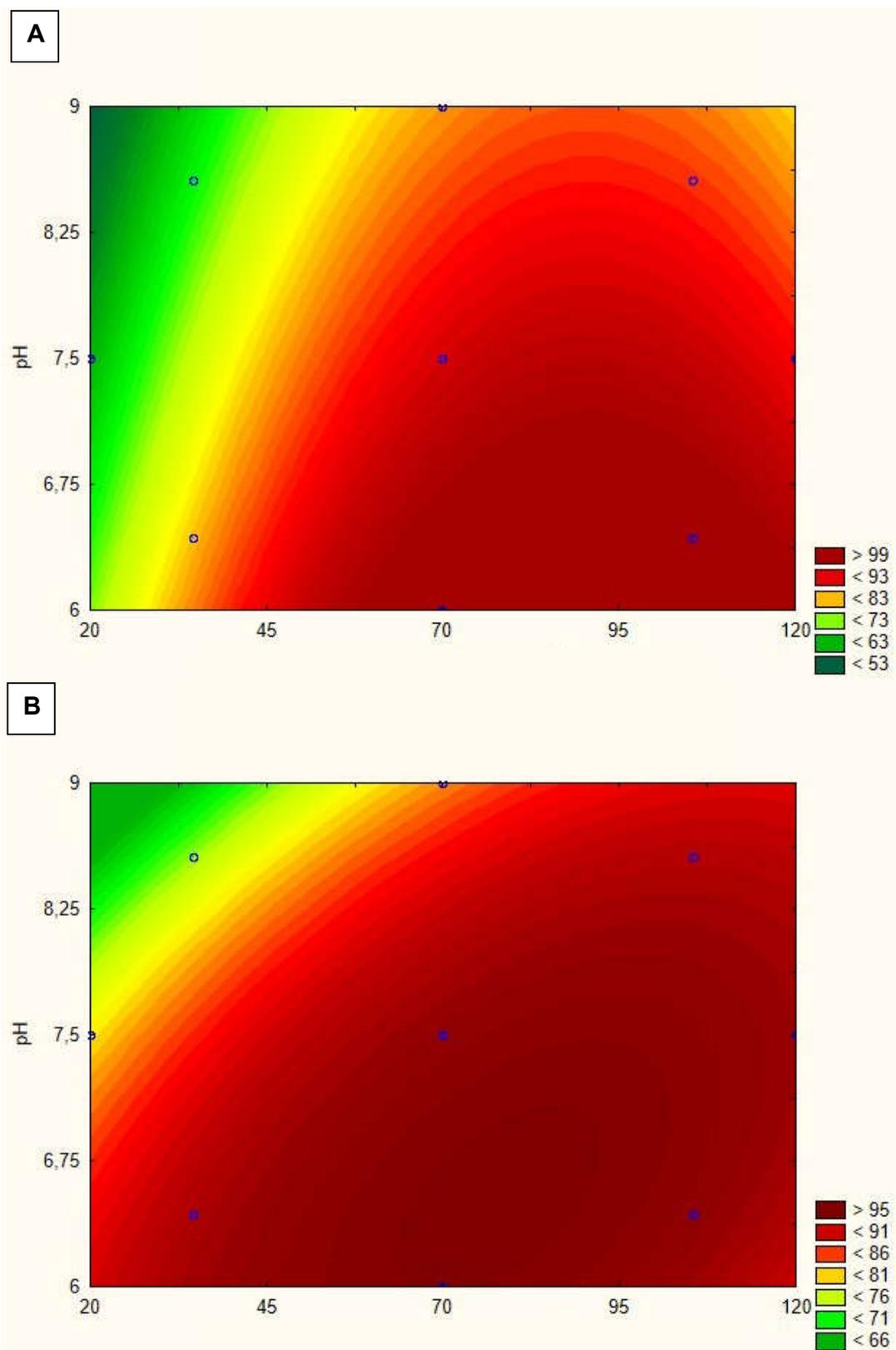


Figura 10 - Superfície Resposta para Remoção de Turbidez. A) Taxa de remoção a  $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  e B) Taxa de remoção a  $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$

### 5.2.3 ANÁLISE DA DQO

Na análise da demanda química de oxigênio para a taxa de  $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ , obteve-se uma eficiência na remoção entre 22 e 55%. Para a taxa de  $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ , a eficiência variou entre 35 e 55%. Para ambas as taxas, o pH ótimo ficou em torno de 6 enquanto que a concentração de tanino foi de aproximadamente  $120\text{mg.L}^{-1}$  para a primeira taxa e para a segunda ficou entre 60 e  $120\text{mg.L}^{-1}$ . A Figura 11 A e B mostram um padrão bem diferente entre uma e outra, sendo que a Figura 11 A possui uma faixa de eficiência ótima de remoção bem mais estreita do que na Figura 11 B. As faixas de remoção não foram muito altas para DQO, sendo possível observar que um pH e uma quantidade de tanino bem específicas seriam necessárias para uma remoção de no máximo 55% da variável. Yu, Han e He (2013) em seu trabalho chegaram a conclusão que o tipo de coagulante usado influi diretamente na eficiência de remoção da DQO. O uso do cloreto de silicato de zinco como coagulante nos ensaios desses autores removeu cerca de 72% da variável, valor superior ao obtido nesse trabalho. Novamente, o tempo no flotador resultou na melhor remoção dessa variável e também conclui-se a necessidade de um segundo tratamento, complementar ao FAD.

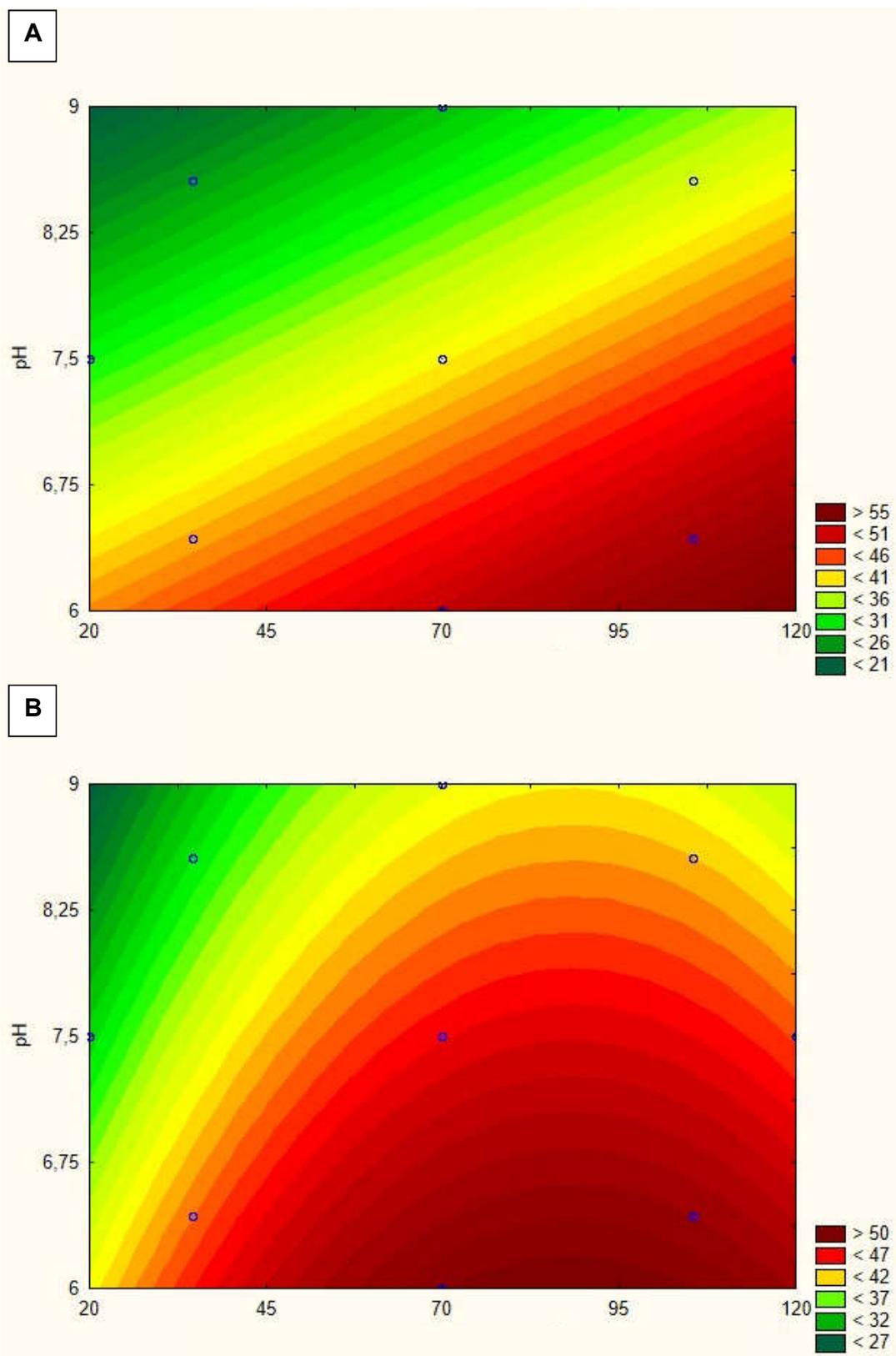


Figura 11 - Superfície Resposta para Remoção de DQO. A) Taxa de remoção a  $150\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$  e B) Taxa de remoção a  $70\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$

#### 5.2.4 ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A eficiência na remoção da condutividade elétrica foi baixa (25%). Comparando-se com os valores do efluente bruto da Tabela 7 com os valores obtidos no pós tratamento na Tabela 9, pode-se observar que a variação entre a condutividade antes e depois do tratamento não mostrou diferenças significativas. O efluente bruto apresentou valor de  $453,20 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e a remoção mais significativa foi de  $347,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (taxa de  $70\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ). Essa baixa eficiência pode estar relacionada com a adição do tanino que por ser um composto orgânico interfere na remoção eficaz da condutividade elétrica. Zaneti et al. (2011) utilizando-se do mesmo coagulante também observou uma remoção baixa na condutividade, inferindo a necessidade de um segundo tratamento.

#### 5.2.5 ANÁLISE DO PH FINAL

Assim como a condutividade, o pH não apresentou variação de valores significantes. Ficou próximo ao valor do efluente bruto (6,75) conforme pode ser verificado na Tabela 7, apresentando uma faixa de variação entre 6,62 e 8,73, como pode ser também visualizado na Figura 12 e na Tabela 9. Os efeitos do tanino no pH também foram observados por Etchepare et al. (2014) que conseguiu uma variação de pH de coagulação e do pH final no tratamento final bem próximos um do outro. Quando se fala da legislação, para a Resolução CONAMA nº 430 (2011), mesmo com o valor do efluente bruto já se pode considerar este como um efluente próprio para o lançamento na rede de esgoto. Já a NBR 13.969 (NBR ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), pontua que os valores para pH deve estar entre 6 e 8. Com exceção dos ensaios 3 e 8, todos os ensaios estavam dentro dos valores presentes nessa norma.

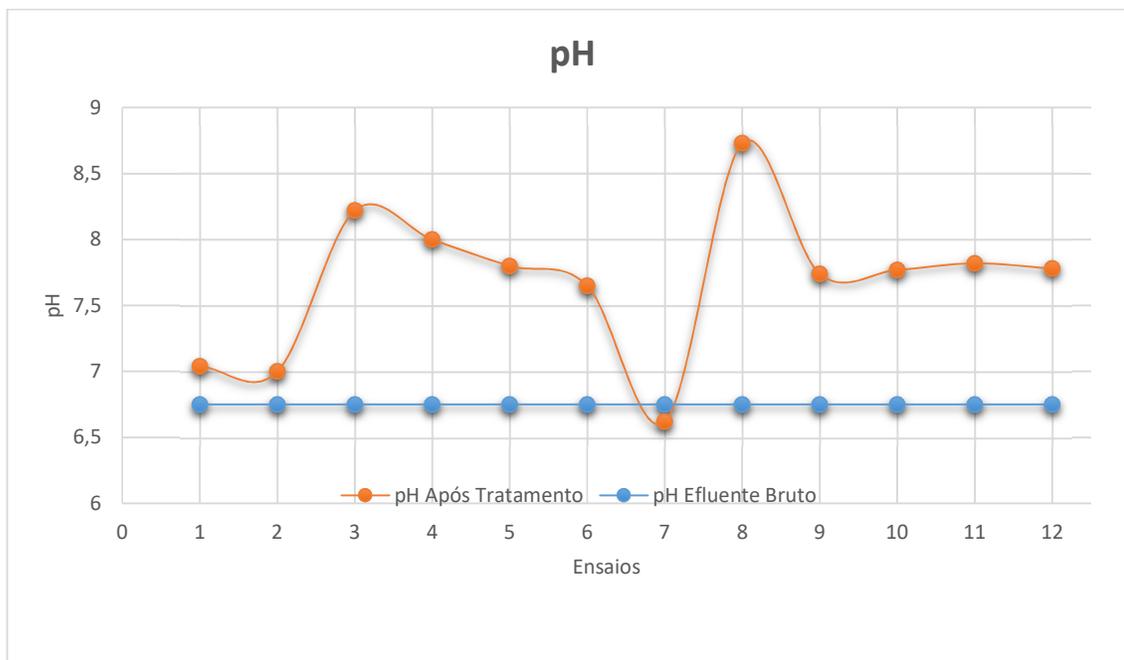


Figura 12 - Comparações do pH do efluente bruto e após os ensaios

### 5.3 AVALIAÇÃO DO PONTO ÓTIMO

#### 5.3.1 OBTENÇÃO DOS PONTOS ÓTIMOS

Para obter os pontos ótimos, utilizou-se de modelos matemáticos obtidos a partir dos gráficos de curva de contorno apresentados anteriormente. Estabeleceu-se então as faixas ótimas do coagulante (tanino) e do pH, determinando desta forma os valores previstos de remoção para cada parâmetro e, assim, foram realizados os ensaios com as combinações das variáveis que obtiveram as maiores eficiências previstas pelo modelo. Dentre os valores obtidos, tem-se que o pH de Coagulação utilizado foi de 6,97 e a concentração de tanino utilizada de 79mg.L<sup>-1</sup>.

#### 5.3.2 SÉRIE DE SÓLIDOS

As análises da série de sólidos levaram em consideração os sólidos totais, voláteis e suspensos. Na Tabela 13, encontra-se os resultados para a amostra bruta e os resultados obtidos após o tratamento com o tanino.

**Tabela 13 - Resultado da Série de Sólidos para o efluente bruto e para as taxas de 150 e 70  $m^3.m^{-2}.d^{-1}$**

Variáveis (mg.L <sup>-1</sup> )	Bruto	Após Ensaio		Eficiência (%)	
		Taxa 150	Taxa 70	Taxa 150	Taxa 70
<b>S. Totais</b>	617,50	330,00	337,50	46,60	45,30
<b>S. Voláteis</b>	247,50	150,00	177,50	39,40	28,30
<b>S. Suspensos Totais</b>	35,00	30,00	25,00	14,30	28,60
<b>S. Suspensos Voláteis</b>	32,50	30,00	25,00	7,70	23,10

A remoção de sólidos totais se mostrou mais eficiente na taxa de 150  $m^3.m^{-2}.d^{-1}$  (46,6%). Brown (2000) diz que o processo de floculação é o melhor para a remoção de sólidos totais, cor aparente e turbidez. Rubio et al. (2007) complementa pontuando que a alta eficiência na remoção dos sólidos se dá em tempos de flotação menores. De uma maneira geral, a eficiência na remoção dos sólidos totais e voláteis ficou entre 46,6% e 28,3%, ambas para a mesma taxa de 150  $m^3.m^{-2}.d^{-1}$ . Novamente, a NBR 13.969 (NBR ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) pontua que para o reuso para classe 1, o valor dos sólidos totais deve ser inferior a 200 mg.L<sup>-1</sup>, mostrando assim que para o ponto ótimo o efeito do tratamento dos sólidos totais por FAD foi não está dentro dessa NBR.

Os sólidos suspensos, por outro lado, foram removidos mais eficientemente na taxa de 70  $m^3.m^{-2}.d^{-1}$ . Por já estarem em suspensão na água, sua remoção foi mais eficiente na segunda taxa, pois ficou mais tempo dentro do jarro sofrendo as ações da flotação.

### 5.3.3 NITROGÊNIO NTK

A análise do nitrogênio NTK para o ponto ótimo resultou na Tabela 14.

**Tabela 14 - Resultado para Nitrogênio NTK para o efluente bruto e para as taxas de 150 e 70  $m^3.m^{-2}.d^{-1}$**

Variável (mg.NTK.L <sup>-1</sup> )	Bruto	Após Ensaio		Eficiência (%)	
		Taxa 150	Taxa 70	Taxa 150	Taxa 70
<b>Nitrogênio NTK</b>	14,28	12,30	9,80	13,70	31,40

Para o Nitrogênio Total Kjeldahl, a eficiência na remoção variou entre 13,7 e 31,4%, sendo considerada uma remoção não eficiente. Pode-se dizer nesse caso que o nitrogênio possivelmente encontra-se em sua forma dissolvida no efluente, o que dificulta sua remoção.

#### 5.3.4 SURFACTANTES

Os resultados do ensaio para surfactantes podem ser observados na Tabela 15.

**Tabela 15 – Resultado para Surfactantes para o efluente bruto e para as taxas de 150 e 70  $m^3.m^{-2}.d^{-1}$**

Variável (mg.L <sup>-1</sup> )	Bruto	Após Ensaio		Eficiência (%)	
		Taxa 150	Taxa 70	Taxa 150	Taxa 70
<b>Surfactantes</b>	27,97	17,70	17,50	36,60	37,50

Observa-se que a eficiência para remoção de surfactantes foi levemente maior na taxa de 70  $m^3.m^{-2}.dia^{-1}$  (37,5%). Para se obter eficiências ainda maiores, nesse caso, faz-se necessário o uso de um segundo tratamento, e não apenas a flotação.

A eficiência obtida aqui pode ser considerada de mediana a baixa. Zaneti et al (2011) utilizou do mesmo sistema de tratamento floculação-flotação e obteve remoção de surfactantes na ordem de 43%. Todavia, para conseguir esse resultado, o tratamento com tanino foi seguido por filtração com areia e cloração, o que aumentou a eficiência do tratamento. Logo, conclui-se que apenas o uso de FAD para a remoção satisfatória dessa variável não é suficiente, fazendo-se necessário o uso de outros tratamentos complementares.

## 6. CONCLUSÃO

Por meio deste trabalho, foi possível verificar a caracterização físico-química do efluente produzido pela empresa de transporte público. O efluente bruto apresentou valores que estavam dentro das características pesquisadas na literatura. Nas análises feitas em laboratório foi possível chegar a conclusão que um pH em torno de 6 a 7 seria o ideal para melhor aproveitamento da potencialidade do AQUA/FLOC. O tanino, por sua vez, mostrou-se efetivo quando adicionado uma quantidade na faixa de 60 a 95 mg.L<sup>-1</sup>. O tempo no flotador também se mostrou importante na remoção das variáveis sendo que as taxas de 70m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> foram as que obtiveram maior remoção dos parâmetros analisados. Apesar de alguns resultados terem se mostrado satisfatórios apenas com a flotação, sugere-se tratamentos complementares ao físico-químico presente na empresa, a fim de se obter resultados ainda mais eficientes.

A partir dos resultados obtidos, propõe-se que sistemas de lavagem de veículos com adequação do pH e uso do tanino como coagulante possa ser utilizado com o processo de flotação por ar dissolvido visando o reúso de água em postos de lavagem de veículos.

## REFERÊNCIAS

AL-SHAMRANI, A., JAMES, A., XIAO, H. ***Destabilisation of oil–water emulsions and separation by dissolved air flotation***. *Water Research*, v. 36, n. 6, p. 1503–1512, 2002.

APHA. ***Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater***. American Public Health Association. American Water Works Association. Water Environmental Federation. 20<sup>th</sup> ed. Washington. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997.

BOUSSU, K., KINDTS, C., VANDECASTEELS, C., VAN DER BRUGGEN, B. ***Applicability of nanofiltration in the carwash industry***. *Separation and Purification Technology* 54, 139–146. 2006.

BRASIL. RESOLUÇÃO Nº. 54, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2005 – Estabelece critérios gerais para reuso de água potável. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Conselho Nacional De Recursos Hídricos, Brasília, DF, 28 nov. 2005.

\_\_\_\_\_. Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 dez. 2011.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA 357/2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA 430/2011. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

Brown, C. ***Water Conservation in the Professional Car Wash Industry***. Report for International Car Wash Association, Washington DC, USA. 2000.

CÂMARA MUNICIPAL DE GUARAPUAVA. **Lei nº 2431**. Guarapuava: Câmara Municipal de Guarapuava, 2015.

CASTRO-SILVA, M. A. et al. Microrganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulante orgânico vegetal (tanato quaternário de amônio) – I. Microrganismos Filamentosos. **Revista Estudos de Biologia**, v. 26, n. 54, p. 21-27, jan./mar. 2004.

CAVALCANTI, J. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. 2nd ed. J. E. Cavalcanti, 2012.

CRITTENDEN, J. **Water Treatment Principles And Design**. Tradução . Hoboken, N.J.: John Wiley, 2012.

DELCHAD, S. **The application of demulsification chemicals in recycling, recovery and disposal of oily wastes**. In: FREEMAN H.M. *Physical/Chemical Processes*. Cincinnati. Technomic, 1992. v.2, p.1-8.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. **Métodos e Técnicas De Tratamento De Água**. São Carlos: Rima, 2005.

ETCHEPARE, R. G.; ZANETI, R.; AZEVEDO, A.; RUBIO, J. **Application of flocculation-flotation followed by ozonation in vehicle wash wastewater treatment/desinfection and water reclamation**. *Desalination and Water Treatment*. 10p. 2014.

FERNANDES, V. M. C. **Padrões Para Reúso De Águas Residuárias Em Ambientes Urbanos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, 2. 2006. Passo Fundo. Universidade de Passo Fundo, 2006. Disponível em: <  
<http://www.upf.br/coaju/index.php/informacoes/downloads/artigos?download?730?artigo>> Acesso em: 21 abr. 2016.

GOCHIN, R. J.; SOLARI, J. **The role of hydrophobicity in dissolved air flotation**. *Water Research*, v.17, n.6, p.651-657. 1983.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Lei 16.160**, de 13 de Abril de 2015. São Paulo, 2015.

\_\_\_\_\_. **Lei 16.174**, de 22 de Abril de 2015. São Paulo, 2015.

HAMADA, T.; MIYAZAKI, Y. **Reuse Of Carwash Water With A Cellulose Acetate Ultrafiltration Membrane Aided By Flocculation And Activated Carbon Treatments.** *Desalination*, v. 169, n. 3, p. 257-267, 2004.

HASSEMER, M. E. N. **Tratamento de Efluente Têxtil – Processo físico-químico com ozônio e floculação em meio granular.** 2000. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

IAP. **Postos Com Serviços De Lavagem De Veículos.** Disponível em: <[www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=669](http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=669)> Acesso em: 05 jun. 2016.

JÖNSSON, C., JÖNSSON, A. **The Influence of Degreasing Agents Used at Car Washes on the Performance of Ultrafiltration Membranes.** *Desalination*, 1995.

KUBLER, H.; FORTIN, A.; MOLLETA, L. **Reúso de Água nas Crises Hídricas e Oportunidades no Brasil.** ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.

LACERDA, R.S.; MARQUES, S.F.S; BRANDÃO, C.C.S. **A influência do pH de coagulação e do tempo de floculação na flotação por ar dissolvido de águas de baixa turbidez e com presença de algas.** 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1998.

LAU, W.; ISMAIL, A.; FIRDAUS, S. **Separation and Purification Technology.** Elsevier, p. 1-6, 2012. Disponível em: <<http://www.journals.elsevier.com/separation-and-purification-technology>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

MARENGO, J. **Água e mudanças climáticas. Estudos Avançados.** v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142008000200006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 05 out. 2015.

MARTÍN, J. Sánchez et al. **Surface water and wastewater treatment using a new tannin-based coagulant. Pilot plant trials.** *Journal of Environmental Management*, v. 91, n. 10, p. 2051-2058, out. 2010.

MENDES, Carlos G.N. **Estudo da coagulação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis.** 1999. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

MORELLI, Eduardo B. **Reúso De Água Na Lavagem De Veículos**. 2005. 107 f. Tese (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

NATIONAL GEOGRAPHIC. **Freshwater Crisis**. Disponível em: <<http://environment.nationalgeographic.com/environment/freshwater/freshwater-crisis>>. Acesso em: 02 out. 2015.

ODUM, E. P., BARRET, G. W. **Fundamentos de ecologia**. 5. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

OLIVEIRA, J. **Crise hídrica: falta d'água chega ao Sudeste**. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/radio/materias/REPORTAGEM-ESPECIAL/481135-CRISE-HIDRICA-FALTA-D%E2%80%99AGUA-CHEGA-AO-SUDESTE-COMO-TUDO-COMECOU-BLOCO-1.html>>. Acesso em: 04 out. 2015.

PAXEUS, N. **Vehicle Washing As A Source Of Organic Pollutants In Municipal Wastewater**. *Water Science and Technology*, v. 33, n. 6, p. 1-8, 1996.

PIMENTEL, J. Soares. **Tratamento físico-químico de esgoto e reúso de efluente: Cada idéia tem seu tempo**. 12 p. Disponível em: <[http://pt.slideshare.net/JS\\_Pimentel/ufqflot](http://pt.slideshare.net/JS_Pimentel/ufqflot)> Acesso em: 29 mai. 2016.

PORTAL BRASIL. **Governo Busca Regulamentação de Norma Nacional para Água de Reuso**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/04/governo-busca-regulamentacao-de-norma-nacional-para-agua-de-reuso>>. Acesso em: 07 mai. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Decreto nº 293**. Curitiba: Prefeitura Municipal de Curitiba, 2006.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE MARINGÁ. **Lei nº 6345**. Maringá: Prefeitura do Município de Maringá, 2003.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 13.412**. Maringá: Prefeitura do Município de Maringá, 2015.

RADAR NACIONAL. **Postos e Lava-rápidos Deverão Usar Água de Reuso na Lavagem de Carros em SP**. Disponível em:

<<http://www.radarnacional.com.br/agora-e-lei-postos-e-lava-rapidos-deverao-usar-agua-de-reuso-na-lavagem-de-carros-em-sp/>>. Acesso em: 04 out. 2015.

RICKLEFS, R. E. **Economia da natureza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003

RODRIGUES, Raquel dos S. **As Dimensões Legais e Institucionais de Reuso de Água no Brasil: Proposta de Regulamentação do Reuso no Brasil**. 2005. 192 f. Tese (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ROSA, L.G., SOUSA, J.T., LIMA, V.L.A. et al. **Caracterização de Águas Residuárias Oriundas de Empresas de Lavagem de Veículos e Impactos Ambientais**. Revista Ambiente & Água, v. 6, n. 3, 2011. Acesso em: 11 nov. 2015.

RUBIO, J., CARISSIMI, E., ROSA, J.J. **Flotation in water and wastewater treatment and reuse: recent trends in Brazil**. *International Journal of Environment and Pollution* 30. 2007.

RUBIO, J., SOUZA, M., SMITH, R. **Overview of flotation as a wastewater treatment technique**. *Minerals Engineering*, v. 15, n. 3, p. 139-155, 2002.

SAWAMURA, M.Y. **Desemulsificação De Águas Residuárias De Indústrias De Refino De Óleo Lubrificante: Estudo De Caso**. 1997. São Paulo. Tese (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.

SPURBANUSS. **Empresas de Ônibus e Economia de Água**. Disponível em: <[http://www.spurbanuss.com.br/noticia\\_detalhes.asp?ID=244](http://www.spurbanuss.com.br/noticia_detalhes.asp?ID=244)>. Acesso em: 15 nov. 2015.

TANAC. **TANFLOC SG**. Disponível em: <[http://www.tanac.com.br/sites/default/files/CT\\_TANFLOC\\_SG\\_PT\\_0.pdf](http://www.tanac.com.br/sites/default/files/CT_TANFLOC_SG_PT_0.pdf)>. Acesso em: 08 nov. 2016.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F.; STENSEL, H. **Wastewater engineering**. Boston: McGraw-Hill, 2003.

TEIXEIRA, P.C. **Emprego da Filtração por ar Dissolvido no Tratamento de Efluentes de Lavagem de Veículos Visando a Reciclagem da Água**. Dissertação Apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP. 2003. 199p.

THE WATER TREATMENTS. **Biological Treatment**. Disponível em: <<http://www.thewatertreatments.com/wastewater-sewage-treatment/biological-treatment>>. Acesso em: 5 nov. 2016.

TIR, M.; MOULAI-MOSTEFA, N. **Optimization of oil removal from oily wastewater by electrocoagulation using response surface method**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 158, n. 1, p. 107-115, 2008.

TRANSURC. **Concessionárias Lavam Ônibus com Água de Reuso**. Disponível em: <<http://www.transurc.com.br/site/index.php/concessionarias-lavam-onibus-com-agua-de-reuso/>>. Acesso em: 27 set. 2015.

US EPA. **Alternative Disinfectants and Oxidants**. Disponível em: <<http://yosemite.epa.gov/water/owrccatalog.nsf/7322259e90d060c885256f0a0055db68/9229449efcf320c485256b0600723008!opendocument>>. Acesso em 22 nov. 2015

\_\_\_\_\_. **Development Document for Effluent Limitations guidelines and standards for the auto and other laundries point source category**. Disponível em: <<https://yosemite.epa.gov/water/owrccatalog.nsf/9da204a4b4406ef885256ae0007a79c7/e843ce92d7b1aaa585256b0600723415!OpenDocument>>. Acesso em 15 mai. 2016.

\_\_\_\_\_. **Technical Development Document for Proposed Pretreatment Standards Existing and New Sources for the Industrial Laundries Point of Source**. Disponível em: <<https://yosemite.epa.gov/water/owrcCatalog.nsf/065ca07e299b464685256ce50075c11a/6c5da96356bf560385256b0600725346!OpenDocument>>. Acesso em 10 mai. 2016.

UNITED STATES PATENT. William J. Lahti. **Car Wash Wastewater Treatment**. US n. PI 6042730, 11 set. 1998, 28 mar. 2000.

VALENTE, E. **Setores da indústria conseguem reduzir o consumo de água**. Folha de São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/03/1606150-setores-da-industria-conseguem-reduzir-o-consumo-de-agua.shtml>>. Acesso em: 04 out. 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Health Safeguards**. Geneva. World Health Organization, 1973.

YU, L., HAN, M., HE, F. ***A review of treating oily wastewater.*** Arabian Journal of Chemistry, 2013.

ZANETI, R.; ETCHEPARE, R.; RUBIO, J. ***Car wash wastewater reclamation: fullscale application and upcoming features.*** Resources, Conservation and Recycling. 55, p.953-959. 2011.