

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO PLANALTO DE ARAXÁ  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

**ANA LIDIA FERREIRA LAUREANO**

**ESTUDO DA MELHOR EFICIENCIA DA UTILIZAÇÃO DOS COAGULATES  
SULFATO DE ALUMÍNIO E POLICLORETO DE ALUMÍNIO NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES OLEOSOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS DE MINERAÇÃO  
UTILIZANDO A FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD)**

**Araxá  
2016**

**ANA LIDIA FERREIRA LAUREANO**

**ESTUDO DA MELHOR EFICIENCIA DA UTILIZAÇÃO DOS COAGULANTES  
SULFATO DE ALUMÍNIO E POLICLORETO DE ALUMINIO NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES OLEOSOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS DE MINERAÇÃO  
UTILIZANDO A FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário do Planalto de Araxá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Linha de pesquisa: Ambiente, saúde e políticas públicas.

Orientador: Prof. Ms. Renato Capucho Reis e  
Coorientador: Prof. Ms. Fabiano Nunes Capponi

**Araxá  
2016**

**ANA LIDIA FERREIRA LAUREANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário do Planalto de Araxá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

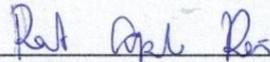
Linha de pesquisa: Ambiente, saúde e políticas públicas.

Orientador: Prof. Ms. Renato Capucho Reis e  
Coorientador: Prof. Ms. Fabiano Nunes Capponi

ESTUDO DA MELHOR EFICIENCIA DA UTILIZAÇÃO DOS COAGULANTES  
SULFATO DE ALUMÍNIO E POLICLORETO DE ALUMINIO NO TRATAMENTO DE  
EFLUENTES OLEOSOS DE LAVAGEM DE VEÍCULOS DE MINERAÇÃO  
UTILIZANDO A FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD)

Araxá, 08 de Junho de 2016.

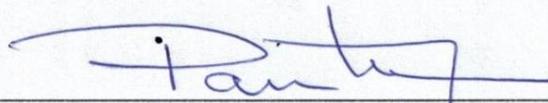
BANCA EXAMINADORA



Professor Mestre Renato Capucho Reis  
**Orientador**



Professor Mestre Fabiano Nunes Capponi  
**Coorientador**



Professor Especialista Paulo Henrique Borges de Menezes  
**Examinador**

Araxá  
2016

**A DEUS.**  
Aos meus pais,  
irmãos, sobrinhos,  
cunhados, afilhados  
orientador, coorientador e  
examinador dedicado.

## AGRADECIMENTOS

**A Deus, o autor e consumidor da minha fé.**

**Já estou crucificado com Cristo; e vivo não mais eu, mas Cristo vive em mim; e a vida que agora vivo na carne, vivo a na fé no filho de Deus, o qual me amou, e se entregou a si mesmo por mim. Gálatas 2:20.**

Ao professor Ms. Renato Capucho Reis, por ter aceitado o convite para ser Orientador, pelo apoio, ensinamentos, sugestões, e amizade ao longo do curso.

Ao professor Ms. Fabiano Nunes Capponi, por ter aceitado o convite de Coorientador, pelo apoio, ensinamentos e oportunidade de estágio na Planta Piloto da mineradora onde foi realizado o estudo de caso.

Ao Francisco Gregianin Testa, pelos ensinamentos e apoio nos treinamentos de tratamento de efluente utilizando a FAD.

Aos orientadores/coorientadores o meu agradecimento pelo exemplo de profissionalismo e motivação/apoio pela busca de novos e maiores desafios.

Ao professor Esp. Paulo Henrique Borges de Menezes por ter aceitado fazer parte da banca, sendo o examinador do trabalho.

Aos professores Danielle Silva (coordenação de pesquisa), Roney Melo, Érica Sales (coordenadora de estágio na Bem Brasil Alimentos), Irajá Alves, Ivana Lodi, Ana Paula da Silva (prof. Física), Tony Silva (conta caso), Waldeci Lima, Carlos Henrique, Renata (prof. Introdução à Ciência e Tecnologia dos Materiais), Claudia Cunha e Nayane pelo apoio ao longo de toda a graduação.

A Perla Inácio do setor de coordenação e pesquisa do UNIARAXA pelo auxílio na formatação do trabalho.

A mineradora, através da pessoa Isaías Rosa, chefe do setor de Águas e Resíduos, pela permissão do estudo de caso utilizando o efluente gerado na empresa.

Aos funcionários da empresa Kurita, Pedro e Thiago pelas sugestões, auxílio nas análises dos parâmetros fixos do efluente e pelo o fornecimento de amostras de reagentes da empresa.

Ao Paulo de Tarso Gonçalves Nolli pelas informações passadas e por ter permitido a continuação do trabalho na mesma linha de pesquisa já realizada pelo mesmo.

Ao Leondene Borges, pelos vários apoios no desenvolvimento do trabalho.

Aos funcionários e colegas da mineradora onde foi realizado o estudo de caso, Jorge Antônio, Renê Santana, Luiz Alberto Soares (cara feia), Jose Luciano, Marcos Alvarenga, Paulo Rogério e William Rodrigues (ETEL), Amanda Santos, Camila (estagiária do laboratório) e colaboradores do setor da central de veículos

A todos que juntamente comigo desejaram a realização desse trabalho.

**“Na adversidade, uns desistem, enquanto outros batem recordes”.**

**(Ayrton Senna)**

**Afinal,**

**“Mar calmo nunca fez bom marinheiro”.**

**(Autor Desconhecido)**

## RESUMO

A geração de efluentes oleosos nas indústrias tem sido um grande impasse ambiental. Tal efluente devido as suas características complexas exige uma técnica de tratamento que seja altamente eficiente. A Flotação, tão conhecida nas atividades minerárias, é uma técnica que tem oferecido resultados satisfatórios no tratamento de efluentes de lavagem de veículos. Devido a escassez de água e a responsabilidade ambiental, (desenvolvimento sustentável) várias empresas desejam estar de acordo ou à frente a legislação ambiental. Com isso, a técnica de Flotação por Ar Dissolvido tem sido estudada, implantada e/ou otimizada para tratar esses efluentes, de forma que o mesmo obtenha características físico químicas favoráveis a reutilização de sua água. Para o presente trabalho, a técnica foi realizada em escala de bancada, onde os resultados foram satisfatórios porem, podem ser otimizados. Devido o óleo presente no efluente, poder estar na forma dissolvido, para que o processo de FAD seja eficiente, se faz necessário uma previa etapa de coagulação. Essa etapa faz com que as partículas dissolvidas no efluente, se aglomere obtendo dimensões maiores de forma que possam ser removidos. Dos dois coagulantes testados, o PAC obteve melhores resultados que o Sulfato de Alumínio, em relação a capacidade de maior remoção dos contaminantes presentes no resíduo líquido. As melhores remoções de Turbidez, Sólidos Totais e Óleos e Graxas foram obtidas quando o coagulante Policloreto de Alumínio foi utilizado, já as melhores remoções de DBO e Condutividade Elétrica, foi quando o coagulante Sulfato de Alumínio foi adicionado à suspensão. Mesmo após observar que as alterações nas dosagens dos coagulantes, não causaram significativas variações nas remoções dos parâmetros analisados, percebe se que nas melhores reduções, obteve se, 49,27% de DBO, 97,6% de Turbidez, 87,37% de Sólidos Totais e 87,83% de O&G, sendo que o efluente tratado apresenta parâmetros finais favoráveis para reuso.

Palavra-chave: Flotação por Ar Dissolvido, óleos e graxas, coagulação, floculação, tratamento de efluente oleoso.

## ABSTRACT

The generation of oily wastewater in industry has been a major environmental impasse. This effluent due to their complex traits requires a processing technique that is highly efficient. Flotation, as well known in the mining activities, is a technique that has provided satisfactory results in the treatment of vehicle washing effluents. Due to water scarcity and environmental responsibility (sustainable development) many companies want to be in line or ahead of environmental legislation. With this, the flotation technique Dissolved Air has been studied, deployed and / or optimized to treat the effluent in order to obtain the same physicochemical characteristics favor their reuse water. For this study, the technique was performed on bench scale, where the results were satisfactory however, they can be optimized. Because the oil present in the effluent can be in dissolved form, so that the FAD process is efficient, it is necessary a preview coagulation step. This step causes the particles dissolved in the effluent, is obtained agglomerate larger so that pose be removed. Of the two tested coagulants, PAC obtained better results than aluminum sulfate, for greater capacity for removal of contaminants present in the waste liquid. Best removals Turbidity, Total Solids and oils and greases were obtained when the aluminum Polyvinyl coagulant was used, as the best removal of BOD and Electrical Conductivity was when the aluminum sulfate coagulant was added to the suspension. Even after observing the changes in dosages of coagulants, caused no significant variations in the removal of the parameters analyzed, realize that the best cuts, if obtained, 49.27% of BOD, 97.6% Turbidity, 87.37% of Total solids and 87.83% of O & G, and the treated effluent has favorable final parameters for reuse.

**Keywords:** Dissolved Air Flotation, oils and greases, coagulation, flocculation, treatment of oily wastewater.

## Listas de Figuras

<b>Figura 01:</b> Eficiência do processo de tratamento de água de lavagem de veículo através da Floculação Flotação. ....	18
<b>Figura 02:</b> Contribuição para o desenvolvimento sustentável do tratamento de efluentes de lavagem de veículos e do reuso de sua água. ....	19
<b>Figura 03:</b> Gráfico demonstrativo das práticas que mais consomem água. ....	20
<b>Figura 04:</b> O Fenômeno da Flotação.....	27
<b>Figura 05:</b> Representação das Etapas de Clarificação da água.....	27
<b>Figura 06:</b> Representação das Etapas de Clarificação da água.....	28
<b>Figura 07:</b> Unidade convencional do flotador a ar dissolvido horizontal. ....	29
<b>Figura 08:</b> Aeração com o Sistema Air-Jet da ENGENHO NOVO: Perfil de Pressão. ....	30
<b>Figura 09:</b> Etapas do processo de flotação de água oleosa.....	31
<b>Figura 10:</b> Esquema geral de tratamento de efluentes através da Flotação. ....	32
<b>Figura 11:</b> Fenômeno de captura (colisão + adesão) de partículas de diâmetro $d_p$ por bolhas de diâmetro $d_b$ dentro de um raio crítico $r_c$ . ....	35
<b>Figura 12:</b> Modificação das características da superfície de contato das partículas (hidrofílicas para hidrofóbicas). ....	36
<b>Figura 13:</b> Superfícies hidrofílicas (a) apresentam ângulo de contato menores que $90^\circ$ , enquanto superfícies hidrofóbicas (b) apresentam ângulos maiores que $90^\circ$ . ....	36
<b>Figura 14:</b> Desestabilização das cargas dos colóides, com subsequente formação de aglomerados de partículas. ....	41
<b>Figura 15:</b> Representação de uma partícula coloidal negativa, com uma nuvem de cargas positivas ao seu redor.....	42
<b>Figura 16:</b> Representação esquemática dos tensoativos.....	43
<b>Figura 17:</b> Desestabilização das cargas dos colóides, com subsequente formação de aglomerados de partículas. ....	44
<b>Figura 18:</b> Experimento 10: 10 mg/L de floculante + 150 mg/L de coagulante.....	46
<b>Figura 19:</b> Mecanismos de Flotação:  bolhas de ar;  partícula em suspensão. ....	47
<b>Figura 20:</b> Dimensões de bolhas (“nuvem”) para tratamento de efluentes.....	48
<b>Figura 21:</b> Dimensões de bolhas (variável) para tratamento de minérios.....	48
<b>Figura 22:</b> Diferenças no aspecto visual exibidos pelos óleos livre e emulsionado. ....	49
<b>Figura 23:</b> Tanque separador de água e óleo da indústria X.....	54
<b>Figura 24:</b> Aparato experimental de FAD em escala de bancada. ....	55

<b>Figura 25:</b> Porcentagem de Remoção de DBO. ....	59
<b>Figura 26:</b> Porcentagem de Remoção de Turbidez. ....	60
<b>Figura 27:</b> Porcentagem de Remoção de Sólidos Totais. ....	61
<b>Figura 28:</b> Porcentagem de Remoção de O&G. ....	62
<b>Figura 29:</b> Porcentagem de Remoção de Condutividade. ....	63

## Listas de Tabelas

<b>Tabela 01:</b> Eficiência.....	30
<b>Tabela02:</b> Diferenças entre Flotação no Processamento Mineral e no Tratamento de Efluentes. ....	34
<b>Tabela 03:</b> Reagentes utilizados com suas concentrações e funções.....	53
<b>Tabela 04:</b> Dosagens dos testes utilizando o Sulfato de Alumínio. ....	57
<b>Tabela 05:</b> Dosagens dos testes utilizando o PAC. ....	57
<b>Tabela 06:</b> Resultados dos testes utilizando o coagulante Sulfato de Alumínio. ....	58
<b>Tabela 07:</b> Resultados dos testes utilizando o coagulante PAC.....	58

## Listas de Siglas / abreviaturas

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO: Demanda Química de Oxigênio

db: Diâmetro de bolhas

dp: Diâmetro de partículas

EPI: Equipamento de Proteção Individual

FAD: Flotação por Ar Dissolvido

ISO: International Organization for Standardization

Kgf/cm<sup>2</sup>: quilograma força por centímetro quadrado

mg/L: miligrama por litro

NaOH: Hidróxido de sódio

NTU: Unidade Nefelométrica de Turbidez

O&G: Óleos e Graxas

P: Pressão absoluta (atm)

PAC: Hidroxicloreto de Alumínio ou Policloreto de Alumínio

PAM: Polímero Aniônico à Base de Poliacrilamida

p/v: Porcentagem Peso / Volume

pH: Potencial Hidrogeniônico

rc: Raio crítico

SAOL: Caixa Separadora de Água e Óleo

SMWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

μS/cm: micro sievert por centímetro

μm: micrômetro

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
2.	<b>OBJETIVO</b> .....	16
2.1.	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
3.	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
3.1.	CONTRIBUIÇÕES DO TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE LAVAGEM DE VEÍCULOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	19
3.2.	A ÁGUA NA ATIVIDADE MINERÁRIA .....	20
3.3.	A GERAÇÃO DE EFLUENTES OLEOSOS, A IMPORTÂNCIA DO SEU TRATAMENTO E REUSO DA SUA ÁGUA. ....	22
3.4.	LEGISLAÇÃO .....	23
3.5.	OFICINA DE LAVAGEM DE VEÍCULOS.....	24
3.6.	CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DE LAVAGEM DE VEÍCULOS ...	25
3.6.1.	<b>O&amp;G</b> .....	25
3.6.2.	<b>DBO</b> .....	25
3.6.3.	<b>Turbidez</b> .....	25
3.6.4.	<b>Sólidos Suspensos Totais (SST)</b> .....	26
3.6.5.	<b>Condutividade elétrica</b> .....	26
3.7.	FLOTAÇÃO .....	26
3.7.1.	<b>Flotação por Ar Dissolvido – FAD</b> .....	28
3.7.2.	<b>Uso da FAD em tratamento de efluentes oleosos</b> .....	31
3.7.3.	<b>Outras aplicações da Flotação por Ar Dissolvido – FAD</b> .....	33
3.7.3.1.	Tratamento de esgoto sanitário.....	33
3.7.3.2.	Tratamento de lagos e lagoas .....	33
3.7.3.3.	Tratamento de minérios.....	34
3.7.3.4.	Celulose e Papel .....	37
3.7.3.5.	Águas de abastecimento .....	37
3.7.4.	<b>Vantagens da utilização da técnica de FAD no tratamento de efluentes</b> .....	38
3.7.5.	<b>Processo de coagulação e floculação</b> .....	38
3.7.5.1.	Coagulação .....	38
3.7.5.1.1.	<b>Fatores que interferem a coagulação</b> .....	39
3.7.5.1.1.1.	<i>Eletrólito utilizado</i> .....	39

3.7.5.1.1.2.	<i>Quantidade de Eletrólito/Agitação do sistema</i> .....	40
3.7.5.1.2.	<b>Potencial ZETA</b> .....	41
3.7.5.2.	Floculação .....	43
3.7.5.2.1.	<b>Fatores que interferem na floculação</b> .....	43
3.7.5.2.1.1.	<i>Tipo de Polieletrólito/pH</i> .....	43
3.7.5.2.1.2.	<i>Quantidade de floculante/Agitação do sistema/Temperatura</i> .....	46
3.7.5.2.1.3.	<i>Outros fatores não menos importantes</i> .....	47
3.7.6.	<b>Fatores que interferem a FAD no tratamento de efluentes oleosos</b> .....	47
3.7.6.1.	Tamanho das bolhas .....	47
3.7.6.2.	Aeração do processo .....	48
3.7.6.3.	Quantidade de óleo presente no efluente .....	49
3.7.6.3.1.	<b>Forma do óleo presente no efluente</b> .....	49
3.7.6.3.1.1.	<i>Óleo livre</i> .....	50
3.7.6.3.1.2.	<i>Óleo Disperso</i> .....	50
3.7.6.3.1.3.	<i>Emulsão</i> .....	50
3.7.6.3.1.4.	<i>Óleo Dissolvido</i> .....	51
3.7.6.3.2.	<b>Pressão de Saturação/Forma do tanque de flotação</b> .....	51
3.7.6.3.3.	<b>Característica do efluente a ser tratado</b> .....	51
4.	<b>METODOLOGIA</b> .....	52
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	52
4.2.	MATERIAIS .....	52
4.3.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	53
5.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	58
6.	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	63
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	65

## 1. INTRODUÇÃO

A mineração é um dos setores básicos para a economia do país (FERNANDES, 2008) sendo de grande importância para o desenvolvimento de uma sociedade. No entanto, algumas dessas atividades minerária trás consigo alguns impasses ambientais, como a geração de efluentes oleosos oriundos dos processos industriais ou da lavagem de veículos. Por muito tempo, as práticas de manuseio consistiam apenas em lançar os resíduos o mais longe possível da fonte geradora sem preocupar com os efeitos decorrentes dessa ação (BHON, 2014).

Tais práticas resultaram por vezes em grandes impactos ambientais. A maioria dessas alterações ocorridas no meio ao qual estamos inseridos, interfere de forma negativa na qualidade de vida da sociedade. Os efluentes quando lançados no ambiente sem o devido tratamento, podem causar a contaminação de lagos, rios, solo dentre outros. Dessa forma, percebeu se a importância de modificar a gerência desses resíduos.

Com o despertar para a necessidade de um desenvolvimento mais sustentável, que conduziu as regulamentações cada vez mais exigentes, as empresas foram levadas a tomar medidas para controlar a poluição ambiental (BHON, 2014)

A partir desse momento, as próprias indústrias tem se empenhado para estar de acordo ou à frente da legislação, fazendo com que estas tenham medidas de gestão dos recursos naturais. Muitas empresas já chegaram à conclusão de que é vantajoso tomar a iniciativa de gerenciar e tratar adequadamente os seus resíduos, tendo políticas industriais de minimização da geração de resíduos (SCHULZ, 2005). A empresa onde foi realizado o estudo de caso têm motivado pesquisas por novas e melhores alternativas tecnológicas de tratamento de efluentes industriais.

A indústria em estudo, já conta com a certificação ISO 14001, o que comprova o interesse da mesma em estar em conformidade com as questões ambientais. Noll em 2015 realizou estudos na mesma linha do presente trabalho na indústria minerária em questão.

Avanços tecnológicos têm tornado viável a aplicação do processo de flotação no tratamento de efluentes contendo, entre outros poluentes e contaminantes, óleos,

corantes e metais pesados (MATIOLLO, 2003). A técnica de Flotação em questão utiliza a tecnologia de ar dissolvido advindo de compressores.

Uma das formas de se reduzir a quantidade de água nova captada e também de lançar menos resíduos líquidos nos corpos hídricos, consiste em adotar a técnica de reúso da água, onde esta pode ser definida como sendo a água que após ser tratada ou não, retorna ao processo para reaproveitamento ou reúso. Os efluentes de lavagem de veículos apresentam como característica uma quantidade significativa de óleos e graxas, onde o óleo na maioria das vezes se encontra emulsificado, necessitando assim de uma previa coagulação e / ou floculação quando a técnica adotada para o tratamento do mesmo for a Flotação por Ar Dissolvido (FAD).

A flotação por Ar Dissolvido é uma técnica de separação de misturas que consiste na introdução de bolhas de ar a uma suspensão com partículas objetivando a remoção das mesmas. Com isso, verifica-se que as partículas aderem às bolhas, formando uma espuma que pode ser removida da solução, onde os seus componentes são separados de forma efetiva.

Após o efluente ser tratado utilizando a Flotação por Ar Dissolvido, o mesmo apresenta porcentagens de turbidez inferiores ao manancial de onde é feita a captação de água para limpeza da frota no lavador de veículos. A investigação por FAD foi conduzida em escala de bancada na Planta Piloto da indústria minerária em questão. Através de ensaios realizados com amostras de efluentes oleosos gerados no lavador de veículos, o presente trabalho teve como finalidade avaliar a eficiência do uso da Flotação por Ar Dissolvido, para remoção dos contaminantes presentes no efluente para reuso de sua água. A avaliação foi realizada através da utilização de diferentes agentes coagulantes, sendo o Sulfato de Alumínio e o Poli Cloreto de Alumínio. A eficiência do processo foi realizada através da comparação de remoção/redução dos parâmetros O&G, DBO, Sólidos Suspensos Totais, Turbidez e Condutividade Elétrica entre o efluente bruto e os efluentes tratados.

## 2. OBJETIVO

### 2.1. OBJETIVO GERAL

- Avaliar o desempenho da Flotação por Ar Dissolvido (FAD) na remoção dos principais poluentes em efluente oleoso, provenientes de instalações de lavagem de veículos quando utilizado o Sulfato de Alumínio ou Policloreto de Alumínio como coagulantes.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Através dos resultados obtidos, analisar a eficácia da utilização da Flotação por Ar Dissolvido (FAD) no tratamento de efluentes oleosos para reuso de sua água;
- Através de ensaios de bancada, realizados com efluente da lavagem de veículo, utilizando os agentes coagulantes Sulfato de Alumínio e Policloreto de Alumínio, determinar qual coagulante apresenta como resultado a maior remoção dos poluentes presentes no mesmo e
- Partindo da referência de Nolli em 2015 nessa mesma linha de pesquisa, atender algumas sugestões proposta pelo pesquisador.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Devido à necessidade de lavagem de veículo nos vários setores da sociedade, tecnologias foram e estão sendo desenvolvidas para aperfeiçoar esses processos. Por algumas empresas terem em seus domínios uma quantidade significativa de veículos, estas, tem por objetivo o reúso da água de lavagem dos mesmos, redução dos custos e minimização dos impactos ambientais gerados (ZIMMERMANN, 2008).

Os efluentes de lavagem de veículos, quando dispostos no meio ambiente sem o devido tratamento, é causador de grandes agravos no meio. Devido à esta questão desfavorável, as empresas de lavagem de veículos evidencia a necessidade de se conhecer melhor esses efluentes, assim como investir em tecnologias de baixo valor, prática operação (ROSA. L, *et al.*, 2010) e eficiente.

Até pouco tempo atrás, prevalecia o conceito de que os processos físicos químicos para tratamento de efluente não seriam capazes de obter resultados e custos competitivos com os dos processos biológicos (CAMPOS *et al.*, 1996).

A Flotação por Ar Dissolvido (FAD) é uma técnica de separação de fases, onde algumas de suas aplicações são na área de Saneamento Ambiental. Esse método de tratamento tem sido utilizado na clarificação de águas para abastecimento e tem apresentado resultados satisfatórios. Esta técnica esta sendo empregada em maior escala em tratamento de águas residuárias em indústrias de papel e celulose, petrolífera, tintas, óleos vegetais e alimentícias em geral (CAMPOS *et al.*, 1996).

As pesquisas relacionadas ao assunto ainda são limitadas e de pouco conhecimento (ROSA. L, *et al.*, 2010). Devido ao descaso com as questões ambientais, Zimmermann (2008) resalta que a legislação está cada vez mais restritiva quanto ao uso das águas e também quanto à suas características na disposição final. O sistema de Flotação por Ar Dissolvido precedido pelas etapas de coagulação e floculação constitui uma técnica eficaz para o tratamento de efluentes com grande quantidade de óleos e graxas (CECCHET *et al.*, 2010).

Pesquisadores renomados em parcerias com Universidades desenvolveram pesquisas e apontam a FAD como sendo uma tecnologia eficaz para o tratamento de efluentes oleosos, fazendo com que sejam minimizados os impactos gerados por estes.

Os pesquisadores Jorge Rubio, Ramiro Etchepare e Rafael Zaneti desenvolveram no Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental da UFRGS a técnica de Floculação Flotação em Coluna (FFC). Tal técnica consiste em tratar e recuperar a água de lavagem de veículo em escala real. No método de FFC há a geração de micro bolhas de ar seguida da formação de flocos em um reator e posteriormente, ocorre a separação sólido líquido em uma coluna de flotação onde a água é coletada pela base da coluna.

A eficiência do processo foi mostrada através da satisfatória capacidade de clarificação da água que a técnica apresentou. Além da clarificação o efluente tratado também apresentou baixo potencial de corrosão aos veículos e equipamentos, desinfecção da água, eficiência no processo de remoção de sólidos (figura 01) e a possibilidade de reaproveitar 70% do total de água utilizada na lavagem de veículos.



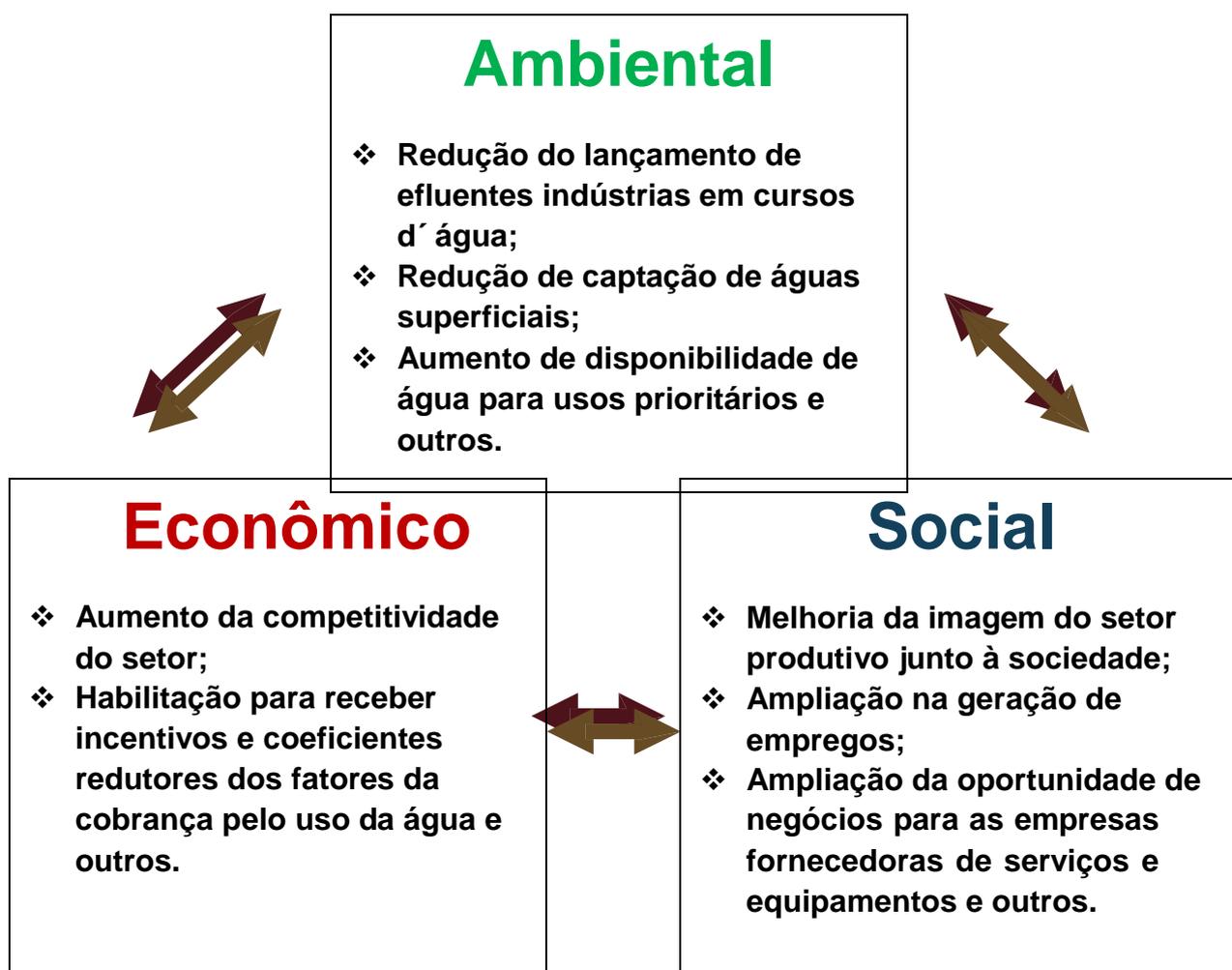
**Figura 01:** Eficiência do processo de tratamento de água de lavagem de veículo através da Floculação Flotação.

**FONTE:** [www.florestalrecicla.com/2013/12/pesquisadores-da-ufrgs-desenvolvem.html](http://www.florestalrecicla.com/2013/12/pesquisadores-da-ufrgs-desenvolvem.html) (2013).

A pesquisa referida foi reconhecida pela Environmental Protection Agency (EPA), dos Estados Unidos.

### 3.1. CONTRIBUIÇÕES DO TRATAMENTO DOS EFLUENTES DE LAVAGEM DE VEÍCULOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O consumo consciente da água disponibilizada, seguida de tratamento após a geração do efluente, favorece o desenvolvimento sustentável. Alguns dos benefícios dessa atitude podem ser observados na figura 02 que se segue, onde a mesma mostra de forma geral tais contribuições.



**Figura 02:** Contribuição para o desenvolvimento sustentável do tratamento de efluentes de lavagem de veículos e do reuso de sua água.

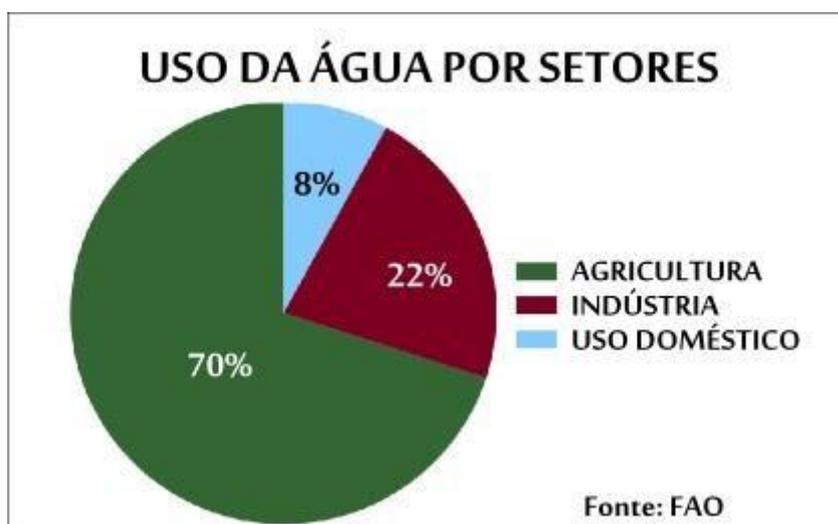
Com isso, percebe-se que o reuso de água contribui de forma satisfatória com a preservação e planejamento dos recursos hídricos, favorecendo a disponibilidade de água de qualidade superior para usos prioritários (ZIMMERMANN 2008). Dessa forma, observa-se que o tratamento para reuso deixou de ser apenas uma necessidade das empresas, para ser um negócio rentável.

No entanto, os benefícios ainda não são trabalhados por muitas indústrias, onde estas, por vezes negligenciam alguma base que forma o tripé da sustentabilidade, causando a descontinuidade do mesmo.

### 3.2. A ÁGUA NA ATIVIDADE MINERÁRIA

A água como substância está presente por todo o meio, mas somente 1% da água doce é um recurso aproveitável pela humanidade, o que representa 0,007% de toda água disponível no planeta (TOLEDO, 2012).

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), “a maior parte dos recursos hídricos é consumida pelas atividades do campo, seguidas pela indústria, comércio e uso residencial” (figura 03) (PENA, [2015?]). Sabendo-se os setores da economia que mais utilizam a água, é possível propor medidas de contenção de exploração desse recurso natural.



**Figura 03:** Gráfico demonstrativo das práticas que mais consomem água

**FONTE:** <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/praticas-que-mais-consomem-agua.htm> [2015?].

É de consenso que a água é um recurso estratégico para o desenvolvimento de uma mineração mais sustentável.

Na atividade minerária a água é utilizada para diversos fins, como geração de vapor, água de processo, proteção contra incêndio, uso doméstico, lavagem de veículo e sistema de refrigeração (MIERZWA, 2002).

Al-readhwan (2005) *et al.*, diz que um grande desafio da indústria no novo milênio é o de conviver de forma harmoniosa com o meio ambiente em tempos de escassez dos recursos hídricos (apud SCHULZ, 2005, p. 02). Para se alcançar essa harmonia citada por Schulz é necessário uma mudança de paradigma, onde o meio ambiente deve ser visto de forma sistêmica.

A agenda 21 diz sobre a necessidade de novas estratégias para gerenciar os recursos hídricos, dando prioridade para as atividades que melhor maneja o mesmo. Nela tornou-se consenso à percepção da água como recurso ambiental limitado e de valor econômico (PASSOS, 2007).

A atual crise hídrica na qual a sociedade esta vivenciando, fez com que medidas de preservação e otimização dos recursos naturais fossem adotadas.

As outorgas exigidas para as indústrias e para os usuários de uma quantidade significativa de água, têm colaborado de forma satisfatória com a mudança de paradigmas. A quantificação da água, a cobrança pelo seu uso, as exigências para o seu lançamento nos corpos receptores após ser utilizada e a obrigatoriedade de reuso da mesma em alguns locais, despertou na sociedade a valorização desse recurso. Dentre as crises que a população pode enfrentar, a hídrica é uma das que mais atinge a sobrevivência da humanidade.

Diante da situação, a maioria das indústrias minerárias tem adotado medidas de redução no consumo de água potável, isso, principalmente em áreas de conflito hídrico. As medidas são tomadas partindo do gerenciamento dos recursos hídricos. Através do circuito fechado, uma indústria minerária atingiu a capacidade de 81% de reaproveitamento da água utilizada nos seus processos. Outra, através de captação de água da chuva, conseguiu reduzir a captação superficial de água nova nos corpos hídricos. Dessa forma, a maioria das mineradoras tem adotado a mudança de paradigma em relação ao uso da água, onde a adoção de ações corporativas tem feito com que este recurso natural seja utilizado de forma racional.

Leal (1998) diz que “Torna-se necessário adotar uma abordagem integrada que harmonize o meio físico, os recursos naturais com o meio socioeconômico, de maneira a permitir uma exploração ordenada e sustentável dos recursos hídricos” (apud NOLLI, 2010, p.15).

### 3.3. A GERAÇÃO DE EFLUENTES OLEOSOS, A IMPORTÂNCIA DO SEU TRATAMENTO E REUSO DA SUA ÁGUA.

Partindo do entendimento que nenhum processo na indústria pode ser considerado com 100% de eficiência, logo, observa-se que na mesma a geração de efluentes é inevitável (MIERZWA, 2002).

O aumento da população tem levado a um maior consumo dos recursos hídricos, causando conseqüentemente a deterioração dos mesmos, provocando escassez de água e necessitando de reuso das águas residuárias (MATIOLO, 2003). Em 2011 a Agência Nacional das Águas (ANA) apontou a possibilidade de 55% da população brasileira passar por uma crise hídrica devido a falta de investimentos em infraestrutura. Sabe-se que grande parte da água tratada é desperdiçada antes mesmo de chegar ao seu destino final, abastecimento da população. A detecção e o reconhecimento dessas falhas, é um fator de grande importância para que medidas sustentáveis sejam tomadas.

O crescimento da conscientização ambiental também tem auxiliado na conscientização de minimização do consumo de água e desenvolvimento de novas tecnologias para otimizar o uso desse recurso (PASSOS, 2007). As políticas desenvolvidas nas indústrias de minimização da geração de resíduos líquidos, por sua vez, têm levado à produção de efluentes com diferentes características. Muitas tecnologias foram e estão sendo desenvolvidas para um tratamento mais eficiente de efluentes industriais. A escolha da tecnologia vai depender das características do efluente que se deseja tratar, da qualidade que se deseja para o produto final, do custo e da facilidade de operação do processo (SCHULZ, 2005).

De acordo com Srijaroonrat *et al.*, (1999) a alguns anos, considerável atenção tem sido direcionada para o lançamento de efluentes oleosos, devido ao seu impacto negativo no meio ambiente. A poluição da água por óleo é prejudicial à vida aquática, porque reduz a penetração de luz e perturba o mecanismo de transferência de oxigênio. O conteúdo de óleo nos efluentes oleosos de lavagem de veículos, varia entre 1 e 10%. Com isso, sabe-se que remover o óleo presente nos efluentes é um importante aspecto no controle de poluição de algumas indústrias (apud SCHULZ, 2005, p. 03).

Devido a esses impasses ambientais, o tratamento para disposição ou o para o reúso se faz de grande relevância. No caso de disposição, o tratamento do efluente faz com que este perda as características de contaminação do meio.

O Reúso de água surgiu em muitas empresas a partir da implantação do Sistema de Gestão Ambiental, onde ao contrário do conceito de tratamento para disposição, considera os requisitos mínimos de qualidade da água para reutilização nos processos industriais (MIERZWA, 2002). O reúso da água ocorre de forma planejada, onde Reúso Direto Planejado (ou reúso direto não potável) pode ser definido como sendo quando os efluentes, após serem tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local de reúso, não sendo dispostos no meio ambiente. Dessa forma que ocorre o reúso na indústria ou na irrigação (TEIXEIRA, 2003).

Os efluentes quando tratados e reutilizados na indústria, oferece benefícios para a mesma. Assim que as vantagens do reúso da água foi percebida, o assunto tem sido tratado entre as prioridades da maioria das empresas.

### 3.4. LEGISLAÇÃO

Segundo Leitão (1999) citado por Morelli (2005, p. 05) alguns países já apresentam legislação própria para o tratamento dos efluentes gerados nas indústrias, com posterior reúso da sua água, onde a forma de reúso que mais tem sido trabalhada é a destinada à lavagem de veículos.

No Brasil, os estados do Rio de Janeiro (Lei nº 6034/11) e Espírito Santo são obrigados a tratar e reutilizar a água gasta nas empresas de lavagem de veículos.

O estado do Espírito Santo dispõem da Lei nº 9.439/10, onde no seu Art. 1º diz que os postos de combustíveis, lava-jatos e outros que mantêm pontos de lavagem, higienização e desengraxamento ou congêneres ficam obrigados a instalar um sistema de tratamento e reutilização da água utilizada nessas atividades (BRASIL, 2010). Mais recentemente, essas empresas de lavagem de veículos da cidade de São Paulo, através da Lei nº 16.160 regulamentada em 13 de Abril de 2015 também ficam obrigadas a tratar e reutilizar a água gasta nessas atividades. Essas normas objetivam evitar o desperdício de água de boa qualidade e segue o exemplo dos países que preservam o meio ambiente por meio da reutilização desse recurso hídrico.

### 3.5. OFICINA DE LAVAGEM DE VEÍCULOS

O setor de lavagem de veículos da empresa minerária em questão, é o setor responsável por interagir com os demais setores da mesma de forma a manter toda a frota da indústria em ótimos estados de higiene e limpeza.

Através das operações de manutenção, reparo, lavagem, lubrificação, trocas de fluidos, estética (deixá-lo limpo), dentre outros (NOLLI, 2015) é que ocorre a contaminação da água ou a geração do efluente oleoso do setor.

Atualmente o mercado já conta com empresas especializadas em tecnologia para tratamento de efluentes oleosos. A empresa Aquafлот trabalha com ensaios em escala de bancada de coagulação, floculação, Flotação por Ar Dissolvido (FAD) e sedimentação visando à clarificação de águas. A empresa também elabora projetos de sistemas de FAD para remoção de óleos e graxas e sólidos suspensos de efluentes em refinaria de petróleo.

Na empresa em estudo, as manutenções nos veículos são realizadas durante todo o dia, e ocorre de acordo com as necessidades. Essas atividades são feitas em toda a frota de veículos da empresa, sendo caminhonetes, tratores, motocicletas e caminhões.

O lavador de veículos da indústria minerária em questão, utiliza detergentes biodegradáveis em suas atividades, onde de acordo com Teixeira (2003) o uso desses detergentes já foi recomendado devido estes terem a capacidade de reduzirem a carga total de poluentes não removíveis e obter um lodo de melhor qualidade.

Atualmente, todo o efluente gerado no setor, é encaminhado para uma caixa separadora de água e óleo que fica na área da empresa. Posteriormente o óleo é retirado e encaminhado para uma destinação final adequada, e o efluente já sem a presença do óleo é direcionado para uma barragem de decantação para ser reutilizado nos processos industriais da empresa.

O processo mais comum e mais adotado para tratamento de efluentes nos setores mineiro e metalúrgico são as lagoas de rejeito (barragens de decantação). A finalidade de tratamento de efluentes nessas bacias, é a de se obter a decantação dos sólidos suspensos presente na água residuária.

### 3.6. CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES DE LAVAGEM DE VEÍCULOS

As características físico-químicas do efluente são de grande importância na definição da técnica de tratamento a ser utilizada (DURAN, 2014).

Gryta *et al.*, (2001) citado por Schulz (2005, p. 36) diz que os efluentes oleosos são caracterizados devido a sua composição complexa. Essas águas residuárias podem conter óleo (mineral, vegetal ou sintético), partículas de poeira, ácidos graxos, emulsificantes, asfalto carregados da superfície dos carros, inibidores de corrosão, bactérias e outros compostos químicos.

#### 3.6.1. O&G

A presença de óleos e graxas no efluente em estudo, é inerente ao processo de lavagem de veículo. Um dos motivos da presença de graxas no efluente, é causado pela higienização de peças e acessórios empregados de graxas. Já a presença de óleo nesses resíduos é devido a algum possível vazamento nos veículos.

#### 3.6.2. DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio ou Demanda Biológica de Oxigênio e até mesmo Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO) refere-se a quantidade de oxigênio que foi consumido para degradar uma matéria orgânica no meio líquido através de processos biológicos. Este é o parâmetro mais utilizado para medir a poluição de um determinado local.

#### 3.6.3. Turbidez

A turbidez presente nas águas e efluentes é devido à presença de partículas suspensas no meio destes. Estas partículas vão desde areia, argila e inclusive microorganismos. Uma água de boa qualidade deve apresentar baixos níveis de turbidez (DURAN, 2014). Para o presente trabalho, nos treinamentos de tratamento de efluentes realizados na empresa utilizando a FAD, os pesquisadores obtiveram ótimos resultados de remoção dessas partículas nos efluentes tratados.

#### **3.6.4. Sólidos Suspensos Totais (SST)**

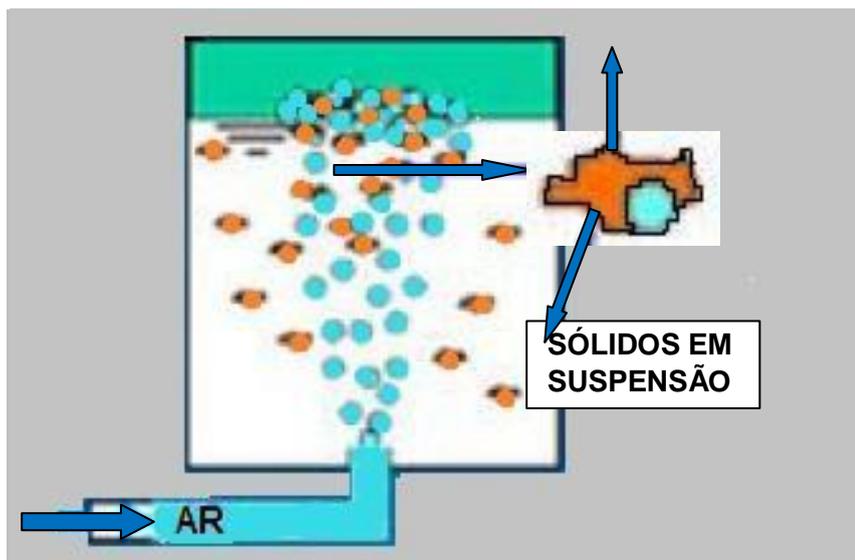
Os SST representa todo o material que se encontra suspenso no meio aquoso, exceto os gases dissolvido, e podem ser classificados em sólidos sedimentáveis, em suspensão, colóides e dissolvidos. Estes podem ser caracterizados através de amostras líquidas ou sólidas, tendo como finalidade verificar a possibilidade de degradação aeróbia/anaeróbia dos sólidos em suspensão.

#### **3.6.5. Condutividade elétrica**

Os metais e sais presentes no efluente, representa a condutividade elétrica do resíduo líquido (NOLLI, 2015). Essa representação é uma medida indireta da concentração de poluentes no meio (PAIVA e SOUZA, 2010).

### **3.7. FLOTAÇÃO**

Segundo Lacerda *et al.*, (1998 apud TEIXEIRA, 2014, p. 42) a Flotação é o processo de remoção de partículas, onde através da introdução de microbolhas de ar, estas quando entra em contato com as partículas, devido a ocorrência de aderência, forma aglomerados partícula-bolha (figura 04). A densidade aparente desses aglomerados é menor que o da água, e como consequência tende a flutuar, permanecendo na superfície da suspensão onde poderá ser removida.

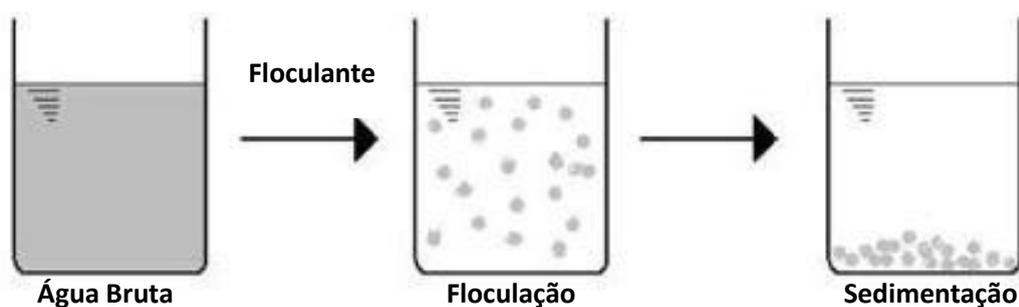


**Figura 04:** O Fenômeno da Flotação

**FONTE:** Adaptado de SILVA, P. (2008).

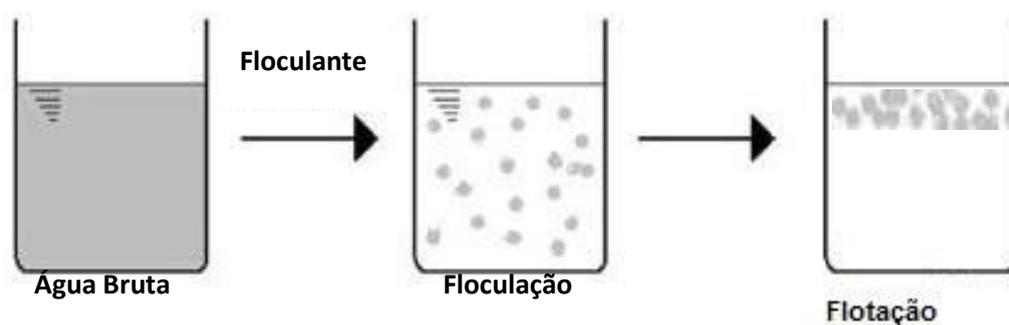
O objetivo da Flotação em um determinado sistema consiste em realizar a separação de “partículas” líquidas ou sólidas de uma fase líquida.

Esse processo representa exatamente o inverso (figura 05 e 06) daquele que deveria ocorrer espontaneamente: a sedimentação das partículas (MASSI *et al.*, 2007).



**Figura 05:** Representação das Etapas de Clarificação da água.

**FONTE:** [www.ebah.com.br/content/ABAAAgPC4AA/tratamento-agua-caldeiras?part=2](http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgPC4AA/tratamento-agua-caldeiras?part=2). [2015?].



**Figura 06:** Representação das Etapas de Clarificação da água.

**FONTE:** Adaptado de [www.ebah.com.br/content/ABAAAgPC4AA/tratamento-agua-caldeiras?part=2](http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgPC4AA/tratamento-agua-caldeiras?part=2). [2015?].

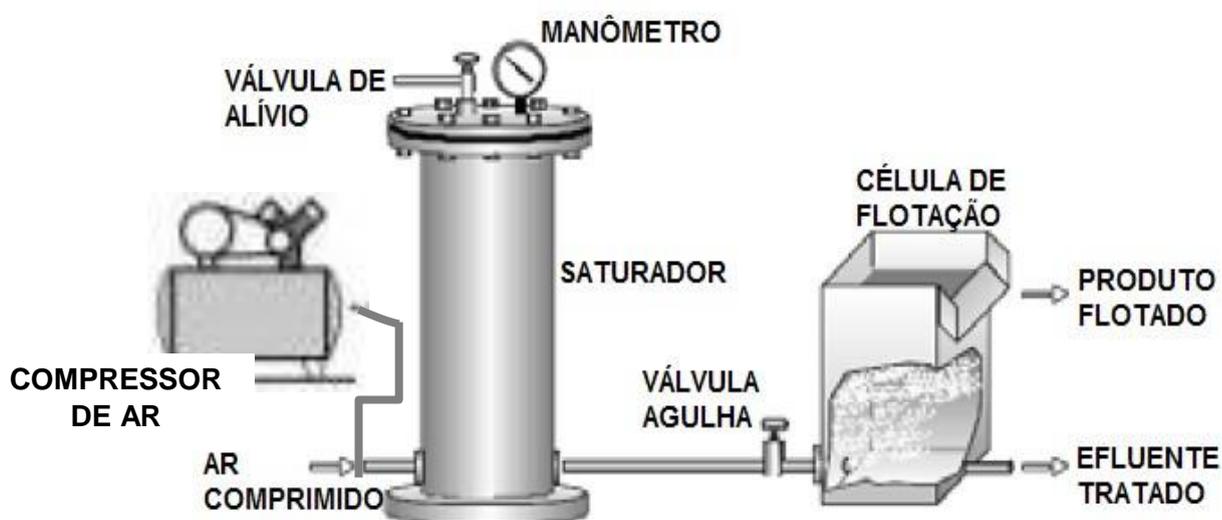
### 3.7.1. Flotação por Ar Dissolvido – FAD

Hoje essa técnica é amplamente utilizada no tratamento de minérios, petroquímica, sistemas de tratamento de água potável, sistemas de espessamento de lodos industriais e etc.

Várias técnicas podem ser utilizadas para a geração de bolhas no processo de Flotação. A Flotação por Ar Dissolvido (FAD) é a técnica utilizada no presente trabalho, onde esta é o processo de maior aplicação no setor de saneamento e tratamento de águas. Dentre os motivos de utilização dessa técnica, está a necessidade de um tratamento de alta eficiência em um curto intervalo de tempo e uma pequena área utilizada. A FAD tem vantagens em relação a tradicional técnica de tratamento utilizando a sedimentação devido a última, geralmente necessitar de grandes áreas para tratamento e de um tempo de clarificação elevado (MATIOLLO, 2003).

Nesse processo, através de uma câmara de saturação ocorre a dissolução do ar na massa líquida (TEIXEIRA, 2014).

Uma câmara de saturação de ar, um compressor e um tanque de flotação, formam um sistema de Flotação por Ar Dissolvido (figura 07) (QUARTAROLI, 2012).



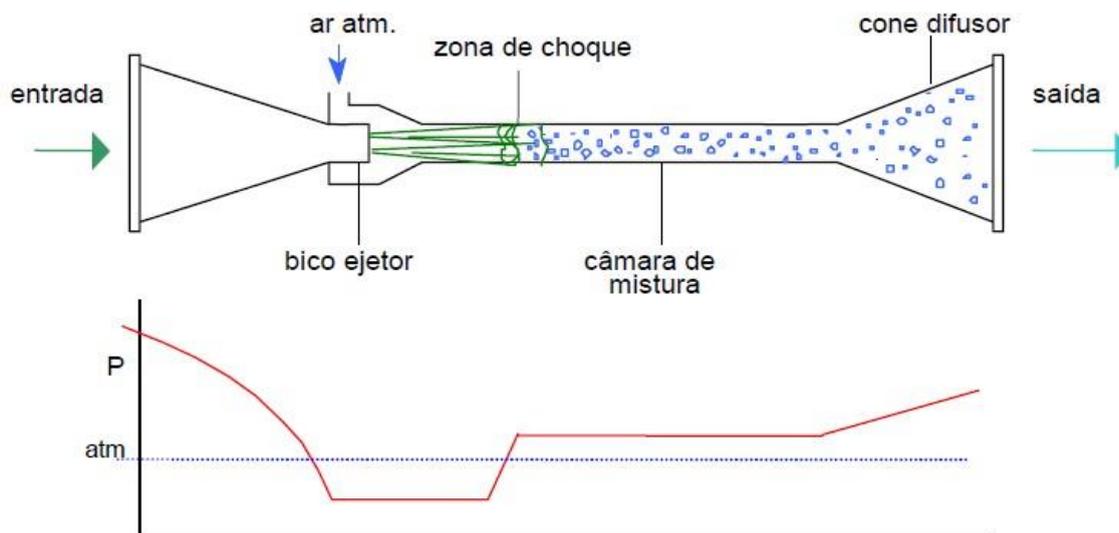
**Figura 07:** Unidade convencional do flotação a ar dissolvido horizontal.

**FONTE:** Adaptado de Féris (1998) citado por Silva, P. (2008).

Na FAD as bolhas de ar são formadas devido a liberação do gás previamente dissolvido (TEIXEIRA, 2014) na suspensão coloidal. Essa formação de bolhas é devido a ocorrência de diferença (queda) de pressão, pressão de saturação para pressão atmosférica (atm).

As pressões utilizadas no compressor são de 3-6 atm e liberada através de placas de orifício, perfuradas, ou válvulas tipo venturi ou de agulha (MATIOLLO, 2003).

Outra forma de geração das microbolhas e que não tem a necessidade de compressores, é através do sistema de aeração Air – Jet da Engenho Novo (figura 08). Nesse modelo, na zona de choque, ocorre um “choque” do ar com o líquido, isso provoca a dispersão do ar no líquido como microbolhas (RUBIM, 2013).



**Figura 08:** Aeração com o Sistema Air-Jet da ENGENHO NOVO: Perfil de Pressão.

**FONTE:** (ENGENHO NOVO, 2015?).

A FAD quando aplicada corretamente, oferece ótimos resultados em termos de clarificação e remoção das variáveis poluentes presentes nos efluentes. Essa técnica tem sido o principal método utilizado para retirar óleos dissolvidos em efluentes industriais. A eficiência da técnica é dependente da forma como a mesma é manuseada, esta quando utilizada com a presença de reagentes apresenta uma capacidade de remoção diferente de quando utilizada sem a presença do mesmo. Tal capacidade pode ser observada na tabela 01 que se segue.

Tabela 01: Eficiência

Parâmetro	Flotação física Redução "garantida"	Flotação físico-química Redução "garantida"	Flotação físico-química Redução "esperada"
SST	Entre 20 e 45%	90%	≥95%
O&G	Entre 40 e 65%	95%	≥98%
DQO	Entre 25 e 35%	65%	≥75%
DBO	Entre 30 e 40%	75%	≥85%
N	-	-	≥55%
P	-	-	≥65%

**FONTE:** [agetec.com.br/equipamentos/flotador-por-ar-dissolvido](http://agetec.com.br/equipamentos/flotador-por-ar-dissolvido) (2014).

### 3.7.2. Uso da FAD em tratamento de efluentes oleosos

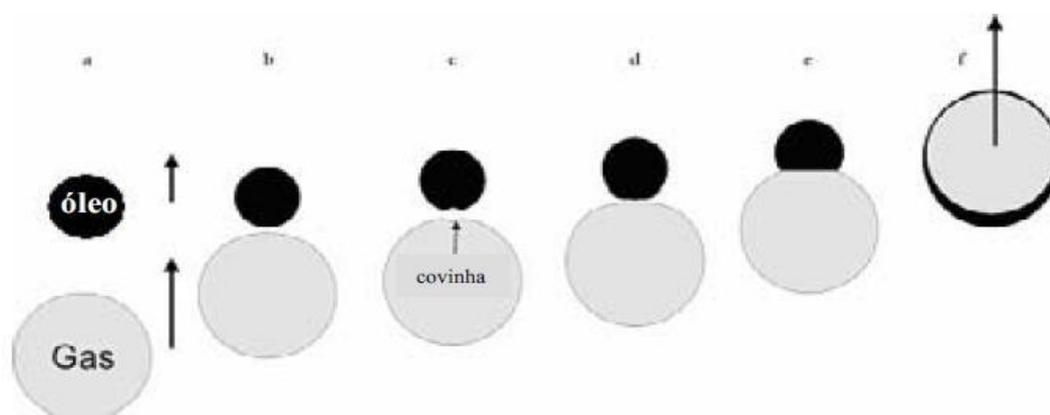
Águas Oleosas é definida pela empresa Engenho Novo como sendo todas as águas que apresentam quantidades variáveis de óleos, graxas e lubrificantes, e também uma variedade de outros materiais em suspensão, que podem ser areia, terra, argila e outros. Essas águas também apresentam substâncias coloidais e dissolvidas, como detergentes, sais, metais pesados, etc. (ENGENHO NOVO [2015?]).

Ainda segundo informações da Engenho Novo, além do óleo, outras impurezas podem estar presentes em uma água oleosa. Para atender os padrões estabelecidos pelas legislações para disposição e/ou as características necessárias para o reuso da água, o tratamento de uma água oleosa pode ser uma operação complexa e dependente de processos altamente eficientes (ENGENHO NOVO [2015?]).

Em geral, os efluentes podem ser tratados através de técnicas biológicas ou físico químico, isso vai depender da relação DQO/ DBO apresentado pelo resíduo. Caso no efluente prevaleça a demanda química de oxigênio, o método de tratamento deve ser o físico químico.

A aplicação da flotação é recomendada para resíduos líquidos com altos teores de óleos e graxas e/ou detergentes tais como os de indústrias petroquímicas, de pescado, frigoríficas, e de lavanderia (BUENO e VILELA, 2014).

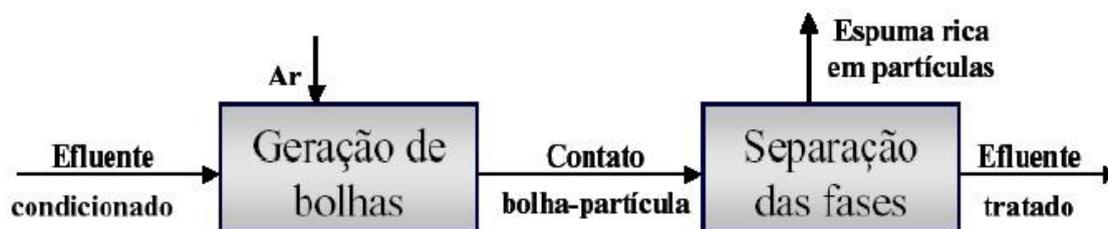
O processo de Flotação em efluentes oleosos consiste na ocorrência do contato e adesão (figura 09) entre as bolhas de gás e as de óleo.



**Figura 09:** Etapas do processo de flotação de água oleosa.

**FONTE:** SILVA, P., (2008).

Podemos dizer que o uso da FAD para tratamento de efluentes é dividido em duas etapas (figura 10), onde a primeira etapa é a de geração de bolhas de ar para contato com as partículas e a segunda é a separação do agregado bolha-partícula do meio líquido (MELO, 2010).



**Figura 10:** Esquema geral de tratamento de efluentes através da Flotação.

**FONTE:** MELO, (2010).

Devido a serem menos densos, o gás e o óleo tendem a ascender naturalmente no meio. Como a densidade do gás é menor que a densidade do óleo, espera-se que as bolhas ascendam mais rápido que as gotas de óleo, causando o contato bolha-gota (SANTOS, 2004 apud SILVA, P. 2008, p. 29).

Em processos de tratamento de águas oleosas da refinaria de petróleo e de plataformas marítimas (PNA – 1, Bacia de Campos – RJ), Jailton Rosa no ano de 2002 utilizando a técnica de floculação pneumática em linha seguida de floculação – flotação, nas melhores condições obteve resultados superiores a 90% de remoção de óleo.

Rubio *et al.*, (2002 apud Silva, P. 2008, p. 50) avaliaram a utilização da técnica de flotação na recuperação de águas contaminadas e como consideração final entenderam que o uso da flotação é vantajoso devido à capacidade de tratar grandes volumes de efluentes e eficiência de separação a um baixo custo operacional.

Essas vantagens apontada pelo uso da FAD, tem colaborado com o incentivo de estudos sobre tal aplicação, assim como a implantação da mesma em outros setores das indústrias.

### 3.7.3. Outras aplicações da Flotação por Ar Dissolvido – FAD

De acordo com Rubio *et al.*, (2002) apud Matiolo (2003, p. 2) “[...] novas políticas de saneamento têm obrigado as empresas a melhorar seus níveis de consumo, reuso e tratamento dos esgotos visando à produção industrial”.

A aplicação da FAD não está restrita apenas ao tratamento de efluentes, seu desenvolvimento se deu para a utilização na indústria de papel, mas posteriormente sua utilização foi otimizada e ampliada para outros setores.

#### 3.7.3.1. Tratamento de esgoto sanitário

A revista Brasil Mineral, edição nº 352 que traz o tema “A mineração tira a água dos outros?” alerta que metade da água que abastece os lares está voltando aos mananciais poluídas, e que o ideal seria que a quase totalidade da água que entra nas torneiras e sai pelos esgotos pudessem ser reutilizadas.

Existem projetos de reúso do esgoto sanitário após tratamento, em várias áreas como agricultura, irrigação, indústria, recarga de aquífero subterrâneo e outros (TEIXEIRA, 2003).

Os poluentes presentes em esgoto sanitário que podem ser removidos através da FAD são:

- pré-tratamento: remoção de gorduras, SST, particulados grosseiros (DBO insolúvel).
- pós-tratamento: remoção de nutrientes (NH<sub>3</sub> e P), algas, cor, SST e turbidez (MATIOLLO, 2003).

#### 3.7.3.2. Tratamento de lagos e lagoas

A Flotação por Ar Dissolvido foi a técnica utilizada nos projetos de despoluição dos lagos Ibirapuera e da Aclimação, no município de São Paulo. Em 2006 de acordo com a Sabesp nesse projeto utilizou as etapas: separação do lixo trazido pelas chuvas; introdução de substâncias na água que reduzem a acidez e iniciam o processo de coagulação dos poluentes antecedendo a FAD. Logo após estas etapas, injetou-se oxigênio por baixo do tanque, onde este arrasta as partículas sólidas para a superfície (MASSI *et al.*, 2008).

No tratamento de lagos, rios e lagoas, a FAD tem como finalidade remover SST, algas, turbidez, cor, óleos e outros que possa estar presentes nesses locais (MATIOLO, 2003).

### 3.7.3.3. Tratamento de minérios

O emprego mais convencional da Flotação é na separação de minérios, sendo (CAPPONI, 2005) um dos processos de mais importância para a concentração destes.

Algumas diferenças da utilização da Flotação para o tratamento de minérios e de efluentes podem ser observadas na tabela 02 que se segue.

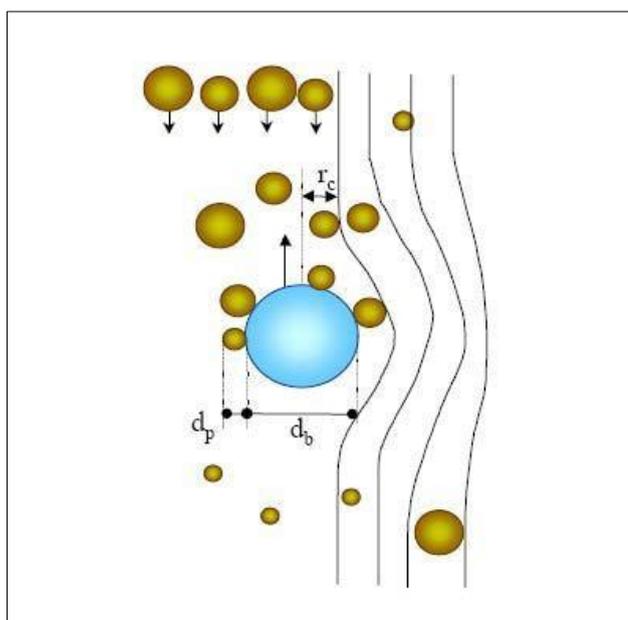
**Tabela 02:** Diferenças entre Flotação no Processamento Mineral e no Tratamento de Efluentes.

Parâmetro	Flotação de Minérios	Tratamento de Água e Efluentes
Tipo de material particulado	Sólidos cristalinos, incompressíveis	Mistura de sólidos cristalinos finos com colóides, flocos amorfos e compressíveis
Tipo de separação	Sólido/sólido-líquido	Sólido/líquido; Sólido/líquido1/líquido2; Líquido/líquido
Porcentagem de Sólidos (peso/peso, %)	25-40	< 4 (FAD) 10-30 (jet/colunas)
Tamanho de partícula (µm)	10-150	1-50 (não floculado) e 1-5 mm (floculação com polímeros) <sup>(a)</sup>
Tamanho de bolhas (µm)	600-2000	30 - 100 (FAD) 100-600 (jet/colunas)
Velocidade superficial de bolhas (m·h <sup>-1</sup> )	250-800 (valores aproximados)	0,7-30 (FAD) 30-1000 (jet/colunas)
Número de bolhas (cm <sup>3</sup> )	$9 \times 10^3 - 2 \times 10^2$	$6 \times 10^8 - 2 \times 10^6$ (FAD) $2 \times 10^6 - 9 \times 10^3$ (jet/colunas)

(a) Flocos Aerados

FONTE: MATIOLO, (2003).

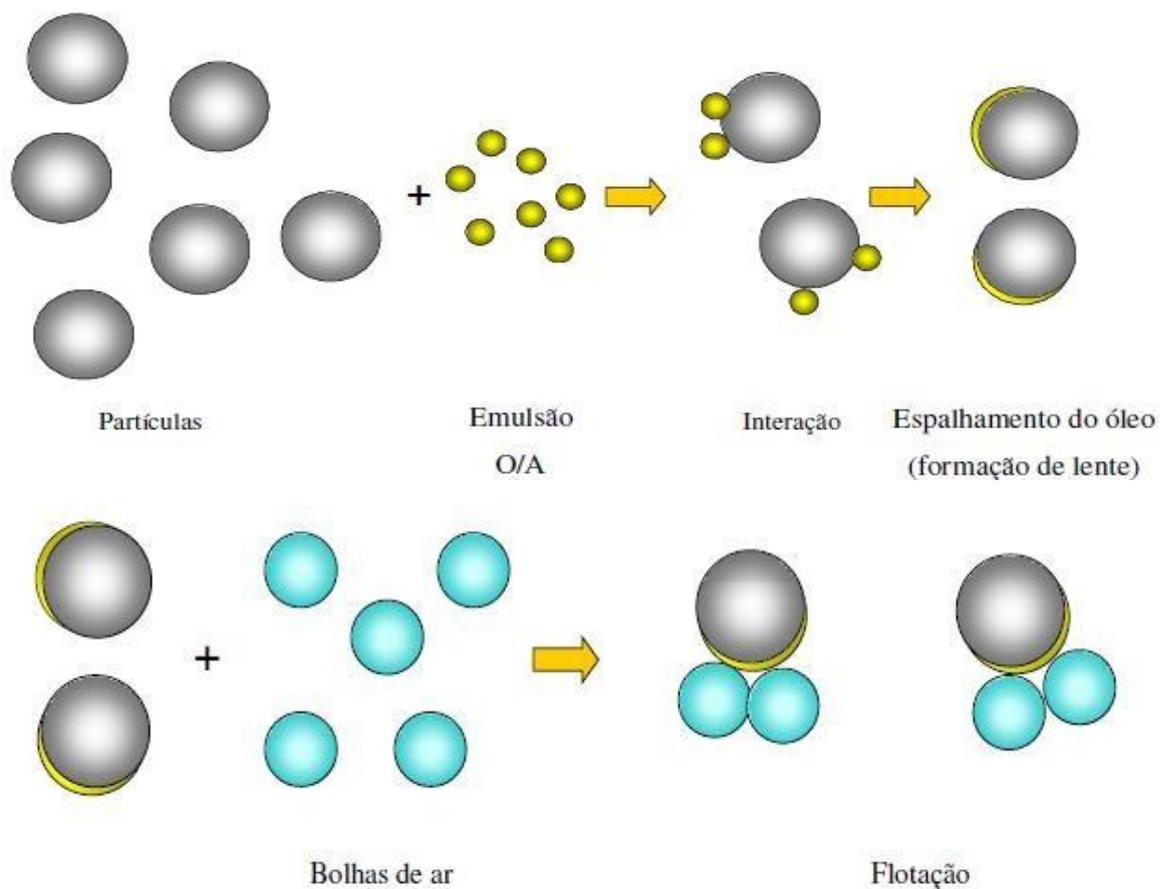
No caso da Flotação de minérios, acontecerá o fenômeno de adsorção (figura 11) partícula (minério) – bolha, onde através da seletividade, o material hidrofóbico irá aderir na superfície da bolha. A /ou as partículas que apresentam superfície hidrofílica (afinidade com a água) permaneceram no meio aquoso.



**Figura 11:** Fenômeno de captura (colisão + adesão) de partículas de diâmetro  $d_p$  por bolhas de diâmetro  $d_b$  dentro de um raio crítico  $r_c$ .

**FONTE:** MATIOLO, (2003).

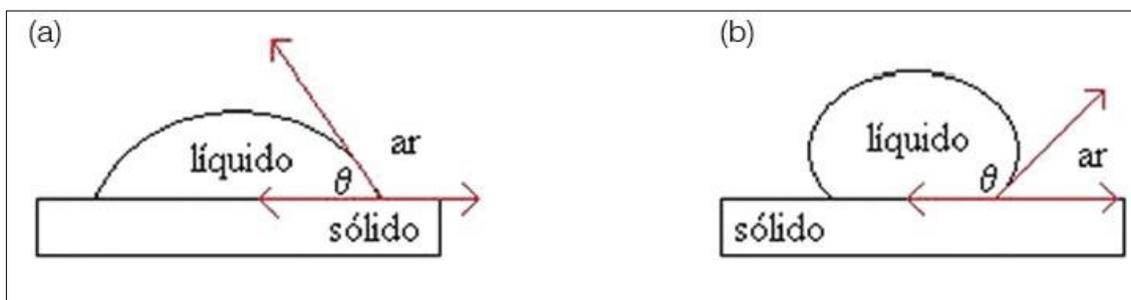
Partículas hidrofóbicas são aquelas onde sua superfície de contato tem maior afinidade com o ar introduzido no meio, e conseqüentemente repelem a água. A hidrofobicidade das partículas pode ser natural (ex: grafite, talco e carvão) ou induzida através da introdução de óleos específicos (figura 12) na polpa à ser tratada. Esse óleo causara a modificação da superfície de contato do material que se deseja flotar.



**Figura 12:** Modificação das características da superfície de contato das partículas (hidrofílicas para hidrofóbicas).

**FONTE:** CAPPONI, (2005).

Superfícies hidrofílicas, apresentam um menor ângulo de contato (figura 13,a) entre partícula – líquido, enquanto que superfícies hidrofóbicas apresentam um ângulo de contato maior.



**Figura 13:** Superfícies hidrofílicas (a) apresentam ângulo de contato menores que 90°, enquanto superfícies hidrofóbicas (b) apresentam ângulos maiores que 90°.

**FONTE:** MASSI, (2008).

#### 3.7.3.4. Celulose e Papel

Através de testes realizados, alguns pesquisadores observaram que o uso da Flotação por Ar Dissolvido no tratamento de efluentes de máquina de papel é mais eficiente que a técnica de sedimentação. Essa eficiência se dá devido a obtenção de resultados satisfatórios em relação a elevada remoção de contaminantes como, turbidez, SST, DQO e cor aparente.

A segunda atividade que mais aplica a técnica de FAD, é a indústria de papel, com o objetivo de recuperação de corantes (MASSI *et al.*, 2008).

Segundo Lavalée e Nadreau (1997) citado por Quartaroli (2012, p. 12-13), dentro da indústria de papel e celulose a aplicação mais comum da FAD é na clarificação do efluente bruto, onde a técnica pode alcançar até 98% de remoção de sólidos suspensos.

#### 3.7.3.5. Águas de abastecimento

Segundo Offringa (1995) citado por Marchetto e Reali, (1996) a primeira aplicação de FAD para tratamento de águas para abastecimento, foi em 1960 no Sul do continente Africano.

Devido aos resultados satisfatórios do uso da FAD em vários estudos realizados em escala piloto e em estações de tratamento de água (ETA), pesquisadores tem tido real interesse na utilização desta técnica para tratamento de águas com finalidade ao abastecimento. A adoção da técnica de FAD deve ser para mananciais onde os valores elevados de turbidez não são ao longo de todo o ano (esporadicamente) sendo que a água neste estado é compatível com a adoção da técnica de FAD (MORUZZI, PATRIZZI e REALI, 2013).

A técnica de FAD quando utilizada no tratamento de águas de abastecimento, tem a intenção de remoção de Fe, Mn, cor, SST e turbidez (MATIOLO, 2003) algas e outros.

### **3.7.4. Vantagens da utilização da técnica de FAD no tratamento de efluentes**

- Necessidade de pequena área de implantação;
- Fácil operação;
- Ótima eficiência quando operada de forma correta;
- Pouco tempo de retenção do efluente a ser tratado;
- Consumo de baixa energia;
- Baixa adição de produtos químicos;
- Geração de lodo com boas concentrações de sólidos;
- Obtenção de lodos mais concentrados quando comparados com a técnica de sedimentação e
- Alta velocidade vertical do fluido e menor sensibilidade aos efeitos negativos provocados por mudanças de temperatura.

### **3.7.5. Processo de coagulação e floculação**

A técnica de Flotação por Ar Dissolvido pode ser precedida pelas etapas de coagulação e floculação, sendo que estes são processos importantes para o tratamento de efluentes industriais (CECCHET, 2007).

#### **3.7.5.1. Coagulação**

Coagulação tem como definição “manter-se junto” (MAGNAN, 2010). A coagulação é a agregação dos coloides presentes no efluente, onde a agregação é o termo usado para descrever a união de partículas unitárias.

Esta união pode ser realizada com o uso de reagentes ou por forças de interação (CAPPONI, 2005). A coalescência / coagulação, também é conhecida como floculação rápida, pois nesse processo as gotas colidem e imediatamente coalescem em gotas maiores.

Para ocorrer a coagulação é necessário a adição de um agente coagulante no meio aquoso, normalmente o sulfato de alumínio, que irá produzir hidróxidos gelatinosos insolúveis que agregam as impurezas (BARBOSA *et al.*, 2011).

O uso da Flotação para tratamento de águas residuárias sem a adição de um coagulante, oferece resultados inferiores do que quando a técnica é utilizada juntamente com o mesmo.

### **3.7.5.1.1. Fatores que interferem a coagulação**

#### **3.7.5.1.1.1. Eletrólito utilizado**

É de fundamental importância escolher de forma correta o coagulante a ser utilizado no tratamento de efluentes, já que cada resíduo líquido tem características únicas e os coagulantes são seletivos (DURAN, 2014).

A coalescência ocorre quando se adiciona um eletrólito catiônico, onde este vai abaixar as forças repulsivas (Potencial Zeta), favorecendo as forças atrativas de Van Der Waals que irá causar a aglutinação (CECCHET, 2007).

Segundo Cardoso (2003) “As partículas coloidais que conferem turbidez e cor, principalmente em águas naturais, são carregadas com íons negativos” (apud MAGNAN, 2010, p 16).

Os coagulantes utilizados no presente trabalho, é o Sulfato de Alumínio e o Policloreto de Alumínio (PAC), onde ambos são cátions polivalentes e tem a função de neutralizar as cargas elétricas das partículas suspensas ao adsorverem os particulados, gerando uma floculação parcial. O agente coagulante PAC, segundo Pavanelli (2001) e Srivastava *et al.*, (2005 apud Schoenhals 2006, p. 22) em igualdade de dosagens é em média 2,5 vezes mais eficiente que os sais de alumínio tradicionalmente utilizados nesses processos. Essa eficiência se dá devido o PAC em igualdade de dosagens liberarem menos ácido no meio.

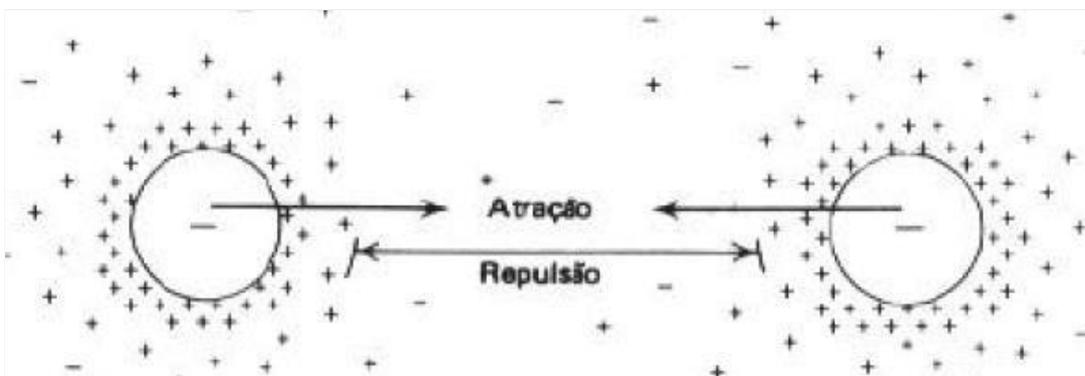
### 3.7.5.1.1.2. Quantidade de Eletrólito/Agitação do sistema

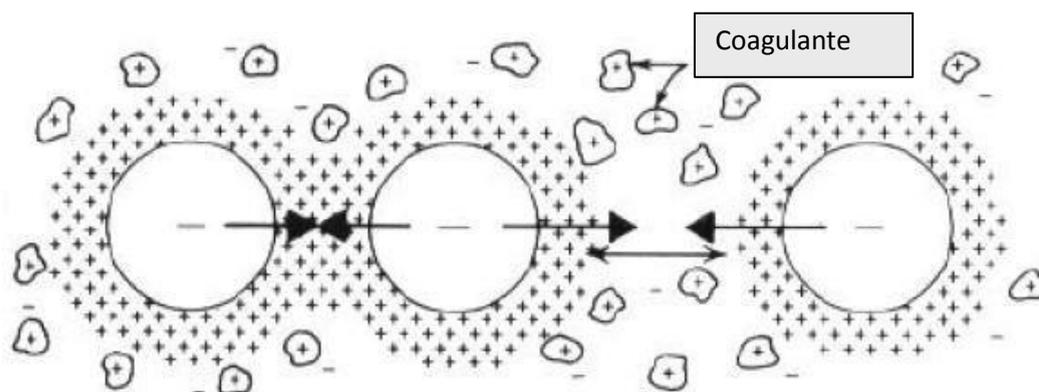
Segundo Di Bernardo e Costa (1993), a quantidade de reagentes será proporcional a concentração de colóides na suspensão a ser tratada (apud CECCHET, 2007, p. 13), no entanto, segundo Magnan (2010) é difícil determinar a dosagem ótima de coagulante e auxiliar de coagulação. As altas dosagens de coagulante podem prejudicar o processo de FAD, pois essa coagulação melhorada favorece a formação de flocos pesados e esses são favoráveis à técnica de sedimentação.

Ainda segundo Di Bernardo (1993 apud Magnan 2010, p. 20) quando se adiciona um polímero catiônico em excesso a um efluente a ser clarificado, os colóides suspensos irão adquirir cargas positivas e o sistema continuará estável. Esse acontecimento se chama “reversão de carga” da matéria em suspensão, pois eram negativas e se tornaram positivas.

A adsorção de íons presentes no efluente é o responsável pela formação da carga superficial (CECCHET, 2007).

Quando o efluente à ser tratado se encontra nesse estado, se faz necessário a eliminação dessas cargas eletrostáticas superficiais, mais conhecida como diminuição do potencial eletrocinético (Potencial Zeta). A adição de reagentes a uma dispersão coloidal induz a redução da distância entre as gotas (figura 14), favorecendo à coalescência.





**Figura 14:** Desestabilização das cargas dos colóides, com subsequente formação de aglomerados de partículas.

**FONTE:** Adaptado de Santos Filho, (1973) apud Schoenhals (2006).

Para se obter uma boa coagulação é necessário que esta etapa seja realizada sob forte agitação (mistura rápida) (SCHOENHALS, 2006) para que ocorra a distribuição equânime e uniforme do agente coagulante no efluente a ser tratado (AZEVEDO NETO *et al.*, 1991 apud SCHOENHALS, 2006, p. 18).

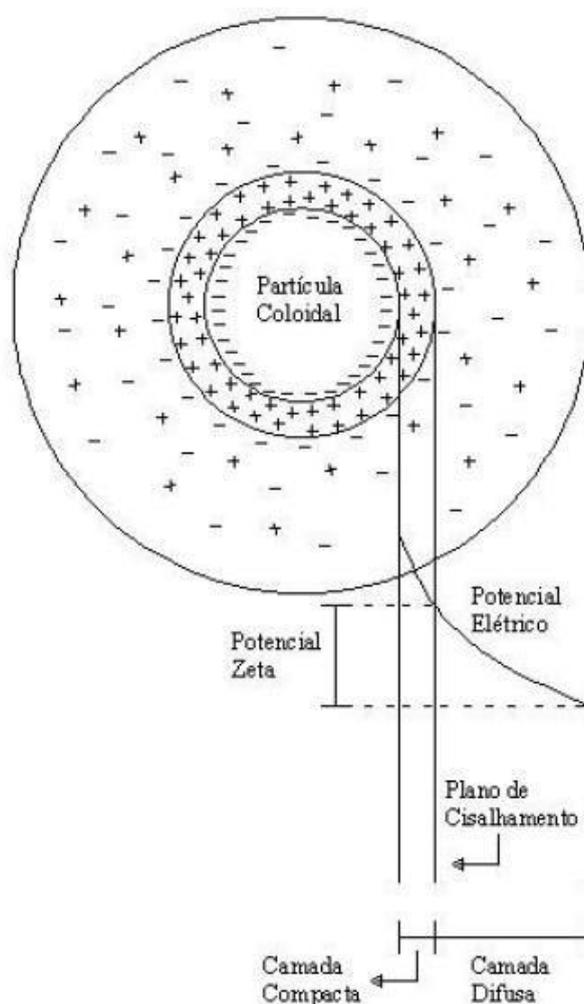
### 3.7.5.1.2. Potencial ZETA

Estudos realizados por AL-SHAMRANI *et al.*, em 2002 demonstraram que as medições do potencial zeta indicaram que as gotas de óleo presentes no efluente em estudo apresentavam carga negativa. Estes mesmos pesquisadores perceberam que o Potencial Zeta é influenciado pelo valor do pH do meio, resultando na adsorção do íon hidroxila na superfície das gotículas de óleo (TEIXEIRA, 2014).

A medida do potencial elétrico entre a superfície externa da camada compacta e o meio líquido no qual se desenvolve é chamada de Potencial Zeta e mede o potencial de uma partícula em movimento livre em um líquido. As forças eletrostáticas atraem os íons de carga contrária ao colóide, enquanto que a agitação térmica e o movimento browniano são responsáveis pela distribuição homogênea na massa líquida. Esse sistema composto de cargas, superfície do colóide e camada do sinal contrário, é chamado de dupla camada. O Potencial Zeta é positivo quando as partículas migram do pólo positivo para o pólo negativo, e negativo quando ocorre o contrário. (MARTINS, 2009, p. 34).

A carga superficial dos colóides (figura 15) origina um potencial de repulsão entre os mesmos, mantendo-os afastados entre si. Pode-se dizer que esse efluente se encontra estável, ou seja, resistente às mudanças físicas. A instabilidade dessa suspensão é necessária para a clarificação do efluente, e pode ser conseguida através da adsorção e neutralização de carga.

O mecanismo de adsorção e neutralização consiste na introdução de íons positivos na suspensão, onde este terá maior afinidade pela superfície da partícula do que pela água, causando a adsorção na mesma. Tal fato reduzirá as cargas dos colóides e conseqüentemente as forças de repulsão entre estes (LOPES, 2008).



**Figura 15:** Representação de uma partícula coloidal negativa, com uma nuvem de cargas positivas ao seu redor.

**FONTE:** Sena, (2005) apud Schoenhals, (2006).

### 3.7.5.2. Floculação

Floculação é usado para designar o processo de formação de pontes a partir da agregação das partículas já desestabilizadas. Esse agrupamento se comporta como se fosse apenas uma partícula, porém, de diâmetro maior (SCHULZ, 2005).

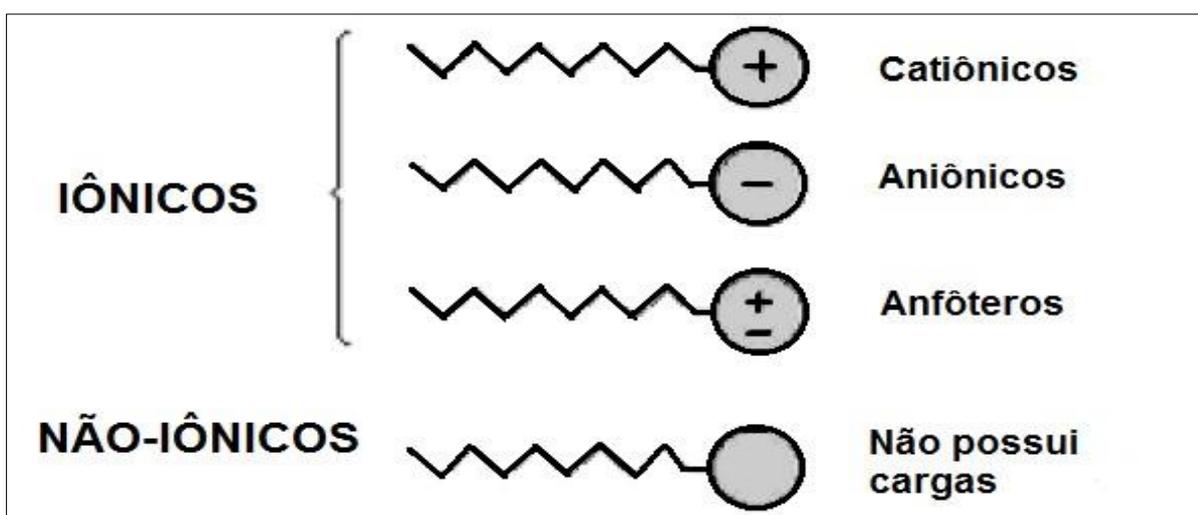
De acordo com Di Bernardo, *et al.*, (2002) a etapa de floculação em uma estação de tratamento de efluente é a fase onde ocorre as condições de contato e agregação de partículas, desejando a facilitação de remoção dessas partículas (apud DURAN, 2014, p. 13).

#### 3.7.5.2.1. Fatores que interferem na floculação

Assim como na etapa de coagulação, a floculação também apresenta alguns fatores que devem ser observados e obtidos para que a mesma seja eficiente.

##### 3.7.5.2.1.1. Tipo de Polieletrólito/pH

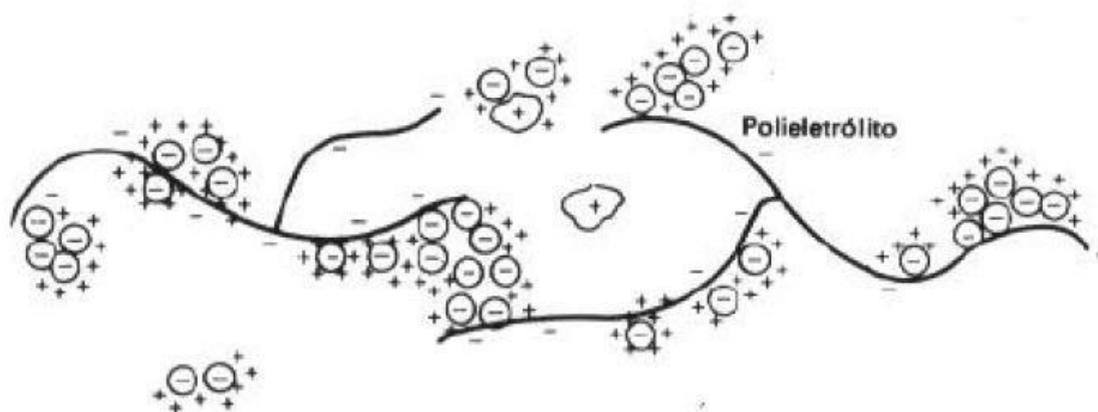
Os polieletrólitos, assim como demonstrados na figura 16, são caracterizados pela sua carga elétrica, que pode ser positiva (catiônica), negativa (aniônica), anfóteros ou não iônica.



**Figura 16:** Representação esquemática dos tensoativos.

**FONTE:** SILVA, P. (2008)

O floculante aniônico (figura 17) tem a função de atrair as cargas positivas, como é o caso de sais e hidróxidos metálicos. Em tratamento de águas e efluentes, o floculante ideal deve ser um Polímero Aniônico à Base de Poliacrilamida (PAM). O floculante utilizado na presente investigação, foi o Rheomax 1050, isso devido o mesmo ter apresentado as características necessárias para o tratamento de tal efluente.



**Figura 17:** Desestabilização das cargas dos colóides, com subsequente formação de aglomerados de partículas.

**FONTE:** Adaptado de Santos Filho (1973) apud Schoenhals (2006).

Na preparação do polímero é recomendadas concentrações entre 0,25 e 1,0% (p/v) e sobre intensa agitação para que o mesmo obtenha uma dissolução satisfatória (ENTRY *et al.*, 2002 apud SCHOENHALS, 2006, p. 28).

A correção do pH é extremamente importante nesse processo, pois, a boa coagulação e floculação é relacionado ao mesmo. O coagulante utilizado nesse processo pode provocar uma variação ampla no pH, dessa forma se faz necessário a realização de testes de jarro (“Jar test”) para determinar o melhor pH e as dosagens ótimas de coagulantes a serem utilizadas (COUTINHO, 2007). Segundo Magnan (2010) o efluente bruto sofre várias alterações ao longo do dia, dessa forma é necessária a realização de no mínimo três testes de jarros por dia.

Devido à esta variação de características, vários pesquisadores encontraram diferentes valores de pH ótimo, como se segue:

Na pesquisa de Wimmer em 2007 para tratamento de efluentes de uma indústria petroquímica, a pesquisadora aponta que o pH deve estar entre 4,5 à 7,0.

Para Morelli (2005) apud Zimmermann (2008) o processo requer grande atenção, principalmente em relação ao pH, que deve ser e/ou estar ajustado numa faixa de 6,0 a 8,0.

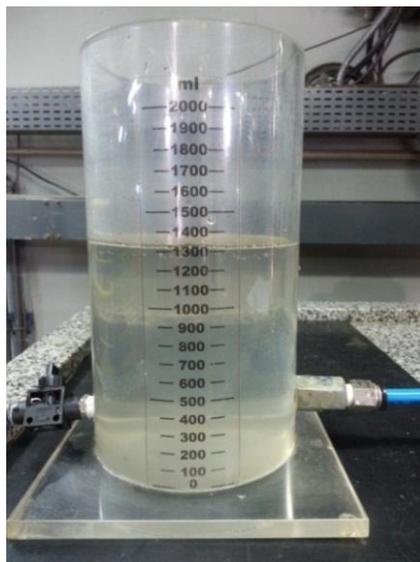
Nos estudos de Martins em 2009, a remoção dos poluentes presentes no efluente sintético foi realizada através da técnica de FAD, onde uma das condições de operação foi pH 10. A pesquisa realizada, foi para o trabalho de Remoção de Chumbo e Bário de um efluente aquoso via Flotação por Ar Dissolvido.

Melo em 2010 em pesquisas sobre o Tratamento de efluentes da carcinicultura por Flotação em Coluna e Flotação por Ar Dissolvido, obteve maior eficiência quando realizado o teste em condições de pH 8.

Nos processos de tratamento de efluentes oleosos de lavagem de veículos realizados por Teixeira em 2013, a pesquisadora encontrou seus melhores resultados quando utilizado pH na faixa de 7,3 à 8,5.

Os pesquisadores Garrido, Lima, Magalhães, Azevedo, Souza e Paulo em 2015 em pesquisa de Avaliação da técnica de Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento de Efluentes da Indústria de Petróleo encontraram seus melhores resultados quando utilizado o pH 8,7 exatamente.

Nolli em 2015 na mesma linha de pesquisa, no trabalho de “Avaliação da técnica de Flotação por Ar Dissolvido (FAD) no tratamento de efluentes gerados em uma oficina de equipamentos móveis de uma empresa mineradora”, obteve seu melhor resultado (figura 18) em pH entre 6,5 à 6,7. O resultado foi analisado em termos de remoção dos contaminantes presentes no efluente.



**Figura 18:** Experimento 10: 10 mg/L de floculante + 150 mg/L de coagulante

**FONTE:** NOLLI, (2015).

No presente estudo (2016) o pH ótimo foi em torno de 6,8, sendo que em outros testes preliminares o pH ótimo variou de 6,4 à 6,8.

#### *3.7.5.2.1.2. Quantidade de floculante/Agitação do sistema/Temperatura*

Pesquisadores como Burkhardt (1983), Sánchez e Leon (1984), Capps (1993) e Santander (1998) observaram que dosagens baixas de floculante é o suficiente para se obter resultados satisfatórios. Da mesma forma esses mesmos pesquisadores observaram que altas dosagens desse reagente, diminuía a eficiência do processo de flotação (CECCHET, 2007).

Ao contrário da etapa de coagulação, esta etapa do processo necessita de agitação lenta, isso para não desestabilizar os flocos recém formados de modo que estes venham a cisalhar se (DURAN, 2014).

Quando o meio líquido esta em baixas temperaturas (frio) e o coagulante utilizado for o alumínio, o tempo de formação dos flocos será menor nessas condições (ERNEST *et al.*, 1995 apud SCHOENHALS, 2006, p. 25).

### 3.7.5.2.1.3. Outros fatores não menos importantes

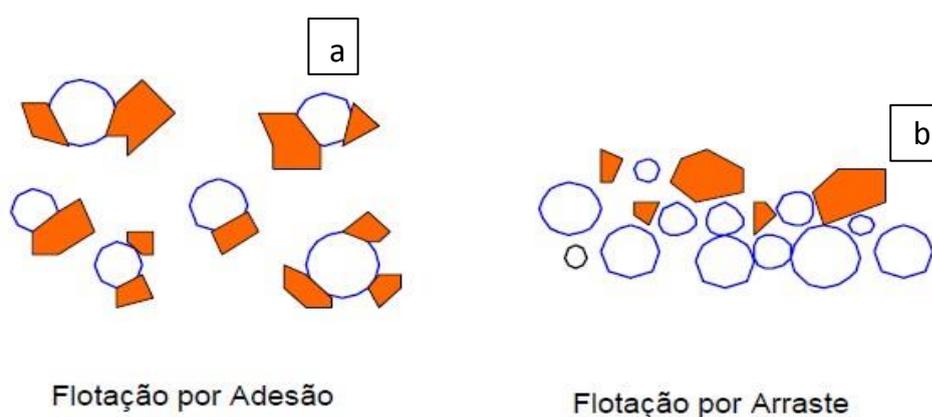
- Alcalinidade;
- Tipo e concentração de íons no meio líquido;
- Tamanho e volume de particulados;
- Tipo de reator, entre outros (AYOUB, 1996 apud DURAN, 2014, p. 13).

### 3.7.6. Fatores que interferem a FAD no tratamento de efluentes oleosos

#### 3.7.6.1. Tamanho das bolhas

Nos sistemas de flotação, seja de efluentes ou de minérios deve se dispor de uma determinada distribuição de tamanhos de bolhas, para que a captura ou a capacidade de carregamento seja maximizada (RODRIGUES, 2004).

As bolhas de ar dentro das dimensões ideais formará uma “nuvem” de ar que diferentemente do tratamento de minérios que causa a adsorção do material a ser flotado às bolhas, este causará o efeito de arraste (figura 19, b) e transbordo na superfície da coluna.



**Figura 19:** Mecanismos de Flotação: ● bolhas de ar; ■ partícula em suspensão.

**FONTE:** Adaptado de Flotação - Informações Básicas (Engenho Novo).

Nos setores de saneamento e tratamento de águas que utilizam a Flotação por Ar Dissolvido (FAD) como técnica de tratamento, é utilizado bolhas de dimensões micrométricas (30 – 100  $\mu\text{m}$ ), permitindo a remoção de partículas coloidais e ultrafinas (< 5  $\mu\text{m}$ ), (MATIS e LAZARIDIS, 2002 apud MATIOLO, 2003).

As bolhas de menores dimensões apresentam um tempo de residência maior, no entanto, a probabilidade de arraste e (RODRIGUES, 2004) “captura” aumenta devido a diminuição das dimensões dessas bolhas (CAPPONI, 2005) o que é reforçado por Matiolo (2003, p. 3) onde dizem que “a “captura”, portanto aumenta com a diminuição do tamanho de bolhas e com o aumento do tamanho de partículas.

As figuras 20 e 21 demonstra a diferença de dimensões de bolhas para tratamento de efluentes (formação de “nuvem”) e de minérios, em escala de bancada e laboratório respectivamente.



**Figura 20:** Dimensões de bolhas (“nuvem”) para tratamento de efluentes.



**Figura 21:** Dimensões de bolhas (variável) para tratamento de minérios.

### 3.7.6.2. Aeração do processo

De acordo com Luz; Sampaio; Almeida (2004) apud Silva, P. (2008, p. 29) a vazão de ar é uma variável muito importante para um eficiente resultado de flotação, pois, seu efeito está diretamente relacionado com a recuperação do material flotado. Nos limites de estabilidade da coluna, a quantidade de material flotado aumenta com o aumento da vazão de ar, isso até atingir o valor máximo. O aumento da recuperação do material flotado se deve ao aumento da área superficial de bolhas presente na coluna. No entanto, um aumento significativo de vazão na coluna pode reduzir a eficiência do processo de FAD, devido a forte turbulência que ocorrerá no interior da mesma.

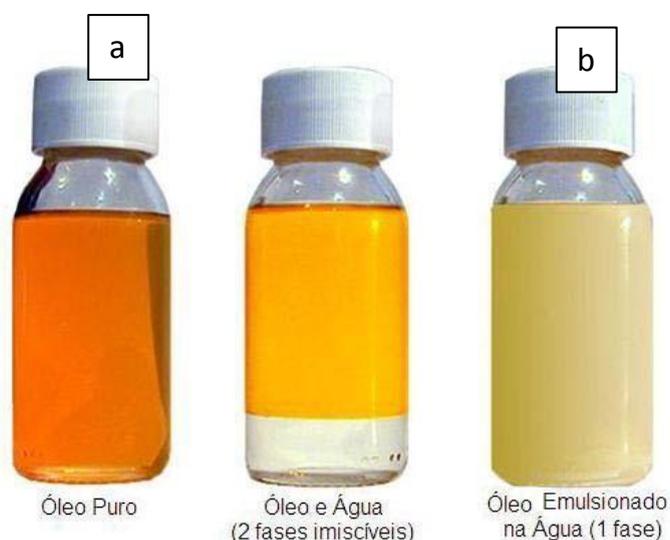
### 3.7.6.3. Quantidade de óleo presente no efluente

A Flotação por Ar Dissolvido é ideal para tratamento de efluentes com alta quantidade de óleo livre, pois o arraste deste, se torna mais eficiente e não sendo obrigatoriamente necessária a adição de reagentes.

#### 3.7.6.3.1. Forma do óleo presente no efluente

O óleo pode estar presente de quatro formas no efluente oleoso, sendo na forma livre, dispersa, emulsificada ou dissolvida, vai depender do tamanho das partículas do mesmo.

De acordo com a empresa Engenho Novo [2015?] quando se pensa em separar o óleo presente em uma água oleosa é importante lembrar que não basta retirar apenas o óleo livre, uma vez que também é indispensável a remoção do óleo que está emulsionado no meio.



**Figura 22:** Diferenças no aspecto visual exibidos pelos óleos livre e emulsionado.

**FONTE:** ENGENHO NOVO, [2015?].

#### 3.7.6.3.1.1. Óleo livre

A remoção do óleo livre (figura 22, a) (diâmetro das gotas  $> 150 \mu\text{m}$ ) é relativamente fácil de ser realizada, pois o mesmo já se encontra completamente estratificado da água. Para tal processo a utilização de um decantador, hidrociclone, centrífuga ou flutador já é capaz de proporcionar as condições necessárias para que as menores gotículas de óleo dispersas no meio oleoso sejam separadas por diferença de densidade, formando uma fase contínua e independente.

O óleo livre pode ser facilmente separado através da (separador API “American Petroleum Institute”), “skimming”, Flotação por Ar Dissolvido (DAF “Dissolved Air Flotation”) (SRIJAROONAT, 1999 apud SCHULZ, 2005, p. 45).

A separação do óleo por FAD até o momento, consiste na técnica mais eficiente para o tratamento de águas oleosas, esteja o óleo na forma livre ou emulsionado.

#### 3.7.6.3.1.2. Óleo Disperso

Segundo Oliveira (1995) apud Rosa (2002, p. 02) o óleo disperso geralmente apresenta diâmetros de gotas entre 50 e 150  $\mu\text{m}$  e pode ser removido por processos gravitacionais. No entanto, a eficiência desse processo será dependente da distribuição dos diâmetros dessas gotas e/ou presença de tensoativos.

#### 3.7.6.3.1.3. Emulsão

Emulsão pode ser definida como um sistema heterogêneo, onde no mínimo um líquido imiscível está disperso em outro líquido (figura 22, b) na forma de gotas, com diâmetros, geralmente excedendo 0,1  $\mu\text{m}$  (SCHULZ, 2005).

Gotas que apresentam diâmetros menores que 20  $\mu\text{m}$  apresentam dificuldades para a sua remoção, isso é devido a estabilidade da emulsão, algumas destas são impossíveis de quebrar por meios químicos (SRIJAROONAT, 1999 apud SCHULZ, 2005, p.45). As partículas de óleo emulsionadas, também podem ser classificadas como colóides (TEIXEIRA, 2014).

A eficiência da Flotação por Ar dissolvido no tratamento de efluentes com presença de óleos emulsificado, consiste em adotar previamente a técnica de coagulação e floculação (desestabilização) da suspensão coloidal.

#### **3.7.6.3.1.4. Óleo Dissolvido**

A forma mais difícil de remoção do óleo, e quando este se apresenta dissolvido no efluente. Algumas das formas que podem ser utilizadas para remoção desse óleo é através de filtração por membranas, adsorção em carvão ativado, precipitação e borbulhamento com gás.

#### **3.7.6.3.2. Pressão de Saturação/ Forma do tanque de flotação**

A pressão de saturação influencia diretamente no tamanho das bolhas a serem formadas, onde se tratando de tratamento de efluentes, quanto menores forem as bolhas formadas, mais eficiente poderá ser o processo.

De Rijk *et al.*, (1994) observaram que o tamanho das bolhas diminuía com o aumento da pressão de saturação (3,5 para 6,2 bar), mas não foi encontrada nenhuma explicação para o acontecimento.

Com o aumento da pressão de saturação, se dissolve mais ar e com isso maior será o numero de bolhas produzidas (RODRIGUES, 2004).

Em 1987 Longhurst e Graham concluíram que os tanques de flotação ideais são os retangulares, devido esse formato minimizar a quebra dos flocos formados (ASSIS, 2006).

#### **3.7.6.3.3. Característica do efluente a ser tratado**

Os efluentes de lavagem de veículos apresenta uma composição bastante complexa, onde o efluente ao longo do dia pode sofrer várias alterações nas suas características. Dessa forma, se faz de grande importância fazer análises de tratabilidade em cada efluente alterado. Estes testes devem se ao fato que de

acordo com a qualidade do efluente, o tipo e as concentrações de reagentes requeridos devem ser alterados.

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A parte experimental dessa pesquisa foi realizada na Planta Piloto da indústria minerária, no local, foram conduzidos os ensaios de coagulação, floculação e flotação em escala de bancada.

Esse setor da mineradora onde foi realizado o estudo de caso, é o setor responsável por gerar informações sobre o comportamento de um determinado processo para ser aplicado em escalas maiores. Dentre as atividades do setor, tem se os testes realizados para flotação de minérios, onde o local é capaz de realizar de forma contínua esses ensaios. Testes de tratamento de efluentes utilizando a técnica de Flotação por Ar Dissolvido também são desenvolvidos no local, e são abordados no presente estudo.

### **4.2. MATERIAIS**

- Galões de Plástico de 5L devidamente identificados;
- Luvas de plástico;
- Óculos de ampla visão;
- Compressor de ar;
- Haste para misturas;
- Aparato experimental de FAD em escala de bancada;
- Micropipeta;
- Phagmetro;
- Efluente de lavagem de veículo e reagentes.

**Tabela 03** - Reagentes utilizados com suas concentrações e funções.

<b>Reagente</b>	<b>Concentração</b>	<b>Função</b>
Sulfato de Alumínio	10%	Coagulante
Policloreto de Alumínio (PAC)	7%	Coagulante
Rheomax 1050	0,5%	Floculante
Ácido Clorídrico	---	Regulador de pH
Sóda Cáustica	---	Regulador de pH

#### 4.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar a eficiência dos coagulantes Sulfato de Alumínio e Policloreto de Alumínio (PAC) no tratamento de efluentes oleosos de lavagem de veículos utilizando a técnica de Flotação por Ar Dissolvido (FAD). A eficiência será verificada através da comparação da capacidade de remoção e/ou redução de Condutividade Elétrica, Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), Turbidez e Óleos e Graxas (poluentes presentes no efluente) nos testes realizados.

Os 12 testes realizados, tiveram como intenção estimar o melhor coagulante seguido da melhor dosagem de reagentes que apresentaria essa maior capacidade de remoção. O efluente foi coletado na caixa separadora de água e óleo (SAOL) (figura 23) da mineradora.



**Figura 23:** Tanque separador de água e óleo da indústria X.

**FONTE:** NOLLI, (2015).

Para realizar a comparação das características físico-química do efluente bruto com os efluentes tratados, foi separado 1 L do efluente in natura para que o mesmo tivesse suas características analisadas e consequentemente determinadas. O efluente bruto foi distribuído em quadruplicadas em vidros numericamente identificados fornecidos pela empresa responsável pelas análises. Estes vidros foram acondicionados em caixas de isopor para conservação em baixa temperatura e para proteção contra a luz, que pode provocar alterações nas características do efluente.

O coagulante Sulfato de Alumínio foi utilizado em 06 experimentos e o Policloreto de Alumínio (PAC) nos outros 06. Cada ensaio de coagulação – floculação e flotação, foi devidamente identificado e estes foram realizados em escala de bancada a partir do Flotatestes da marca Aquafloc (figura 24).



**Figura 24:** Aparato experimental de FAD em escala de bancada.

**FONTE:** NOLLI, 2015.

Para a realização dos ensaios no equipamento Jar Test, coletou-se 13 L de efluente na caixa separadora de água e óleo da empresa e em seguida analisou-se o pH. Na Planta Piloto (área de estudo) da indústria minerária preencheu-se o tanque de pressurização com água potável e abriu a válvula de ar comprimido até que a pressão atingisse  $5 \text{ Kgf/cm}^2$ , o que foi indicado no manômetro. Para a pressurização ideal, esperou-se 20 minutos. Colocou-se 1 litro de amostra do efluente na coluna de flotação do Jar Test e utilizando uma pipeta graduada adicionou-se na mesma os volumes correspondentes às dosagens de coagulantes. Para ocorrer a homogeneização, agitou-se o sistema por cerca de 1 minuto com forte agitação. Logo após, analisou-se o pH do efluente e caso fosse necessário, foi realizado o ajuste do mesmo para a faixa de pH ótimo. Depois de verificado / alcançado o pH ótimo, utilizando uma micropipeta, adicionou-se à coluna de flotação o volume preestabelecido de polímero. Para ocorrer a formação de flocos, agitou-se o sistema de forma lenta utilizando-se uma haste. Após a mistura, introduziu-se no sistema 30% de água saturada no intuito de geração de micro bolhas (FAD). Após a clarificação do efluente, o mesmo permaneceu em repouso por um período de 30 segundos e coletou-se quadruplicadas de amostras do efluente tratado para a realização das análises.

Assim que as amostras foram coletadas, as mesmas também foram armazenadas em caixas de isopor de acordo com as recomendações da empresa responsável pelas análises.

Em cada amostra coletada, foi analisados O&G, SST, DBO, Turbidez e Condutividade elétrica para verificar a eficiência dos coagulantes e das dosagens utilizadas para o tratamento do efluente. Devido aos poucos estudos realizados nessa mesma linha de pesquisa, (tratamento de efluentes oleosos pela FAD) a eficiência do presente trabalho foi comparada a outras pesquisas que utilizaram a FAD para tratamento de efluentes.

A empresa responsável pelas análises dos testes utilizou o método de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 22<sup>th</sup> (APHA/AWWA/WEF, 2012) para determinar todos os parâmetros físicos químicos do efluente bruto e do efluente tratado.

As dosagens de reagentes utilizadas nos testes foram de acordo com as quantidades apresentadas nas tabelas que se segue.

**Tabela 04:** Dosagens dos testes utilizando o Sulfato de Alumínio.

<b>TESTE Nº</b>	<b>Dosagem de coagulante Sulfato de Alumínio (mg/l)</b>	<b>Dosagem flocculante Rheomax 1050 (mg/l)</b>
<b>Teste 01. a</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>Teste 02. a</b>	<b>75</b>	<b>50</b>
<b>Teste 03. a</b>	<b>100</b>	<b>50</b>
<b>Teste 04. a</b>	<b>125</b>	<b>50</b>
<b>Teste 05. a</b>	<b>140</b>	<b>50</b>
<b>Teste 06. a</b>	<b>150</b>	<b>50</b>

**Tabela 05:** Dosagens dos testes utilizando o PAC.

<b>TESTE Nº</b>	<b>Dosagem de coagulante PAC (mg/l)</b>	<b>Dosagem flocculante Rheomax 1050 (mg/l)</b>
<b>Teste 01. b</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>Teste 02. b</b>	<b>75</b>	<b>50</b>
<b>Teste 03. b</b>	<b>100</b>	<b>50</b>
<b>Teste 04. b</b>	<b>125</b>	<b>50</b>
<b>Teste 05. b</b>	<b>140</b>	<b>50</b>
<b>Teste 06. b</b>	<b>150</b>	<b>50</b>

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

**Tabela 06:** Resultados dos testes utilizando o coagulante Sulfato de Alumínio.

TESTE Nº	pH		Remoção (%)				Redução da condutividade elétrica (%)
	Inicial	Final	DBO	Turbidez	Sólidos totais	Óleos e graxas	
Teste 01.a	7,45	6,97	32,33	<u>83,29</u>	82,59	78,55	<u>17,18</u>
Teste 02.a	7,45	6,95	<u>17,56</u>	86,77	76,11	<u>72,63</u>	8,59
Teste 03.a	7,45	7,03	34,12	85,88	76,45	77,96	13,66
Teste 04.a	7,45	6,95	35,89	85,52	75,43	78,09	10,99
Teste 05.a	7,45	6,9	47,34	86,8	74,74	82,11	10,84
Teste 06.a	7,45	7,07	33,53	89,2	<u>87,37</u>	82,51	12,63

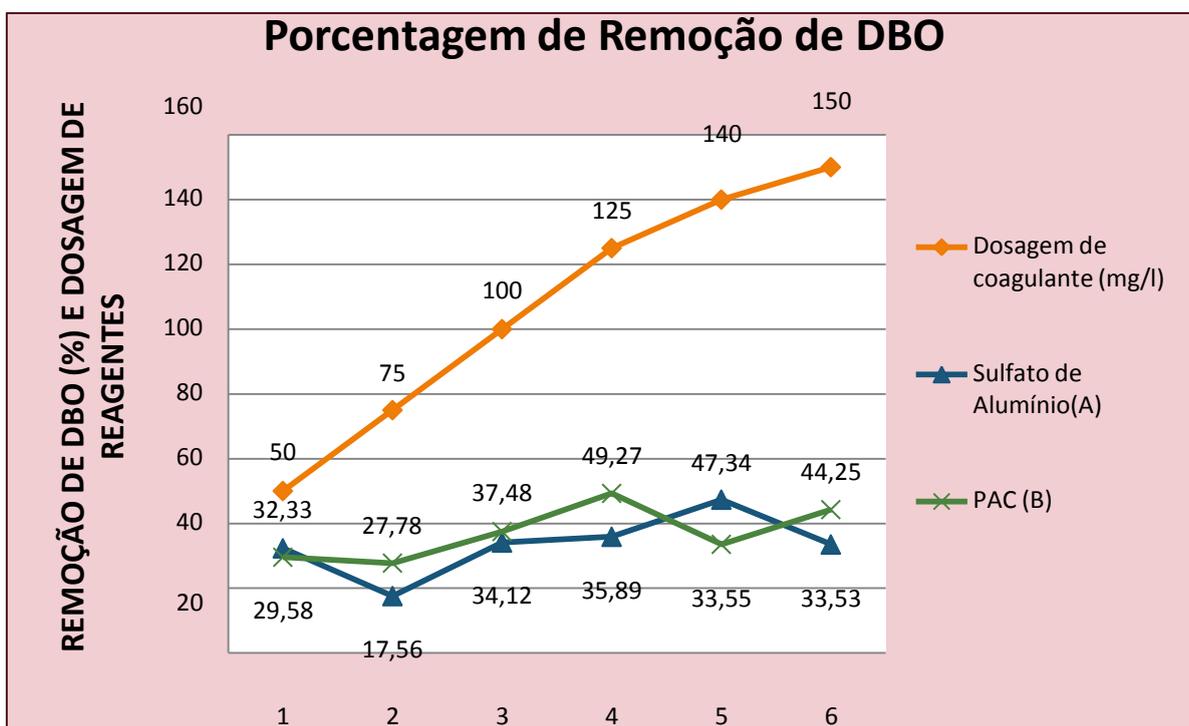
Legenda	
<u>Valor</u>	Maior remoção
<u>Valor</u>	Menor remoção

**Tabela 07:** Resultados dos testes utilizando o coagulante PAC.

TESTE Nº	pH		Remoção (%)				Redução da condutividade elétrica (%)
	Inicial	Final	DBO	Turbidez	Sólidos totais	Óleos e graxas	
Teste 01.b	7,45	6,95	29,58	86,56	73,04	75,54	2,72
Teste 02.b	7,45	6,9	27,78	83,8	<u>71,67</u>	73,56	<u>0,58</u>
Teste 03.b	7,45	6,93	37,48	<u>97,6</u>	79,18	83,9	5,43
Teste 04.b	7,45	6,85	<u>49,27</u>	95,91	80,89	<u>87,83</u>	4,1
Teste 05.b	7,45	6,89	33,55	95,28	81,23	82,5	4,37
Teste 06.b	7,45	6,87	44,25	86,85	81,23	83,26	2,13

Legenda	
<u>Valor</u>	Maior remoção
<u>Valor</u>	Menor remoção

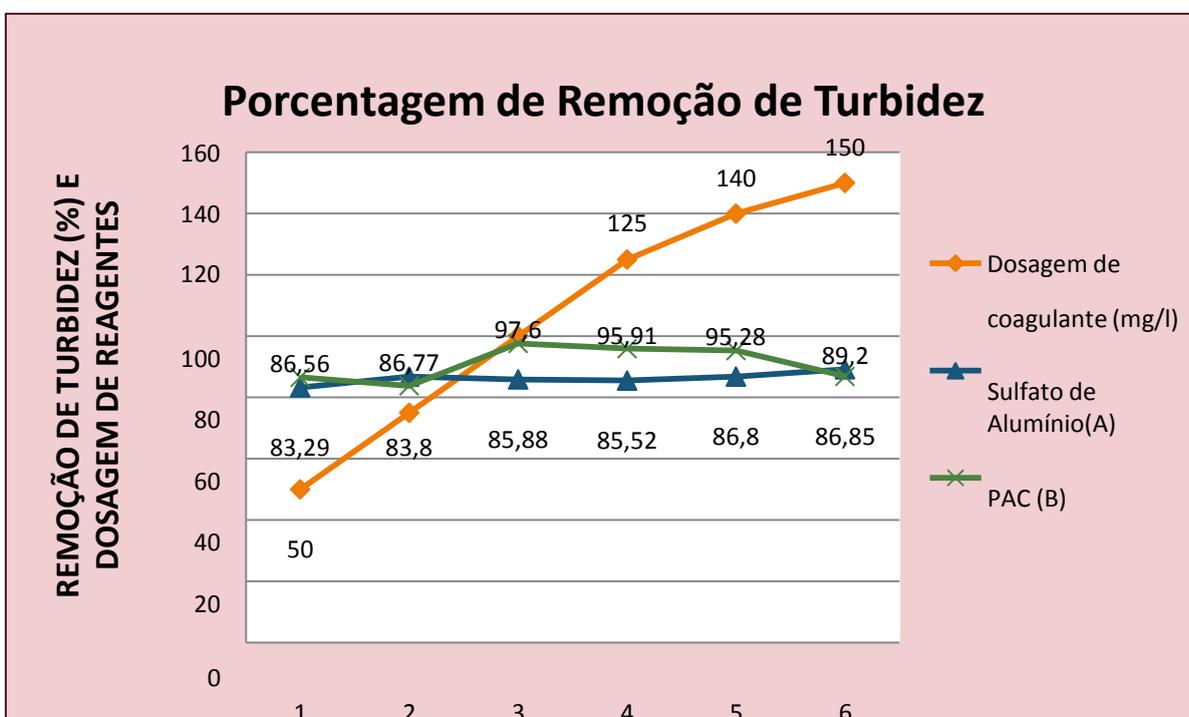
A remoção do parâmetro DBO (figura 25) pode ser otimizada utilizando outros métodos de tratamento além da FAD, sendo uma composição de técnicas. A melhor remoção do parâmetro foi no teste 04.b onde o valor foi de 49,27% e o menor foi de 17,56%, sendo no teste 02.a. No tratamento de efluentes oriundos da lavagem de veículos de coleta de resíduos sólidos, Freitas em 2013 obteve valores de remoção desse parâmetro acima de 91%. No trabalho atual, o teste 02.a onde foi utilizado o Sulfato de Alumínio e em pequenas quantidades, apresentou resultados inferiores que quando utilizado o coagulante PAC nas mesmas quantidades, como no teste 02.b. Através da figura 26, e das outras que apresentam as porcentagens de remoção de poluentes, observa-se graficamente que o coagulante PAC apresenta um ponto ótimo de eficiência, onde uma adição maior ou menor do mesmo torna o processo menos eficiente. O coagulante Sulfato de Alumínio apresentou maior variância nos resultados, não seguindo uma sequência lógica como o coagulante PAC.



**Figura 25:** Porcentagem de Remoção de DBO.

Em todos os testes o parâmetro turbidez obteve ótimos valores de remoção, onde estes foram superiores à 83% (figura 26), sendo que o melhor resultado foi no teste 03.b onde a eficiência foi de 97,6% de remoção. Nos testes realizados por

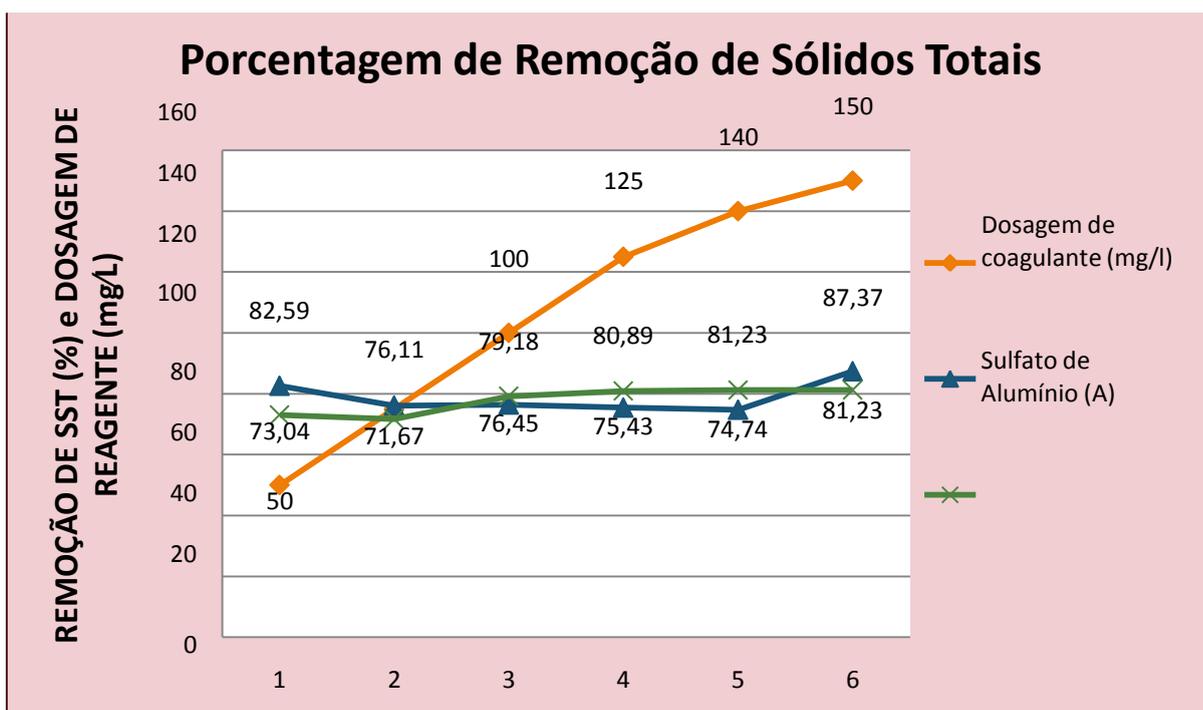
Teixeira em 2003, a pesquisadora obteve seus melhores resultados de remoção de turbidez, quando utilizou o coagulante PAC na dosagem de 50 mg/l, onde obteve a remoção de até 95% de remoção desse parâmetro. Em 2009, Luiz Vaz nos testes de tratabilidade de efluente líquido gerado em galvanoplastia realizou 16 testes utilizando o Sulfato de Alumínio, obtendo no seu melhor resultado uma remoção de 90,87% de turbidez. Os testes 04.b e 05.b do presente trabalho também obtiveram remoção do parâmetro acima de 90%. Observa-se que nos testes 03.a ao 05.a e os 03.b ao 05.b os valores de remoção foram muito próximos, indicando que para esses valores de remoção, a menor dosagem (100mg/l) pode ser empregada, reduzindo assim os custos.



**Figura 26:** Porcentagem de Remoção de Turbidez.

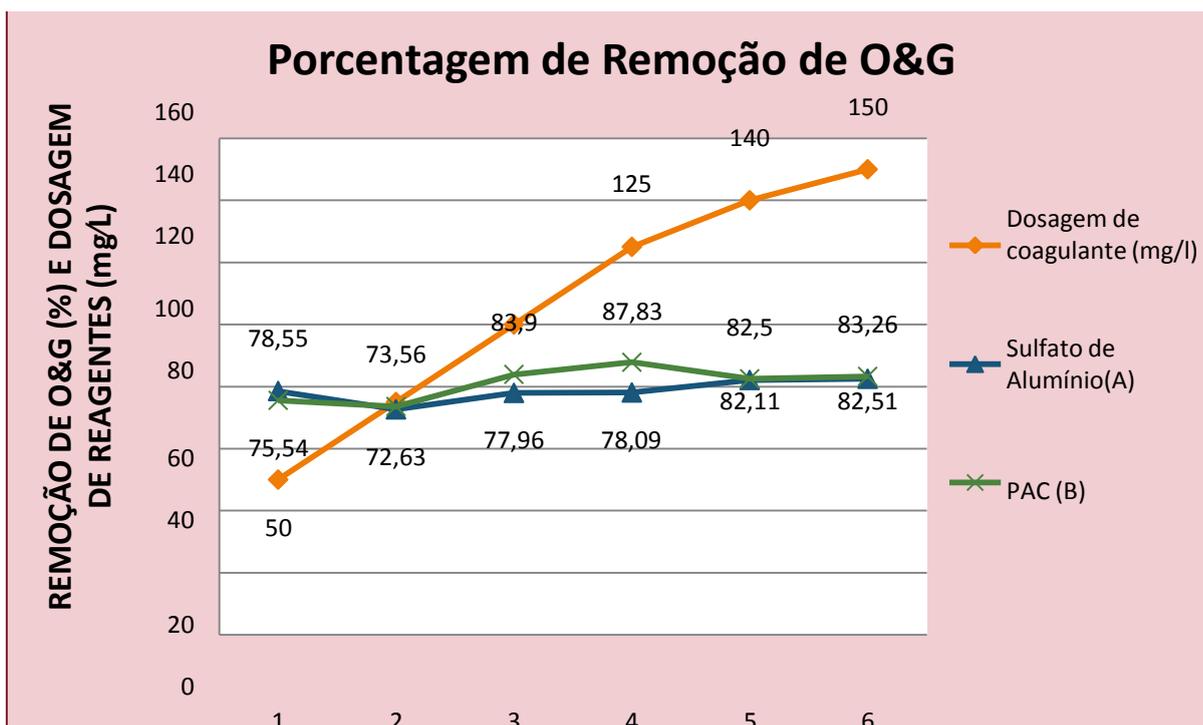
A melhor remoção de sólidos totais foi no teste 06.a (figura 27), onde a eficiência de remoção foi de 87,37 %. Para o mesmo coagulante, nos testes 03 ao 05 a eficiência de remoção foi praticamente igual, dessa forma, para esses valores de remoção, a menor dosagem também pode ser aplicada. Em 2009, Damasceno avaliando o tratamento de águas oleosas oriundas do processo de produção de óleo de dendê utilizando a flotação por ar dissolvido, nesse parâmetro teve remoção de 51,4% de remoção de SST.

A pesquisadora Cecchet em 2007 avaliando o desempenho da FAD no tratamento de efluentes de refinaria de óleo de soja, obteve na sua primeira batelada de ensaios remoção de SST de até 94,8% de remoção desse parâmetro. Na segunda e terceira batelada de ensaios, a mesma obteve remoções de 73,6 e 92,9% respectivamente.



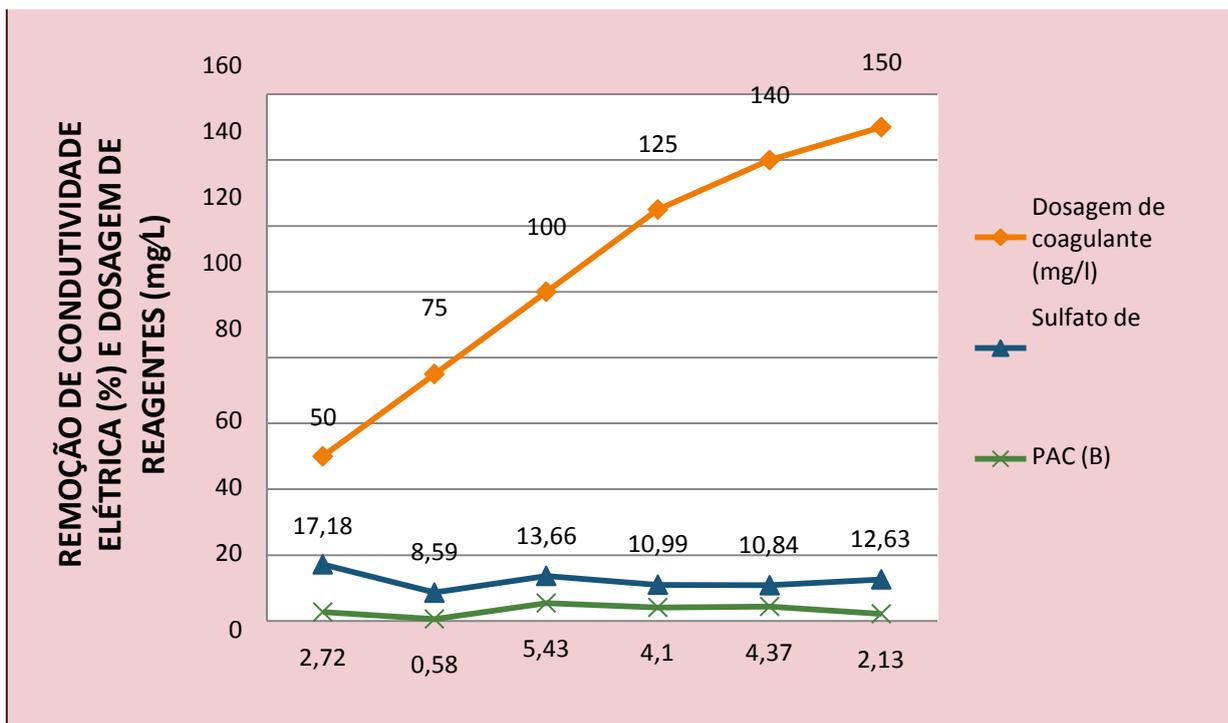
**Figura 27:** Porcentagem de Remoção de Sólidos Totais.

O melhor resultado de remoção de O&G, foi no teste de tratabilidade 04.b, onde o mesmo obteve 87,83% de remoção (figura 28). Garrido, J.W.A., *et al* em 2015 no trabalho de Avaliação da Técnica de Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento de Efluentes da Indústria de Petróleo obteve resultados de remoção do teor de óleos e graxas de até 98%. Considerando as pesquisas já realizadas, tal eficiência pode ser explicada devido ao fato de nesse tipo de efluente as gotículas de óleo esta presente com diâmetros maiores, o que favorece a sua remoção. Damasceno em 2009 utilizando o coagulante  $\text{FeCl}_3$  (100mg/l) conseguiu valores satisfatórios de remoção de O&G, sendo este de 86,2%. No presente estudo, a dosagem de 75 mg/l de coagulante, representou a menor remoção do parâmetro, tanto para o coagulante Sulfato de Alumínio como para o PAC.



**Figura 28:** Porcentagem de Remoção de O&G.

A maior remoção de condutividade (figura 29) foi no teste 01.a, onde o valor do mesmo foi de 17,18%, no entanto, no estudo realizado por Nolli em 2015, o pesquisador obteve até 49% de remoção desse parâmetro. Para o parâmetro Condutividade elétrica, nas mesmas dosagens, o coagulante Sulfato de Alumínio apresentou eficiência de remoção de no mínimo 2,5 vezes superior ao coagulante PAC.



**Figura 29:** Porcentagem de Remoção de Condutividade.

Considerando a faixa de erro, percebe-se que o melhor resultado em remoção dos principais poluentes do efluente, foi quando utilizado o coagulante PAC na dosagem de 120 mg/l juntamente com o floculante Rheomax 1050 na dosagem de 50 mg/l. Nesse teste a remoção de DBO, Turbidez, Sólidos Totais e O&G foi de 49,27; 95,91; 80,89 e 87,83% respectivamente.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas mesmas dosagens de agentes coagulantes, os resultados do coagulante PAC não foi de 2,5 vezes superiores ao coagulante Sulfato de Alumínio, como sendo a eficiência defendida por alguns pesquisadores, no entanto, obteve melhores resultados. Em pesquisas realizadas por Teixeira em 2003, a pesquisadora também obteve melhores resultados quando nos testes a mesma utilizou o coagulante PAC.

O estudo realizado por Priscila Teixeira foi para a pesquisa de “Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água”. A pesquisadora Cecchet em 2007 também obteve melhores

resultados de remoção dos parâmetros que confere poluição no efluente quando utilizou o coagulante PAC.

Dentre as vantagens da utilização da FAD para tratamento de águas residuárias, observou-se a eficiência do processo mesmo utilizando pequenas dosagens de reagentes (otimização de custos). Essas dosagens otimizadas causaram pouca variação no pH inicial, o que se torna favorável devido à não necessidade de utilização de reguladores de pH como forma de correção final do mesmo para disposição ou reuso.

A técnica de FAD demonstrou uma satisfatória eficiência no tratamento do efluente em questão, devido à obtenção de características favoráveis para o reuso, sendo que uma melhor compreensão dessa aplicação pode aperfeiçoar os resultados. A técnica também se mostra superior à tradicional técnica de sedimentação, isso devido à última necessitar de formação de flocos maiores, sendo assim, quantidades elevadas de agentes coagulantes. Testes realizados por Lopes em 2008, comparando a técnica de flotação com a de sedimentação, este obteve melhores porcentagens de remoção dos poluentes presentes na água a ser tratada, quando a primeira técnica foi aplicada. A técnica de sedimentação apresentou maiores valores remanescentes de turbidez.

Para os futuros trabalhos, recomenda-se a adoção de outros agentes coagulantes juntamente com a realização de vários testes de tratabilidade. Os testes também podem ser realizados utilizando diferentes tipos de agentes flocculantes. O polímero também pode ser adicionado no efluente como agente primário de coagulação ou continuar como auxiliar de coagulação. A alteração nas quantidades de reagentes também poderão favorecer resultados satisfatórios. Devido às diferentes dosagens adicionadas na suspensão não terem provocado variações significativas de remoções, sugere-se ampliar o número de amostras para verificar a influência dos eletrólitos e polieletrólitos. Outros fatores que podem ser alterados como forma de obtenção de melhores resultados são: variação no tempo de pressurização da água, introdução na polpa a ser tratada de um agente coletor e variação na pressão que conseqüentemente alterará a quantidade de microbolhas geradas. Para se obter maiores valores de remoção de turbidez, pode-se acrescentar ao processo um ensaio de filtração em filtros de papel ou de areia, simulando um ciclo completo de tratamento. Após a realização de novos testes de tratabilidade, comprovar a viabilidade do processo através de uma análise de custo.

## REFERÊNCIAS

AEG TECNOLOGIA – Meio Ambiente, Saneamento & Ambiência Ltda. **Flotador de Ar Dissolvido – FAD AgE** Disponível em:< <http://agetec.com.br/equipamentos/flotador-por-ar-dissolvido/>>. Acesso em: 19 de Mai. de 2016.

ALVES, F; LIMEIRA, A. **Revista Brasil Mineral**, v. 352, ano 2015. Sustentabilidade: Como a mineração trata a água? p.38-39. Disponível em:< <http://www.brasilmineral.com.br/revista/352/>>. Acesso em: 19 de Mai de 2016.

ANGELIS, F. T. **Utilização da Flotação na Remoção de Algas e Melhorias em uma ETA**. Trabalho Técnico da 34<sup>o</sup> Assembléia Nacional da ASSEMAE. Disponível em< <http://www.saneamentobasico.com.br/portal/wp-content/uploads/2013/02/UTILIZA%C3%87%C3%83O-DA-FLOTA%C3%87%C3%83O-NA-REMO%C3%87%C3%83O-DE-ALGAS.pdf>> Acesso em: 18 de Mar. de 2016.

ASSIS, R. S. S. **Remoção de Micricustis aeruginosa e microcistinas por flotação por ar dissolvido – Estudo em escala de bancada utilizando sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes**. Dissertação 119, p. (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília. Brasília – DF; 2006.

AQUAFLOT. **Petróleo e gás**. Disponível em:< <http://www.aquafлот.com.br/pagina/servico>>. Acesso em: 19 de Mai. de 2016.

BARBOSA, P. L. A. *et al.*, **Aplicação da poliacrilamida no tratamento de águas residuárias**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 51., 2011, São Luis. Anais... São Luis, 2011. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2011/trabalhos/8/8-131-10752.htm>>. Acesso em: 19 de Mai. 2016.

BOHN, F. P. **Tratamento de efluente gerado na lavagem de veículos**. Monografia 47 p. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Panambi – RS; 2014.

BUENO, F; VILELA, L. **Estudo da água residuária de lavagem de roupas hospitalares**. Monografia 32 p. (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Alfenas – UFA. Poços de Caldas – MG; 2014.

BRASIL. **Lei nº 9.439 de 03 de Maio de 2010**. Dispõe sobre a obrigatoriedade dos postos de combustíveis, lava-jatos, transportadoras, empresas de ônibus e locadoras de veículos instalarem equipamentos de tratamento e reutilização da água

usada na lavagem de veículos. Disponível em:<[http://www.al.es.gov.br/antigo\\_portal\\_ales/images/leis/html/9.439.htm](http://www.al.es.gov.br/antigo_portal_ales/images/leis/html/9.439.htm)>. Acesso em 19 de Mai. de 2016.

BRASIL. **Lei nº 6030 de 08 de Setembro de 2011.** Dispõe sobre a obrigatoriedade dos postos de combustíveis, lava rápidos, transportadoras e empresas de ônibus urbanos intermunicipais e interestaduais, localizados no estado do Rio de Janeiro, a instalarem equipamentos de tratamento e reutilização da água usada na lavagem de veículos. Disponível em:<<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/f25edae7e64db53b032564fe005262ef/0803b529b003fe678325790a006eb3be?OpenDocument>>. Acesso em: 21 de Mai. de 2016.

BRASIL. **Lei nº 16.160 de 13 de Abril de 2015.** Dispõe sobre sobre 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. Disponível em:<[ftp://ftp.saude.sp.gov.br/ftpsessp/bibliote/informe\\_eletronico/2015/leis.abr.15/leis69/M\\_LE-16160\\_130415.pdf](ftp://ftp.saude.sp.gov.br/ftpsessp/bibliote/informe_eletronico/2015/leis.abr.15/leis69/M_LE-16160_130415.pdf)>. Acesso em: 21 de Mai. de 2016.

CAMPOS, J. R. *et al.*, **Tratamento Físico-Químico por Flotação de Efluentes de Reatores Anaeróbios.** In: CONGRESO INTERAMERICANO INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXV., 1996. México. Anais... México, 1996. Disponível em:<[http://scholar.google.com.br/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=en&user=zloO5bsAAAJ&citation\\_for\\_view=zloO5bsAAAJ:qjMakFHDy7sC](http://scholar.google.com.br/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=zloO5bsAAAJ&citation_for_view=zloO5bsAAAJ:qjMakFHDy7sC)>. Acesso em: 21 de Mai. de 2016.

CAPPONI, F. N. **Avanços na recuperação de finos de minérios pelo processo de Flotação “Extensora”, o Caso da mina de Chuquicamata.** Dissertação 93 p. (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS. Porto Alegre- RS; 2005.

CECCHET, J. **Avaliação do desempenho de Flotação por Ar Dissolvido no tratamento de efluente de refinaria de óleo de soja.** Dissertação 104 p. (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel – PR; 2007.

CECCHET, J. *et., al.* Tratamento de efluente de refinaria de óleo de soja por sistema de flotação por ar dissolvido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v. 14. 2010. Disponível em<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662010000100011](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662010000100011)>. Acesso em: 19 de Mai. de 2016.

CBMM – COMPANHIA BRASILEIRA DE METALURGIA E MINERAÇÃO. **Conservação de Recursos Hídricos.** Disponível em:<<http://www.cbmm.com.br/br/p/213/conservacao-de-recursos-hidricos.aspx>> Acesso em: 19 de Mai. de 2016.

CORAL, L. A. **Remoção de Cianobactérias e Cianotoxinas em Águas de Abastecimento pela Associação de Flotação Por Ar Dissolvido e Nanofiltração.** Dissertação 198 p. (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC. Florianópolis – SC; 2009.

COUTINHO, W. **Emprego da Flotação a Ar Dissolvido no Tratamento de Cursos d'Água.** Avaliação de Desempenho da Estação de Tratamento dos Córregos Ressaca e Sarandi Afluentes à Represa da Pampulha. Dissertação 104 p. (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Belo Horizonte – MG; 2007.

DAMASCENO, L. C. **Tratamento de águas oleosas oriundas do processo de produção de óleo de dendê utilizando a Flotação por Ar Dissolvido.** Monografia 46 p. (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro – SP; 2009.

DURAN, K. A. **Estudo da viabilidade técnica e econômica de troca de Poli Cloreto de Alumínio por Cloreto Férrico no processo de coagulação do tratamento primário de efluente líquido em industria de produtos lácteos.** Monografia 30 p. (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal de Alfenas. Poços de Caldas – MG; 2014.

ENGENHO NOVO. **Tratamento de águas oleosas nas indústrias.** Disponível em:<<http://www.engenovo.com.br/pt/artigostecnicos/taoind.pdf>> Acesso em 19 de Mai. de 2016.

ETCHEPARE, R. G. **Integração de Processos no Tratamento de Efluentes de Lavagem de Veículos para Reciclagem de Água.** Dissertação 133 p. (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS. Porto Alegre – RS; 2012.

FERNANDES, E. A; SANTOS, H. I. **ANÁLISE DA OPERAÇÃO DA BARRAGEM DE REJEITOS DA MINERAÇÃO SERRA GRANDE S.A., MUNICÍPIO DE CRIXÁS, GOIÁS. 2008. 15F.** Universidade Católica de Goiás, 2008. Disponível em:<[http://ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/AN%C3%81LISE%20DA%20OPERA%C3%87%C3%83O%20DA%20BARRAGEM%20DE%20REJEITOS%20DA%20MINERA%C3%87%C3%83O%20SERRA%20GRANDE%20S\\_A\\_,%20MUNICIPIO%20DE%20CRIX%C3%81S.pdf](http://ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/AN%C3%81LISE%20DA%20OPERA%C3%87%C3%83O%20DA%20BARRAGEM%20DE%20REJEITOS%20DA%20MINERA%C3%87%C3%83O%20SERRA%20GRANDE%20S_A_,%20MUNICIPIO%20DE%20CRIX%C3%81S.pdf)>. Acesso em 19 de Mai. de 2016.



MARTINS, A. L. S. **Remoção de Chumbo e Bário de um efluente aquoso via Flotação por Ar Dissolvido**. Dissertação 80 p. (Mestrado em Ciência em Engenharia Química). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Seropédica – RJ; 2009.

MASSI, L. *et al.*; Fundamentos e Aplicação de Flotação como Técnica de Separação de Misturas. **Química Nova na Escola**. v. 28, Maio 2008.p. 20-23.  
Disponível em:<  
[http://qnint.sbq.org.br/qni/popup\\_visualizarConceito.php?idConceito=61&semFrame=1](http://qnint.sbq.org.br/qni/popup_visualizarConceito.php?idConceito=61&semFrame=1)>. Acesso em:< 19 de Mai. de 2016.

MATIOLO, E. **Flotação avançada para o tratamento e reaproveitamento de águas poluídas**. 2003, XIX Prêmio Jovem Cientista – Água: fonte de vida.  
Disponível em:< <http://docplayer.com.br/3260855-Flotacao-avancada-para-o-tratamento-e-reaproveitamento-de-aguas-poluidas.html>>. Acesso em: 20 de Mai. de 2016.

MELO, J. F. A. **Tratamento de Efluentes da Carcinicultura Por Flotação em Coluna e Flotação Por Ar Dissolvido**. Dissertação 42 p. (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais). Universidade Católica de Pernambuco - UCP. Recife – PB; 2010.

MIERZWA, J. C. **O Uso Racional e o Reuso como Ferramentas para o Gerenciamento de Águas e Efluentes na Indústria Estudo de Caso Kodak Brasileira**. Tese 367 p. (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Universidade de São Paulo – SP; 2002.

MORELLI, E. B. **Reúso de Água na Lavagem de Veículos**. Dissertação 92 p. (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo – SP; 2005.

MORENO, F. N. **Tratamento de Efluentes de uma Indústria de reciclagem de embalagens plásticas de óleos lubrificantes: Processo biológico e físico-químico**. Dissertação 142 p. (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas – SP; 2007.

MORUZZI, R; PATRIZZI, L; REALI, M. **Flotação por Ar Dissolvido Aplicada na Clarificação de Águas que Apresentam Picos de Turbidez**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, São Carlos. Anais... São Carlos, ABES, 2003. Disponível em<  
[http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/rodrigo/flotacao\\_por.pdf](http://www.rc.unesp.br/igce/planejamento/download/rodrigo/flotacao_por.pdf)>  
Acesso em: 18 de Mar. de 2016.

MONTEIRO, M. I. **Tratamento de efluentes oleosos provenientes da indústria metal mecânica e seu reúso**. Tese 148 p. (Doutorado em Biotecnologia Industrial). Universidade de São Paulo - USP. Lorena – SP; 2006.

NOLLI, P. T. G. **Avaliação da técnica de Flotação por Ar Dissolvido (FAD) no tratamento de efluentes gerados em uma oficina de equipamentos móveis de uma empresa mineradora**. Monografia 50 p. (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária). Centro Universitário do Planalto de Araxá – UNIARAXÁ. Araxá-MG; 2015.

PASSOS, J. B. **Reúso de água: uma proposta de redução do consumo de água em curtumes**. Dissertação 99 p. (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS. Porto Alegre – RG; 2007.

PÁDUA, H. B. **Sólidos totais em sistemas aquáticos**. Disponível em: <<http://www.pisciculturafb.com.br/artigos12.htm>>. Acessado em: 19 de Mai. de 2016.

PAIVA, L. C; SOUZA, A. O. Avaliação de alguns parâmetros físico-químicos da água do rio Riachão no município de Caatiba-BA. Enciclopedia Biosfera, **Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v.6, p.1-11, 2010.

PERALTA, A. H. *et al.*, **Tratamento de Efluentes de Lavagem de Veículos Por Eletrocoagulação e Eletroflotação**. (2014) Iniciação Científica, Engenharia Ambiental, UTFPR. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/ENGENHARIAS/tratamento.pdf>>. Acesso em: 21 de Mai. de 2016.

PENA, R. F. A. **Práticas que mais consomem água**. Mundo Educação. Disponível em: < <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/praticas-que-mais-consomem-agua.htm>>. Acesso em: 21 de Mai. de 2016.

PREMIO REPSOL TPF EXCELENCIA ACADEMICA. 2001. **Desenvolvimento de um Flotador Centrífugo, de Alta Capacidade, para o Tratamento de águas Oleosas / Análise Termodinâmica de Colunas de Destilação Visando à Otimização Energética / Catalisadores Automotivos: Compromisso com a Qualidade do Ar**. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=IYpdczf3cwC&pg=PA26&lpg=PA26&dq=Sandtander,+M.,+1998.+Separa%C3%A7%C3%A3o+de+%C3%B3leos+emulsificados+por+flota%C3%A7%C3%A3o+n%C3%A3o+convencional.+Tese+de&source=bl&ots=U5jflPUjCM&sig=X6HTpdvZW\\_mQHpExVbcLSUA9VYo&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwipq-iFv8DLAhXKhpAKHfroDikQ6AEIHzAA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=IYpdczf3cwC&pg=PA26&lpg=PA26&dq=Sandtander,+M.,+1998.+Separa%C3%A7%C3%A3o+de+%C3%B3leos+emulsificados+por+flota%C3%A7%C3%A3o+n%C3%A3o+convencional.+Tese+de&source=bl&ots=U5jflPUjCM&sig=X6HTpdvZW_mQHpExVbcLSUA9VYo&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwipq-iFv8DLAhXKhpAKHfroDikQ6AEIHzAA#v=onepage&q&f=false)> Acesso em: 14 de Mar. de 2016.

PROJETO FLORESTAL RECICLA. **Pesquisadores da UFRGS desenvolvem técnica para reutilização de água.** Disponível em: <<http://www.florestalrecicla.com/2013/12/pesquisadores-da-ufrgs-desenvolvem.html>>. Acesso em: 03 de Mar. de 2016.

QUARTAROLI, L. **Aplicação da Flotação por Ar Dissolvido como pós-tratamento de efluente de lodo ativado em uma indústria de papel e celulose.** Dissertação 95 p. (Mestrado Ciências Florestais). Universidade Estadual do Centro-Oeste, UNICENTRO. Irati, PR, 2012.

RODRIGUES, R. T. **Desenvolvimento da Técnica LMT-BSizer para a Caracterização de Bolhas e Avaliação de Parâmetros no Processo de Flotação.** Tese 114 p. (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS. Porto Alegre – RS; 2004.

ROSA, J. J. **Tratamento de efluentes oleosos por floculação pneumática em linha e separação por Flotação – Processo FF.** Tese 97 p. (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre – RG; 2002.

ROSA, L, *et al.*; Caracterização de águas residuárias oriundas de empresas de lavagem de veículos e impactos ambientais. **Ambi - Agua**, Taubaté, v. 6, p. 179-199, 2010.

RUBIM, C. **O Trabalho da Flotação e aeração.** 2013. Disponível em <<http://www.meiofiltrante.com.br/internas.asp?id=14746&link=noticias>> Acesso em: 19 de Mai. de 2016.

SCHOENHALS, M. **Avaliação da eficiência do processo de Flotação aplicado ao tratamento primário de fluentes de abatedouro avícola.** Dissertação 87 p. (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC; 2006.

SCHULZ, A. K. **Tratamento de efluentes oleosos utilizando processos de separação por membranas.** Resumo Tese 146. (Doutorado em Ciências em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro – RJ; 2005.

SILVA, F. A. N. G. **Utilização da Flotação por Ar Dissolvido na recuperação de água da indústria mineral.** Bolsista de Inic. Científica, Química Licenciatura, UFRJ.

SILVA, P. K. L. **Remoção de Óleo da Água de Produção Por Flotação em Coluna Utilizando Tensoativos de Origem Vegetal**. Dissertação 104 p. (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal – RN; 2008.

TEIXEIRA, P. C. **Emprego da Flotação por ar dissolvido no tratamento de efluentes de lavagem de veículos visando a reciclagem da água**. Dissertação 171 p. (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP; 2003.

TOLEDO, A. V. **Condições Ambientais dos Recursos hídricos urbanos do distrito de Rondominas - RO: Uma análise do Igarapé Barroca**. 2012. Disponível em: <http://www.webartigos.com/artigos/condicoes-ambientais-dos-recursos-hidricos-urbanos-do-distrito-de-rondominas-ro-uma-analise-do-igarape-barroca/101930/> Acesso em: 21 de Mai. de 2016.

EBAH. **Tratamento de Água para Caldeiras**. Disponível em: [www.ebah.com.br/content/ABAAAgPC4AA/tratamento-agua-caldeiras?part=2](http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgPC4AA/tratamento-agua-caldeiras?part=2). Acesso em: 19 de Mai. de 2016.

SNATURAL. **Tratamento Preliminar da Água**. Disponível em: <http://www.snatural.com.br/Tratamento-Agua-Flotador.html> Acesso em: 19 de Mai. de 2016.

VAZ, L. G. L. **Performance do processo de coagulação / floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia**. Dissertação 83 p. (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

WIMMER, A. C. S. **Aplicação do processo eletrolítico no tratamento de efluentes de uma indústria petroquímica**. Resumo Dissertação 22 p. (Mestrado em Engenharia Metalúrgica). Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC, Rio de Janeiro – RJ; 2007.

WIKIPEDIA. **Zeta potential**. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Zeta\\_potential](https://en.wikipedia.org/wiki/Zeta_potential) Acesso em: 19 de Mai. de 2016.

ZIMMERMANN, V. E. **Desenvolvimento de Tecnologia Alternativa para Tratamento de Efluentes Visando a Reutilização da Água de Postos de Lavagem de Veículos**. Dissertação 120 p. (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE . Toledo – PR; 2008.