

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**GABRIEL TACCOLINI PAPP**

**PÓS-TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO POR FLOTAÇÃO FAD EM  
EFLUENTES DE LATICÍNIOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**MEDIANEIRA**

**2017**

**GABRIEL TACCOLINI PAPP**

**PÓS-TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO POR FLOTAÇÃO FAD EM  
EFLUENTES DE LATICÍNIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheiro  
Ambiental, da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dra. Juliana Bortoli  
Rodrigues Mees

Co-orientadora: Prof. Me. Juliana Fenner  
Ruas Lucas.

**MEDIANEIRA**

**2017**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me ajudado a superar todos os obstáculos e por ter me dado forças para sempre seguir em frente.

À minha família, pelo grande apoio e por sempre acreditar em meus sonhos.

À Professora Dra. Juliana Bortoli Rodrigues Mees, pela paciência, atenção e competência na orientação. Agradeço por me auxiliar e encorajar a estudar uma das áreas que mais me identifico.

À Gisele Maria Brod Caldereiro e Geomaro da Silva Martins, pelo fornecimento de dados, acesso à empresa e esclarecimentos de dúvidas ao longo do trabalho.

Agradeço aos meus colegas que me ajudaram nesta jornada, tanto pela amizade quanto pelo auxílio.

Em especial agradeço a Andressa Corso, pela paciência, conselhos e pela enorme apoio fornecido para a realização deste trabalho.

Por fim, gostaria de deixar meus sinceros agradecimentos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná e aos professores da graduação, que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional.

*“Eu não sou um produto de minhas circunstâncias. Eu sou um produto de minhas decisões.”*

(Stephen Covey)

## RESUMO

PAPP, Gabriel T. **Pós-Tratamento físico-químico por flotação FAD em efluentes de laticínios**. 2017. 83 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2017.

A agroindústria de laticínios constitui um setor de grande relevância mundialmente, que utiliza bilhões de litros de água em sua produção. Atrelado à produção tem-se uma grande geração de efluentes que sem o tratamento adequado acabam se tornando um problema ambiental devido ao seu potencial poluidor, decorrente principalmente do aumento de cargas orgânicas nestes efluentes. Complementar ao tratamento convencional em alguns casos é feita a aplicação de um pós-tratamento visando uma melhor qualidade de saída do efluente e o cumprimento às legislações vigentes. A escolha do sistema tratamento deve ser efetuada de acordo com as características físico-químicas dos efluentes. Uma das formas utilizadas é a flotação precedida de coagulação/floculação, que por meio de agentes coagulantes e floculantes permite a aglomeração de partículas possibilitando a flotação. Essas substâncias utilizadas, são produtos químicos normalmente à base de alumínio ou ferro, acarretando em geração de lodos com altas concentrações de íons metálicos, dificultando e encarecendo a destinação do lodo. Tendo em vista os problemas citados, vêm sendo estudados e utilizados coagulantes e floculantes com base orgânica, uma vez que estes geram lodos biodegradáveis que podem ser destinados para adubação do solo. Assim, este trabalho teve por objetivo comparar a eficiência de coagulantes e floculantes inorgânicos e com bases orgânicas, associadas ao processo de flotação e sedimentação em escala de bancada, no tratamento de efluente de uma agroindústria. Estudaram-se os coagulantes NOVFLOC, e o floculante POLFLOC da NOVTEC e o coagulante KLARAID 1176 L da GE. Foi aplicada a metodologia de planejamento experimental e otimização de processos, utilizando como variáveis independentes a concentração de coagulantes e floculantes, tendo como variável resposta a remoção de turbidez. Como primeiro passo foi realizado o planejamento inicial fatorial  $2^2$  de sedimentação e flotação visando ajustar as faixas de aplicação, seguindo para um delineamento composto central rotacional - DCCR visando à otimização dos processos da sedimentação e flotação. Com a utilização do coagulante Klaraid 1176L auxiliado pelo floculante Polfloc, foi obtido uma remoção de turbidez em sedimentação de até 78,93%, com 390 a 427 ppm de coagulante e 9 a 12 ppm de floculante, para flotação os melhores resultados obtiveram até 74,92% de remoção, com 390 a 427 ppm de coagulante e 10 a 13 ppm de floculante. Já, com o coagulante com base orgânica Novfloc auxiliado pelo floculante Polfloc, a eficiência para sedimentação chegou até 78,09% com a faixa de 390 a 427 ppm de coagulante e de 7 a 10 ppm de floculante, na flotação o resultado foi de até 72,11%, com 390 a 427 ppm de coagulante e de 10 a 13 ppm de floculante.

**Palavras chave:** Coagulação. Floculação. Flotação. Efluente. Laticínios.

## ABSTRACT

PAPP, Gabriel T. **Post-physical-chemical treatment by FAD flotation in dairy effluents**. 2017. 83 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2017.

The dairy industry is a sector of great relevance worldwide and, uses billions of liters of water in its production. Linked to the large production, there is a large generation of effluents that without adequate treatment end up becoming an environmental problem due to its great polluting potential and, mainly to the increase of organic loads in these effluents. Additional to the conventional treatment, in some cases, the application of a post-treatment aims at a better quality of effluent output, and to comply with the current legislation. The choice of the treatment system should be made accordingly to the physical-chemical characteristics of the effluents. One of the methods used is flotation preceded by coagulation/flocculation. This method, through coagulating and flocculating agents, allows the agglomeration of particles and the making flotation possible. These substances generally use chemical products based on aluminum or iron, resulting in the generation of sludge with high concentrations of metallic ions. Also, it makes the disposal of sludge more expensive. Considering the problems mentioned, coagulants and organic based flocculants have been studied and used, once they generate biodegradable sludge that can be destined to fertilize the soil. Thus, the purpose of this work is to compare the efficiency of inorganic coagulants and flocculants with organic bases, to the bench scale flotation process, in the treatment of effluent from an agroindustry. It was studied the coagulants NOVFLUC, and the flocculant POLFLUC from NOVTEC, and the coagulant KLARAID 1176 from GE. It was applied the experimental design methodology and process optimization, using, as independent variables, the concentration of coagulants and flocculants, with the response variable the removal of turbidity. As a first step, the initial factorial 22 planning of sedimentation and flotation was done aiming to adjust the application ranges, followed by a central rotational compound design - DCCR aiming at the optimization of sedimentation and flotation processes. With the use of the Klaraid 1176L coagulant aided by the Polfloc flocculant, a sedimentation turbidity removal of up to 78,93% was obtained, with 390 to 427 ppm of coagulant and 9 to 12 ppm of flocculant. For flotation the best results obtained up to 74,92% removal, with 390 to 427 ppm of coagulant and 10 to 13 ppm of flocculant. However, with the Novfloc organic base coagulant assisted by the Polfloc flocculant, the sedimentation efficiency reached up to 78,09% with the range of 390 to 427 ppm of coagulant and 7 to 10 ppm of flocculant, in the flotation the result was up to 72,11% with 390 to 427 ppm of coagulant and 10 to 13 ppm of flocculant.

Key words: Coagulation. Flocculation. Flotation. Effluent. Dairy products.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Configuração esquemática da dupla camada elétrica.....	21
Figura 2 - Desestabilização por varredura. ....	22
Figura 3 - Formação de pontes entre partículas com polímeros. ....	23
Figura 4 - Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da indústria.....	32
Figura 5 - Descrição do Equipamento Jar-Test. ....	35
Figura 6 - Gradiente de velocidade x rotação do agitador.....	35
Figura 7 - Esquema do Equipamento.....	36
Figura 8 - Câmara de Pressão. ....	37
Figura 9 - Jarro de Flotação .....	38
Figura 10 - Vista frontal do jarro de flotação (sem escala) .....	38
Figura 11 - Vista superior do jarro de flotação (sem escala) .....	38
Figura 12 - Placa superior e placa inferior do jarro de acordo com Centurione Filho (2002).....	39
Figura 13 - Jar-Test utilizado nos ensaios.....	41
Figura 14 - Ensaio de Sedimentação no Jar-Test. ....	43
Figura 15 - Equipamento Flota-Test.....	45
Figura 16 - Ensaio de Flotação no equipamento Flota-Test.....	46
Figura 17 - Coágulos formados pela adição de Novfloc.....	50
Figura 18 - Coágulos formados pela adição de Klaraid.....	50
Figura 19 - Diagrama de Pareto (A - para o Klaraid) (B - para o Novfloc).....	53
Figura 20 - Gráfico de Probabilidade Normal dos Resíduos (A - Novfloc) (B - Klaraid). .....	56
Figura 21 - Gráfico dos Resíduos pelos Valores Observados (A - Novfloc) (B - Klaraid). .....	57
Figura 22 - Diagrama de Pareto (A - Para o Klaraid) (B - Para o Novfloc). ....	57
Figura 23 - Gráfico de Superfície Klaraid. ....	59
Figura 24 - Gráfico de Superfície Novfloc. ....	59
Figura 25 - Diagrama de Pareto (A - para o Klaraid) (B - para o Novfloc).....	62
Figura 26 - Gráfico de Probabilidade Normal dos Resíduos (A - Novfloc) (B - Klaraid). .....	65

Figura 27 - Gráfico dos Resíduos pelos Valores Observados (A - Novfloc) (B - Klaraid).....	66
Figura 28 - Diagrama de Pareto (A - Para o Klaraid) (B - Para o Novfloc).....	66
Figura 29 - Gráfico de Superfície Klaraid. ....	68
Figura 30 - Gráfico de Superfície Novfloc. ....	69



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros básicos para o efluente bruto proveniente de laticínios, segundo diferentes autores. ....	16
Tabela 2 - Faixa de pH que os coagulantes são utilizados. ....	24
Tabela 3 - Valores recomendados para ensaios em Jar-Test. ....	27
Tabela 4 - Objetivos da flotação. ....	30
Tabela 5 - Sistema de tratamento. ....	33
Tabela 6 - Concentrações utilizadas para a dosagem. ....	42
Tabela 7 - Planejamento experimental de sedimentação. ....	44
Tabela 8 - Variáveis reais e codificadas. ....	44
Tabela 9 - Níveis reais e codificados. ....	45
Tabela 10 - Planejamentos experimentais estudados. ....	47
Tabela 11 - Níveis codificados das variáveis estudadas. ....	47
Tabela 12 - Níveis reais e codificados do DCCR. ....	47
Tabela 13 - Dosagem mínima de coagulante. ....	49
Tabela 14 - pH (NOVFLOC E KLARAID 11767L). ....	50
Tabela 15 - Matriz do planejamento $(2)^2$ com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em sedimentação. ....	52
Tabela 16 - Matriz do planejamento $(2)^2$ com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em sedimentação. ....	52
Tabela 17 - Análise dos efeitos. ....	53
Tabela 18 - Análise de variância para remoção de turbidez. ....	54
Tabela 19 - Matriz do DCCR para Sedimentação (Níveis Reais e Codificados). ....	55
Tabela 20 - Análise de Variância (95%). ....	58
Tabela 21 - Matriz do planejamento $(2)^2$ com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em flotação. ....	61
Tabela 22 - Matriz do planejamento $(2)^2$ com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em flotação. ....	61
Tabela 23 - Análise dos efeitos. ....	62
Tabela 24 - Análise de variância para remoção de turbidez. ....	63
Tabela 25 - Matriz do DCCR para Flotação (Níveis Reais e Codificados). ....	64
Tabela 26 - Análise de Variância (95%). ....	67

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1 GERAÇÃO DE EFLUENTES POR INDÚSTRIAS DE LATICÍNIOS .....	15
2.1.1 EFLUENTES DE LATICÍNIOS .....	16
2.2 TRATAMENTOS APLICADOS EM EFLUENTES DE AGROINDÚSTRIAS .....	17
2.3 TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO: COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO.....	18
2.3.1 MECANISMOS DA COAGULAÇÃO.....	19
2.3.1.1 ADSORÇÃO E NEUTRALIZAÇÃO DE CARGAS.....	19
2.3.1.2 COMPRESSÃO DA CAMADA DIFUSA .....	20
2.3.1.3 VARREDURA .....	21
2.3.1.4 ADSORÇÃO E FORMAÇÃO DE PONTES .....	22
2.3.2 COAGULANTES INORGÂNICOS .....	23
2.3.3 COAGULANTES ORGÂNICOS.....	25
2.3.3.1 TANINOS .....	26
2.4 SEDIMENTAÇÃO .....	27
2.5 FLOTAÇÃO.....	28
2.5.1 FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD).....	29
2.5.2 APLICAÇÃO DA FLOTAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS .....	30
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DO EXPERIEMNTO .....	31
3.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE .....	34
3.3 EQUIPAMENTOS DE BANCADA PARA ENSAIOS DE SEDIMENTAÇÃO E FLOTAÇÃO .....	34
3.3.1 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO JAR-TEST .....	34
3.3.2 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO FLOTA-TEST.....	36
3.4 ENSAIOS PRELIMINARES DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO.....	39
3.4.1 PREPARO DOS COAGULANTES E FLOCULANTES.....	39

3.4.1.1	NOVFLOC 1540 .....	39
3.4.1.2	POLFLOC D150 .....	40
3.4.1.3	KLARAIID IC 1176L - PAC .....	40
3.4.2	ENSAIOS PRELIMINARES DE COAGULAÇÃO .....	41
3.4.2.1	DOSAGEM MÍNIMA DE COAGULANTE.....	41
3.4.2.2	DETERMINAÇÃO DO PH .....	42
3.5	ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO.....	43
3.6	ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E FLOTAÇÃO .....	45
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>		<b>49</b>
4.1	RESULTADOS DOS ENSAIOS PRELIMINARES .....	49
4.1.1	DOSAGEM MÍNIMA DE COAGULANTE.....	49
4.1.2	PH DE COAGULAÇÃO .....	50
4.2	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	51
4.2.1	PLANEJAMENTO INICIAL: FATORIAL (2) <sup>2</sup> SEDIMENTAÇÃO .....	51
4.2.2	DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL DE SEDIMENTAÇÃO.....	55
4.2.3	PLANEJAMENTO INICIAL: FATORIAL (2) <sup>2</sup> FLOTAÇÃO.....	61
4.2.4	DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL DE FLOTAÇÃO .....	64
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>		<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>		<b>73</b>
<b>APÊNDICE I – MANUAL DE OPERAÇÃO FLOTA-TEST. ....</b>		<b>I</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento populacional e industrial, maior tem sido a demanda por água, e embora este recurso seja renovável e natural, pode ser considerado escasso, devido ao fato de que apenas uma pequena parcela de água disponível no Planeta seja doce e parte desta não esteja de fácil acesso para utilização e consumo humano, sem o devido tratamento.

Após a utilização das águas, alteram-se suas características físico-químicas, acarretando a geração de efluentes domésticos, sanitários e líquidos industriais. De maneira geral os esgotos possuem como componentes inorgânicos: sulfatos, nitratos e fosfatos, e componentes orgânicos: as gorduras, óleos e microrganismos. Estes efluentes, se descartados de forma incorreta e sem o devido tratamento, acabam gerando problemas ambientais, como por exemplo o aumento de cargas orgânicas nos corpos hídricos receptores, geração de toxicidade, inserção de organismos patogênicos, odores, entre outros fatores.

A indústria de laticínios, comparada com algumas outras indústrias, tem o consumo de água elevado, gerando assim uma quantidade maior de efluente para o tratamento, tendo em vista que este efluente é de característica orgânica, contendo grandes quantidades de nutrientes, alta concentração de DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, DQO – Demanda Química de Oxigênio, óleos e graxas, e assim se faz necessário o seu tratamento.

Para o tratamento de águas residuárias provenientes de agroindústrias, geralmente se faz o uso de processos biológicos, tais como lagoas de estabilização, combinados à processos físicos e físico-químicos, dos quais pode-se citar peneiramento e ou gradeamento, coagulação, floculação, sedimentação e flotação. Para o tratamento físico-químico, é comum o auxílio de coagulantes inorgânicos a base de ferro ou alumínio, devido ao seu custo-benefício e sua eficiência. Em contrapartida, avaliando este uso do ponto de vista ambiental, estes tipos de coagulantes trazem consigo alguns pontos negativos, pois além de levar resquícios de sais de ferro e alumínio no lodo, estes coagulantes podem ser tóxicos e não são biodegradáveis (NUNES, 2012). Desta maneira os lodos gerados a partir destes tipos de coagulantes se tornam um problema e necessitam de tratamento e uma disposição final correta.

Visando uma alternativa e formas para minimizar estes tipos de problemas em estações de tratamento de águas, líquidos industriais e esgotos, tem-se como opção a substituição dos coagulantes inorgânicos com sulfato de alumínio, cloreto férrico e o policloreto de alumínio (PAC), por coagulantes orgânicos que vêm sendo utilizados e estudados, como os coagulantes à base de taninos e sementes como a *Moringa oleifera*, pois estes são biodegradáveis, menos agressivos e não tóxicos. Assim o lodo gerado, devido às suas características, pode ser destinado ao uso agrícola como a adubação e recuperação de áreas degradadas, sem apresentar riscos de contaminação.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o emprego da flotação por ar dissolvido (FAD) comparando com a sedimentação no pós-tratamento de efluente de laticínio, em escala laboratorial, utilizando coagulantes orgânicos e inorgânicos.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar físico-quimicamente o efluente secundário de laticínio por meio dos parâmetros: pH e turbidez;
- Verificar em ensaios preliminares a dosagem mínima e o pH de coagulação para o efluente em estudo;
- Determinar a faixa de dosagem ótima de cada coagulante no processo de coagulação/floculação seguido de sedimentação em Jar-test, bem como de flotação por ar dissolvido (FAD) no equipamento Flota-test;
- Comparar o desempenho, com base nos parâmetros físico-químicos, do coagulante comercial Novfloc, orgânico à base de tanino e o coagulante inorgânico policloreto de alumínio (Klaraid) no processo de coagulação/floculação seguido de sedimentação e de flotação por ar dissolvido (FAD);
- Monitorar parâmetros como pH, temperatura, pressão aplicada, razão de recirculação e gradiente de velocidade.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GERAÇÃO DE EFLUENTES POR INDÚSTRIAS DE LATICÍNIOS

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2015 as indústrias de laticínios representaram um setor de grande relevância no Brasil, devido ao fato do país ser um dos maiores produtores mundiais de leite, com uma produção de 35 bilhões de litros de leite em 2015, sendo 12,32 bilhões de litros produzidos na região sul, responsável por 35,2% da produção nacional, o estado do Paraná fica em segundo lugar na produção de 4,66 bilhões de litros de leite em 2015 ficando atrás apenas de Minas Gerais (IBGE, 2015).

Decorrente da grande produção de derivados do leite tem-se uma elevada geração de efluentes nessas indústrias, onde em geral têm-se como principais focos de geração, as etapas de: lavagem e limpeza, perdas no processo, descarte de produtos e operações deficientes de equipamentos, resultando em valores de 1 a 6 litros de despejo de efluentes para cada litro de leite processado (CETESB, 2008). Para Vourch et al. (2008) os valores estão entre 0,2 litros até 10 litros de efluente por litro de leite processado, levando em consideração que grande parte desta geração situa-se na lavagem.

Villa; Silva; Nogueira (2007) estimam uma geração média de 2,5 litros de efluente para cada litro de leite processado, chegando a valores anuais próximos a 40 bilhões de litros de efluentes produzidos no Brasil, sendo assim seguindo esta metodologia em 2015 somente no estado Paraná houve uma geração aproximada de 11,65 bilhões de litros de efluente líquidos.

Segundo a Associação brasileira de normas técnicas (ABNT) – NBR 9.800/1987 após as saídas de processos industriais, estes efluentes são definidos como efluentes líquidos industriais, que compreendem efluentes de processos industriais, águas de refrigeração, águas pluviais poluídas e esgotos domésticos.

Esses efluentes quando descartados de forma incorreta, acabam acarretando impactos, como: a contaminação do solo, ar e corpos hídricos receptores, assim se faz necessário o devido tratamento e disposição final. Segundo Vourch et al. (2008) mesmo com grandes recursos hídricos, a disponibilidade destes e o aumento de

custos, faz com que uma opção como a reutilização seja um fator a se pensar para diminuir o consumo de água, conforme recomendação da agência nacional de águas (ANA, 2005) e *Environmental Protection Agency* (EPA), que exigem uma qualidade mínima para águas de reuso.

### 2.1.1 Efluentes de Laticínios

Segundo Villa; Silva; Nogueira (2007) os efluentes líquidos gerados em uma agroindústria de laticínios apresentam elevadas concentrações de DBO e DQO, isto se deve ao fato das elevadas quantidades de carboidratos, proteínas e lipídios. Santos et al. (2009) ressaltam que os constituintes desse efluente incluem em geral: detergentes, desinfetantes, areia, açúcares, que passam a ser diluídos nas lavagens dos equipamentos e demais instalações da indústria.

De acordo com Britz; Robinson (2008) além de todos os componentes acima citados que aumentam a complexidade do tratamento, tem-se que os fluxos do efluente lácteo possuem variações de pH gerados pela aplicação de produtos de limpeza e de desinfetantes, acarretando na geração de diferentes tipos de efluentes e com diferentes qualidades ao longo do dia. A escolha do tipo de tratamento deve considerar as características do efluente gerado e as possíveis variações de qualidade do mesmo. Na Tabela 1, têm-se valores típicos para algumas das principais características dos efluentes de laticínios segundo vários autores.

**Tabela 1 - Parâmetros básicos para o efluente bruto proveniente de laticínios, segundo diferentes autores.**

Parâmetros	Cavalcanti (2012)	Sarkar et al. (2006)	Schmitt (2011)	Cetesb (2008)
pH	-	5,5 - 7,5	7,59	5,3 - 9,4
Turbidez (NTU)	-	15 - 30	711	-
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	100 – 500	250 – 600	540	135 - 8500
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	500 – 5000	1500 - 3000	2370	500 - 4500
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	200 – 2000	350 – 600	756	450 - 4790
Óleos e Graxas (mg.L <sup>-1</sup> )	>500	-	33	35 - 500



## 2.2 TRATAMENTOS APLICADOS EM EFLUENTES DE AGROINDÚSTRIAS

De acordo com Nunes (2012) a escolha do tipo de tratamento para águas residuárias oscila de acordo com as características do efluente e condições dos corpos receptores, assim os tratamentos seguem operações físicas, processos químicos e biológicos. Andrade (2011) reforça que em laticínios o sistema convencional de tratamento de efluentes envolve o uso da etapa preliminar para a remoção de sólidos grosseiros e gorduras, seguindo para a etapa secundária para remoção de matéria orgânica e alguns nutrientes, e etapas terciárias de acordo com a exigência.

No pré-tratamento ou etapa preliminar, tem-se a remoção de sólidos grosseiros (materiais com maiores dimensões), materiais sedimentáveis e flutuantes, geralmente utiliza-se caixas de retenção de óleos e gorduras (NUNES, 2012). Esta etapa se faz necessária e de grande importância para melhorar as eficiências do tratamento e evitando possíveis danos a equipamentos (RENAULT et al., 2009). Na mesma linha de pensamento Andrade (2011) aborda que geralmente em efluentes de laticínios utiliza-se gradeamento para remoção de sólidos grosseiros com maiores dimensões e caixas de gorduras.

Saindo do pré-tratamento ou etapa preliminar, como tratamento primário utiliza-se geralmente, flotação com o auxílio da coagulação/floculação, ressaltando que o uso de tanques de equalização e gradeamento em etapas anteriores podem ajudar a aumentar a eficiência do tratamento (BRITZ; ROBINSON, 2008).

Seguindo para o tratamento biológico (tratamento secundário), cujo objetivo é remover e ou reduzir materiais orgânicos e inorgânicos, por meio de uma variabilidade de microrganismos que oxidam a matéria orgânica carbonácea (METCALF; EDDY, 2016).

Em efluentes de indústrias de laticínios, geralmente utiliza-se os processos biológicos para tratamento, devido a sua viabilidade e pelo efluente possuir elevada concentração de matéria orgânica tornando-o altamente biodegradável, porém a eficiência do tratamento dependerá de fatores como: temperatura, carga orgânica e pH (VILLA; SILVA; NOGUEIRA, 2007; SANTOS et al., 2009).

No tratamento secundário, dependendo da estrutura do sistema escolhido, a eficiência da remoção da demanda bioquímica de oxigênio pode variar, sendo utilizados processos anaeróbicos, lagoas de estabilização, filtros biológicos, lagoas aeradas e lagoas de estabilização (NUNES, 2012).

Kushwaha; Srivastava; Mall (2010) reforçam que os tratamentos de efluentes da indústria de laticínios seguem processos tradicionais como o tratamento biológico e geralmente combinados com tratamentos físico-químicos. Shcmitt (2011) afirma que em busca de maiores eficiências no tratamento e devido as atuais demandas por melhores qualidades dos efluentes tratados, tem-se uma necessidade de busca por diferentes complementos nos sistemas de tratamentos como o pós-tratamento físico-químicos que melhoram a eficiência na remoção de cargas orgânicas.

Segundo Gomes (2012) com maiores eficiências nos sistemas de tratamento alcançadas através do uso de pós-tratamentos, polimento final, cujo objetivo é a remoção de parâmetros específicos ou atingir uma melhor qualidade de efluente, o reuso desta água se apresenta como alternativa para reduzir o volume captado de água, forma de lançar quantidades menores de efluentes nos corpos hídricos, benefícios econômicos e uma forma de ganhos ambientais.

### 2.3 TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO: COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

O processo físico-químico da coagulação e floculação pode ser feito tanto na etapa primária, como nas etapas seguintes de um tratamento de efluentes. Este processo tem a finalidade de remover partículas de dimensão coloidal, partículas em suspensão, matéria orgânica, remoção de cor e turbidez. Se tratando de efluentes industriais, as eficiências das remoções são variáveis de acordo com as características de cada tipo de efluente (NUNES, 2012; CAVALCANTI, 2012).

De acordo com Lenzi; Favero; Luchese (2009) os coloides possuem partículas eletricamente carregadas que se mantêm estáveis. Na mesma linha Campos; Di Bernardo; Vieira (2005) abordam que estas cargas elétricas negativas dos coloides geram uma repulsão entre eles, impedindo a aglomeração de partículas. O processo da coagulação pode ser separado em duas etapas, sendo a primeira delas: a adição de agentes químicos que visam uma desestabilização

destas partículas coloidais, que se situam aproximadamente entre diâmetros de 0,001  $\mu\text{m}$  até 1  $\mu\text{m}$ , diminuindo as forças que mantêm as partículas separadas, formando pequenos coágulos e a segunda fase (floculação): que irá promover a formação de flocos de diâmetros maiores devido á uma mistura lenta (processo físico) (RICHTER, 2009).

Para Richter (2009) as partículas coloidais minerais em geral não apresentam implicações para o consumo humano, porém além de conceder turbidez, as partículas coloidais podem adsorver bactérias, microrganismos e proteger patogênicos, assim Metcalf; Eddy (2016) abordam que estes coloides não são removidos por sedimentação em tempos determinados, tornando o processo físico-químico importante no sistema, assim como o conhecimento das características dos processos de coagulação e floculação.

Segundo Richter (2009) a coagulação ainda não é um processo perfeitamente compreendido, logo estudos sobre os mecanismos são fundamentais para projetos de coagulação e floculação. O processo da coagulação pode ocorrer entre quatro principais mecanismos: adsorção e neutralização, varredura, camada difusa e formação de pontes (DI BERNARDO; DI BERNARDO; CENTURIONE, 2002).

### 2.3.1 Mecanismos da coagulação

#### 2.3.1.1 Adsorção e Neutralização de Cargas

Segundo Lima (2007) este mecanismo envolve a adsorção de um coagulante com carga elétrica oposta da superfície do coloide, resultando em uma carga próxima a zero neutralizando as mesmas, dosagens altas de coagulante pode recarregar a partícula positivamente. A neutralização comparada com outros mecanismos não produz flocos grandes, pois desestabiliza os coloides em dosagens baixas, assim há necessidade de aplicação de auxiliares de floculação para obter resultados eficientes em unidades de decantação e flotação.

Este mecanismo geralmente é utilizado em sistemas de tratamento de água mais simples, que utilizam a coagulação seguida da filtração, o foco deste

tratamento seria causar a desestabilização das partículas para serem retidas nos filtros mais facilmente, sem ocorrer à necessidade de dosagens altas ou formação de flocos de grandes dimensões, isto reduz o custo devido a não possuir uma unidade de decantação, a área do projeto e até 70 % do volume de lodo (DOS SANTOS et al., 2007).

Nesta mesma linha pensamento Di Bernardo; Di Bernardo; Centurione (2002) aborda as principais diferenças entre os mecanismos de neutralização e compressão da camada difusa:

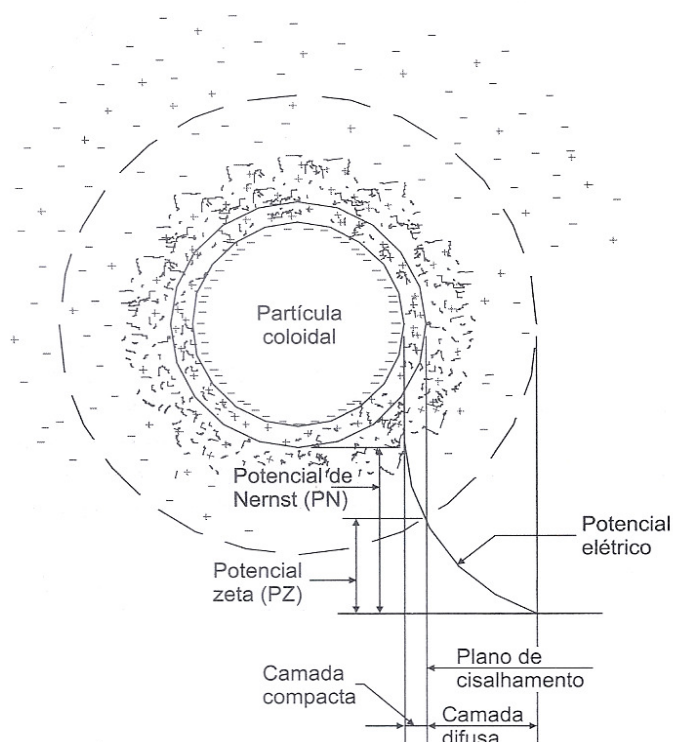
- Desestabilização de coloides em dosagens inferiores das necessárias do mecanismo de compressão da camada difusa;
- Pode-se estabelecer uma relação estequiométrica entre concentração de coloides e a dosagem de coagulante;
- Dosagens altas de coagulante podem reverter à carga superficial, acarretando na reestabilização dos coloides.

#### 2.3.1.2 Compressão da Camada Difusa

De acordo com Pavanelli (2001) os coloides geralmente possuem carga elétrica negativa, atraindo cargas opostas positivas que estão na água. Altas concentrações de cargas na camada difusa fazem com que o colóide reduza o volume para permanecer neutro e conseqüentemente o potencial elétrico de modo que as forças de Van Der Waals predominem, quebrando a estabilização eletrostática (DI BERNARDO; DI BERNARDO; CENTURIONE, 2002).

Devido às dimensões das superfícies, apenas parte das cargas opostas são adsorvidas. Assim as cargas adsorvidas ficam rígidas na superfície, originando a camada compacta, as cargas adsorvidas trazem cargas opostas resultando na formação de outra camada, chamada de difusa (PAVANELLI, 2001).

Na Figura 1 seguinte, tem-se a dupla camada citada anteriormente.



**Figura 1 - Configuração esquemática da dupla camada elétrica.**

**Fonte: Di Bernardo (2002).**

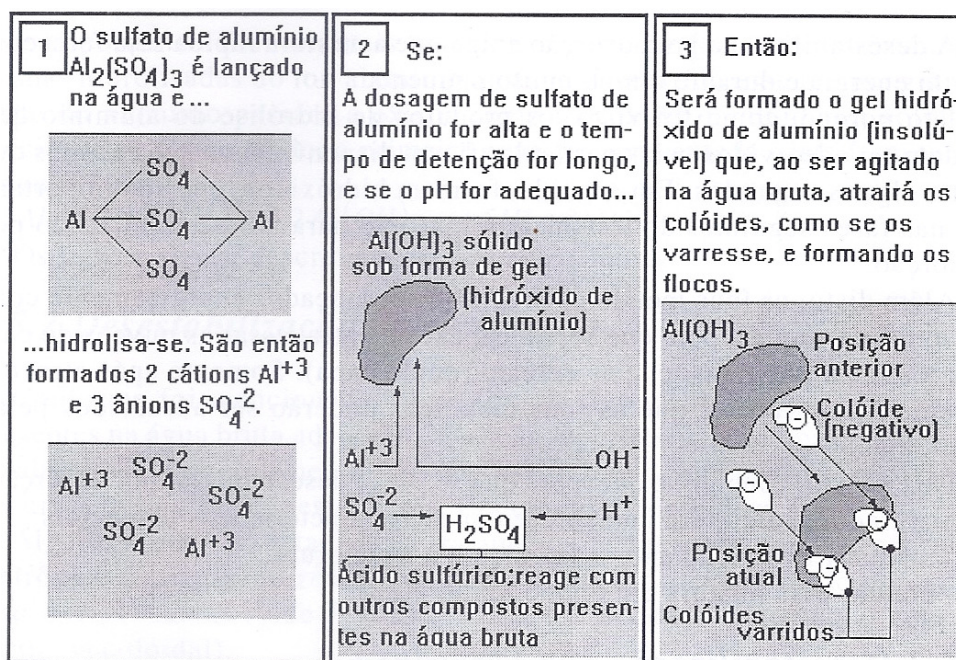
### 2.3.1.3 Varredura

No mecanismo de varredura, as concentrações de coagulante são elevadas, excedendo o limite de solubilidade da água. Nesse caso, ocorre a formação de precipitados formados a partir das reações do coagulante metálico com a alcalinidade da água (VIANNA, 1997)

Este mecanismo geralmente é utilizado em tecnologias convencionais que possuem sedimentação, com a formação de flocos de maiores dimensões comparada aos flocos formados nos mecanismos de adsorção e neutralização. Pelo fato dos flocos possuírem dimensões maiores, há uma maior velocidade de decantação, possibilitando a deposição em decantadores (DOS SANTOS et al., 2007; PAVANELLI, 2001).

Ao precipitar, os flocos envolvem as partículas coloidais que ficam aprisionadas no gel (hidróxido de alumínio ou de ferro). De acordo com Vianna

(1997) o coagulante hidróxido de alumínio (Figura 2) apresenta-se em forma de gel insolúvel e precipita quando a água fica em repouso, este gel desestabiliza e agarra as partículas coloidais, funcionando como pequenas vassouras, ocorrendo a coagulação por agregação dos colóides no precipitado formado.



**Figura 2 - Desestabilização por varredura.**

Fonte – Vianna (1997).

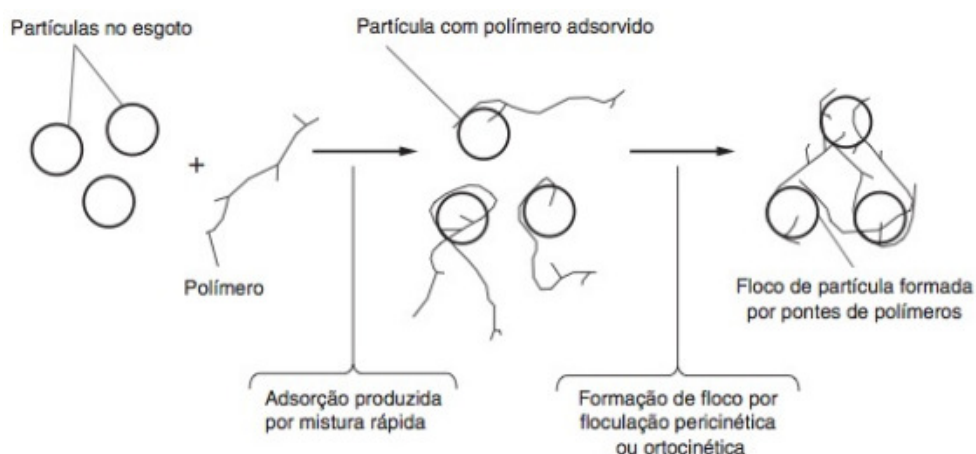
#### 2.3.1.4 Adsorção e Formação de Pontes

O mecanismo de formação de pontes é típico para sistemas nos quais sejam adicionados compostos naturais ou sintéticos de cadeia longa e carregados eletricamente (polieletrólitos). Segundo Di Bernardo; Di Bernardo; Centurione (2002) existem diversos polímeros sintéticos e naturais que apresentam grupos carregados eletricamente capazes de agir como coagulantes estes são denominados polieletrólitos, classificam-se como: aniônicos, catiônicos e não iônicos.

De acordo com Metcalf; Eddy (2016) estes polímeros adsorvidos nas partículas do efluente, se entrelaçam com outras partículas aumentando as

dimensões das partículas, assim estas podem ser removidas por processos de sedimentação. Lima (2007) reforça que estas pontes criadas, ajudam no crescimento de flocos de dimensões maiores em tempos menores, assim como tornam os flocos gerados resistentes às forças de cisalhamento.

A Figura 3, a seguir, mostra o mecanismo citado acima, onde as partículas se entrelaçam e ficam neutras através do polímero aplicado.



**Figura 3 - Formação de pontes entre partículas com polímeros.**

**Fonte: Metcalf; Eddy (2016).**

### 2.3.2 Coagulantes inorgânicos

De acordo com Richter (2009) a coagulação é promovida pelos agentes coagulantes, dos quais em geral utilizam-se sais de alumínio, ferro e compostos orgânicos naturais ou artificiais (polieletrólitos). Em relação aos sais de alumínio e ferro, é necessário ressaltar que alguns elementos químicos ficam retidos na água e no lodo gerado por esses coagulantes, dificultando a disposição (VAZ et al., 2010).

Segundo Richter (2009) em tratamentos de água faz-se geralmente o uso de sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato férrico, na mesma linha de pensamento Cavalcanti (2012) traz na Tabela 2 os principais produtos químicos utilizados em processos de coagulação/floculação e sua faixa de pH.

**Tabela 2 - Faixa de pH que os coagulantes são utilizados.**

<b>Coagulantes</b>	<b>Faixas de pH</b>
Sulfato de alumínio	5 a 8
Policloreto de alumínio	6 a 8
Sulfato ferroso	8,5 a 11
Sulfato férrico	5 a 11
Cloreto férrico	5 a 11

**Fonte: Técnica de Abastecimento de Água (1987) apud Cavalcanti (2012).**

Segundo Da Silva et al. (2015) coagulantes inorgânicos geralmente a base de sais de ferro e alumínio, são amplamente utilizados em tratamento de efluentes, devido possuir a vantagem de ter um baixo custo, facilidade de armazenamento e uma eficiência alta.

Mesmo que o custo benefício deste tipo de coagulante seja uma vantagem comercial em relação aos outros tipos, eles possuem a desvantagem de gerar grandes volumes de lodos inorgânicos com alto teor de umidade, que podem prejudicar a saúde humana, necessitando de um tratamento adequado (VAZ et al., 2010; SOLANA, 2014).

Richter (2009) salienta que o uso e aplicação de coagulantes metálicos pode alterar o pH. Ferreira (2012) reforça que as desvantagens dos íons metálicos por mais barato que sejam são relevantes, podendo alterar a qualidade da água, gerar lodos tóxicos, estar relacionados a doenças carcinogênicas, assim a destinação final adequada pode acabar encarecendo o processo.

Santos et al. (2009) aborda que fatores como: quantidade de coagulante aplicada, pH e tempo de mistura, influenciam diretamente a coagulação e que com estudos pode-se obter zonas ótimas para a aplicação, reduzindo tempo de mistura e a dose de coagulante aplicada.



### 2.3.3 Coagulantes orgânicos

Para Schmitt (2011) coagulantes orgânicos em geral são de baixo custo e possuem grande importância, pois, não geram poluição secundária que impactam na saúde e no meio ambiente. Na mesma linha de pensamento Vaz et al. (2010) aborda que biopolímeros além de serem biodegradáveis possibilitam a compostagem e também geram uma quantidade reduzida de lodo.

Segundo Vieira et al. (2010) visando um menor impacto ao ambiente e conseqüentemente buscar uma alternativa para os coagulantes químicos, os polímeros com base orgânica apresentam resultados notáveis. Estes coagulantes além de se encaixar como coagulantes primários, podem ser utilizados como auxiliares na floculação e ao contrário de efeitos que alteram o pH nos químicos, os orgânicos não alteram o pH e nem a alcalinidade (RICHTER, 2009).

Os principais coagulantes orgânicos utilizados em estudo são: *Moringa oleífera* e *Quitosana* (VAZ et al., 2010; SCHMITT, 2011). Ribeiro (2015) estudou a moringa, chia, quiabo e maracujá como coagulantes/floculantes, sendo que atingiu resultados de até 87% na remoção de turbidez em efluentes de laticínios com a associação entre chia, maracujá e quiabo. Alves et al. (2014) estudou a utilização de coagulantes orgânicos, como a farinha da casca batata, mandioca, pectina e amido para tratamento de esgoto, obtendo como remoção de turbidez valores de até 82%.

No estudo promovido por Vaz et al. (2010) avaliou-se a eficiência de diferentes tipos de coagulantes para remoção de fatores como: pH, cor e turbidez, em efluente de galvanoplastia, chegando a resultados de remoção de cor e turbidez respectivamente de 90,3 % e 92,9%, com o uso de concentrações de 200 ppm e tempos de sedimentação de 20 minutos utilizando a moringa como coagulante e, utilizando a quitosana como coagulante, chegou a eficiências de remoção de cor e turbidez respectivamente de 98,68 % e 99,44% com concentrações de 5 ppm e tempos de sedimentação equivalente ao utilizado na moringa de 20 minutos.

### 2.3.3.1 Taninos

Os taninos são provenientes da casca de vegetais, como a acácia negra, são moléculas fenólicas biodegradáveis que podem ser utilizadas no tratamento de efluentes nos processos de coagulação e floculação, cuja função é remover minerais, sólidos e microrganismos (CASTRO SILVA et al., 2004; CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009).

Segundo Coral; Bergamasco; Bassetti (2009) os taninos tem se mostrado com grandes eficiências em relação ao tratamento de efluentes. De acordo com Pelegrino (2011) com o uso de taninos pode-se gerar uma economia com alcalinizantes, pois o uso não afeta o pH e não consome a alcalinidade do meio, ressaltando também que os taninos podem adsorver metais dissolvidos.

De acordo com Castro Silva et al. (2004) mesmo que haja um grande benefício em seu uso comparado aos coagulantes inorgânicos, sua utilização pode resultar em um crescimento de microrganismos acima do normal pois, devido a sua biodegradabilidade há um estímulo da flora microbiana, podendo causar uma colmatação.

Um estudo realizado por Coral; Bergamasco; Bassetti (2009) teve por objetivo avaliar as eficiências do uso de coagulantes orgânicos comparando com coagulantes inorgânicos. Foram avaliados parâmetros como: pH, turbidez, matéria orgânica entre outros e como resultado, obteve-se eficiências quase que equivalentes entre a aplicação de sulfato de alumínio e polímero natural, exceto nos parâmetros de pH e alcalinidade onde o polímero demonstrou uma maior eficiência, obtendo como conclusão que os polímeros naturais podem ser possíveis substitutos para tratamentos de água.

Trevisan (2014) estudou a aplicação de um coagulante tanino (tanfloc SG) no tratamento de água na ETA de cafezal, chegando a percentuais de remoção de cor de 84,6%, turbidez de 91,75% após 30 minutos de decantação, com uma concentração de 8 mg-L<sup>-1</sup>. No estudo promovido por Vaz et al. (2010), em efluente de galvanoplastia o Tanfloc apresentou também bons resultados de remoção de cor e turbidez utilizando uma concentração de 400 ppm e tempo de sedimentação de 40 minutos, chegando á respectivas remoções de 95,9% e 99,13% para cor e turbidez.

## 2.4 SEDIMENTAÇÃO

Segundo Nunes (2012) para haver a sedimentação em efluentes industriais, tem-se a necessidade de flocos de maior densidade, caso não seja necessária à utilização de auxiliares na sedimentação ela é considerada como simples, em contrapartida se o tamanho dos sólidos sedimentáveis não forem consideráveis recorre-se então a auxiliares de floculação e coagulação (polieletrólitos) que irão auxiliar tanto na sedimentação quanto no aumento de resistência às forças de cisalhamento.

A busca por melhores rendimentos e eficiências para o processo de coagulação, é obtido em ensaios de “Jar-Test” ou testes de jarros, buscando as dosagens mínimas e ótimas de coagulantes e seus auxiliares, ressaltando que fatores como pH e temperatura podem influenciar na eficiência (CAVALCANTI, 2012; RICHTER, 2009).

Segundo Cavalcanti (2012), alguns fatores também devem ser levados em consideração, pois com os ensaios no “Jar-Test” se obtém informações fundamentais para dimensionamento de estações de tratamento de efluentes (E.T.E). A Tabela 3 apresenta valores recomendados por autores para ensaios envolvendo floculação, coagulação e sedimentação.

**Tabela 3 - Valores recomendados para ensaios em Jar-Test.**

<b>Autores</b>	<b>Tempo de coagulação</b>	<b>Gradiente de velocidade ou rotação</b>	<b>Tempo de floculação</b>	<b>Gradiente (rotação)</b>	<b>Tempo de sedimentação</b>
ETE Pavuna/RJ (Jar-Test)	5 – 30 s	120 rpm	30s - 4 min	120 rpm 30 rpm	60 min
METCALF & EDDY (1991)	5 - 30 s	250 - 1500 s <sup>-1</sup>	10 -30 min	-	-
NUNES (2012)	30 -90 s	800 - 1500 s <sup>-1</sup>	30 min	20 – 80 s <sup>-1</sup>	30 min
CAVALCANTI (2012)	-	1000 s <sup>-1</sup>	-	20 – 80 s <sup>-1</sup>	-
RICHTER (2009)	<7s	300 – 1200s <sup>-1</sup>	-	20 – 75 s <sup>-1</sup>	-
DI BERNARDO (2002)	<30s	200 - 2000 s <sup>-1</sup>	10 – 40 min	10 – 60 s <sup>-1</sup>	-

**Fonte: Adaptado de Resende; Carvalho (2002).**

De acordo com Dos Santos et al. (2007), a escolha de um coagulante para aplicação em um sistema de tratamento de efluentes busca algumas características como: custo, armazenamento e manuseio, compatibilidade com outros produtos utilizados no tratamento, características do lodo gerado, viscosidade, concentração de contaminantes (carbono orgânico total, metais e outros), corrosividade e compatibilidade com materiais.

## 2.5 FLOTAÇÃO

Segundo Centurione; Di Bernardo (2000) em vista de que certas partículas não apresentam densidade suficiente para decantar, gerando alguns problemas nas unidades de tratamento, a flotação se apresenta como uma tecnologia para solucionar estes problemas de decantação.

A flotação é um processo utilizado há mais de 100 anos, porém há cerca de 30 anos que vem sendo aplicado no tratamento de efluentes domésticos e industriais. Este processo tem como objetivo remover partículas com a introdução de microbolhas, formando partículas com uma densidade menor que a da água ou do efluente que flutuam até a superfície (RICHTER, 2009).

Para efluentes industriais a flotação pode ser aplicada por dois métodos: injeção de ar enquanto o líquido está sob pressão (flotação por ar dissolvido) e aeração sob pressão atmosférica (flotação por ar disperso) (METCALF; EDDY, 2016).

Vale ressaltar que em tratamentos de esgotos, geralmente se utiliza a FAD, especialmente para espessamento de biossólidos, as vantagens da escolha por este método são devido as vantagens de: dimensões menores de área; menor custo e capacidade para remover óleo, na mesma linha a flotação por ar disperso tem desvantagens como: necessitam de mais energia; menor flexibilidade de flocculação e o desempenho depende do controle hidráulico. (METCALF; EDDY, 2016).

### 2.5.1 Flotação por ar dissolvido (FAD)

Este método vem sendo aplicado em tratamentos de esgotos, onde o ar pode ser dissolvido no efluente em diversas pressões, liberando esta pressão por meio de uma válvula, assim com a diferença da pressão atmosférica forma microbolhas. (METCALF; EDDY, 2016). Essas microbolhas formadas pelas diferenças de pressão, segundo Mاتيolo; Rubio (2003) estão entre 30 e 100  $\mu\text{m}$  e podendo remover partículas de tamanho coloidal ( $< 5 \mu\text{m}$ ). Após o tratamento ainda de acordo com Metcalf; Eddy (2016) grande parte do efluente pode ser reciclada.

Metcalf; Eddy (2016) abordam que em pequenos sistemas pressurizados pode-se utilizar uma faixa de pressão de 275 a 350 KPa, reforçando que primariamente a flotação por ar dissolvido depende da razão de volume de ar e a massa de sólidos, sendo determinada por ensaios de laboratório. Ressaltam ainda que razões encontradas em tratamento de água para espessamento de sólidos e biossólidos possuem A/S de 0,005 a 0,060.

Na mesma linha de pensamento segundo a Associação brasileira de normas técnicas (ABNT) - NBR 12.209/2011 aborda que em sistemas FAD no lugar de decantadores em sistemas de lodos ativados recomenda que a relação de A/S seja igual ou superior a 0,015 Kg ar/ Kg de SS e pressão relativa no vaso de saturação entre 3,5 a 7 bar.

Segundo Cavalcanti (2012) para a simulação do tratamento real, é possível utilizar um teste de bancada com o equipamento (Flotatest) e abranger os resultados para a escala real, onde é possível determinar parâmetros como: concentração do material particulado, vazão de ar necessária, carga de sólidos, velocidade ascensional, entre outros.

Richter (2009) aborda que na flotação existem dois parâmetros bases para o bom funcionamento do sistema: escolha da dosagem adequada de coagulante e o aporte de ar dissolvido.

Segundo Bensadok; Belkacem; Nezzal (2007) o parâmetro com maior significância seria a geração de bolhas, abordando fatores que tem direta ou indireta influência na eficácia como: pressão, tamanho das microbolhas formadas, hidrofobicidade, razão A/S (volume de ar/ massa de sólidos) e produtos químicos.

De acordo com Richter (2009) tendo em vista os parâmetros citados acima, e o controle sobre os mesmos, seria possível tratar qualquer tipo de água, pois é mais

fácil agrupar coloides para flotação utilizando um coagulante do que conseguir a sedimentação com um floco pesado.

### 2.5.2 Aplicação da flotação no tratamento de efluentes líquidos

De acordo com Pelegrino (2011) para melhor eficiência dos sistemas de flotação, o pré-tratamento do efluente é crucial, em que suas partículas são desestabilizadas formando pequenos flocos resistentes, possibilitando que bolhas colidam e se associem, formando um aglomerado de partículas flotadas pelas bolhas na superfície. Nunes (2012) reforça que agentes químicos como sulfato de alumínio, cloreto férrico e polieletrólitos podem ser adicionados para obter uma melhor eficiência.

Nunes (2012) afirma que a flotação comparada com a sedimentação apresenta vantagens como: remoção de sólidos de densidades menores; lodos mais concentrados; menor área e volume; tempos de detenção menores. Na mesma linha do pensamento Matiolo; Rubio (2003) resumem na Tabela 4 os objetivos da flotação em áreas da engenharia.

**Tabela 4 - Objetivos da flotação**

<b>Usos da Flotação</b>	<b>Objetivos</b>
<b>Águas</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• abastecimento</li> <li>• lazer (lagos, rios e barragens)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• remoção de Fe, Mn, cor, SST e turbidez</li> <li>• remoção de SST, algas, turbidez, cor, óleos, etc</li> </ul>
<b>Esgotos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• pré-tratamento</li> <li>• pós-tratamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• remoção de gorduras, SST, particulados grosseiros (DBO insolúvel)</li> <li>• remoção de nutrientes (NH<sub>3</sub> e P), algas, cor, SST e turbidez</li> </ul>
<b>Efluentes Industriais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• remoção de gorduras, SST, particulados grosseiros (DBO insolúvel), fibras</li> <li>• remoção de nutrientes (NH<sub>3</sub> e P), algas, cor, SST e turbidez, metais precipitados, óleos (emulsificado ou não), microorganismos, pigmentos, compostos orgânicos e macromoléculas</li> <li>• reuso ou reaproveitamento de águas de processo</li> </ul>
<b>Outros</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• tratamento de minérios, celulose e papel, reutilização de tintas, plásticos, química analítica, etc.</li> </ul>

**Fonte: Adaptado de Matiolo; Rubio (2003).**

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DO EXPERIEMNTO

O presente estudo foi desenvolvido com efluente líquido industrial proveniente de uma agroindústria de laticínios, localizada no oeste do Paraná, na cidade de Matelândia à latitude sul 25°14'03.4"S e longitude oeste 53°57'40.5"O, onde primeiramente foi efetuada a coleta do efluente líquido *in loco*.

O efluente líquido gerado na empresa é submetido a um tratamento preliminar, composto por gradeamento e uma caixa de gordura, seguindo para o tratamento secundário composto de lagoas de estabilização em série, sendo as duas primeiras lagoas anaeróbias e uma lagoa aerada. Tem-se como etapa final um pós-tratamento físico-químico, visando à remoção de poluentes remanescentes e reuso (Figura 4).

A segunda etapa do estudo experimental foi desenvolvida em escala de bancada, no laboratório de Biotecnologia e Saneamento Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, câmpus – Medianeira. Onde avalio-se o emprego de coagulantes orgânicos e inorgânicos comparando os processos de coagulação/floculação seguidos de sedimentação em Jar-test e de flotação por ar dissolvido (FAD) em Flota-test.

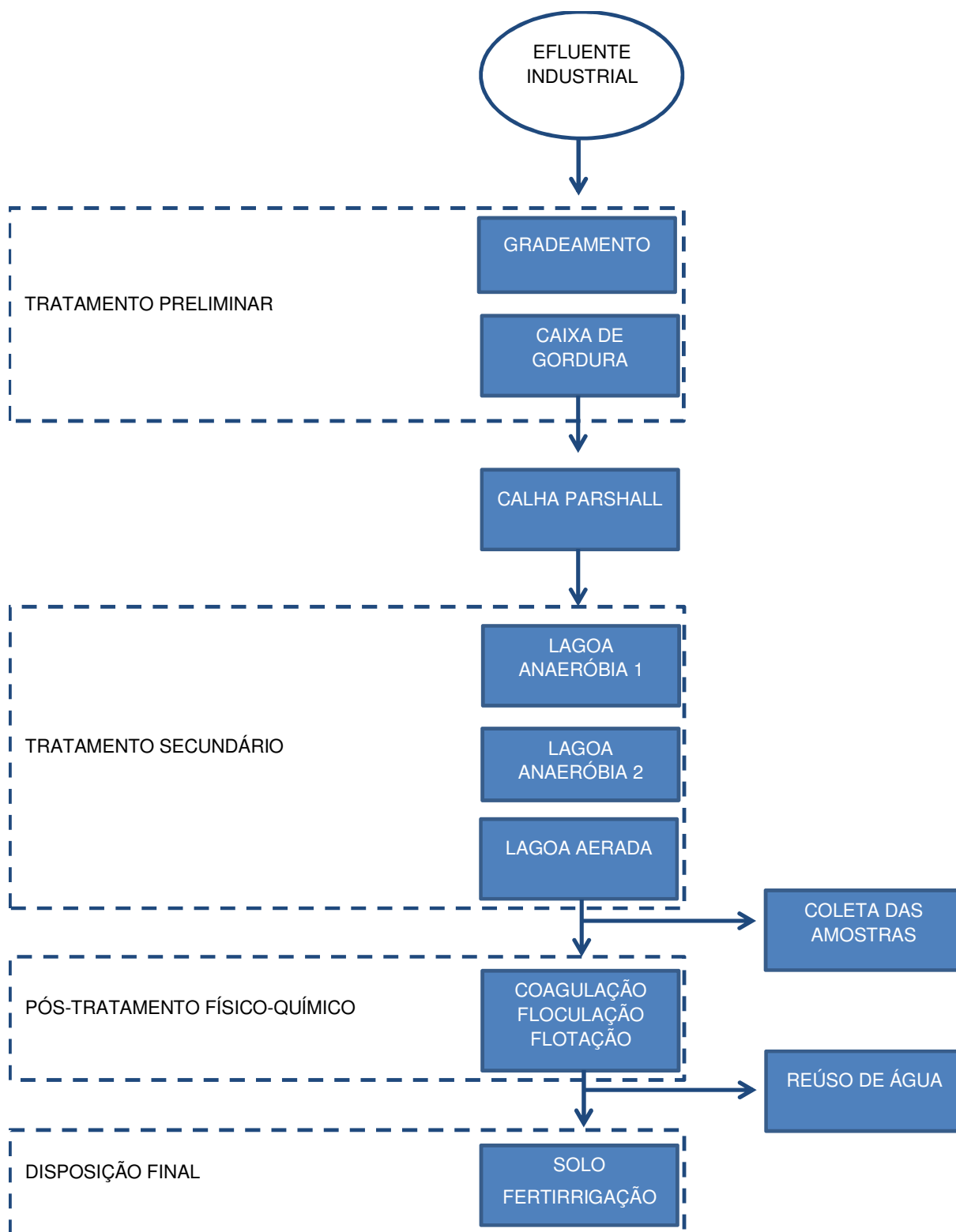


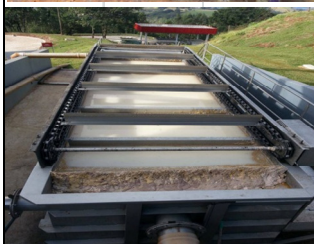







Figura 4 - Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da indústria.



Tabela 5 - Sistema de tratamento

NÍVEL DE TRATAMENTO	OPERAÇÃO/PROCESSO	DESCRIÇÃO	
Preliminar	Gradeamento	<p>Visa remoção de sólidos grosseiros, óleos e graxas. As grades são classificadas como grades simples. A caixa de gordura possui um volume de 18,445 m<sup>3</sup> e tempo de retenção hidráulico de 1,22 horas</p>	
	Caixa de gordura		
Sistema de medição de vazão	Calha Parshall	Medição contínua de vazão na estação de tratamento de esgoto	
Secundário	Lagoa Anaeróbia 1	<p>Objetiva a remoção de matéria orgânica.            Anaeróbia 1 possui um volume de 4.788 m<sup>3</sup>            Anaeróbia 2 possui um volume de 3.655 m<sup>3</sup>            Aerada possui um volume de 840 m<sup>3</sup></p>	
	Lagoa Anaeróbia 2		
	Lagoa Aerada		
Pós-tratamento	Flotador	<p>Visa a separação de sólidos, remoção de poluentes específicos e reúso de águas. O flotador possui capacidade de tratar 25 m<sup>3</sup>/h</p>	

## 3.2 COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente foi coletado por meio de uma amostragem simples, na saída do tratamento secundário - lagoa aerada, tendo como orientação a NBR 9897 (ABNT, 1987). Os lotes de efluentes líquidos utilizados nos ensaios experimentais, em escala de bancada, foram armazenados em galões com capacidade de 18 litros e armazenados em refrigerador até o momento de sua utilização, respeitando-se as recomendações da referida Norma.

Para a caracterização do efluente, foram analisados os parâmetros físico-químicos pH pelo método potenciométrico e turbidez pelo método nefelométrico seguindo os métodos descritos em Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WEF, 2012).

Os parâmetros físico-químicos: temperatura, pH e oxigênio dissolvido foram analisados no momento da coleta, o auxílio de equipamentos fornecidos pela indústria, tais como: termômetro, pHmetro da marca Akso modelo AK86 e sonda para oxigênio dissolvido também da Akso modelo SX716.

## 3.3 EQUIPAMENTOS DE BANCADA PARA ENSAIOS DE SEDIMENTAÇÃO E FLOTAÇÃO

### 3.3.1 Descrição do equipamento Jar-test

O equipamento Jar-Test da marca PoliControl, modelo FlocControl III, é um equipamento que permite fazer a verificação das condições de tratamento de águas e efluentes, este equipamento serve como uma ferramenta para a otimização e análises preliminares (POLICONTROL INSTRUMENTOS DE CONTROLE AMBIENTAL, 2013).

A linha FlocControl possui de 3 a 6 agitadores que possuem sistemas de controle de rotação (Figura 5), permitindo assim a simulação da mistura rápida e da floculação, podendo programar ciclos independentes em cada ensaio.

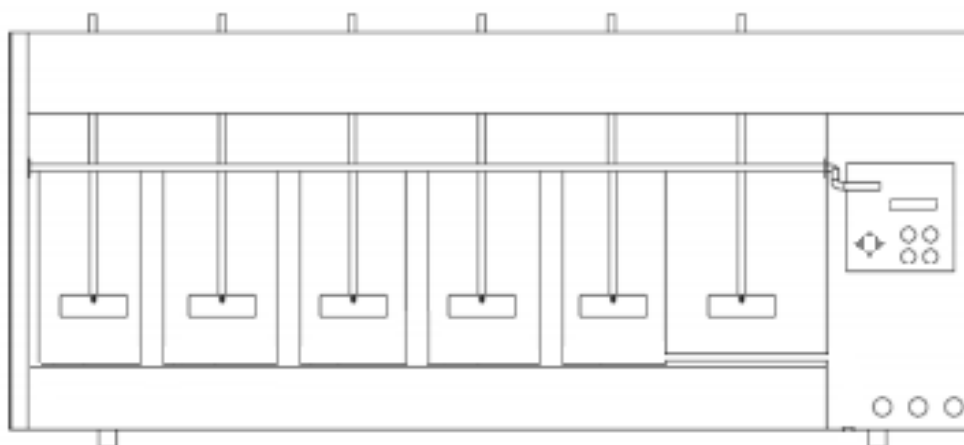


Figura 5 - Descrição do Equipamento Jar-Test.

Após os jarros adaptados para flotação seguirem as mesmas características dos jarros do equipamento Jar-Test, a relação entre as rotações das pás e do gradiente de velocidade é conhecida (CENTURIONE FILHO; DI BERNARDO, 2002).

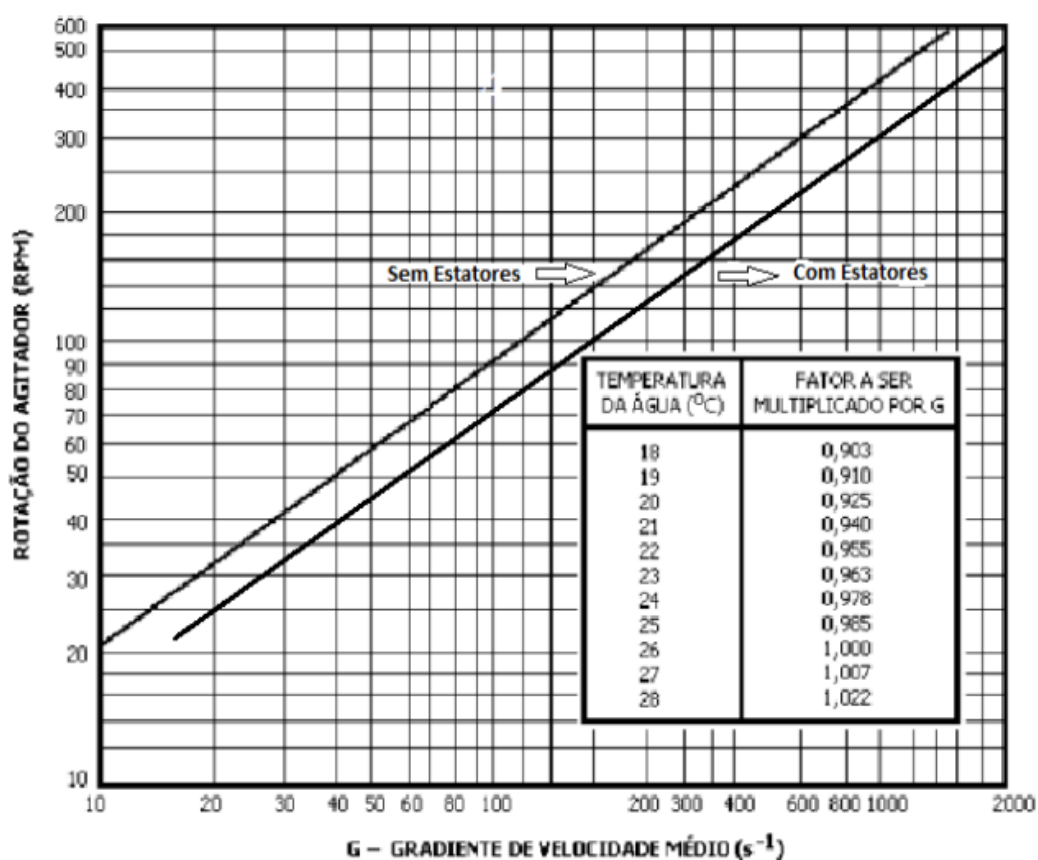
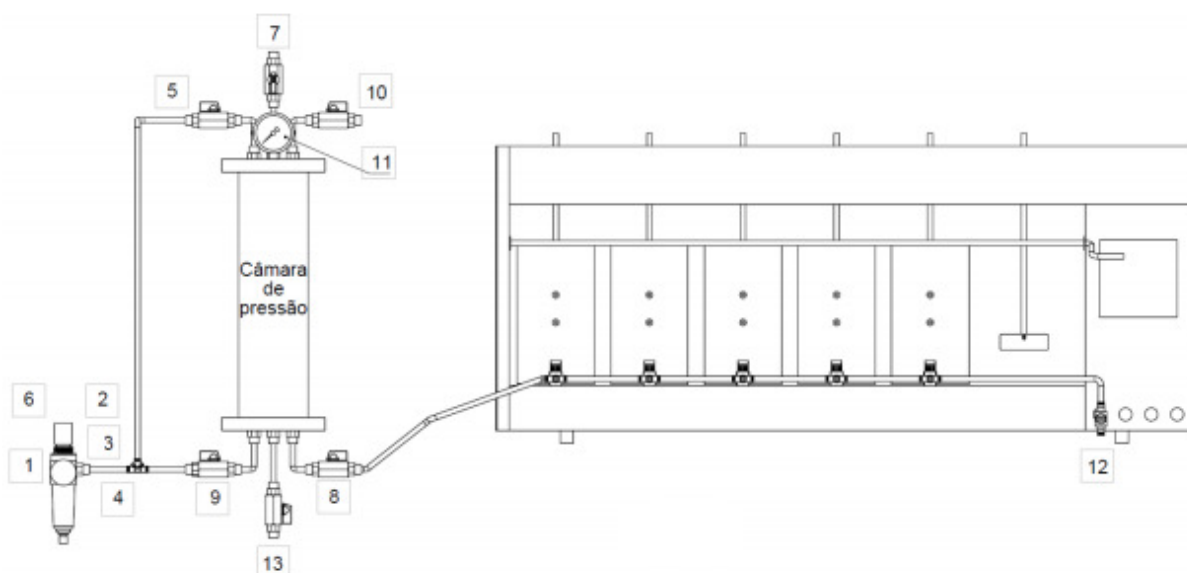


Figura 6 - Gradiente de velocidade x rotação do agitador.  
Fonte: Policontrol Instrumentos de Controle Ambiental (2013).

### 3.3.2 Descrição do equipamento Flota-Test

Para simular os ensaios de coagulação-floculação-flotação, foi utilizado o equipamento de bancada (Figura 7) semelhante ao do trabalho proposto por Centurione Filho; Di Bernardo (2003). O equipamento possui uma câmara de pressão, 5 jarros que permitem a introdução de ar saturado para flotação, um equipamento Jar-Test que auxilia na coagulação e floculação e um compressor de ar.



**Figura 7 - Esquema do Equipamento.**

#### **Notas:**

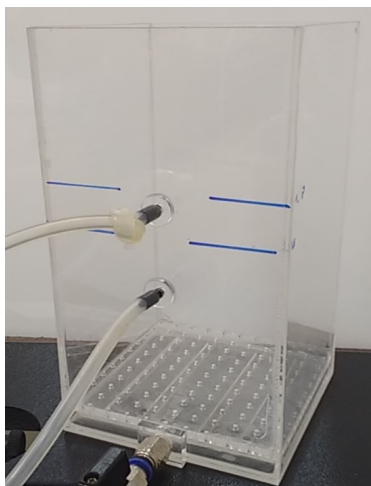
- (1) - Entrada de ar.
- (2) e (6) – Registro para controle de pressão.
- (3) - Manômetro.
- (4) - Conexão tipo “T”.
- (5) - Entrada de ar pressurizado na câmara de pressão.
- (7) - Registro para a entrada de efluente.
- (8) - Registro para a saída de efluente pressurizado.
- (9) - Registro para o controle de ar.
- (10) - Ajuste da pressão na câmara de pressão.
- (11) - Manômetro da câmara de pressão.
- (12) - Registro para descarte de efluente.
- (13) - Entrada e saída de água para limpeza.

Inicialmente para saturação do efluente com ar, estimou-se uma pressão máxima de 400 kPa na câmara de pressão (Figura 8). Esta câmara possui um manômetro e 6 registros que são utilizados para entrada de ar pressurizado, entrada e saída de água para limpeza e entrada de efluente pressurizado e a saída do mesmo.

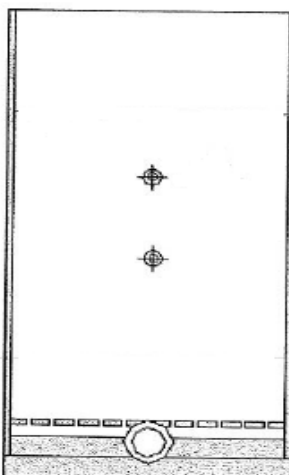


**Figura 8 - Câmara de Pressão.**

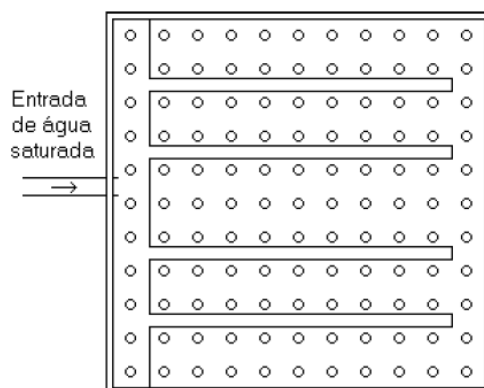
Para o funcionamento do processo de flotação, os jarros foram dimensionados iguais aos jarros do equipamento Jar-Test, com alterações em sua base que permitem a introdução de efluente saturado. A base dos jarros foi dimensionada de acordo com trabalho de Centurione Filho (2002) e é descrita nas Figuras 9 a 12.



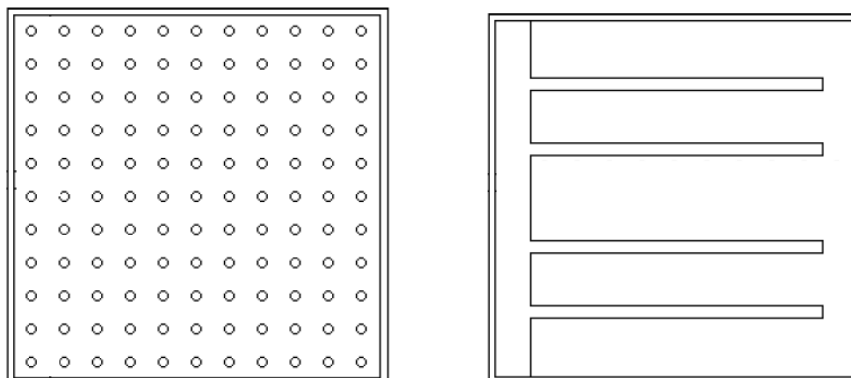
**Figura 9 - Jarro de Flotação**



**Figura 10 - Vista frontal do jarro de flotação (sem escala)**  
**Fonte: Adaptado de Centurione Filho (2002)**



**Figura 11 - Vista superior do jarro de flotação (sem escala)**  
**Fonte: Adaptado de Centurione Filho (2002)**



**Figura 12 - Placa superior e placa inferior do jarro de acordo com Centurione Filho (2002)**

### 3.4 ENSAIOS PRELIMINARES DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

#### 3.4.1 Preparo dos coagulantes e floculantes

##### 3.4.1.1 Novfloc 1540

Para o preparo da solução de novloc 1540, foi feita a diluição de 1% a partir da solução comercial obtendo-se uma concentração de  $10 \text{ g.L}^{-1}$ . Esta solução foi preparada e utilizada no mesmo dia.

O novfloc 1540 é um polieletrólito catiônico derivado das aminas, resinas poliquaternárias e sais inorgânicos. É uma solução aquosa utilizada em sua forma original ou diluída, com o pH variando entre 3 e 6, é utilizado principalmente na purificação de efluentes aquosos, e para flotação, clarificação, filtração de esgotos industriais (NOVTEC, s.d.).

### 3.4.1.2 Polfloc D150

Para o preparo da solução de Polfloc D150, foi feita a diluição de 0,1% a partir da solução estoque 0,5%, obtendo-se uma concentração de  $1 \text{ g.L}^{-1}$ . O uso desta solução pode ser feito em até 3 dias e possui uma viscosidade aproximada de 600 mPa.s. (NOVTEC, s.d.).

Para o preparo da solução estoque com concentração de 0,5% ( $5 \text{ g.L}^{-1}$ ), pesou-se 2,5 gramas do floculante na balança analítica e adicionou-se 500 mL de água destilada, esta solução é agitada no Jar-Test com agitação rápida de 150 rpm, durante um período de 60 minutos, após finalizada deve ser utilizada no período de 2 semanas.

O polfloc D150 é um polieletrólito catiônico derivado de poliacrilamida. É fornecido em forma de material granulado branco e para a sua utilização é feita a diluição (de 0,05 a 0,1%), com o pH de 7 e eficaz variando entre 6 a 13, é utilizado principalmente para floculação de partículas sólidas e coloides e clarificação de água de lavagem (NOVTEC, s.d.).

### 3.4.1.3 Klaraid IC 1176L - PAC

Klaraid IC 1176L é um coagulante comercializado em forma líquida, podendo ser utilizado em faixas amplas de pH, variando de 6 a 9. O klaraid 1176L mais conhecido como Policloreto de Alumínio, é um coagulante catiônico que possui baixo peso molecular. O produto comercial possui entre 10 - 20% de cloreto de alumínio básico.

O preparo da solução de klaraid teve como base o produto comercial, considerando que o coagulante possui um teor de 15% de alumínio básico, foi feita uma diluição de 5% ou seja, em concentração de ( $50 \text{ g.L}^{-1}$ ).



### 3.4.2 Ensaios preliminares de coagulação

Para simular os ensaios preliminares de coagulação, foi utilizado o equipamento Jar-Test da marca PoliControl, modelo FlocControl III, com capacidade para 6 jarros de 2 litros cada um (Figura 13). Os ensaios preliminares realizados foram a determinação da dosagem mínima de coagulante e a determinação do pH de coagulação.



**Figura 13 - Jar-Test utilizado nos ensaios.**

#### 3.4.2.1 Dosagem Mínima de Coagulante

Esse teste de dosagem mínima de coagulante tem como princípio básico identificar a menor dosagem de coagulante necessária para a formação de pequenos flocos, o teste foi aplicado com o coagulante Novfloc 1540 e Klaraid 1176L.

Os valores de concentrações utilizadas nos ensaios de dosagem mínima seguem abaixo na Tabela 6. Analisaram-se seis concentrações em béqueres de 600

mL, com 500 mL de efluente, onde os béqueres foram submetidos à agitação lenta de (30 rpm) no equipamento Jar-Test até a visualização da aparição de pequenos flocos, caracterizando esta visualização como dosagem mínima.

**Tabela 6 - Concentrações utilizadas para a dosagem.**

<b>Coagulantes</b>	<b>Concentrações utilizadas nos testes (ppm/mg-L<sup>-1</sup>)</b>					
<b>Ensaio</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
NOVFLOC 1540	20	40	60	80	100	120
Klaraid 1176L	40	60	80	100	120	140

#### 3.4.2.2 Determinação do pH

Após os ensaios de dosagem mínima, foi utilizada a concentração mínima para a determinação do pH de coagulação em uma faixa de valores de pH: 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5. Todos os valores estão dentro da faixa recomendada dos coagulantes. Para a correção do pH, foi feita a adição de HCl 1 e 0,1 mol-L<sup>-1</sup>, e NaOH 1 e 0,1 mol-L<sup>-1</sup>.

Os ensaios ocorreram em béqueres de 600 mL, com 500 mL de efluente, onde os testes foram submetidos à agitação rápida de 100 rpm por 20 segundos, agitação lenta de 30 rpm por 15 minutos e sedimentação por 30 minutos. A partir desses testes avaliou-se a faixa de pH que obteve a melhor eficiência de coagulação com relação à redução de cor e turbidez.

Os testes foram feitos e analisados na amostra inicial (efluente com o pH ajustado) e na amostra final (efluente clarificado) retirado com pipeta aproximadamente na metade do béquer, imediatamente após o término do tempo de sedimentação. Este ensaio foi feito em triplicata.

### 3.5 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO

Os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram realizados no equipamento Jar-Test. Os ensaios ocorreram nos jarros de 2 litros, contendo 1,5 litros de efluente em cada jarro, as condições adotadas para os ensaios foram com base na bibliografia: para coagulação 100 rpm por 20 segundos, para floculação 30 rpm por 15 minutos (DI BERNARDO, 2002; NUNES, 2012; METCALF; EDDY, 2016; SOLANA, 2014).



**Figura 14 - Ensaio de Sedimentação no Jar-Test.**

As variáveis independentes nos dois planejamentos foram as concentrações de coagulantes e de floculantes (Tabela 7). Tendo como variável resposta a remoção de turbidez (%).

Tabela 7 - Planejamento experimental de sedimentação.

	Tratamentos	Coagulante	Floculante
	1	-1	-1
<b>Ensaio</b>	2	+1	-1
	3	-1	+1
<b>Fatoriais</b>	4	+1	+1
	5	0	0
<b>Repetições no Ponto Central</b>	6	0	0
	7	0	0

Para a realização dos ensaios experimentais, foi utilizada a metodologia de planejamento experimental e a otimização de processos. Como planejamento inicial foram realizados 4 planejamentos iniciais fatoriais  $2^2$ , com 4 pontos fatoriais, 3 pontos centrais.

As concentrações estudadas com os valores codificados utilizando os 2 tipos de coagulantes e floculante encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Variáveis reais e codificadas.

<b>Níveis</b>	<b>Novfloc/</b>	
	<b>Klaraid (ppm)</b>	<b>Polfloc (ppm)</b>
-1	120	4
0	210	7
+1	300	10

Com o planejamento inicial, foi possível avaliar efeitos da variável resposta e a necessidade de se ampliar a faixa de estudo. Como passo seguinte foi realizado o delineamento composto central rotacional (DCCR), que reduz o número de repetições e melhora a qualidade da informação, gerando equações de segundo grau e gráficos de superfície dos quais pode-se avaliar e definir uma faixa

aproximada da ótima do uso de coagulantes e floculantes para se obter uma melhor remoção de turbidez. O DCCR contou com 4 pontos fatoriais, 3 pontos centrais e 4 pontos axiais. A Tabela 9 mostra os níveis codificados e reais das variáveis independentes do delineamento composto.

**Tabela 9 - Níveis reais e codificados**

<b>Variáveis Independentes</b>	<b>Níveis reais e codificados das variáveis independentes</b>				
	<b>-1,41</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1,41</b>
Klaraid (ppm)	173	210	300	390	427
Polfloc (ppm)	4,8	6	9	12	13,3
	<b>-1,41</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1,41</b>
Novfloc (ppm)	173	210	300	390	427
Polfloc (ppm)	2,8	4	7	10	11,3

### 3.6 ENSAIOS DE COACULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E FLOTAÇÃO

Os ensaios de coagulação, floculação e flotação foram realizados em bancada com o auxílio do equipamento Flota Test. Os ensaios ocorreram em jarros de 2 litros com 1,5 litros de efluente. Para a flotação foi realizada a introdução de efluente com ar saturado com um volume de 20% da cuba.



**Figura 15 - Equipamento Flota-Test.**



**Figura 16 - Ensaio de Flotação no equipamento Flota-Test.**

Para todos os ensaios de flotação com o Flota-test, os seguintes parâmetros foram fixados:  $G_{mr} = 100 \text{ rpm}$ ;  $T_{mr} = 20 \text{ s}$ ;  $G_{floc} = 30 \text{ rpm}$ ;  $T_{floc} = 15 \text{ min}$ ;  $P_{sat} = 4 \text{ bar}$ ;  $R = 20\%$ ;  $T_c = 60 \text{ s}$ ;  $V_f = 10 \text{ cm.min}^{-1}$ .

Os parâmetros, gradiente de mistura rápida ( $G_{mr}$ ), tempo de mistura rápida ( $T_{mr}$ ), gradiente de floculação ( $G_{floc}$ ) e tempo de floculação ( $T_{floc}$ ) foram baseados no trabalho de Solana (2014).

Tendo como base o trabalho de Centurione Filho; Di Bernardo (2003) os parâmetros como pressão de saturação ( $P_{sat}$ ), taxa de recirculação ( $R$ ) e velocidade de flotação ( $v_f$ ), foram fixados e o tempo de coleta ( $T_c$ ) foi calculado dividindo a altura de saída do jarro pela velocidade de flotação.

Seguindo o mesmo formato de sedimentação as variáveis independentes nos 2 planejamentos foram a concentração de coagulantes e de floculantes (Tabela 10), tendo como variável resposta a remoção de turbidez (%).

Tabela 10 - Planejamentos experimentais estudados.

Planejamento	3	4
Coagulante	Novfloc	Klaraid 1176L
Floculante	Polfloc	Polfloc

Foram realizados dois planejamentos iniciais fatoriais  $2^2$ , com 4 pontos fatoriais, 3 pontos centrais, seguindo as mesmas concentrações estudadas nos planejamentos de sedimentação.

Tabela 11 - Níveis codificados das variáveis estudadas.

	Tratamentos	Coagulante	Floculante
	1	-1	-1
Ensaio	2	+1	-1
Fatoriais	3	-1	+1
	4	+1	+1
Repetições no	5	0	0
Ponto Central	6	0	0
	7	0	0

Como passo seguinte também foi feito o delineamento composto central rotacional (DCCR), que reduz o número de repetições e melhora a qualidade da informação (Tabela 12).

Tabela 12 - Níveis reais e codificados do DCCR

Variáveis Independentes	Níveis reais e codificados das variáveis independentes				
	-1,41	-1	0	1	1,41
Klaraid (ppm) / Novfloc (ppm)	173	210	300	390	427
Polfloc (ppm)	5,8	7	10	13	14,3

O *software* STATISTICA, versão 10.0 (Statsoft™, USA), foi utilizado para a determinação dos efeitos das variáveis independentes, análise de variância (ANOVA), o cálculo dos coeficientes da regressão e para obtenção dos gráficos de superfícies de resposta e de contorno, todos ao nível de 5% de significância.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS PRELIMINARES

#### 4.1.1 Dosagem mínima de coagulante

Os testes foram realizados para ambos os coagulantes, considerando o ponto de dosagem mínima à visualização dos primeiros flocos formados. Os resultados estão apresentados na Tabela 13, expressos em ppm.

**Tabela 13 - Dosagem mínima de coagulante.**

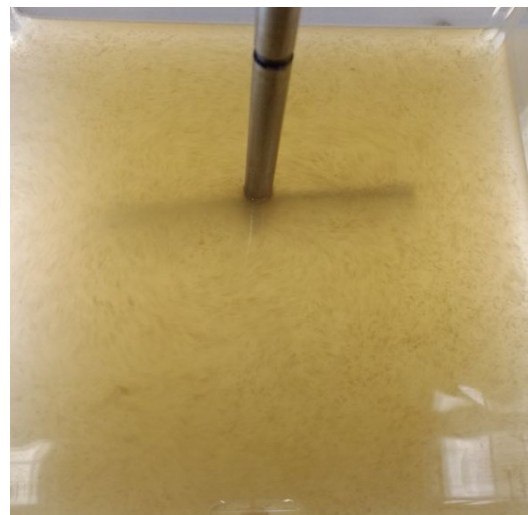
<b>Coagulante</b>	<b>Dosagem Mínima (ppm)</b>
Novfloc	100
Klaraid 1176 L	100

A concentração de 100 ppm para o coagulante Novfloc foi mais alta que a apresentada por Solana (2014) que necessitou de 30 ppm para visualizar a formação de flocos, utilizando as mesmas condições, 30 rpm e 500 mL de efluente. Este resultado pode ser explicado com base na diferença de efluente, no trabalho proposto por Solana (2014) o efluente era oriundo de abatedouro e frigorífico, com valores para turbidez menores que o do efluente estudado no presente trabalho.

Para o coagulante Klaraid 1176 L a dosagem de 100 ppm, também foi mais alta que a apresentada por Fontanella (2003) que necessitou de 50 ppm para visualizar a dosagem mínima. O que pode ser explicado também pela diferença de efluente trabalhado, que no caso do trabalho referenciado foi oriundo de indústria de cerâmica, com valores de turbidez muito menores.



**Figura 17 - Coágulos formados pela adição de Novfloc.**



**Figura 18 - Coágulos formados pela adição de Klaraid.**

#### 4.1.2 pH de coagulação

Tendo como base as dosagens mínimas encontradas para os coagulantes, foi feito os testes de pH, avaliando uma faixa entre 6 a 8,5, listados na Tabela 14, tendo como parâmetro de resposta a remoção de turbidez.

**Tabela 14 - pH (NOVFLOC E KLARAID 11767L).**

Ensaio	pH do ensaio	NOVFLOC (100 ppm)	Klaraid (100 ppm)
		Remoção de Turbidez (%)	Remoção de Turbidez (%)
1	6	62,93	44,31
2	6,5	62,76	43,85
3	7	58,37	41,67
4	7,5	65,1	44,67
5	8	60,25	39,57
6	8,5	61,32	41,51
<b>Efluente</b>	<b>7,66</b>		

De acordo com a Tabela 14, pode-se averiguar que houve pouca influência do pH sobre a turbidez para ambos os coagulantes em relação a remoção de turbidez, os ensaios que apresentaram melhor remoção para o coagulante Novfloc foram os ensaios 1 com remoção de 62,93% e 4 com 65,1%. Em relação ao coagulante Klaraid 1176L também foram os ensaios 1 e 4, com remoções de 44,31% e 44,67% respectivamente. Assim para os planejamentos experimentais foi feito o ajuste de pH do efluente para a faixa que se teve maior eficiência na remoção de turbidez isto é, com pH 7,5, devido ao efluente bruto de laticínios da empresa apresentar grande variação de pH ao longo do dia e devido ao pH da empresa ser próximo da faixa de 7,5, podendo resultar em possíveis economias com relação à correções de pH.

## 4.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

### 4.2.1 Planejamento inicial: Fatorial $(2)^2$ Sedimentação

A matriz experimental para o planejamento fatorial dos dois tipos de coagulantes estão ilustrados nas Tabelas (15) e Tabela (16), com os níveis dos fatores e as eficiências de remoção de turbidez no tratamento físico-químico (coagulação/floculação/sedimentação), no decorrer dos 7 ensaios executados aleatoriamente com o coagulante Klaraid e floculante Polfloc e com o coagulante Novfloc e floculante Polfloc.

**Tabela 15 - Matriz do planejamento (2)<sup>2</sup> com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em sedimentação.**

Coagulante Klaraid	Tratamentos	Fatores		Variável resposta
		Coagulante (ppm)	Floculante (ppm)	Remoção de Turbidez (%)
Ensaio Fatorial	1	-1 (120)	-1 (4)	<b>54,70</b>
	2	+1 (300)	-1 (4)	<b>66,48</b>
	3	-1 (120)	+1 (10)	<b>57,00</b>
	4	+1 (300)	+1 (10)	<b>66,72</b>
Repetições no Ponto Central	5	0 (210)	0 (7)	<b>61,50</b>
	6	0 (210)	0 (7)	<b>61,74</b>
	7	0 (210)	0 (7)	<b>61,66</b>

**Tabela 16 - Matriz do planejamento (2)<sup>2</sup> com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em sedimentação.**

Coagulante Novfloc	Tratamentos	Fatores		Variável resposta
		Coagulante (ppm)	Floculante (ppm)	Remoção de Turbidez (%)
Ensaio Fatorial	1	-1 (120)	-1 (4)	<b>53,16</b>
	2	+1 (300)	-1 (4)	<b>66,86</b>
	3	-1 (120)	+1 (10)	<b>55,49</b>
	4	+1 (300)	+1 (10)	<b>68,42</b>
Repetições no Ponto Central	5	0 (210)	0 (7)	<b>61,61</b>
	6	0 (210)	0 (7)	<b>61,03</b>
	7	0 (210)	0 (7)	<b>61,32</b>

Através das Tabelas anteriores, pode-se perceber que nos planejamentos iniciais para sedimentação pelo coagulante inorgânico chegou-se a remoções 66,72% e com o planejamento inicial do tanino remoções de até 68,42% de turbidez.

Tendo em vista que o foco não era o modelo no planejamento inicial foi avaliado o erro padrão (SS residual) tanto no planejamento de sedimentação como nos planejamentos iniciais de flotação. Foi realizada então a análise dos efeitos e posterior análise de variância.

Tabela 17 - Análise dos efeitos.

Klarid				Novfoc			
R <sup>2</sup> = 0,99734				R <sup>2</sup> = 0,99797			
Fatores	Efeitos	p valor	Coeficientes	Fatores	Efeitos	p valor	Coeficientes
Interação	61,40034	0	61,40034	Interação	61,12731	0	61,12731
Coag	10,75099	0,00006	5,37549	Coag	13,3139	0,00004	6,65695
Floc	1,26482	0,029871	0,63241	Floc	1,94363	0,011553	0,97182
1 by 2	-1,02767	0,050451	-0,51383	1 by 2	-0,38873	0,348191	-0,19436

Foram considerados apenas os fatores significativos, ou seja, com o p-valor < 0,05. As estimativas dos efeitos relacionados à eficiência de remoção são ilustradas nos diagramas de Pareto (Figura 19). Os efeitos além da linha tracejada são considerados significativos em um intervalo de 95% de confiança.

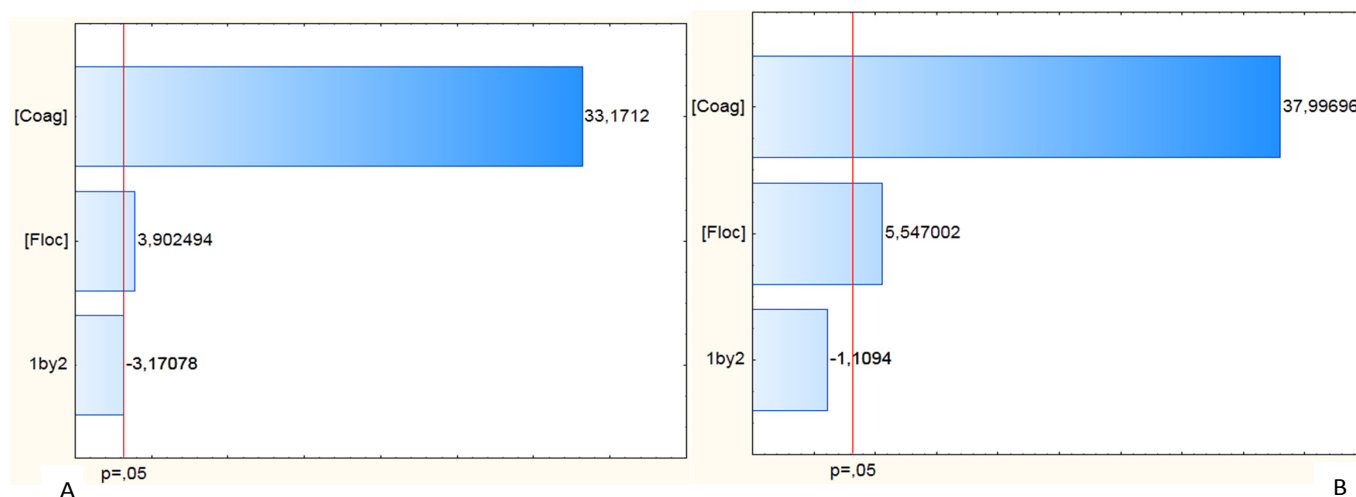


Figura 19 - Diagrama de Pareto (A - para o Klaraid) (B - para o Novfloc).

Observa-se na Figura 19-A e Figura 19-B que o coeficiente da variável Coagulante apresentou valor positivo, significando que a remoção de turbidez foi favorecida com maiores valores de coagulante, ou seja, a remoção de turbidez no sistema em estudo tende a aumentar com o aumento deste fator. O coeficiente do floculante apresentou também uma influência positiva, porém não favorece tanto a remoção de turbidez como o do coagulante.

Foi necessária uma análise de variância para ajuste do modelo aos dados obtidos. Com a ANOVA, o modelo linear pode ser usado para mostrar o comportamento do processo, ao nível de 95% de confiança, visto que o F calculado para ambos os casos de sedimentação foi maior do que o F tabelado (3;3;0,05) = 9,28.

**Tabela 18 - Análise de variância para remoção de turbidez.**

	Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>cal</sub> (95%)	F <sub>tab</sub> (95%)	F <sub>cal</sub> /F <sub>tab</sub>
<b>Sedimentação (Klaraid + Polfloc)</b>	Regressão (Modelo)	118,2397	3	39,41323333	375,245	9,28	40,43588
	Resíduos	0,3151	3	0,105033333			
	<b>Total</b>	<b>118,5548</b>	<b>6</b>				
<b>Sedimentação (Novfloc + Polfloc)</b>	Regressão (Modelo)	181,1887	3	60,39623333	491,96	9,28	53,01288
	Resíduos	0,3683	3	0,122766667			
	<b>Total</b>	<b>181,557</b>	<b>6</b>				

Observa-se nas Tabelas 15 e 16 que a eficiência de remoção de turbidez (%) pelo coagulante Klaraid apresentou valores médios entre 54,70 e 66,72%. Os melhores valores de eficiências de remoção foram obtidos com maiores concentrações de coagulante e floculante. Para o coagulante Novfloc, observa-se valores médios de remoção entre 53,16 e 68,42%, mostrando que os melhores resultados também foram obtidos com maiores aplicações de coagulante e floculante.

Visando à otimização das condições experimentais com base no planejamento inicial, utilizou-se um DCCR para ampliar a faixa avaliada do fator coagulação para a sedimentação de 120 ppm a 300 ppm para 210 ppm a 390 ppm, visto uma maior remoção nos valores de 300 ppm. Em relação ao fator floculante para a sedimentação não foi feita uma alteração em sua concentração no planejamento do novfloc, pois este fator não apresentou grande correlação com a remoção, em relação ao planejamento do coagulante Klaraid foi ampliada a faixa de 4 ppm a 10 ppm para 6 ppm a 12 ppm em busca de uma visualização de uma relação mais expressiva de remoção.

#### 4.2.2 Delineamento Composto Central Rotacional de Sedimentação

Para o início da execução do delineamento composto, a faixa de estudo de ambos os coagulantes como dito anteriormente foi deslocada e em relação ao floculante a faixa foi deslocada apenas para o Klaraid com base nos resultados dos planejamentos iniciais e em busca de uma representatividade maior dos resultados encontrados. A matriz experimental para o DCCR é ilustrada na Tabela 19, com os níveis e a variável resposta, nos 11 ensaios.

**Tabela 19 - Matriz do DCCR para Sedimentação (Níveis Reais e Codificados).**

	Ensaio	Novfloc (ppm)	Polfloc (ppm)	Rem. Turb (%)	Klaraid (ppm)	Polfloc (ppm)	Rem. Turb (%)
<b>Pontos Fatoriais</b>	1	210 (-1)	4 (-1)	63,44	210 (-1)	6 (-1)	63,12
	2	390 (1)	4 (-1)	75,95	390 (1)	6 (-1)	74,37
	3	210 (-1)	10 (1)	70,74	210 (-1)	12 (1)	67,95
	4	390 (1)	10 (1)	77,58	390 (1)	12 (1)	76,56
<b>Repetições no ponto Central</b>	5	300 (0)	7 (0)	73,07	300 (0)	9 (0)	71,91
	6	300 (0)	7 (0)	73,21	300 (0)	9 (0)	72,42
	7	300 (0)	7 (0)	72,60	300 (0)	9 (0)	72,19
<b>Pontos Axiais</b>	8	173(-1,41)	7 (0)	64,51	173 (-1,41)	9 (0)	66,33
	9	427 (1,41)	7 (0)	78,09	427 (1,41)	9 (0)	78,93
	10	300 (0)	2,8 (-1,41)	70,14	300 (0)	4,8 (-1,41)	71,53
	11	300 (0)	11,3 (1,41)	73,63	300 (0)	13,3 (1,41)	75,81

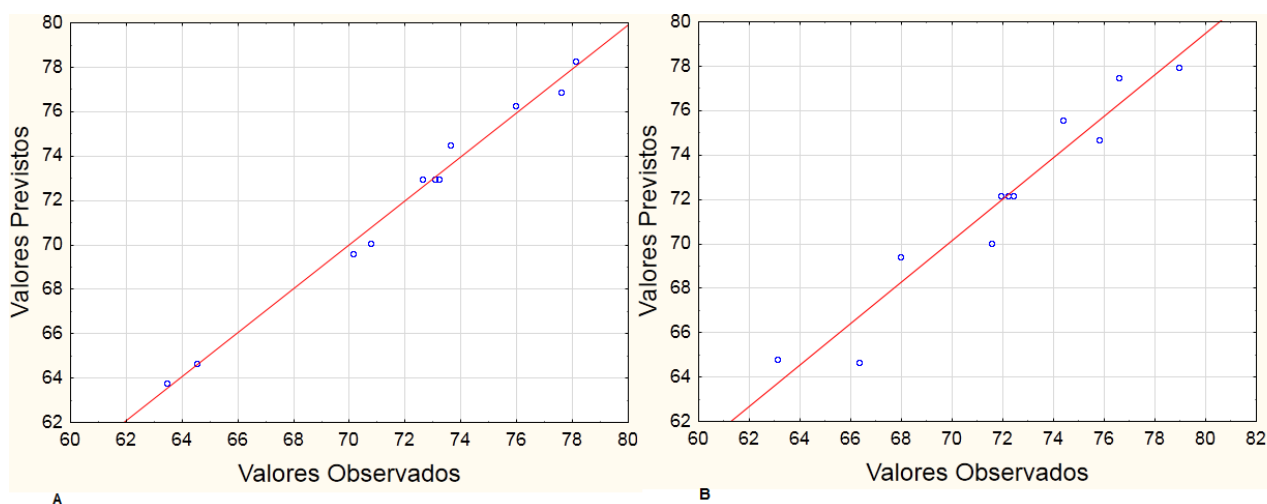
Como se pode visualizar acima, a remoção da turbidez foi maior que no planejamento inicial, chegando a remoções de 78,09% e 78,93% com o Novfloc e Klaraid respectivamente.

Com base nos resultados obtidos na Tabela 19, ajustaram-se os dados para obtenção de um modelo quadrático, relacionando a eficiência de remoção de turbidez. Os modelos ilustrados nas Eq.1 e Eq.2 apresentaram  $R^2 = 0,93248$  e  $R^2 = 0,98929$ , significando que 93,25% e 98,92% da variação na eficiência de remoção de turbidez é explicada pelo modelo.

Rem. Turbidez pelo Klaraid =  $72,17 + 4,71 \text{ Coag} + 1,64 \text{ Floc} - 0,66 \text{ Coag} \times \text{Floc}$  (Eq. 1)

Rem. Turbidez pelo Novfloc =  $72,97 + 4,82 \text{ Coag} + 1,74 \text{ Floc} - 1,42 \text{ Coag} \times \text{Floc} - 0,747 \text{ Coag}^2$  (Eq. 2)

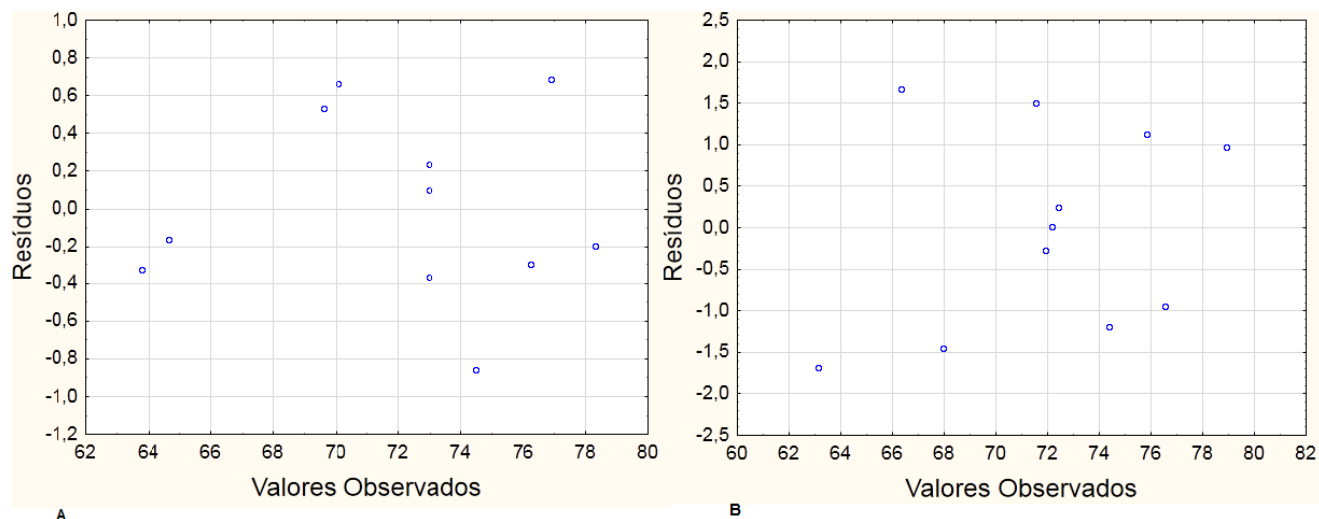
De acordo com a Figura 20, pode-se visualizar o gráfico da probabilidade normal dos resíduos para ambos os casos, que apresentam ajuste satisfatório, pois nos dois casos todos os resíduos estão distribuídos ao redor da reta.



**Figura 20 - Gráfico de Probabilidade Normal dos Resíduos (A - Novfloc) (B - Klaraid).**

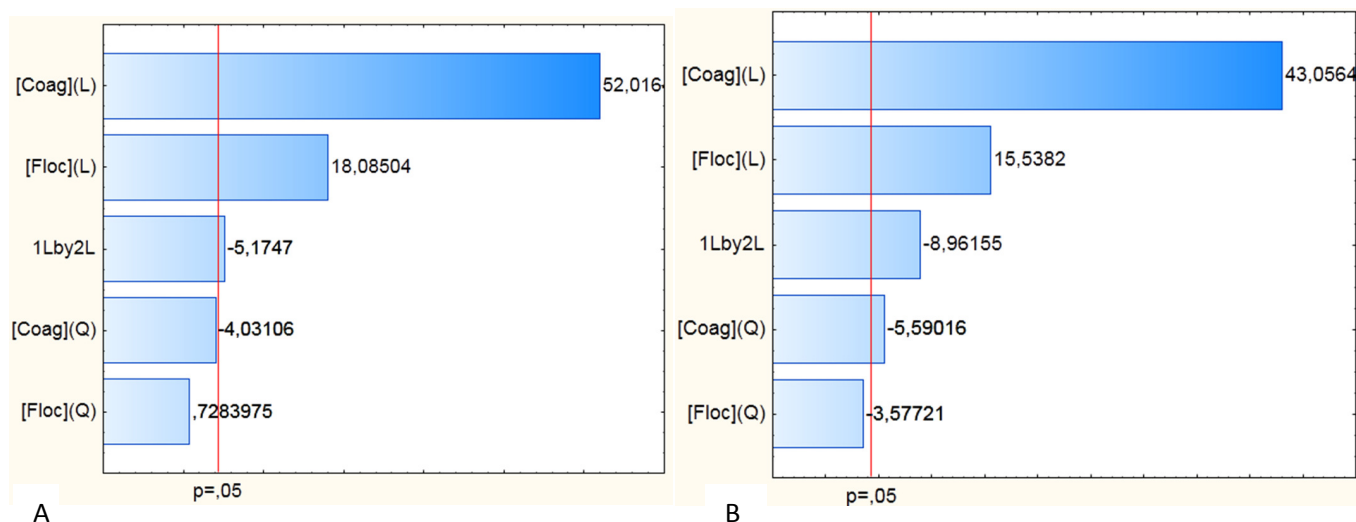
Já a Figura 21, apresenta o gráfico dos resíduos pelos valores observados, onde, pode-se visualizar que os valores se apresentam de forma aleatória, sem qualquer tendência.





**Figura 21 - Gráfico dos Resíduos pelos Valores Observados (A - Novfloc) (B - Klaraid).**

As estimativas dos efeitos relacionados à eficiência de remoção de turbidez são ilustradas nos diagramas de Pareto (Figura 22). Os efeitos além da linha tracejada são considerados significativos em um intervalo de 95% de confiança.



**Figura 22 - Diagrama de Pareto (A - Para o Klaraid) (B - Para o Novfloc).**

Com base na Figura 22-A e Figura 22-B, pode-se visualizar que para o Klaraid apenas os termos lineares foram significativos, já para o Novfloc, apenas o termo quadrático da concentração do floculante que não teve significância a 95%.

Para se verificar a qualidade de ajuste do modelo, utilizou-se a análise de variância (ANOVA), analisando o coeficiente de determinação e o teste F.

**Tabela 20 - Análise de Variância (95%).**

	Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>cal</sub> (95%)	F <sub>tab</sub> (95%)	F <sub>cal</sub> /F <sub>tab</sub>
<b>Sedimentação (Klaraid + Polfloc)</b>	Regressão (Modelo)	202,1939	5	40,43878	13,8096	5,02	2,750925
	Resíduos	14,6415	5	2,9283			
	Falta de ajuste	14,5103	3	4,836766667	73,7312	19,2	3,840167
	Erro puro	0,1312	2	0,0656			
	<b>Total</b>	<b>216,8354</b>	<b>10</b>				
<b>Sedimentação (Novfloc + Polfloc)</b>	Regressão (Modelo)	221,4006	5	44,28012	92,3272	5,02	18,39187
	Resíduos	2,398	5	0,4796			
	Falta de ajuste	2,1975	3	0,7325	7,30673	19,2	0,380559
	Erro puro	0,2005	2	0,10025			
	<b>Total</b>	<b>223,7986</b>	<b>10</b>				

Avaliando a regressão para ambos os coagulantes, o valor de  $F_{\text{calculado}}=13,8096$  do klaraid e  $F_{\text{calculado}}=92,3272$  do novfloc foram significativos, com  $p<0,05$  e maior que o  $F_{\text{tab}(5;5;0,05)}=5,02$ , ou seja, aproximadamente 2,75 e 18,92 vezes maior respectivamente.

Analisando a falta de ajuste para a sedimentação, para o coagulante Novfloc não foi observada significância para o modelo, pois  $F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$  para a falta de ajuste foi inferior a 1 (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2007).

Em relação ao coagulante Klaraid pode-se perceber que a falta de ajuste se apresentou de forma significativa  $F_{\text{cal}}>F_{\text{tab}}$ , isto é, o modelo apresentado não é adequado para descrever o comportamento da variável resposta obtida, assim pode-se considerar este modelo como não ideal para validação, pois o desejado seria atingir um termo não significativo, ou seja, um  $F_{\text{calculado}}$  menor do que o  $F_{\text{tabelado}}$ .

Novamente como no planejamento inicial de sedimentação, com base nos gráficos de superfície de resposta, pode-se observar que não foi encontrada uma faixa de aplicação ótima, e sim uma tendência de uma região que com maiores

concentrações de coagulante e floculante irá se obter uma maior eficiência com relação a remoção de turbidez.

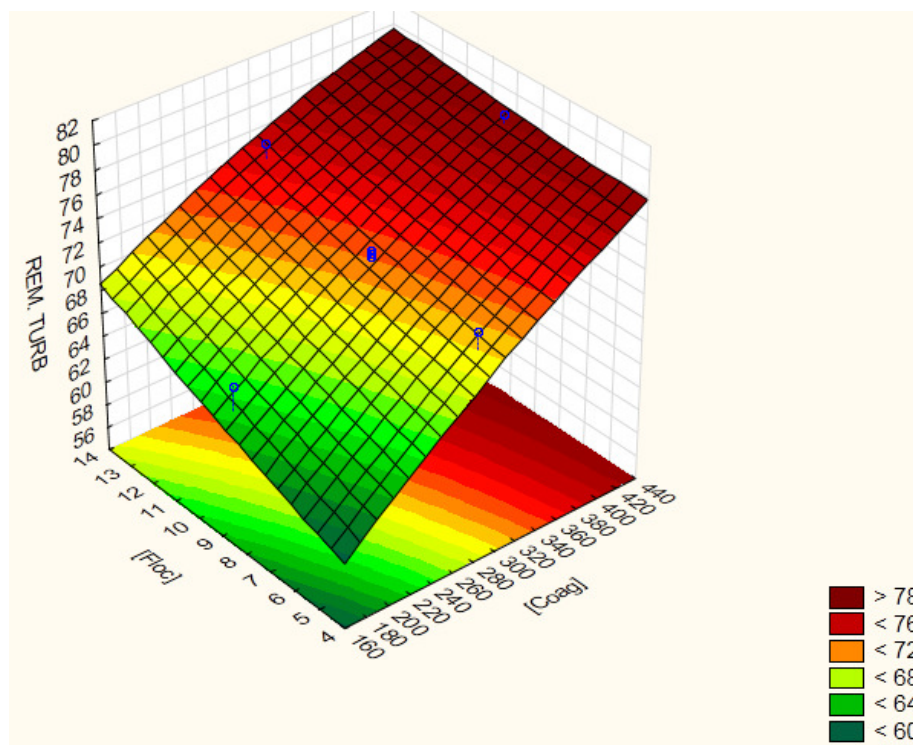


Figura 23 - Gráfico de Superfície Klaraid.

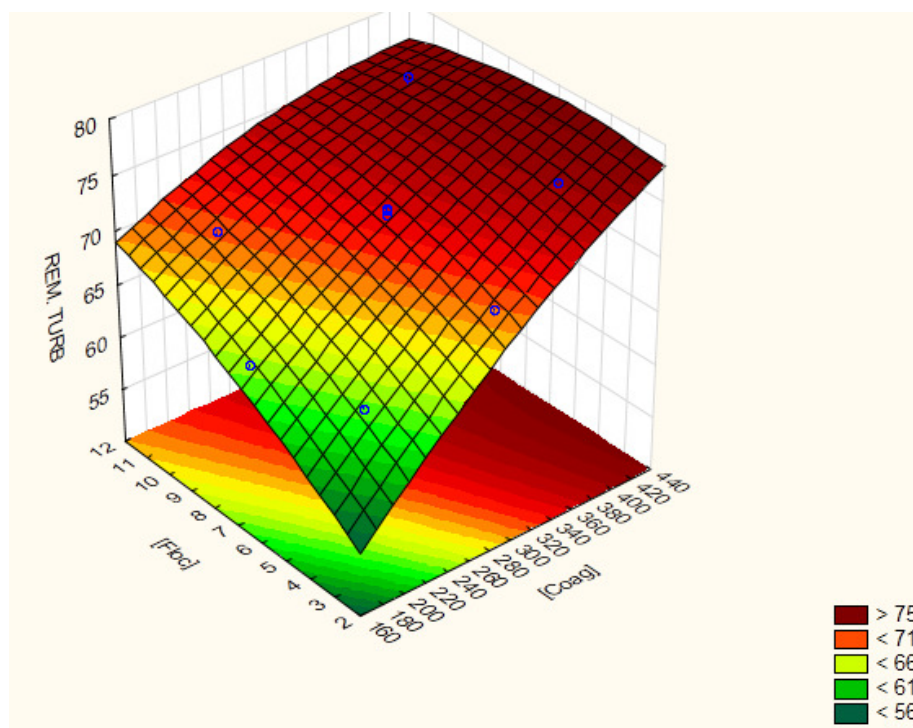


Figura 24 - Gráfico de Superfície Novfloc.

Observa-se na Figura 23 que os melhores valores de remoção de turbidez foram nas concentrações acima 427 ppm de coagulante e 9 ppm de floculante, assim foi obtido 78,93%. Em relação à Figura 24 os melhores resultados de remoção foram em concentrações de 427 ppm de coagulante e 7 ppm de floculante, obtendo 78,09%.

Coral; Bergamasco; Bassetti (2009) utilizaram o (Tanfloc) que é de origem vegetal, como coagulante, apresentando resultados positivos para a sua aplicação em substituição ao coagulante inorgânico sulfato de alumínio em tratamento de água, obtendo resultados similares quanto a remoção de turbidez para ambos os coagulantes, utilizando concentrações de 10 até 60 mg.L<sup>-1</sup>, para tempos e gradientes de 100 rpm por 30 segundos, 25 rpm para 15 minutos e 0 rpm para 15 minutos de sedimentação.

Vaz et al. (2010), utilizaram também o (Tanfloc) para efluente de galvanoplastia, chegando em bons resultados para concentrações de 400 ppm, alcançando remoções de turbidez superiores a 99%, em ensaios de Jart-Test com 1,2 litros de efluente, para tempos e gradientes de 120 rpm para 1,5 minutos, 20 rpm para 15 minutos e 40 minutos de sedimentação.

Santos et al. (2009) utilizaram os coagulantes inorgânicos cloreto férrico e sulfato de alumínio, para o tratamento de efluente lácteo, obtendo como resultado eficiências de remoções para turbidez (NTU), d<sub>90</sub> (mg.L<sup>-1</sup>) e tog (mg.L<sup>-1</sup>) de 97,6%, 63% e 92,4% para o cloreto e para o Sulfato de 98%,64,8% e 95,2% para 1 hora de sedimentação.

#### 4.2.3 Planejamento inicial: fatorial $(2)^2$ flotação

A matriz experimental para o planejamento fatorial dos dois tipos de coagulantes estão ilustrados nas Tabelas (21) e Tabela (22), com os níveis dos fatores e as eficiências de remoção de turbidez no tratamento físico-químico (coagulação/floculação/flotação), no decorrer dos 7 ensaios executados aleatoriamente com o coagulante Klaraid e floculante Polfloc e com o coagulante Novfloc e floculante Polfloc.

**Tabela 21 - Matriz do planejamento  $(2)^2$  com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em flotação.**

Coagulante Klaraid	Tratamentos	Fatores		Variável resposta
		Coagulante (ppm)	Floculante (ppm)	Remoção de Turbidez (%)
Ensaio Fatoriais	1	-1 (120)	-1 (4)	<b>42,88</b>
	2	+1 (300)	-1 (4)	<b>55,79</b>
	3	-1 (120)	+1 (10)	<b>52,66</b>
	4	+1 (300)	+1 (10)	<b>62,90</b>
Repetições no Ponto Central	5	0 (210)	0 (7)	<b>53,23</b>
	6	0 (210)	0 (7)	<b>52,47</b>
	7	0 (210)	0 (7)	<b>53,89</b>

**Tabela 22 - Matriz do planejamento  $(2)^2$  com os fatores (codificados e reais) e respostas, quanto à remoção de turbidez em flotação.**

Coagulante Novfloc	Tratamentos	Fatores		Variável resposta
		Coagulante (ppm)	Floculante (ppm)	Remoção de Turbidez (%)
Ensaio Fatoriais	1	-1 (120)	-1 (4)	<b>46,39</b>
	2	+1 (300)	-1 (4)	<b>61,48</b>
	3	-1 (120)	+1 (10)	<b>55,98</b>
	4	+1 (300)	+1 (10)	<b>67,46</b>
Repetições no Ponto Central	5	0 (210)	0 (7)	<b>56,80</b>
	6	0 (210)	0 (7)	<b>57,46</b>
	7	0 (210)	0 (7)	<b>57,87</b>

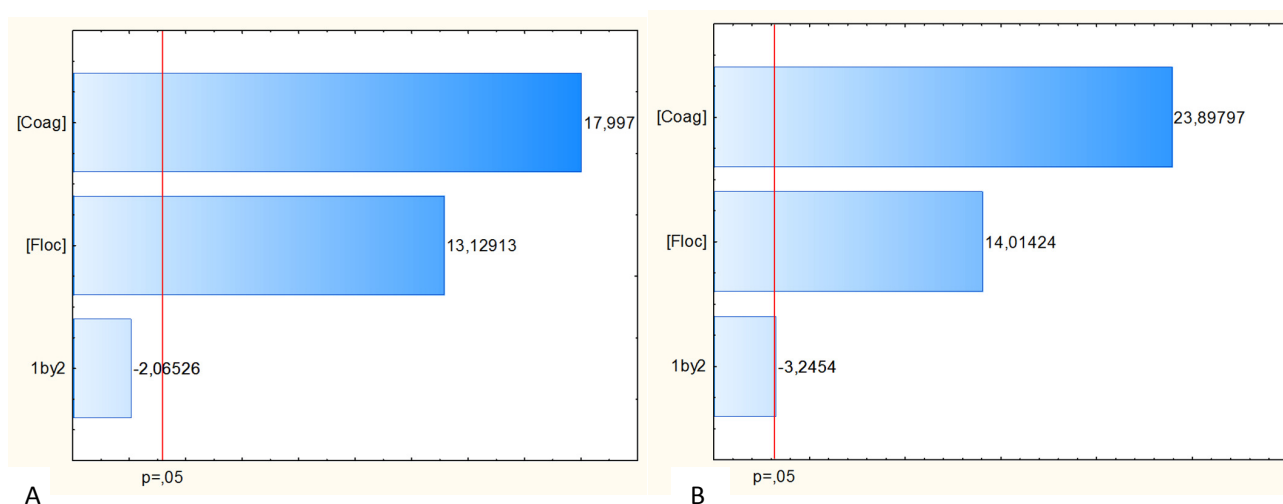
Através das Tabelas anteriores, pode-se perceber que nos planejamentos iniciais para flotação pelo coagulante inorgânico chegou-se a remoções 62,90% e com o planejamento inicial do tanino remoções de até 67,46% de turbidez.

Tendo em vista que o foco não era o modelo no planejamento inicial foi avaliado o erro padrão (SS residual). Foi realizada então a análise dos efeitos e posterior análise de variância.

**Tabela 23 - Análise dos efeitos.**

Klarid				Novfoc			
R <sup>2</sup> = 0,99404				R <sup>2</sup> = 0,99616			
Fatores	Efeitos	p valor	Coeficientes	Fatores	Efeitos	p valor	Coeficientes
Interação	53,40201	0	53,40201	Interação	57,63466	0	57,63466
Coag	11,57495	0,000374	5,78748	Coag	13,27869	0,000161	6,63934
Floc	8,44402	0,000954	4,22201	Floc	7,78689	0,000787	3,89344
1 by 2	-1,32827	0,130835	-0,66414	1 by 2	-1,80328	0,047655	-0,90164

Foram considerados apenas os fatores significativos, ou seja, com o p-valor < 0,05. As estimativas dos efeitos relacionados à eficiência de remoção são ilustradas nos diagramas de Pareto (Figura 25). Os efeitos além da linha tracejada são considerados significativos em um intervalo de 95% de confiança.



**Figura 25 - Diagrama de Pareto (A - para o Klarid) (B - para o Novfoc)**

Observa-se na Figura 25-A e na Figura 25-B que o coeficiente da variável Coagulante apresentou valor positivo, significando que a remoção de turbidez foi favorecida com maiores valores de coagulante, ou seja, a remoção de turbidez no sistema em estudo tende a aumentar com o aumento deste fator. O coeficiente Floculante em ambos os gráficos apresentou também um valor positivo e com significância próxima a do fator coagulante.

Foi necessária uma análise de variância para ajuste do modelo aos dados obtidos. Com a ANOVA, o modelo linear pode ser usado para mostrar o comportamento do processo, ao nível de 95% de confiança, tendo em vista que para ambos os casos de flotação o F calculado foi maior que o F tabelado (3;3;0,05) = 9,28.

**Tabela 24 - Análise de variância para remoção de turbidez.**

	Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>cal</sub> (95%)	F <sub>tab</sub> (95%)	F <sub>cal</sub> /F <sub>tab</sub>
<b>Flotação (Klaraid + Polfloc)</b>	Regressão (Modelo)	207,0454	3	69,01513333	166,851	9,28	17,97963
	Resíduos	1,2409	3	0,413633333			
	<b>Total</b>	<b>208,2863</b>	<b>6</b>				
<b>Flotação (Novfloc + Polfloc)</b>	Regressão (Modelo)	240,211	3	80,07033333	259,351	9,28	27,94732
	Resíduos	0,9262	3	0,308733333			
	<b>Total</b>	<b>241,1372</b>	<b>6</b>				

Nas Tabelas 21 e 22 observa-se que a eficiência de remoção de turbidez (%) pelo coagulante Klaraid apresentou valores médios entre 42,88 e 62,90%. Os melhores valores de eficiências de remoção foram obtidos com maiores concentrações de coagulante e floculante. Para o coagulante Novfloc, observa-se valores médios de remoção entre 46,39 e 67,46%, mostrando que os melhores resultados também foram obtidos com maiores aplicações de coagulante e floculante.

Visando à otimização das condições experimentais com base no planejamento inicial, utilizou-se um DCCR para ampliar a faixa avaliada do fator Coagulação para a flotação de 120 ppm a 300 ppm para 210 ppm a 390 ppm, visto uma maior remoção nos valores de 300 ppm. Em relação ao fator floculante devido à

sua significância também foi ampliada a faixa do fator de 4 ppm a 10 ppm para 7 ppm a 13 ppm.

#### 4.2.4 Delineamento Composto Central Rotacional de Flotação

Visando a otimização do processo da flotação, realizou-se um delineamento composto, a faixa de estudo de ambos os coagulantes e floculantes também foi deslocada, assim os níveis foram ampliados e abrangeu-se uma faixa maior.

**Tabela 25 - Matriz do DCCR para Flotação (Níveis Reais e Codificados).**

	Ensaio	Novfloc (ppm)	Polfloc (ppm)	Rem. Turb (%)	Klaraid (ppm)	Polfloc (ppm)	Rem. Turb (%)
<b>Pontos Fatoriais</b>	1	210 (-1)	7 (-1)	63,01	210 (-1)	7 (-1)	61,55
	2	390 (1)	7 (-1)	68,31	390 (1)	7 (-1)	71,12
	3	210 (-1)	13 (1)	65,56	210 (-1)	13 (1)	63,01
	4	390 (1)	13 (1)	72,11	390 (1)	13 (1)	73,31
<b>Repetições no ponto Central</b>	5	300 (0)	10 (0)	67,01	300 (0)	10 (0)	66,39
	6	300 (0)	10 (0)	67,12	300 (0)	10 (0)	66,6
	7	300 (0)	10 (0)	66,86	300 (0)	10 (0)	66,7
<b>Pontos Axiais</b>	8	173(-1,41)	10 (0)	62,38	173 (-1,41)	10 (0)	60,82
	9	427 (1,41)	10 (0)	71,96	427 (1,41)	10 (0)	74,92
	10	300 (0)	5,8 (-1,41)	66,18	300 (0)	5,8 (-1,41)	65,92
	11	300 (0)	14,3 (1,41)	69,35	300 (0)	14,3 (1,41)	70,24

Como se pode visualizar acima, a remoção da turbidez foi maior que no planejamento inicial, chegando a remoções de 72,11% e 74,92% com o Novfloc e Klaraid respectivamente.

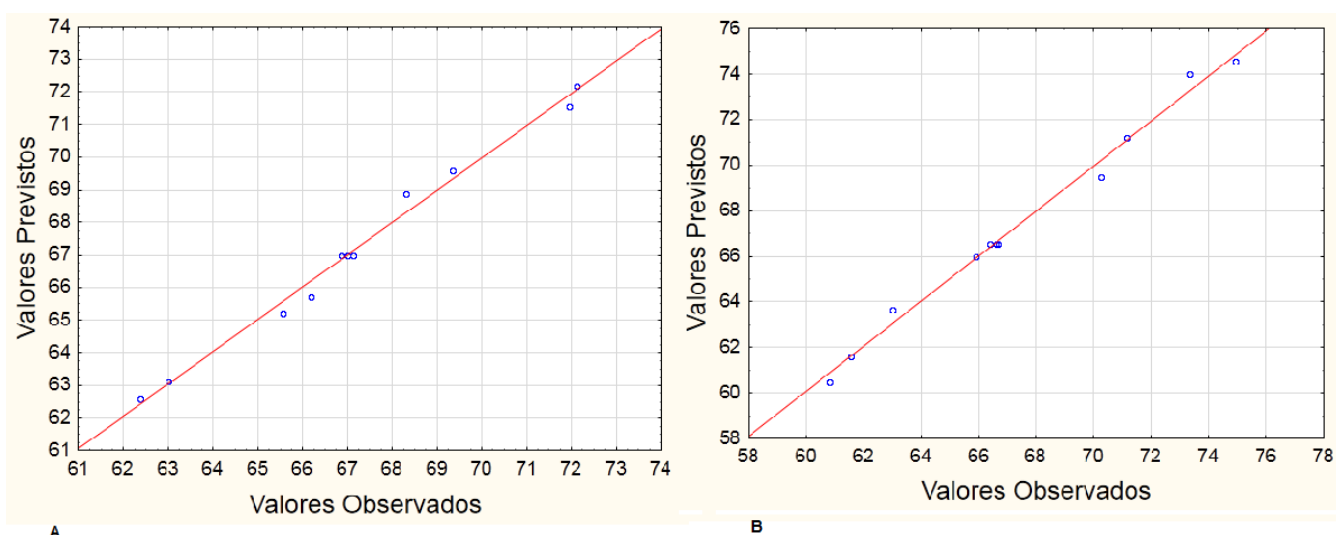
Com base nos resultados obtidos na Tabela 25, ajustaram-se os dados para obtenção de um modelo quadrático, relacionando a eficiência de remoção de turbidez. Os modelos ilustrados nas Eq.3 e Eq.4 apresentaram  $R^2= 0,99164$  e  $R^2=0,99033$ , significando que 99,16% e 99,03% da variação na eficiência de remoção de turbidez é explicada pelo modelo.



Rem. Turbidez pelo Klaraid =  $66,55 + 4,98 \text{ Coag} + 1,21 \text{ Floc} + 0,48 \text{ Coag}^2 + 0,574 \text{ Floc}^2$  (Eq. 3)

Rem. Turbidez pelo Novfloc =  $67,33 + 3,18 \text{ Coag} + 1,35 \text{ Floc} + 0,312 \text{ Coag} \times \text{Floc} + 0,3158 \text{ Floc}^2$  (Eq. 4)

De acordo com a Figura 26, pode-se visualizar o gráfico da probabilidade normal dos resíduos para ambos os casos, que apresentam ajuste satisfatório, pois nos dois casos todos os resíduos estão distribuídos ao redor da reta.



**Figura 26 - Gráfico de Probabilidade Normal dos Resíduos (A - Novfloc) (B - Klaraid).**

Já a Figura 27, apresenta o gráfico dos resíduos pelos valores observados, onde, pode-se visualizar que os valores se apresentam de forma aleatória, sem qualquer tendência.

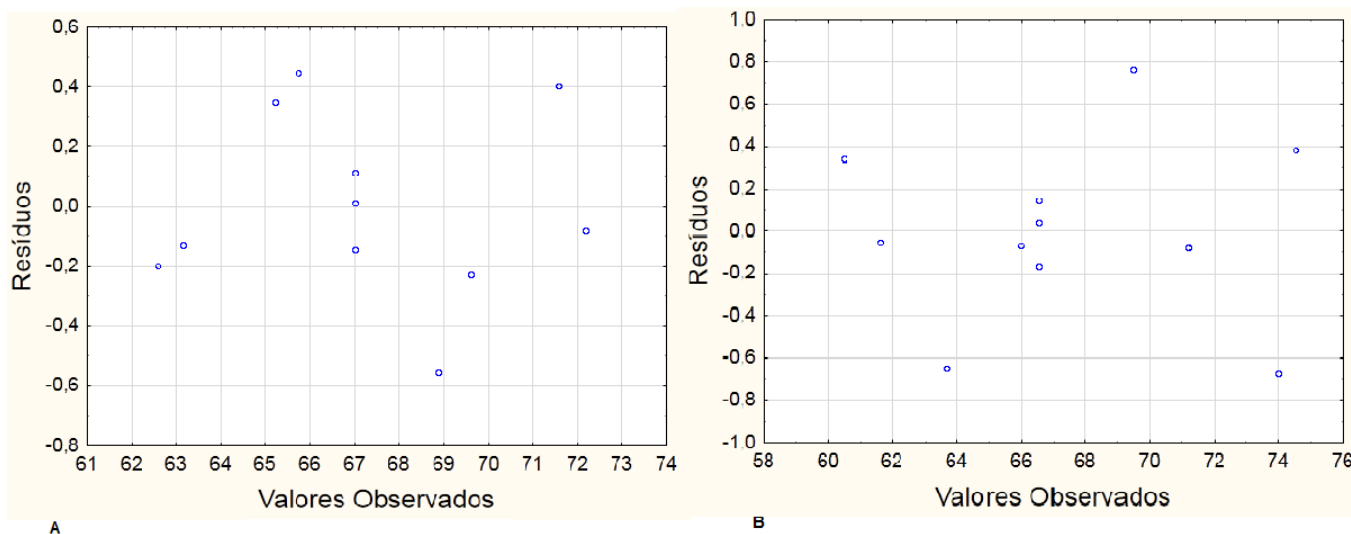


Figura 27 - Gráfico dos Resíduos pelos Valores Observados (A - Novfloc) (B - Klaraid).

As estimativas dos efeitos relacionados à eficiência de remoção de turbidez são ilustradas nos diagramas de Pareto (Figura 28). Os efeitos além da linha tracejada são considerados significativos em um intervalo de 95% de confiança.

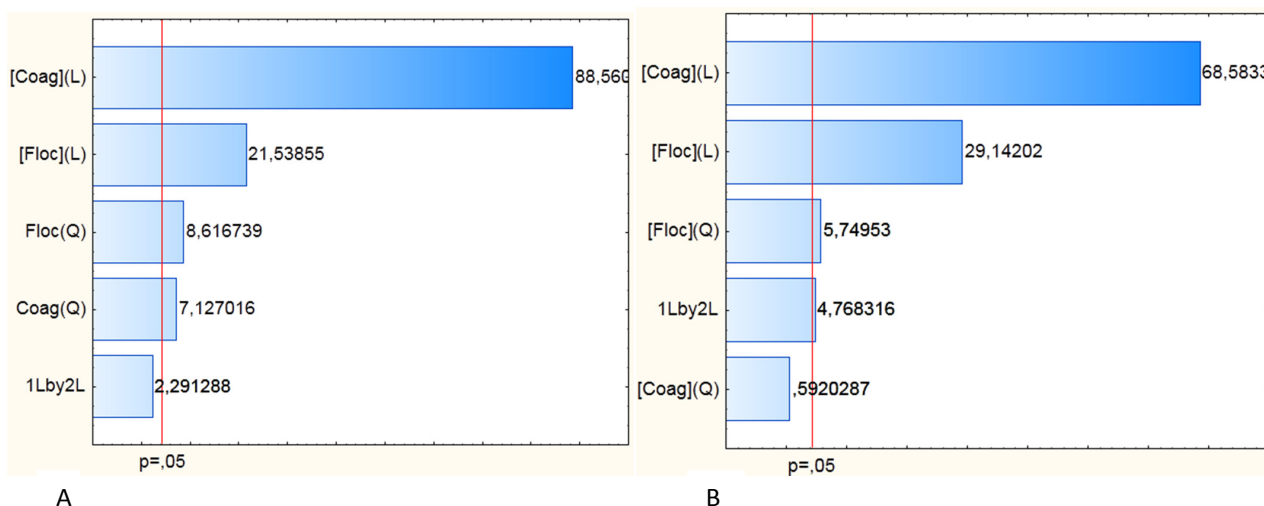


Figura 28 - Diagrama de Pareto (A - Para o Klaraid) (B - Para o Novfloc).

Com base na Figura 28-A e Figura 28-B, pode-se visualizar que para o coagulante Klaraid tanto os termos lineares quanto os termos quadráticos foram

significativos, já para o Novfloc, apenas o termo quadrático da concentração do coagulante que não teve significância a 95%.

Para se verificar a qualidade de ajuste do modelo, utilizou-se análise de variância (ANOVA), analisando o coeficiente de determinação e o teste F.

**Tabela 26 - Análise de Variância (95%).**

	Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F <sub>cal</sub> (95%)	F <sub>tab</sub> (95%)	F <sub>cal</sub> /F <sub>tab</sub>
<b>Flotação (Klaraid + Polfloc)</b>	Regressão (Modelo)	212,6965	5	42,5393	118,666	5,02	23,6386
	Resíduos	1,7924	5	0,35848			
	Falta de ajuste	1,7419	3	0,580633333	22,9954	19,2	1,197676
	Erro puro	0,0505	2	0,02525			
	<b>Total</b>	<b>214,4889</b>	<b>10</b>				
<b>Flotação (Novfloc + Polfloc)</b>	Regressão (Modelo)	96,33932	5	19,267864	102,375	5,02	20,3935
	Resíduos	0,94104	5	0,188208			
	Falta de ajuste	0,90675	3	0,30225	17,629	19,2	0,918179
	Erro puro	0,03429	2	0,017145			
	<b>Total</b>	<b>97,28036</b>	<b>10</b>				

Avaliando a regressão para ambos os coagulantes, o valor de  $F_{\text{calculado}} = 118,666$  do klaraid e  $F_{\text{calculado}} = 102,375$  do novfloc foram significativos, com  $p < 0,05$  e maior que o  $F_{(5;5;0,05)} = 5,02$ , ou seja, aproximadamente 23,74 e 20,40 vezes maior respectivamente.

Analisando a falta de ajuste para a flotação, para o coagulante Novfloc não foi observada significância para o modelo, pois  $F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$  para a falta de ajuste também foi inferior a 1 (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2007).

Em relação ao coagulante klaraid, a falta de ajuste também se apresentou de forma significativa ( $F_{\text{calculado}}(5;5;0,05) = 22,99 > F_{\text{tabelado}}(5;5;0,05) = 19,2$ ), embora o idealizado fosse um valor de  $F_{\text{calculado}}$  menor que o  $F_{\text{tabelado}}$ , ou seja, sem significância.

Para fins preditivos, tendo como base que a relação do  $F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$  foi baixa, pode-se avaliar neste caso a relação entre os pontos centrais e o erro puro gerado na análise de variância. Assim considerando que para remoção de turbidez os

pontos centrais foram próximos (66,38%; 66,59% e 66,70%) demonstrando uma boa repetibilidade de resultados, e que o erro puro de 0,0505 foi baixo, o modelo pode ser considerado como válido para este caso (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2007).

Na mesma linha de pensamento Waszczyzny e Nelsen (1996) apud Souza e Menezes (2008) reforçam que é possível analisar nos casos em que o  $F_{cal}/F_{tab}$  foi baixo, o quadrado médio, assim se o quadrado médio do erro do experimento for baixo, pode ser feita a consideração de que a falta de ajuste é irrelevante para a validação do modelo.

Novamente como no planejamento inicial de flotação, com base nos gráficos de superfície de resposta, pode-se observar que não foi encontrada uma faixa de aplicação ótima, e sim uma tendência de uma região que com maiores concentrações de coagulantes e floculantes irá se obter uma maior eficiência com relação a remoção de turbidez.

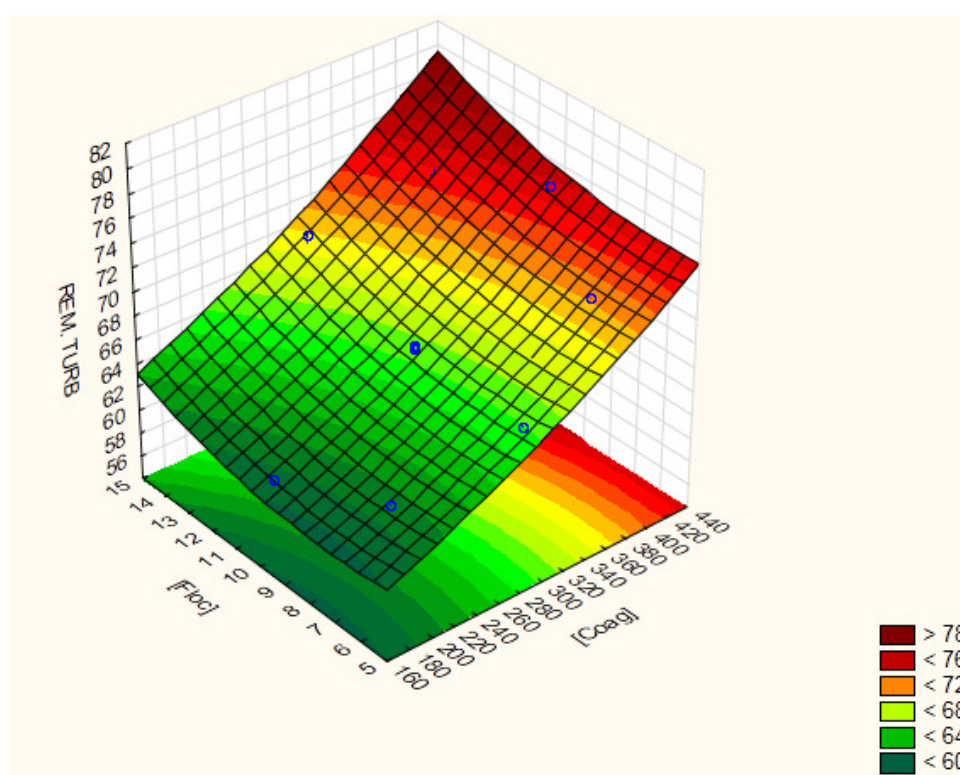


Figura 29 - Gráfico de Superfície Klaraid.

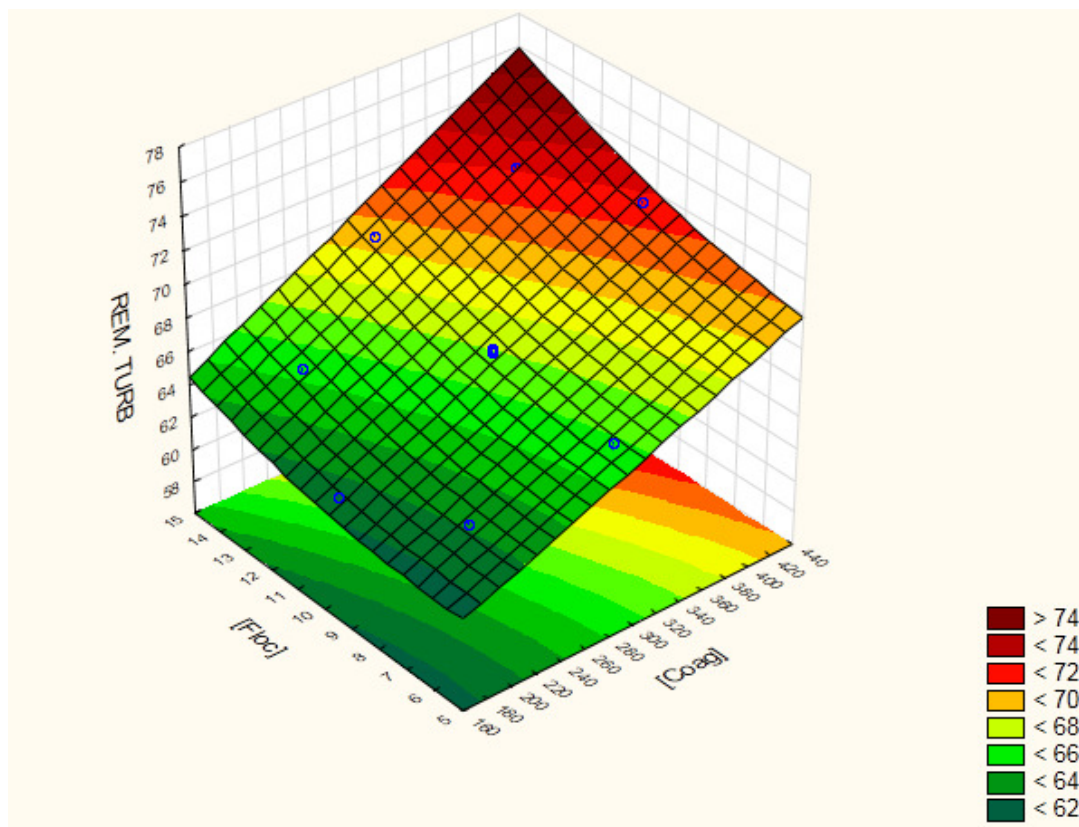


Figura 30 - Gráfico de Superfície Novfloc.

Observa-se na Figura 29 que os melhores valores de remoção de turbidez foram nas concentrações acima 427 ppm de coagulante e 10 ppm de floculante, assim foi obtido 74,92%. Em relação à Figura 30 os melhores resultados de remoção foram em concentrações de 390 ppm de coagulante e 13 ppm de floculante, obtendo 72,11%.

Casagrande (2014) utilizou o PAC como coagulante, na flotação para efluente de reatores anaeróbios, fixando os parâmetros  $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$ ,  $T_{mr} = 15 \text{ s}$ ;  $G_{floc} = 80 \text{ s}^{-1}$ ,  $T_{floc} = 10 \text{ min}$ ,  $P_{sat} = 5 \text{ Bar}$ ,  $R = 20 \%$ ,  $T_{ci} = 30 \text{ s}$  e  $V_f = 16 \text{ cm.min}^{-1}$ , obteve resultados positivos na aplicação de  $9 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de PAC, chegando a remoções 75% e 70% de cor e turbidez respectivamente, e com a aplicação de  $90 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de PAC, obteve grandes eficiências de remoções de 90% e 97% de cor e turbidez.

Andrade (2015) também utilizou o PAC para os processos de flotação e filtração em efluente de laticínios, com a aplicação de  $1400 \text{ mg.L}^{-1}$  de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  chegou a 90,85% de remoção de turbidez com a filtração, para a flotação fixou os parâmetros: pressão de saturação (5 bar), tempo de saturação (5 minutos), taxa de recirculação

(20%) e velocidade de flotação de (16cm.min<sup>-1</sup>), atingindo remoções de 50,17% de turbidez.

Pelegrino (2011) chegou a resultados positivos utilizando a menor dosagem do coagulante Acquapol OF 18 (65 mg.L<sup>-1</sup>) que é um tanino derivado da casca da Acácia negra, associada a polímero catiônico (2 mg.L<sup>-1</sup>) na flotação com os seguintes parâmetros fixados:  $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$ ,  $T_{mr} = 20 \text{ s}$ ;  $G_{floc} = 90 \text{ s}^{-1}$ ,  $T_{floc} = 15 \text{ min}$ ,  $P_{sat} = 5 \text{ Bar}$ ,  $R = 17 \%$ , chegando a resultados de remoção de 95,2% de turbidez, 82,1% de cor aparente e 87,9% de SST.

Os estudos apresentados acima reforçam sobre a eficiência do processo da flotação aplicada tanto em tratamentos de água como de efluentes, utilizando tanto coagulantes inorgânicos como coagulantes com base orgânica.

Tendo em vista as avaliações propostas, sabendo da diferença que flotação e sedimentação são dois processos que se diferem, pode-se fazer a consideração que neste estudo, houve uma maior eficiência de remoção do parâmetro turbidez, na sedimentação, o que se deu pelas características do efluente e do processo aplicado.

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo e considerando a condição dos ensaios, pode-se concluir que os coagulantes Novfloc e Klaraid apresentaram resultados similares tanto no processo da sedimentação como no processo da flotação, ambos mostrando ser eficientes na formação de flocos com características apropriadas tanto para o processo de sedimentação como para o processo de flotação.

Tendo em vista que os resultados foram similares pode-se considerar o coagulante com base orgânica como uma alternativa da aplicação dos coagulantes inorgânicos, podendo também auxiliar na geração de um lodo com características biodegradáveis e com um potencial poluidor menor se comparado ao lodo gerado pela aplicação dos coagulantes inorgânicos, podendo em próximos trabalhos serem realizados a viabilidade econômica, avaliado-se os custos dos coagulantes.

Para o Novfloc e o Polfloc, os melhores resultados apresentaram uma remoção de turbidez na sedimentação de até 78,09%, com 390 a 427 ppm de coagulante e de 7 a 10 ppm de floculante, na flotação os resultados foram de 72,11%, com 390 a 427 ppm de coagulante e de 10 a 13 ppm de floculante. Já para o Klaraid e o Polfloc em sedimentação, os melhores resultados obtiveram remoções de até 78,93%, com 390 a 427 ppm de coagulante e 9 a 12 ppm de floculante, para flotação os melhores resultados obtiveram até 74,92%, com 390 a 427 ppm de coagulante e 10 a 13 ppm de floculante.

Com relação aos delineamentos compostos de sedimentação e flotação, não foi possível alcançar a faixa ótima da aplicação dos coagulantes na faixa de estudo, apenas uma tendência á melhor dosagem de aplicação.

Como recomendação para trabalhos futuros, com base nos resultados estatísticos, pode-se aumentar as faixas de aplicação dos dois coagulantes avaliados neste estudo, visando à otimização do processo. Com relação aos números de ensaios recomenda-se aumentar o número de pontos centrais visando uma melhor qualidade na determinação do erro puro.

Sugere-se ainda, ampliar o número de variáveis dependentes nos planejamentos como exemplo: cor, DQO, DBO e sólidos totas, para uma determinação mais precisa dos resultados do efluente clarificado.

Por fim, recomenda-se estudar e ampliar a pressão aplicada no processo de flotação, pois foi constatado neste estudo que com pressões a baixo de 400 kPa, a quantidade de ar saturado apresenta-se insuficiente para a ocorrência do processo da flotação, resultando em flocos que tendem a sedimentar.



## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 9800/1987 - Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro – RJ. 1987.

ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 9897/1987 – Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores - Procedimento**. Rio de Janeiro – RJ. 1987.

ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 9898/1987 - Preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores - Procedimento**. Rio de Janeiro – RJ. 1987.

ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 12209/2011 - Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro - RJ. 2011.

ALVES, P. S.; DOS SANTOS, E. R.; SANTANA, A. L.; CARVALHO, L. O. **Avaliação da eficiência do uso de cascas de batata, de mandioca e de maracujá como coagulantes no tratamento de esgoto da ETE Recanto das emas – DF**. V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Belo horizonte – MG. 2014.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIROMENT FEDERATION – WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed., Washington, DC: APHA, 2012.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conservação e reuso da água em edificações**. Uma publicação da FIESP- Federação das Indústrias de São Paulo em parceria com o Ministério do Meio Ambiente. São Paulo: 2005.

ANDRADE, L. H. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso (Dairy industry effluent treatment with two configurations of membrane bioreactors and nanofiltration aiming at reuse)**. 2011. Tese de Doutorado. Masters Thesis, Post-Graduation on Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Minas Gerais, Brazil.

ANDRADE, G. C. **Eficiência dos processos de flotação e filtração com uso de coagulante natural e químico no tratamento de efluente de laticínio**. 2015. 80 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2015.

ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S. Processamento de sementes de *Moringa oleifera* utilizando-se diferentes equipamentos para obtenção de solução coagulante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Volume 16. Número 6. UAEA/UFCG – Agriamb. Campina Grande – PB. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13969: Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**, 3ª ed., Ed. Da Unicamp: Campinas, São Paulo, 2007.

BENSADOK, K.; BELKACEM, M.; NEZZAL, G. **Treatment of cutting oil/water emulsion by coupling coagulation and dissolved air flotation**. Desalination, v. 206, n. 1, p. 440-448, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução Nº 54**, de 28 de novembro de 2005. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 09 mar. 2006.

BRASIL. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA.

BRITZ, T. J.; ROBINSON, R. K. **Advanced dairy science and technology**. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, 2008.

BHATIA, S.; OTHMAN, Z.; AHMAD A. L. **Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using Moringa oleifera seeds as natural coagulant**. Journal of Hazardous Materials, p.477-482, 2007.

BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G. K.; CHAUDHARI, S. **Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating Moringa oleifera seed coagulant**. Journal of Hazardous Materials, n. 142, p. 477 - 482, 2007.

CAMPOS, S. C.; DI BERNARDO, L.; VIEIRA, E. M. **Influência das características das substâncias húmicas na eficiência da coagulação com sulfato de alumínio**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, p. 194 – 199. 2005.

CASAGRANDE, L. E. M. **Sistema de bancada de flotação por ar dissolvido e filtração-adsortiva para tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso Superior em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, PR, 2014, 63p.

CASTRO-SILVA, M. A.; ROTIG, L. R.; LAMB, L. H.; HECK, C. A.; DECUSATI, O. G. Microrganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulantes orgânicos vegetais (tanato quaternário de amônio)–I. microrganismos filamentosos. **Revista Estudos de Biologia**, v. 26, n. 54, p. 21-27, 2004.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. 2 ed ampliada. São Paulo: Engenho Editora técnica Ltda., 2012, 499 p.

CENTURIONE FILHO, P. L.; DI BERNARDO, L. **Ozonização, coagulação, floculação, flotação e filtração para remoção de algas.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

CENTURIONE FILHO, P. L. **Desenvolvimento e operação de uma instalação de flotação de bancada para águas de abastecimento.** 2002. 313 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

CENTURIONE FILHO, P. L.; DI BERNARDO, L. Procedimento para execução de ensaios de flotação/filtração em equipamento de bancada. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 39-44, 2003.

CETESB. **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos série P+L.** São Paulo. 2008. 95 p.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. **Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo.** In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 2009. p. 20-22.

CSM. Fichas de informação de segurança de produto químico CLORETO FÉRRICO 38 %. Chapecó, SC. s.d.

DA SILVA, T. E. M.; SILVA, L. F.; LIMA, R. B. C.; LEITE, Y. F. M. M. **Avaliação do uso de coagulantes orgânicos no tratamento de efluentes de galvanoplastia: UM ESTUDO DE CASO.** Blucher Chemistry Proceedings, v. 3, n. 1, p. 1122-1128, 2015.

DOS SANTOS, E. P. C. C.; TEIXEIRA, A. R.; ALMEIDA, C. P.; LIBÂNIO, M.; DE PÁDUA, V. L. **Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente.** Engenharia sanitária ambiental. vol.12, n.4, p.361-370. Out/dez., 2007.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Paulo: Rima, 2002.

FERREIRA, R. P. **Uso de coagulantes naturais como pré-tratamento de efluente de laticínio**. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012.

FONTANELLA, D. F. **Performace de ETE: otimização da estação de tratamento de efluentes da indústria cerâmica**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma. 2003.

GOMES, Sandra R. F. **Tratamento de Efluentes para Reúso de Água: Estudo de Caso de uma Indústria Petroquímica**. 2012. 143 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA–IBGE. 2016. Disponível em:<[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa\\_resultados.php?id\\_pesquisa=43](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?id_pesquisa=43)>. Acesso em 8 outubro de 2016.

KEMIRA. **Superfloc C-490 series cationic dry PAMs**: product data sheet. [Helsinki], 2010.

KUSHWAHA, J. P.; SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I.D. **Treatment of dairy wastewater by comercial activated carbono and bagasse fly ash: Parametric, Kinetic and equilibrium modeling, disposal studies**. *Bioresource Technology*, v. 1001, n. 10, p. 3474-3483, 2010.

LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. **Introdução à Química da Água – Ciência Vida e Sobrevivência**. 2 ed. São Paulo: Editora LTC, 05/2009. VitalSource Bookshelf Online.

LIED, E. B. **Tratamento de efluente industrial de fecularia utilizando macrófita aquática Eichhorniacrassipes e coagulante natural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, área de concentração em Monitoramento e Controle Ambiental) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Toledo – PR, 2012.

LIMA, G. J. A. **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. 154 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2007.

MATIOLO, M. E.; RUBIO, E. **Flotação avançada para o tratamento e reaproveitamento de águas poluídas**. XIX Prêmio Jovem Cientista - Água - Fonte de vida, Universidade Federal do Rio Grande do Sul 2003.

METCALF, L.; EDDY, H. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5th edição. AMGH, 01/2016. VitalSource, Bookshelf Online.

MILIAUSKAS, G.; VENSKUTONIS, P. R.; VAN BEEK, T. A. **Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts**. Food chemistry, v. 85, n. 2, p. 231-237, 2004.

NOVTEC. Fichas técnicas e fichas de informação de segurança de produto químico POLFLOC D15 e NOVLOC1540. Biguaçu, SC. s.d.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 3. ed. Aracaju: Gráfica e Editora Trinfo Ltda, 2001.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 6. ed. Aracaju: J. Andrade, 2012.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor e turbidez elevada.** 233 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos/SP, 2001.

PELEGRINO, E. C. F. **Emprego de Coagulante a Base de Tanino em Sistema de Pós-tratamento de Efluente de reator UASB por Flotação.** 155 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo (USP). Escola de Engenharia de São Carlos, 2011.

POLICONTROL INSTRUMENTOS DE CONTROLE AMBIENTAL. **Manual FlocControl III: 10 a 600 rpm.** 16. ed. Diadema, 2013. (Versão 2.24).

RESENDE, M. L.; CARVALHO, E. H. **Ensaio de coagulação e floculação para utilização na estação de esgotos de Goiânia.** In: XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, México. 2002.

RENAULT, F.; SANCEY, B.; BADOT, P. M.; CRINI, G. **Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach.** *European Polymer Journal*, n. 25, p. 1337-1348, 2009.

REYES-CAUDILLO, E.; TECANTE, A.; VALDIVIA-LÓPEZ, M. A. **Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds.** *Food Chemistry*, v. 107, n. 2, p. 656-663, 2008.

RIBEIRO, I. **Aplicação de coagulantes e floculantes orgânicos alternativos no pós-tratamento de efluente de laticínio.** Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2015.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento.** São Paulo: Blucher. 2009.

SANTOS, A. M.; SILVA, S. R.; CARVALHO, S. H. V.; SOLETTI, J. I. **Tratamento de efluentes lácteos através de coagulação química e sedimentação**. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia, MG. 2009.

SARKAR, B.; CHHAKRABARTI, P. P.; VIJAYKUMAR, A.; KALE, V. **Wastewater treatment in dairy industries – possibility of reuse**. *Desalination*, n. 195, p. 141-152, 2006.

SCHMITT, D. M. F. **Tratamento de águas residuárias da indústria de Laticínios pelos processos combinados coagulação/floculação/ adsorção/ ultrafiltração utilizando semente de moringa oleífera como coagulante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, área de concentração em Desenvolvimento de Processos) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo – PR. 2011.

SOLANA, I. **Estudo da viabilidade de utilização de um polímero de base orgânica em substituição ao cloreto férrico no tratamento de efluente industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2014.

SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Otimização do processo de extrusão termoplástica da mistura castanha do Brasil com farinha de mandioca. **Revista Ciência Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.3, p.659-667, jul.-set. 2008.

TREVISAN, T. S. **Coagulante Tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

U.S.EPA - U.S. Environmental Protection Agency. **Guidelines for water reuse**. Washington, D.C.: 2012. Disponível em:  
<https://search.epa.gov/epasearch/epasearch?querytext=Guidelines+for+Water+Reuse&areaname=&areacontacts>. Acesso em 17 set. 2016.



VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A.; BARBIERO, T. A. BERGAMASCO, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Revista Eclética Química. São Paulo**. Volume 35, número 4, 2010.

VIANNA, Marcos Rocha. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. 3a edição. Belo Horizonte/MG: Imprimatur, 1997.

VILLA, R. D.; SILVA, M. R. A.; NOGUEIRA, R. F. P. **Potencial de aplicação do processo foto-fenton/solar como pré-tratamento de efluente da indústria de laticínios**. Departamento de Química Analítica, Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista. Araraquara – SP, Brasi. *Quim. Nova*. Vol. 30, No. 8. 2007.

VIEIRA, A. M. S.; VIEIRA, M. F.; SILVA, G. F.; ARAUJO, A. A.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VEIT, M. T.; BERGAMASCO, R. **Use of moringa oleífera seed as a natural adsorbent for wastewater treatment**. *Water Air Soil Pollut*, n.206, p. 273-281, 2010.

VOURCH, M.; BALANNEC, B.; CHAUFER, B.; DORANGE, G. **Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse**. *Desalination*, v. 219, n. 1, p. 190-202, 2008.

## APÊNDICE I – Manual de Operação Flota-Test.

Para a operação do equipamento Flota-Test adaptou-se a descrição proposta por Centurione Filho; Di Bernardo (2003), tendo como base a **Figura 7**.

Passo 1: Encher a câmara de efluente através dos registros (7) e (10) e deixar os demais fechados, assim que a câmara estiver quase cheia interromper a entrada de efluente fechando os mesmos.

Passo 2: Ligar o compressor e regular a pressão desejada com o auxílio do manômetro (2). Para manter a pressão inalterada girar o registro (6) no sentido horário e deslocá-lo para baixo.

Passo 3: Abrir o registro (9), para alcançar a pressão no interior da câmara de pressão. Saturar o efluente por pelo menos 10 minutos.

Passo 4: Homogeneizar o efluente.

Passo 5: Adicionar efluente nos 5 jarros até chegar a marca de 2 litros, garantindo a homogeneidade.

Passo 6: Retirada das bolhas de ar que possam existir na base dos jarros. Esta retirada pode ser feita com a inclinação do jarro, quando se tiver introduzido aproximadamente 1/3 do efluente no jarro.

Passo 7: Verificar a temperatura de todos os jarros, para manter as mesmas condições, evitando assim condições diferentes.

Passo 8: Posicionar os jarros e as hastes dos agitadores.

Passo 9: Conectar a mangueira condutora de efluente saturado com ar aos jarros.

Passo 10: Abrir o registro (8) para preencher as mangueiras com efluente saturado.

Passo 11: Descartar pequena parcela do efluente pelo registro (12), para manter o sistema pressurizado.

A seguir tem-se a descrição do procedimento de coagulação-floculação-flotação

Passo 12: Ajustar a rotação do equipamento correspondente ao gradiente de velocidade desejado.

Passo 13: Acionar o cronômetro assim que for adicionado o coagulante e em seguida adicionar o floculante.

Passo 14: Ao mesmo passo do passo 13, controlar a agitação nas etapas de coagulação e floculação (pode ser feita configuração no aparelho).

Passo 15: Após o término do processo de agitação, levantar as hastes e abrir os registros dos jarros de flotação (imediatamente), para aplicação do efluente saturado com ar com a quantidade definida de recirculação. A quantidade de efluente de recirculação (volume) pode ser calculada com base na altura, como exemplo: sabendo a área do jarro (115 x 115 mm), com um volume previsto de 10% de recirculação tem-se  $h_r = 10 \% = 200 / (11,5 \times 11,5) = 1,5$  cm. Os cálculos de outras taxas de recirculação seguem a mesma regra.

Passo 16: Após terminar a introdução do efluente saturado, descartar o efluente por aproximadamente 2 segundos e iniciar as coletas das amostras (duração da coleta aproximadamente 10 segundos).

Passo 17: Após as coletas, fazer a leitura dos parâmetros analisados.