

**Universidade de São Paulo  
Escola de Engenharia de São Carlos**

**Marcelo Almir Lopes**

**Avaliação de diferentes coagulantes para remoção  
de sólidos por flotação e sedimentação de água  
residuária de uma indústria metal-mecânica**

**São Carlos**

**2011**



**Marcelo Almir Lopes**

**Avaliação de diferentes coagulantes para remoção  
de sólidos por flotação e sedimentação de água  
residuária de uma indústria metal-mecânica**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências.

Área de concentração: Engenharia Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Cleto Pires

Versão corrigida

**São Carlos**

**2011**



AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da  
Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

L864a                   Lopes, Marcelo Almir.  
Avaliação de diferentes coagulantes para remoção de sólidos por flotação e sedimentação de água residuária de uma indústria metal-mecânica. / Marcelo Almir Lopes ; orientador Eduardo Cleto Pires. São Carlos, 2011.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento)-- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Esgoto industrial. 2. Água residuária industrial. 3. Coagulação. 4. Precipitação. 5. Sedimentação. 6. Flotação. 7. Aluminato de sódio. 8. Cloreto férrico. 9. Policloreto de alumínio. I. Título.



## FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **MARCELO ALMIR LOPES**

Título da dissertação: **“Avaliação de diferentes coagulantes para remoção de sólidos por flotação e sedimentação de água residuária de uma indústria metal-mecânica”.**

Data da defesa: 09/12/2011:

### Comissão Julgadora:

### Resultado:

Prof. Titular **Eduardo Cleto Pires (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Marco Antonio Penalva Reali**  
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Erich Kellner**  
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Prof. Titular **Edson Cezar Wendland**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Associado **Paulo Cesar Lima Segantine**





**A meus pais, *Milton* e *Clélia*, por toda a dedicação para a minha formação e a minha esposa *Alessandra* pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência.**



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao professor Eduardo Cleto Pires, pela orientação, compreensão, incentivo e confiança durante esse trabalho.

A empresa Tecumseh do Brasil Ltda., pelo programa de incentivo ao desenvolvimento profissional de seus funcionários em especial ao gerente da Engenharia Industrial Avançada, Sr. Ivan Dias, pela oportunidade e compreensão na realização desse trabalho e ao gerente da Unidade de Serviços, Sr. Maurício T. S. Silva, por possibilitar o acesso a ETE da empresa e a realização desse estudo.

Ao professor Marco Antonio Penalva Reali, por toda colaboração e paciência durante toda a pós-graduação e pela autorização para acesso ao LATAR e utilização dos equipamentos e materiais envolvidos nesse trabalho.

Ao Daniel e os seus funcionários, Jair e Edes, pelas informações fornecidas da ETE, colaboração nas etapas iniciais desse trabalho e na coleta de amostras.

À Maria Teresa, técnica do LATAR, pelo auxílio na realização de todos os ensaios desse trabalho e pela paciência em relação aos meus horários.

Aos professores Marco Antonio Penalva Reali e Marcelo Zaiat pelas valiosas sugestões no exame de qualificação.

Ao Alcino, funcionário da USP, pelo apoio na manutenção de alguns equipamentos.

A empresa Procytek Indústria e Comércio Ltda. pela colaboração técnica e fornecimento de amostras.

As funcionárias do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Sá, Pavi e Rose.

A todos meus familiares e amigos pela amizade e apoio.



*“O insucesso é apenas uma oportunidade  
para recomeçar de novo com mais  
inteligência.”*

**Henry Ford**



## RESUMO

**LOPES, M. A.** Avaliação de diferentes coagulantes para remoção de sólidos por flotação e sedimentação de água residuária de uma indústria metal-mecânica. 2011. p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 192p. São Carlos, SP.

Uma das abordagens para minimizar o volume de captação de água potável e o descarte de efluentes é o reuso da água dentro da unidade industrial através de técnicas avançadas de tratamento como o sistema de osmose reversa, porém esse sistema exige um afluente com uma baixa quantidade de sólidos, além de outros requisitos. A água residuária utilizada nesse estudo é proveniente de uma empresa do ramo metal-mecânico que utiliza processos de coagulação-floculação-sedimentação como forma de remover os sólidos antes de um sistema de osmose reversa. A proposta deste trabalho foi avaliar três diferentes coagulantes (aluminato de sódio, cloreto férrico e uma mistura de dois coagulantes comerciais, Procytrat 100A e Procytrat 300) em processos de coagulação-floculação e separação de sólidos da fase líquida por sedimentação e flotação por ar dissolvido e também comparar os custos aproximados dos processos envolvidos. Foram realizados ensaios em testes de jarros e flotatestes e com os dados obtidos construíram-se diagramas de coagulação-floculação e escolhidas as regiões de maior remoção de sólidos. Através das regiões escolhidas, foram feitas as comparações de eficiência de remoção e custos para cada coagulante estudado. Verificou-se que os diagramas de coagulação-floculação-sedimentação foram os que apresentaram as regiões de maior área com turbidez remanescente menor que 2%, principalmente para os coagulantes cloreto férrico e a mistura Procytrat 100A + Procytrat 300, chegando a alcançar valores próximos a 0,5%. A opção mais econômica foi alcançada com custo de cloreto férrico, na dosagem de 200mg/l, pH igual a 8,3 e turbidez remanescente igual a 0,6%, de R\$0,47/m<sup>3</sup> de água tratada. Os diagramas de coagulação-floculação-flotação apresentaram regiões de turbidez remanescente com áreas bem mais reduzidas se comparadas aos diagramas de coagulação-floculação-sedimentação, sendo que não foram atingidos valores de turbidez remanescente menores que 1,5%. Os menores valores de turbidez remanescente para o processo de flotação foram encontrados utilizando-se como coagulante a mistura Procytrat 100A + Procytrat 300, sendo a opção mais econômica alcançada para pH igual a 3,3, dosagem de 60mg/l e turbidez remanescente igual a 1,6%, com custo de R\$0,33/m<sup>3</sup> de água tratada. De um modo geral, para todos os coagulantes testados, as regiões escolhidas nos diagramas de coagulação-floculação-flotação, cujos valores de turbidez remanescente foram menores, estavam concentradas em valores de pH baixos (3,2 a 5,5), dosagens de coagulante reduzidas (10 a 80mg/l) e dosagens de alcalinizante também reduzidas (0 a 60mg/l de Ca(OH)<sub>2</sub>). Esse comportamento foi contrário ao apresentado pelos diagramas de coagulação-floculação-sedimentação cujos valores de turbidez remanescente foram menores em valores de pH mais altos (6,5 a 8,5), maiores dosagens de coagulante (40 a 380mg/l) e altas dosagens de alcalinizante (100 a 400mg/l de Ca(OH)<sub>2</sub>).

**Palavras chave:** esgoto industrial; água residuária industrial; coagulação; precipitação; sedimentação; flotação; aluminato de sódio; cloreto férrico; policloreto de alumínio.





## ABSTRACT

**LOPES, M. A.** Evaluation of different coagulants for solids removal by flotation and sedimentation of wastewater from a metal-mechanic industry. 2011. p. Dissertation (Mestrado). Department of Hydraulics and Sanitation. Engineering School of São Carlos. Universidade de São Paulo. 192p. São Carlos, SP.

One approach to minimize the consumption of drinking water and effluent disposal is the reuse of water within the plant through advanced treatment techniques such as reverse osmosis system, however, this system requires an affluent with a low amount of solids and other requirements. The wastewater used in this study comes from a metalworking company that uses coagulation-flocculation-sedimentation process as a way to remove the solids before a reverse osmosis system. The purpose of this study was to evaluate three different coagulants (sodium aluminate, ferric chloride and a mixture of two commercial coagulants, Procytrat 100A and Procytrat 300) in the process of coagulation-flocculation and separation of solids from the liquid phase by sedimentation and dissolved air flotation and also compare the approximate costs of the processes involved. Jar tests and flotatests were performed and the coagulation-flocculation diagrams were built. In the coagulation-flocculation diagrams were selected areas of higher solids removal. Through the chosen regions, comparisons were made of removal efficiency and cost study for each coagulant. It was found that the diagrams of coagulation-flocculation-sedimentation presented the areas of higher turbidity remaining area with less than 2%, mainly for the coagulants ferric chloride and the mixture Procytrat 100A + Procytrat 300, reaching values close to 0.5 %. The most economical option was achieved at a cost of ferric chloride at a dosage of 200mg/l, pH 8.3, and the remaining turbidity equal to 0.6%, from R\$ 0.47/m<sup>3</sup> treated water. The diagrams of coagulation-flocculation-flotation showed regions with turbidity remaining areas much reduced compared to the diagrams of coagulation-flocculation-sedimentation, and the turbidity remaining values were more than 1.5%. The lower values of turbidity remaining for the flotation process were found using the mixture Procytrat 100A + Procytrat 300, and the most economical option was reached for a pH of 3.3, dosage of 60mg/l and remaining turbidity equal to e 1.6%, at a cost of R\$ 0.33/m<sup>3</sup> of treated water. In general, for all coagulants tested, the selected regions in the diagrams of coagulation-flocculation-flotation, whose remaining turbidity values were lower, were concentrated in low pH values (3.2 to 5.5), dosages of coagulant reduced (10 to 80mg/l) and dosages of alkaline also reduced (0 to 60mg/l of Ca(OH)<sub>2</sub>). This behavior was contrary to the diagrams presented by coagulation-flocculation-sedimentation whose remaining turbidity values were lower in higher pH values (6.5 to 8.5), larger amounts of coagulant (40 to 380mg/l) and high doses of alkaline (100 to 400mg/l Ca(OH)<sub>2</sub>).

**Key Words:** industrial wastewater; coagulation; precipitation; sedimentation; flotation, ferric chloride; sodium aluminate; ferric chloride; polyaluminum choride.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Sistemas de tratamento físico-químico para efluente industrial propostos nessa pesquisa .....	23
Figura 3.1- Tamanho de partículas dos constituintes do esgoto e faixa de atuação das unidades de tratamento por tamanho de partículas .....	26
Figura 3.2- Diagrama de equilíbrio heterogêneo do $Al(OH)_3$ .....	31
Figura 3.3- Diagrama de equilíbrio heterogêneo do $Fe(OH)_3$ .....	33
Figura 3.4- Diagrama de coagulação para remoção de turbidez com do sulfato de alumínio de água “preparada” com caulinita .....	34
Figura 3.5- Definição esquemática da formação de pontes entre partículas com aplicação de polímeros orgânicos .....	40
Figura 3.6- Flotação por ar dissolvido, com recirculação pressurizada (FAD), aplicada ao tratamento físico-químico de águas residuárias .....	43
Figura 3.7- Distribuição de tamanho de bolhas produzidas por válvula agulha e bocal tipo WRC .....	46
Figura 3.8. Configuração de bocal onde $D_3=5 \times D_2$ .....	47
Figura 4.1- Layout da E.T.E. ....	50
Figura 4.2- Fluxograma de tratamento da E.T.E. ....	51
Figura 4.3- Tanque de homogeneização aerado de $1000m^3$ da E.T.E. ....	51
Figura 4.4 - Tanques de coagulação, floculação e sedimentação da E.T.E. ....	52

Figura 4.5- Jar Test com seis “jarros” (Ética) utilizado para os ensaios de laboratório. ....	53
Figura 4.6- Flotatestes utilizado para os ensaios em escala de laboratório .....	54
Figura 5.1- Valores da condutividade nos 4 pontos de coleta de amostras da E.T.E. ....	67
Figura 5.2- Valores de turbidez nos 4 pontos de coleta de amostras da E.T.E.....	68
Figura 5.3- Valores de pH nos 4 pontos de coleta de amostras da E.T.E. ....	69
Figura 5.4- Valores da temperatura nos 4 pontos de coleta de amostras da E.T.E.....	70
Figura 5.5- Valores da vazão nos ponto 1 de coleta de amostra da E.T.E.....	71
Figura 5.6- Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação do efluente: percentuais de <b>Turbidez</b> remanescente para o coagulante aluminato de sódio .....	80
Figura 5.7- Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação do efluente: percentuais de <b>Turbidez</b> remanescente para o coagulante cloreto férrico .....	85
Figura 5.8- Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação do efluente: percentuais de <b>Turbidez</b> remanescente para o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300 .....	91
Figura 5.9- Diagrama de coagulação-floculação-flotação do efluente: percentuais de <b>Turbidez</b> remanescente para o coagulante aluminato de sódio.. .....	97
Figura 5.10- Diagrama de coagulação-floculação-flotação do efluente: percentuais de <b>Turbidez</b> remanescente para o coagulante cloreto férrico.. .....	102
Figura 5.11- Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação do efluente: percentuais de <b>Turbidez</b> remanescente para o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300 ..	108

- Figura 5.12- Custo por m<sup>3</sup> dos três coagulantes e alcalinizante utilizados nesse estudo, de acordo com a dosagem empregada..... 112
- Figura 5.13- Exemplo: diagrama de coagulação-floculação-sedimentação do efluente: percentuais de **Turbidez** remanescente para o coag. aluminato de sódio..... 113
- Figura 5.14- Comparação de custos entre a separação de sólidos por sedimentação (Vs: 1,0 cm/min) e flotação por ar dissolvido (Vf: 5,0cm/min), de acordo com a eficiência de remoção de turbidez do efluente industrial por coagulação/precipitação com aluminato de sódio..... 116
- Figura 5.15- Comparação de custos entre a separação de sólidos por sedimentação (Vs: 1,0 cm/min) e flotação por ar dissolvido (Vf: 5,0cm/min), de acordo com a eficiência de remoção de turbidez do efluente industrial por coagulação/precipitação com cloreto férrico. .... 117
- Figura 5.16- Comparação de custos entre a separação de sólidos por sedimentação (Vs: 1,0 cm/min) e flotação por ar dissolvido (Vf: 5,0cm/min), de acordo com a eficiência de remoção de turbidez do efluente industrial por coagulação/precipitação com Procytrat 110A + Procytrat 300..... 118

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1- Produtos Químicos Inorgânicos mais usados para coagulação em processos de tratamento de água e efluentes .....	36
Quadro 3.2- Valores típicos para tempo de detenção e gradiente G para mistura e floculação em efluentes .....	39
Quadro 3.3- Características de forma e sedimentação de partículas encontradas no tratamento de água e efluentes .....	41
Quadro 4.1 - Coagulantes e alcalinizante utilizados nos ensaios de coagulação-floculação com a água residuária da E.T.E. ....	55
Quadro 5.1 - Resumo dos parâmetros operacionais encontrados nos ensaios de floculação-coagulação.....	109

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classificação das partículas do esgoto por faixa de tamanho .....	25
Tabela 3.2 - Estimativa da concentração e da distância média entre as microbolhas de ar, presentes no início de uma unidade FAD, em função do diâmetro das microbolhas.....	45
Tabela 3.3 - Velocidades de ascensão do agregado floco-bolha a 20°C .....	49
Tabela 4.1 - Etapas de coagulação-floculação-sedimentação com efluente da ETE.....	58
Tabela 4.2 - Etapas de coagulação-floculação-flotação com efluente da ETE .....	60
Tabela 5.1 - Caracterização da água residuária bruta. Amostra coletada no tanque de homogeneização de 1000m <sup>3</sup> .....	72
Tabela 5.2 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante aluminato de sódio	75
Tabela 5.3 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante aluminato de sódio	76
Tabela 5.4 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante aluminato de sódio	77
Tabela 5.5 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-sedimentação com aluminato de sódio e valores percentuais de turbidez remanescente.....	79
Tabela 5.6 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante cloreto férrico .....	81
Tabela 5.7 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante cloreto férrico .....	82

Tabela 5.8 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante cloreto férrico.....	83
Tabela 5.9 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-sedimentação com cloreto férrico e valores percentuais de turbidez remanescente.....	84
Tabela 5.10 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300.....	87
Tabela 5.11 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300.....	88
Tabela 5.12 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300.....	89
Tabela 5.13 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-sedimentação com Procytrat 110A + Procytrat 300 e valores percentuais de turbidez remanescente.....	90
Tabela 5.14 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante aluminato de sódio.....	93
Tabela 5.15 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante aluminato de sódio.....	94
Tabela 5.16 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante aluminato de sódio.....	95
Tabela 5.17 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-flotação com aluminato de sódio e valores percentuais de turbidez remanescente.....	96



Tabela 5.18 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante cloreto férrico .....	99
Tabela 5.19 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante cloreto férrico .....	100
Tabela 5.20 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante cloreto férrico .....	100
Tabela 5.21 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-flotação com cloreto férrico e valores percentuais de turbidez remanescente .....	101
Tabela 5.22 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300 .....	104
Tabela 5.23 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300 .....	105
Tabela 5.24 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300 .....	106
Tabela 5.25 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-flotação com Procytrat 110A + Procytrat 300 e valores percentuais de turbidez remanescente .....	107
Tabela 5.26 - Informações e preços dos coagulantes e alcalinizante .....	111
Tabela 5.27 - Avaliação dos custos do processo de sedimentação em função do coagulante utilizado no processo .....	114
Tabela 5.28 - Avaliação dos custos do processo de flotação em função do coagulante utilizado no processo.....	115

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- APHA** - American Public Health Association
- AWWA**- American Water Works Association
- DBO**- Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg O<sub>2</sub>/L)
- DC**- Dosagem de coagulante (mg/l)
- DQO** – Demanda Química de Oxigênio (mg O<sub>2</sub>/L)
- EESC** – Escola de Engenharia de São Carlos
- ETE**- Estação de Tratamento de Esgoto
- FAD**- Flotação por Ar Dissolvido
- N.A.**- Não se aplica
- LATAR**- Laboratório Avançado de Tratamento de Água e Reuso
- LD**- Limite de detecção
- PAC**- Poly Aluminium Chloride (Policloreto de alumínio)
- SDF**- Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)
- SDT**- Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)
- SDV**- Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)
- SF**- Sólidos Fixos (mg/L)
- SM**- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
- SS**- Sólidos Sedimentáveis (mg/L)
- SSF**- Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)
- SST**- Sólidos Suspensos Totais (mg/L)
- SSV**- Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)
- ST**- Sólidos Totais (mg/L)
- SV**- Sólidos Voláteis (mg/L)
- USP**- Universidade de São Paulo
- V.M.P.**- Valor Máximo Permitido
- WEF**- Water Environment Federation
- WRC**- Water Research Centre

## LISTA DE SÍMBOLOS

- C<sub>T,Al</sub>** – Concentração total de alumínio (mg/l)
- C<sub>T,Fe</sub>** – Concentração total de ferro (mg/l)
- G**- Gradiente de velocidade média (s<sup>-1</sup>)
- P**- Potência necessária (W)
- μ** - Viscosidade dinâmica (N.s/m<sup>2</sup>)
- N<sub>b</sub>**- Número de bolhas por ml de suspensão
- Δb**- Distância entre as microbolhas (mm)
- v<sub>b</sub>**- Velocidade de ascensão do agregado floco-bolha (m.h<sup>-1</sup>)
- G<sub>f</sub>**- Gradiente de velocidade média na floculação (s<sup>-1</sup>)
- G<sub>m</sub>**- Gradiente de velocidade média na mistura rápida (s<sup>-1</sup>)
- pH**- Potencial Hidrogeniônico
- P<sub>sat</sub>**- Pressão de saturação (kPa)
- T<sub>sat</sub>**- Tempo de saturação (min)
- R**- Razão de circulação (%)
- T<sub>f</sub>**- Tempo de floculação (s)
- T<sub>m</sub>**- Tempo de mistura rápida (s)
- T<sub>flot</sub>**- Tempo de flotação (s)
- V<sub>f</sub>**- Velocidade de flotação (cm.min<sup>-1</sup>)
- V<sub>s</sub>**- Velocidade de sedimentação (cm.min<sup>-1</sup>)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>25</b>
3.1	Partículas.....	25
3.2	Coagulação e floculação.....	26
3.2.1	Mecanismos da coagulação.....	28
3.2.2	Diagrama de solubilidade do alumínio.....	29
3.2.3	Diagrama de solubilidade do ferro.....	32
3.2.4	Diagrama de coagulação.....	33
3.2.5	Produtos químicos empregados.....	35
3.3	Operações de mistura rápida e floculação.....	37
3.4	Sedimentação.....	40
3.5	Flotação.....	41
3.5.1	Tipos de flotação.....	42
3.5.1.1	Flotação por ar dissolvido.....	43
3.5.1.1.1	Fatores que afetam a eficiência da FAD.....	44
3.5.1.1.1.1	Pressão de saturação.....	44
3.5.1.1.1.2	Distribuição do tamanho de microbolhas.....	44
3.5.1.1.1.3	Tipos de bocais difusores.....	46
3.5.1.1.1.4	Quantidade de ar fornecida ao processo.....	47
3.5.2	Coagulação e floculação em sistemas de flotação por ar dissolvido.....	48
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>50</b>
4.1	Instalações industriais.....	50
4.2	Reatores em escala de bancada.....	52
4.2.1	<i>Jar test</i> .....	52
4.2.2	Flotateste.....	53
4.3	Outros equipamentos.....	54
4.4	Produtos químicos utilizados.....	55
4.5	Caracterização da água residuária industrial.....	56
4.6	Ensaio de coagulação-floculação com o efluente da ETE.....	57
4.6.1	Ensaio de coagulação-floculação-sedimentação com o efluente da ETE.....	57
4.6.1.1	Investigação do par pH-DC aproximado.....	58

4.6.1.2	Investigação dos parâmetros de mistura rápida.....	58
4.6.1.3	Investigação dos parâmetros de floculação.....	59
4.6.1.4	Diagramas de coagulação-floculação-sedimentação.....	59
4.6.2	Ensaio de coagulação-floculação-flotação com o efluente da ETE.....	59
4.6.2.1	Investigação do par pH-DC aproximado.....	60
4.6.2.2	Investigação dos parâmetros de floculação.....	60
4.6.2.3	Investigação da quantidade de ar fornecida.....	61
4.6.2.4	Diagramas de coagulação-floculação-flotação.....	61
4.7	Procedimentos para realização dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação em unidade de <i>jar test</i> .....	61
4.8	Procedimentos para ensaios de coagulação-floculação-flotação em unidade de flotatestes.....	63
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>66</b>
5.1	Monitoramento dos parâmetros da E.T.E.....	66
5.2	Ensaio de coagulação-floculação-sedimentação.....	73
5.2.1	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante aluminato de sódio.....	74
5.2.1.1	Ensaio preliminar.....	74
5.2.1.2	Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante aluminato de sódio.....	77
5.2.2	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante cloreto férrico.....	81
5.2.2.1	Ensaio preliminar.....	81
5.2.2.2	Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante cloreto férrico.....	83
5.2.3	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300.....	86
5.2.3.1	Ensaio preliminar.....	86
5.2.3.2	Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300.....	89
5.3	Ensaio de coagulação-floculação-flotação.....	92
5.3.1	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante aluminato de sódio.....	92
5.3.1.1	Ensaio preliminar.....	92
5.3.1.2	Diagrama de coagulação-floculação-flotação para o coagulante aluminato de sódio.....	95

5.3.2	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação- flotação para o coagulante cloreto férrico.....	98
5.3.2.1	Ensaio preliminares.....	98
5.3.2.2	Diagrama de coagulação-floculação- flotação para o coagulante cloreto férrico.....	101
5.3.3	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação- flotação para o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300.....	103
5.3.3.1	Ensaio preliminares.....	103
5.3.3.2	Diagrama de coagulação-floculação- flotação para o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300.....	106
5.4	Resumo dos resultados dos ensaios de coagulação-floculação.....	109
5.5	Determinação do custo “aproximado” para os melhores pares pH/dosagem de coagulante para cada ensaio de coagulação-floculação-sedimentação/flotação.	110
5.5.1	Determinação do “melhor” coagulante em ensaios de coagulação-floculação-sedimentação.....	114
5.5.2	Determinação do “melhor” coagulante em ensaios de coagulação-floculação-flotação.....	115
5.5.3	Comparação dos custos entre os processos de sedimentação e flotação.....	115
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>119</b>
6.1	Conclusões.....	119
6.2	Recomendações.....	121
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>122</b>
Apêndice A	Amostragem para caracterização da água residuária industrial.....	127
Apêndice B	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante aluminato de sódio.....	129
Apêndice C	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante cloreto férrico.....	140
Apêndice D	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300.....	151
Apêndice E	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante aluminato de sódio.....	161
Apêndice F	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante cloreto férrico.....	171
Apêndice G	Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante Procytrat 110A + Procytrat 300.....	181
Apêndice H	Memória de cálculo do custo com energia elétrica para a flotação por ar dissolvido.....	191

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de minimizar o consumo de água potável e o descarte de efluentes tem se popularizado no meio industrial e sua aplicação vem crescendo com o passar dos anos influenciada por fatores como a efetivação da cobrança pela captação de água dos corpos hídricos e do descarte de efluentes, o custo ascendente da água potável e as exigências na legislação de emissão de efluentes e disposição no meio natural.

A utilização de água pela indústria pode ocorrer de diversas formas, tais como: incorporação ao produto, lavagens de máquinas, tubulações e pisos, águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor, águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial ou incorporadas aos produtos. Exceto pelos volumes de águas incorporados aos produtos e pelas perdas por evaporação, as águas tornam-se contaminadas por resíduos do processo industrial ou pelas perdas de energia térmica, originando assim os efluentes líquidos.

Além da pressão da sociedade, a indústria e seus gestores sentem que os despejos industriais significam em última análise, perdas de insumo e energia, que os recursos naturais são limitados e que ao se prosseguir usando-os na mesma intensidade, a sobrevivência do planeta Terra e dos seus ocupantes torna-se ameaçada, no médio prazo. Surge a necessidade de se rever processos visando minimizar o consumo e o desperdício, evitando assim as perdas e diminuindo o volume de despejo a ser tratado e posteriormente lançado nos corpos hídricos.

Uma das abordagens para minimizar o volume de captação de água potável e o descarte de efluentes é o reuso da água dentro da unidade industrial.

No caso de efluentes de indústrias metal-mecânica contendo alta carga poluidora, o reuso da água sem tratamento específico pode ser inviável. Torna-se, então, imprescindível à aplicação de técnicas avançadas para o tratamento deste tipo de água residuária. Com a remoção destes poluentes, abre-se a possibilidade de reutilização do efluente no processo industrial ou em usos menos exigentes da planta.

O sistema avançado que utiliza osmose reversa é um processo de separação em que um solvente é separado de um soluto por uma membrana permeável ao solvente e impermeável ao soluto. Isso ocorre quando se aplica uma grande pressão sobre este meio aquoso, o que contraria o fluxo natural da osmose. Por essa razão o processo é denominado osmose reversa. As membranas do processo de osmose reversa exigem um alto grau de qualidade do afluente. O afluente deve possuir baixa concentração de sólidos, cloro, ferro, sulfatos, cálcio, magnésio, microrganismos e outras substâncias que podem causar a

degradação ou entupimento das membranas do sistema (“fouling”) e assim afetar o desempenho do equipamento e a qualidade do efluente para reuso e para que isso não ocorra é necessário que as operações de tratamento localizadas antes do sistema de osmose reversa produzam uma água de acordo com os padrões exigidos pelo sistema. No caso da empresa estudada é utilizado um processo físico-químico antes do sistema de osmose reversa.

Esse trabalho contribuirá no sentido de avaliar as condições atuais de tratamento e através da utilização de diagramas de coagulação-floculação e da investigação da eficiência de coagulantes e processos de separação dos sólidos, fornecer ferramentas para aumento de sua eficiência e da qualidade da água para o sistema de osmose reversa. Foram utilizados nesse trabalho três diferentes coagulantes - aluminato de sódio, cloreto férrico e uma mistura de dois coagulantes comerciais que utilizam o policloreto de alumínio como substância principal.

No tratamento físico-químico, a previsão das dosagens ótimas de coagulante e/ou polímeros auxiliares torna-se bastante difícil, pois a água afluenta ao sistema pode sofrer variações instantâneas de qualidade (turbidez, alcalinidade, cor, etc) e alterações das propriedades superficiais das partículas, o que exigiria ajustes nas quantidades dos produtos químicos envolvidos no processo. Uma das ferramentas que podem ajudar na previsão e controle é a construção de diagramas de coagulação-floculação. Essa ferramenta permite definir as áreas ótimas de tratamento através da determinação dos pares de valores de dosagem de coagulante e pH em que se verifica a maior remoção de impurezas em questão.

A separação dos flocos formados nos ensaios de coagulação-floculação desse trabalho foi realizada pelos processos de sedimentação e flotação, pois se pretende verificar também qual o método mais eficiente de separação para a água residuária industrial.

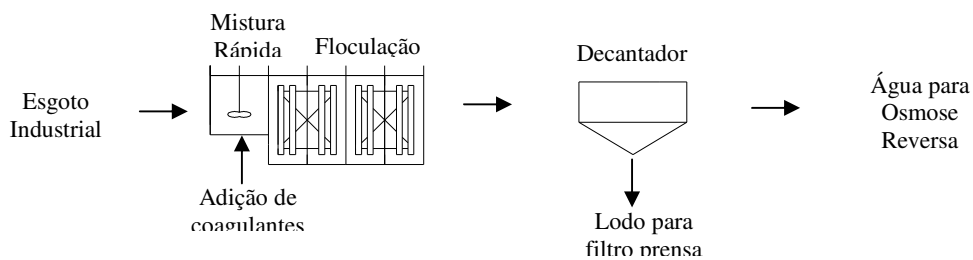
Para determinadas taxas de escoamento, a utilização da sedimentação pode apresentar custos de implantação mais baixos em relação à flotação e com eficiências bem próximas, por isso é geralmente utilizada, porém, dependendo da qualidade exigida para o efluente, a utilização da flotação, além de apresentar uma eficiência alta na remoção de sólidos suspensos aumentando a qualidade do efluente, apresenta ainda as vantagens de produção de um lodo com teor de umidade baixo, requer menores dosagens de coagulante e auxiliares de floculação (formação de flocos menos densos), apresenta partida rápida, proporciona o arraste de parcela de gases e compostos voláteis e a elevação na concentração de oxigênio dissolvido no efluente final (CAMPOS et al., 1996; REALI et al., 1998; PENETRA, 1998; MARCHIORETTO, 1999; CARVALHO, 2003; PENETRA 2003; PINTO FILHO e BRANDÃO, 2001; AISSE et al., 2001, entre outros). As desvantagens na utilização



da flotação são os custos elevados de implantação e operação, principalmente com energia elétrica e a necessidade de funcionários bem qualificados devido à complexidade operacional (AISSE et al., 2001).

A avaliação do tratamento com os diferentes coagulantes nos sistemas propostos na Figura 1.1 foi realizada através de ensaios em reatores de bancada, com separação dos sólidos por sedimentação (*jar test*) e flotação (flotateste). A definição das condições mais favoráveis para cada condição de tratamento foi realizada juntamente com uma análise dos custos envolvendo somente os produtos químicos utilizados nos processos e energia elétrica no caso do processo de separação por flotação e a partir disso foram discutidos os melhores sistemas para o tratamento da água residuária industrial.

#### a) Coagulação-Floculação-Sedimentação



#### b) Coagulação-Floculação-Flotação

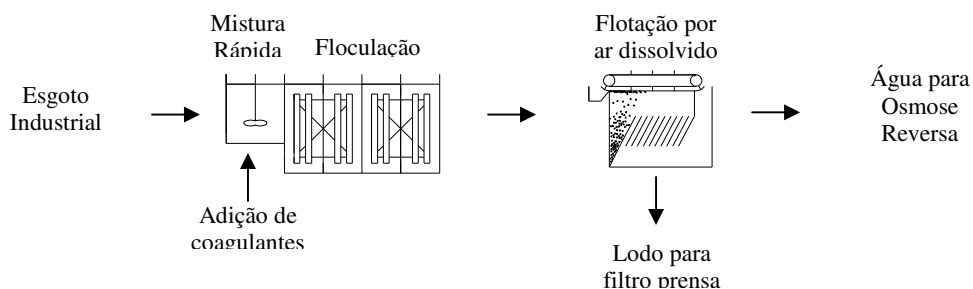


Figura 1.1 - Sistemas de tratamento físico-químico para água residuária industrial propostos nessa pesquisa.

## 2. OBJETIVOS

O principal objetivo desse trabalho foi avaliar três diferentes coagulantes (aluminato de sódio, cloreto férrico e uma mistura de dois coagulantes comerciais (Procytrat 100A e Procytrat 300) em processos de coagulação-floculação e separação de sólidos da fase líquida por sedimentação e flotação por ar dissolvido.

Para que o objetivo principal seja alcançado, foram considerados os seguintes objetivos específicos:

- Para três diferentes coagulantes, investigar as condições operacionais (dosagem de coagulante, pH de coagulação, parâmetros de mistura rápida, floculação e separação de sólidos) mais adequadas para a remoção de sólidos da água residuária em estudo, utilizando unidades em escala de laboratório para separação de sólidos por sedimentação (*jar test*) e flotação (flotateste);
- Obter os diagramas de coagulação-floculação para a água residuária de acordo com cada coagulante e processo de separação de sólidos;
- Comparar os custos dos diferentes coagulantes estudados em cada processo de separação de sólidos (flotação e sedimentação), considerando também para o processo de flotação, o custo da energia elétrica;

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo foram feitas algumas considerações sobre a importância das características das partículas encontradas no esgoto, os principais produtos químicos utilizados no tratamento de águas residuárias industriais, os aspectos fundamentais da coagulação e da precipitação com o uso de sais metálicos e as principais características dos processos de separação de sólidos por sedimentação e flotação por ar dissolvido (FAD).

#### 3.1 Partículas

A distribuição de tamanho das partículas interfere no desempenho de praticamente todos os tipos de processos e operações empregados no tratamento de esgoto (SANTOS et al., 2004). Nas estações de tratamento, geralmente os processos e operações atuam dentro de determinadas faixas de tamanho específico das partículas e a sua distribuição varia bastante durante a passagem do líquido pelas unidades do sistema de tratamento. Na Tabela 3.1 são apresentadas as classificações de partículas por faixa de tamanho, proposta por Rudolfs e Balmat (1952) e pela Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA/AWWA/WEF, 1998) e na Figura 3.1, são apresentadas as faixas de tamanho de partículas de alguns constituintes do esgoto e as tecnologias de tratamento mais efetivas para cada uma delas.

Tabela 3.1 – Classificação das partículas do esgoto por faixa de tamanho.

Faixa de tamanho das partículas	Classificação de partículas por faixa de tamanho	
	Rudolfs e Balmat (1952)	APHA/AWWA/WEF (1998)
< 0,001µm	Solúveis	Dissolvidos
0,001µm a 1µm	Coloidais	
1µm a 100µm	Supra-Coloidais	Suspensos*
> 100µm	Sedimentáveis	

\*Os sólidos suspensos que sedimentam em cone Imhoff no intervalo de 1 hora são denominados “sólidos sedimentáveis”. Embora não seja definida uma faixa de tamanho das partículas nessa parcela, estas são geralmente maiores que 50µm.

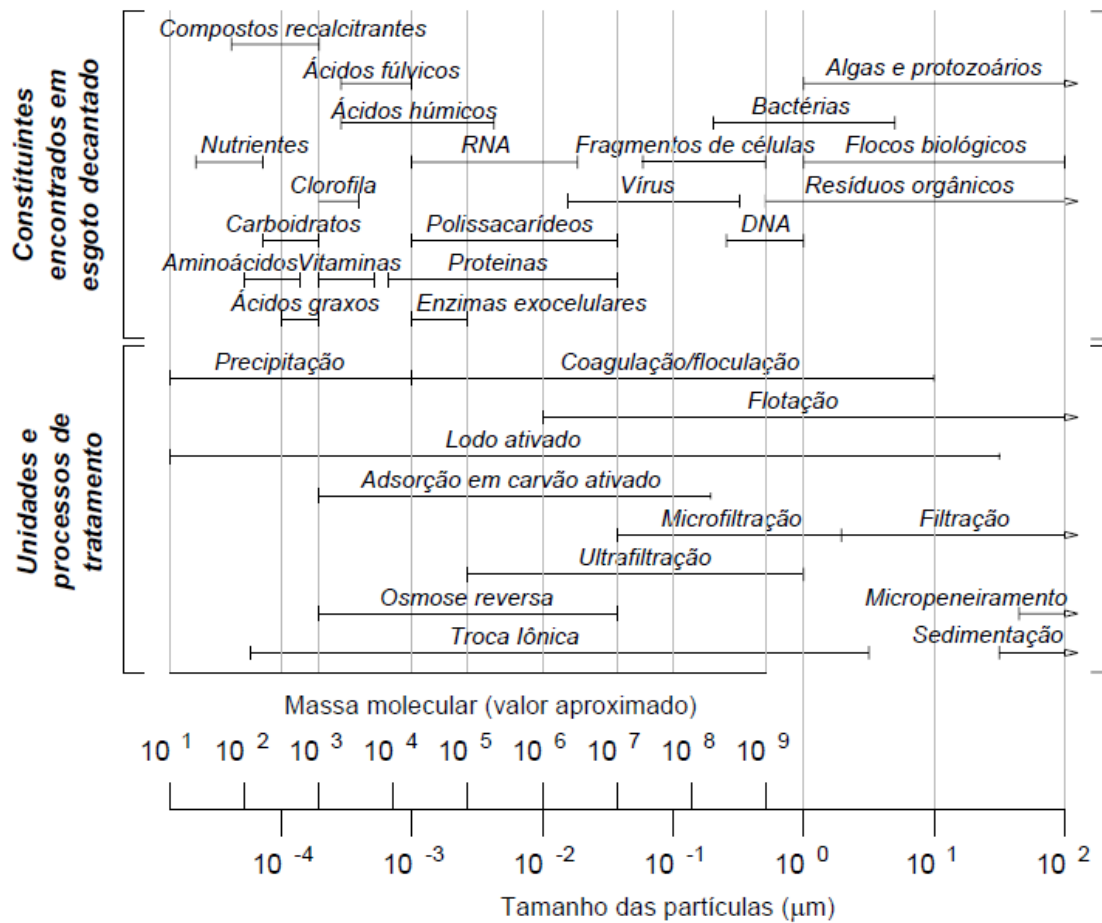


Figura 3.1 – Tamanho de partículas dos constituintes do esgoto e faixa de atuação das unidades de tratamento por tamanho de partículas

Fonte: adaptado de Levine et al., 1985

### 3.2 Coagulação e floculação

Segundo Odegaard (1979), o processo de formação e separação dos flocos pode ser dividido em três etapas: coagulação/precipitação, floculação e separação (sedimentação, flotação ou filtração). A formação de flocos ocorre em todas as etapas, mas a formação inicial ocorre na primeira etapa. As partículas presentes nas águas residuárias variam entre  $0,005\mu\text{m}$  e cerca de  $100\mu\text{m}$ . Após a coagulação, as partículas possuem tamanhos na faixa entre  $0,5\mu\text{m}$  e  $5\mu\text{m}$  e são denominadas partículas primárias. Na segunda etapa (floculação), em função das colisões promovidas entre as partículas primárias, são formados flocos maiores, na faixa entre  $100\mu\text{m}$  e  $5000\mu\text{m}$ . A primeira etapa (coagulação) ocorre em questão de segundos e relaciona-se com a química do processo, nas reações do coagulante com a água e na formação de

espécies hidrolisadas com carga positiva e depende do cátion e do pH final da mistura, nas outras duas etapas (floculação e separação dos flocos), etapas que demandam tempo superior a alguns minutos, prevalecem os aspectos físicos do processo

Na coagulação, a desestabilização química é conseguida através da adição de produtos químicos desestabilizantes (coagulantes), que aumentam a tendência de agregação dos colóides. Os coagulantes mais comuns são sais de ferro ou de alumínio, cal e polímeros orgânicos sintéticos (REALI et al., 1999). Esses produtos possuem cargas positivas e neutralizam as cargas das partículas em suspensão, normalmente negativas, proporcionando a formação de flocos.

No caso de tratamento de água é importante considerar os colóides hidrófilos e hidrófobos. Os colóides hidrófilos são compostos de grupos polares, solúveis em água, que atraem para próximo de si, moléculas do meio dispersante, formando uma película que exerce ação protetora, tornando os colóides bastante estáveis dificultando sua coagulação e floculação. Graxas, óleos, sabões e detergentes pertencem a este grupo, quando dispersos em água. Colóides hidrófobos não têm afinidade com a água, pois sua fase dispersa é constituída de material insolúvel em água. Esses colóides geralmente ocorrem em maior quantidade que os hidrófilos em meio aquoso. Suas propriedades eletrocinéticas estão relacionadas ao Potencial Zeta (AZEVEDO NETTO et al., 1979).

Idealmente, a condição ótima de coagulação vai ocorrer quando o Potencial Zeta for zero: isto é definido como ponto isoelétrico. A coagulação em termos práticos usualmente ocorre dentro de uma faixa deste potencial que varia entre  $\pm 0,50$  mV (ECKENFELDER, 1989), mas em certos casos nota-se a tendência de aglomeração à medida que o Potencial Zeta atinge 10 mV ou menos.

A floculação tem como objetivo agregar o maior número de partículas primárias desestabilizadas/precipitadas em flocos para que sejam separados por sedimentação ou flotação (CARVALHO, 2003).

Na floculação, a agitação na água deve ser tal que crie gradientes de velocidade que causem turbulência capaz de provocar choques ou colisões entre as partículas coaguladas e as existentes em suspensão e no estado coloidal da água. Estes gradientes são limitados para que não ultrapassem a capacidade de resistência do cisalhamento destas partículas (LEME, 1979).

De forma um pouco mais aprofundada, pode-se dizer que existem dois tipos de floculação: a microfloculação e a macrofloculação. A distinção entre estes dois tipos de floculação está baseada no tamanho das partículas envolvidas. A microfloculação, também conhecida como floculação pericinética, é o termo usado para referir-se a agregação de

partículas provocada pelo Movimento Browniano das moléculas. Sua faixa de atuação é significativa para partículas com tamanho entre 0,001 e 1µm. Na macrofloculação, ou floculação ortocinética, a faixa de atuação é para partículas acima de 1 ou 2µm. A macrofloculação pode ser provocada por (1) gradiente de velocidade induzido e (2) diferencial de sedimentação (METCALF & EDDY, 2003).

### 3.2.1 Mecanismos de coagulação

Há quatro mecanismos diferentes de coagulação: compressão da camada difusa; adsorção e neutralização de cargas; varredura; adsorção e formação de pontes. Segundo Odegaard (1979), com exceção do primeiro, todos esses mecanismos podem ocorrer no tratamento de águas residuárias.

**Adsorção e neutralização de cargas:** Algumas espécies químicas são capazes de serem adsorvidas na superfície das partículas coloidais. Como tais espécies são de carga contrária à da superfície dos colóides, ocorrerá a desestabilização. Esta desestabilização é causada pelo coagulante em dosagens bem inferiores às do mecanismo de dupla camada (MENDES, 1989).

Existe uma relação estequiométrica entre a concentração dos colóides e a quantidade necessária de espécies desestabilizantes por adsorção e a superdosagem de espécies adsorvíveis pode causar a reversão da carga superficial das partículas coloidais (DI BERNARDO, 2005).

**Varredura:** Quando um sal metálico (como cloreto férrico ou sulfato de alumínio) é usado como coagulante em concentração suficientemente alta para causar a rápida precipitação do hidróxido metálico ( $Al(OH)_3$  ou  $Fe(OH)_3$ ), as partículas coloidais podem ser “capturadas” por estes precipitados quando estes são formados. Se quantidade suficiente de sal metálico for adicionada, grandes quantidades de flocos do hidróxido metálico são formadas e, à medida que sedimentam, “varrem” a água contendo partículas coloidais (ODEGAARD, 1978).

**Adsorção e formação de pontes:** Segundo Mendes (1989), este mecanismo é desenvolvido por intermédio da utilização de compostos orgânicos (polímeros) sintéticos ou naturais, utilizados como coagulantes; podem apresentar sítios ionizáveis ao longo de suas cadeias podendo ser classificados como:

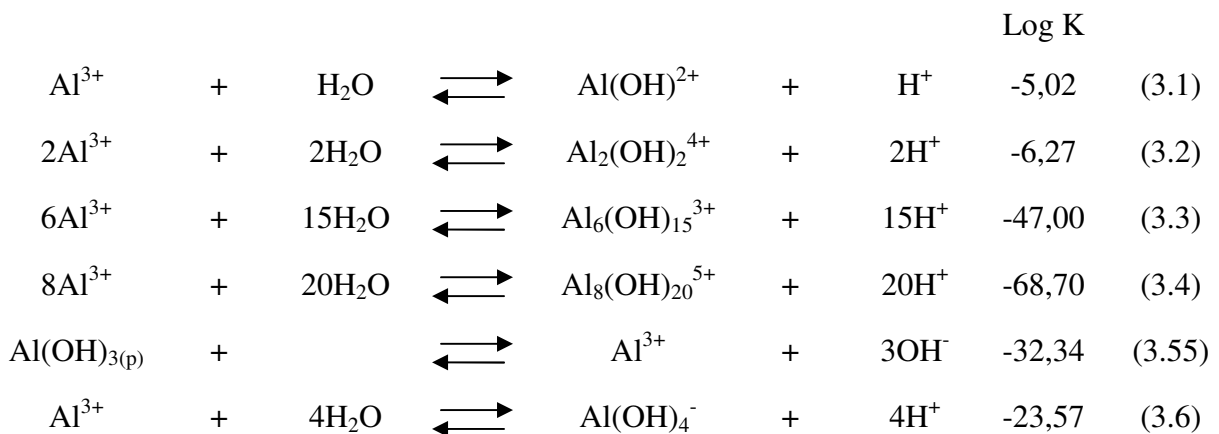
- catiônicos: possuem sítios ionizáveis positivos;
- aniônicos: possuem sítios ionizáveis negativos;
- não iônicos: não possuem sítios ionizáveis;
- anfótericos: possuem sítios ionizáveis positivos e negativos.

Os polímeros catiônicos tendem a atuar na neutralização das cargas negativas dos colóides das águas residuárias e, geralmente, têm peso molecular da ordem de  $10^5$ . Os polímeros não iônicos e aniônicos atuam na formação de pontes partícula-polímero-partícula e requerem peso molecular maior que  $10^6$  para serem efetivos (ODEGAARD, 1979).

### 3.2.2 Diagrama de solubilidade do alumínio

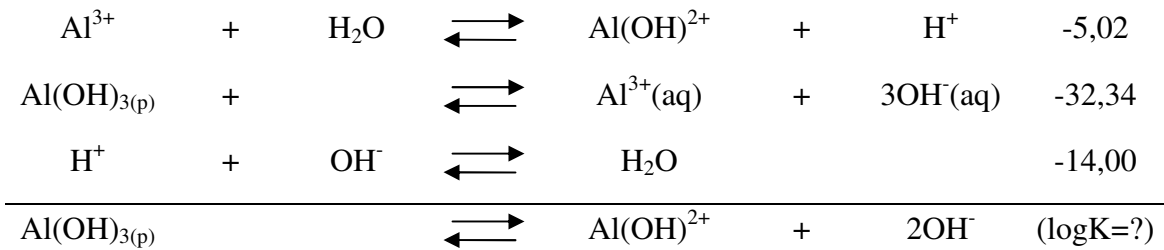
Quando é adicionado um coagulante químico na estação de tratamento, algumas espécies hidrolisadas poderão estar presentes para um determinado valor de pH. Em seguida mostram-se algumas reações de hidrólise em temperatura de 25°C.

#### Equações de hidrólise das espécies:



### Construção do diagrama de solubilidade

#### a) Espécie $Al(OH)^{2+}$



$$K = \frac{[Al(OH)^{2+}][OH^-]^2}{[Al(OH)_{3(p)}} \quad (3.7)$$

Do sistema de das três equações de hidrólise, resulta:

$$10^{-5,02} = \frac{[Al(OH)^{2+}][H^+]}{[Al^{3+}]} \quad (3.8)$$

$$10^{-32,34} = \frac{[Al^{3+}][OH^-]^3}{[Al(OH)_{3(p)}} \quad (3.9)$$

$$10^{-14} = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} \quad (3.10)$$

Considerando que a atividade do precipitado  $Al(OH)_{3(p)}$  seja igual a unidade para que a constante de equilíbrio seja expressa em termos da espécie solúvel de  $Al^{3+}$  e  $H^+$  e, tomando-se o logaritmo de ambos os lados da equação (3.10), obtém-se:

$$\log K = \log[Al(OH)^{2+}] + 2\log[OH^-] \quad (3.11)$$

O mesmo procedimento, aplicando-se às equações 3.8, 3.9 e 3.10, fornece:

$$-23,36 = \log[Al(OH)^{2+}] + 2\log[OH^-]$$

e

$$\log[H^+] = -14 - \log[OH^-] \text{ e } pH = -\log[OH^-]$$

Logo:

$$\log[Al(OH)^{2+}] = 4,64 - 2pH \quad (3.12)$$



$$\text{b) Espécies } Al^{3+} \quad \log[Al^{3+}] = 9,66 - 3pH \quad (3.13)$$

$$\text{c) Espécies } Al_6(OH)_{15}^{3+} \quad \log[Al_6(OH)_{15}^{3+}] = 10,96 - 3pH \quad (3.14)$$

$$\text{d) Espécies } Al_8(OH)_{20}^{4+} \quad \log[Al_8(OH)_{20}^{4+}] = 8,58 - 4pH \quad (3.15)$$

$$\text{e) Espécies } Al_2(OH)_2^{4+} \quad \log[Al_2(OH)_2^{4+}] = 13,05 - 4pH \quad (3.16)$$

$$\text{f) Espécies } Al(OH)_4^- \quad \log[Al(OH)_4^-] = pH - 13,91 \quad (3.17)$$

Utilizando-se as equações de 3.12 a 3.17, segue na Figura 3.2, o diagrama das espécies hidrolisadas de alumínio em função do pH.

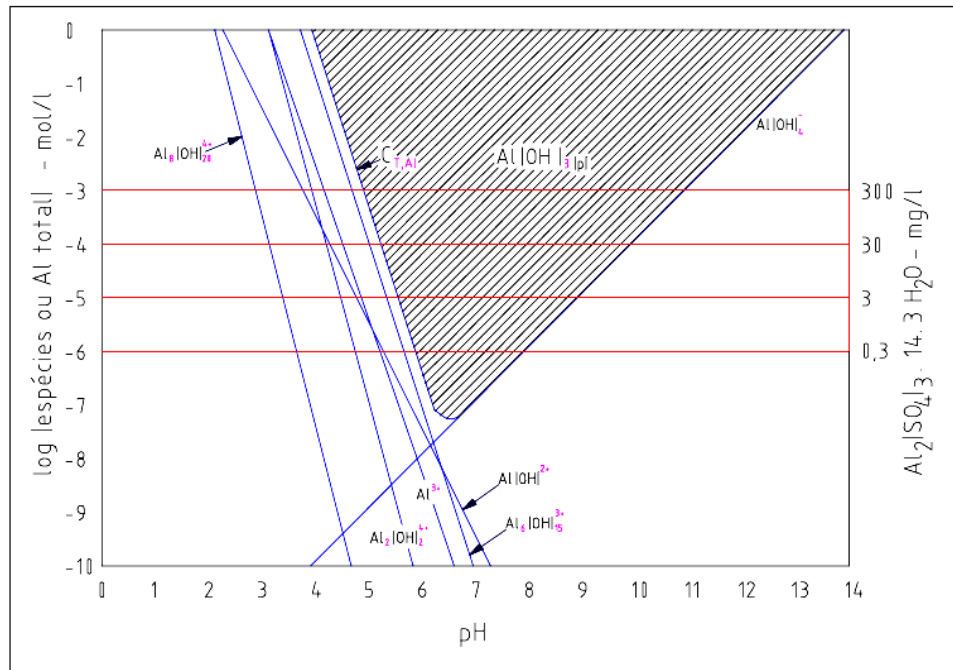


Figura 3.2 – Diagrama de equilíbrio heterogêneo do  $Al(OH)_3$   
Fonte: Di Bernardo, 2005

A concentração de alumínio total é dada pela seguinte expressão:

$$C_{T,Al} = [Al(OH)^{2+}] + [Al^{3+}] + 6[Al_6(OH)_{15}^{3+}] + 8[Al_8(OH)_{20}^{4+}] + 2[Al_2(OH)_2^{4+}] + [Al(OH)_4^-]$$

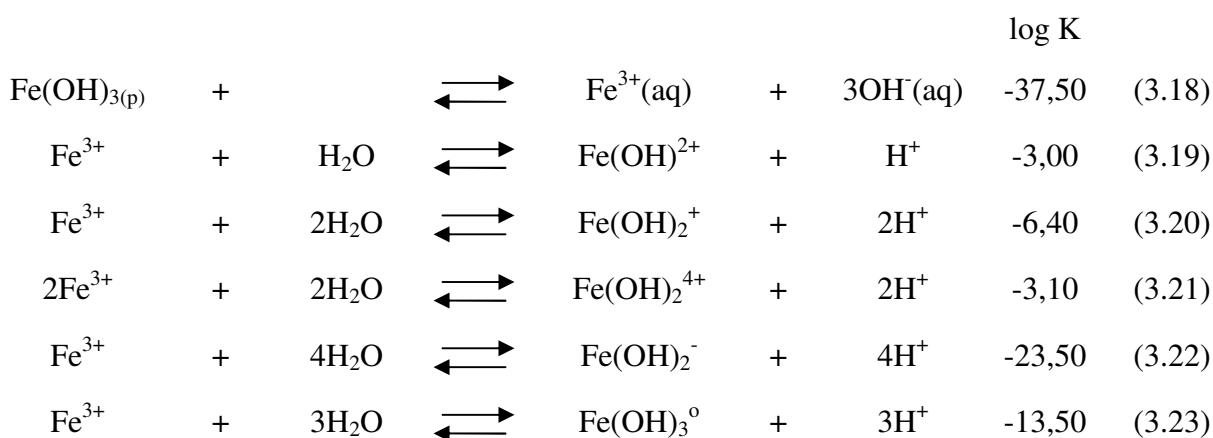
Para cada valor de pH, substituir seu valor nas equações e obter o valor de cada espécie. Substituir estes valores na equação acima ( $C_{T,Al}$ ) e efetuar a soma. Na sequência aplicar o logaritmo (base 10) no valor obtido. Assim para um valor de pH, é obtido o valor da concentração total de alumínio e refazendo-se os cálculos para os demais valores de pH, são

obtidos os respectivos valores da concentração total de alumínio e então pode ser traçada a região que delimita a formação do precipitado.

### 3.2.3 Diagrama de solubilidade do ferro

Em seguida mostram-se algumas reações de hidrólise em temperatura de 25° C.

#### Equações de hidrólise das espécies



#### Construção do diagrama de solubilidade

a) Espécie  $\text{Fe(OH)}^{2+}$   $\log [\text{Fe(OH)}^{2+}] = 1,5 - 2 \text{ pH}$  (3.24)

b) Espécie  $\text{Fe(OH)}_2^{+}$   $\log [\text{Fe(OH)}_2^{+}] = 1,9 - \text{pH}$  (3.25)

c) Espécie  $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$   $\log [\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}] = 5,9 - 4 \text{ pH}$  (3.26)

d) Espécie  $\text{Fe(OH)}_4^{-}$   $\log [\text{Fe(OH)}_4^{-}] = \text{pH} - 19$  (3.27)

e) Espécie  $\text{Fe}^{3+}$   $\log [\text{Fe}^{3+}] = 4,5 - 3 \text{ pH}$  (3.28)

f) Espécie  $\text{Fe(OH)}_3^0$   $\log [\text{Fe(OH)}_3^0] = - 9,0$  (3.29)

Utilizando-se as equações de número 3.24 a 3.29, o diagrama das espécies hidrolisadas de ferro é construído em função do pH, conforme mostra a Figura 3.3.

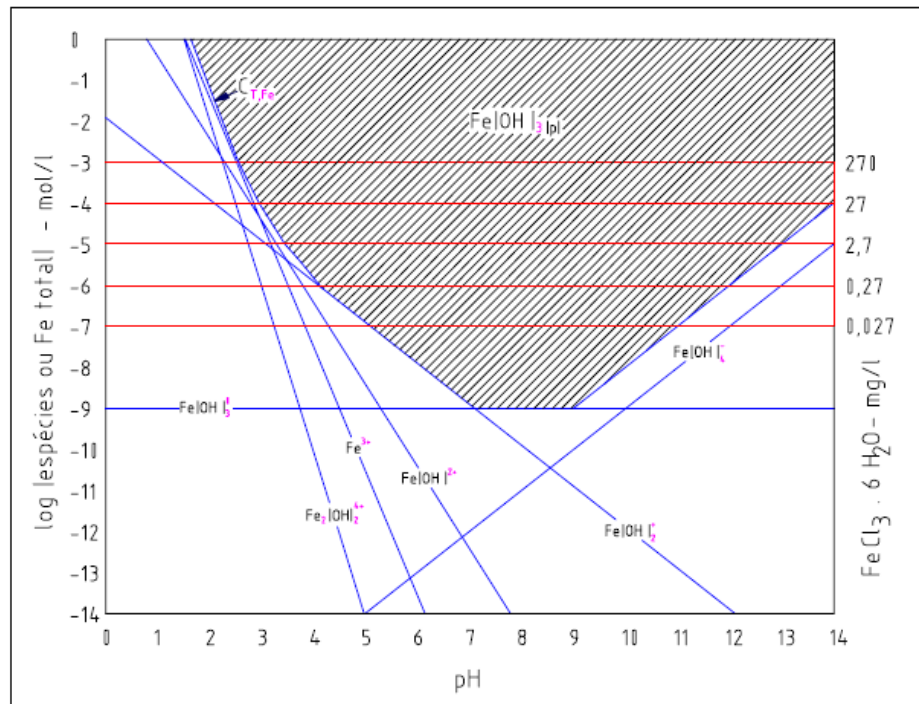


Figura 3.3 – Diagrama de equilíbrio heterogêneo do  $\text{Fe}(\text{OH})_3$   
 Fonte: Di Bernardo, 2005

A concentração de ferro total é dada pela seguinte expressão:

$$C_{T,Fe} = [\text{Fe}(\text{OH})_4^-] + [\text{Fe}^{3+}] + 2[\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}] + [\text{Fe}(\text{OH})_2^+] + [\text{Fe}(\text{OH})^{2+}]$$

### 3.2.4 Diagrama de coagulação

Amirtharajah e Mills (1982), com base em dados de vários autores, desenvolveram o diagrama de coagulação para o sulfato de alumínio (Figura 3.4). Esses diagramas permitem estimar valores de pH e dosagens de coagulante, para os quais a coagulação seria otimizada. Esses diagramas também foram estudados para o cloreto férrico, em diversas águas e por diversos autores.

Na Figura 3.4 pode-se notar regiões distintas para diferentes mecanismos de coagulação já citados no item 3.2.1.

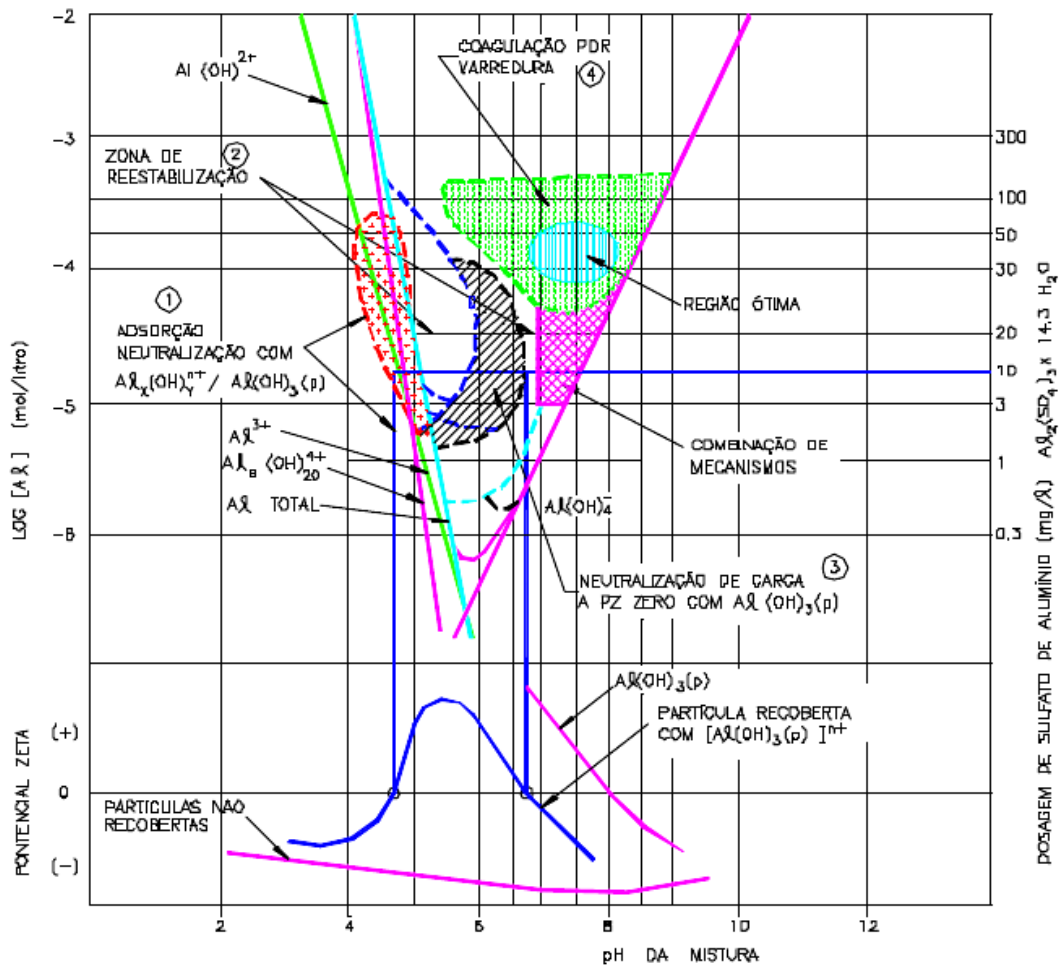


Figura 3.4 – Diagrama de coagulação para remoção de turbidez com do sulfato de alumínio de água “preparada” com caulinita.

Fonte: Amirtharajah e Mills, 1982

**Região 1-** Região onde prevalece a neutralização de cargas pelas espécies hidrolisadas positivas de alumínio, que são adsorvidas na superfície dos colóides.

**Região 2-** Zona caracterizada pela reestabilização.

**Região 3-** Região denominada de “corona”. Nesta região, o potencial zeta atinge seu máximo. Quando o valor de pH está em torno de 6,9 e dosagem de coagulante 10mg/l e o valor do potencial zeta aproxima-se de zero.

**Região 4-** Região onde predomina a coagulação pelo mecanismo de varredura. Nessa região os flocos possuem um tamanho maior quando comparado aos flocos das outras regiões.

### 3.2.5 Produtos químicos empregados

Existem vários tipos de coagulantes disponíveis no mercado, porém os mais conhecidos e utilizados estão divididos em quatro grandes categorias: cal; sais de alumínio, tal como sulfato de alumínio, aluminato de sódio, cloreto de alumínio; sais de ferro como sulfato férrico, cloreto férrico e sulfato ferroso e polímeros.

O hidróxido de cálcio (cal) é utilizado como coagulante e alcalinizante, apesar de ele não ser considerado um coagulante verdadeiro. Este pode reagir com a alcalinidade do bicarbonato e precipitar o carbonato de cálcio e com orto-fosfato para precipitar hidroxiapatita de cálcio (ECKENFELDER, 1989), além de reduzir sólidos suspensos, a turbidez, a concentração de metais pesados e a população de vírus e bactérias. O efluente tratado com cal apresenta alto pH, mas este pode ser diminuído por recarbonatação ou por adição de ácido. As dosagens requeridas dependem basicamente da dureza e da alcalinidade da água, sendo normais doses variando entre 200 e 400mg/L, em pH em torno de 11,0 (MANCUSO e SANTOS, 2003).

O sal de alumínio normalmente utilizado é o sulfato de alumínio, que reage tanto com a alcalinidade como com fósforo e outros compostos como sulfetos, por exemplo. Além de possuir baixo custo, fácil transporte e manejo e grande disponibilidade. A dosagem necessária de sulfato de alumínio para remoção de fósforo, por exemplo, é maior que a estequiometricamente requerida, em razão da reação com a alcalinidade (MANCUSO e SANTOS, 2003). O aluminato de sódio é uma fonte alternativa, mas é raramente utilizado no tratamento de água, mas freqüentemente na remoção de fósforo. Seu preço é mais alto que o sulfato de alumínio. O aluminato de sódio é disponível na forma líquida e na forma sólida. Na forma sólida ele contém 23-33% de alumínio e na forma líquida o teor de alumínio está entre 0,21 e 0,27 Kg/l. O aluminato de sódio é uma substância alcalina e causa um aumento nos valores de pH quando adicionado a águas residuárias.

O policloreto de alumínio, é um sal de alumínio prepolimerizado de fórmula bruta  $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ , na qual a relação  $m/3n \times 100$  representa a basicidade do produto. Em função dessa basicidade, o policloreto de alumínio, durante a hidrólise libera, em igualdade de dosagem de íons metálicos, uma quantidade de ácido consideravelmente menor do que o cloreto de alumínio e dos coagulantes tradicionais como sulfato de alumínio e cloreto férrico. Isso provoca uma menor variação do pH do meio tratado ou um menor consumo de neutralizante. Apresenta vantagens em relação a outros coagulantes inorgânicos não

prepolimerizados devido a sua maior concentração de elemento ativo ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). O policloreto de alumínio também é conhecido como PAC (Poly Aluminium Chloride) trabalha em uma mais ampla faixa de pH, se comparado com o sulfato de alumínio ou outros floculantes. O policloreto de alumínio é geralmente eficaz em uma faixa de pH compreendida entre 6 e 9, mas em alguns casos ele funciona bem em faixas que vão de pH 5 até pH 10.

Os sais de ferro, principalmente o cloreto férrico, são bastante eficientes na remoção de sólidos suspensos e fósforo do efluente. A utilização de cloreto férrico também elimina fosfatos e uma boa parte de metais pesados (mercúrio, chumbo) ou venenosos (arsênio, selênio, bário) quando a coagulação é realizada em valores elevados de pH. Outros metais como ferro e manganês também podem ser eliminados com o uso do cloreto férrico. (PAVANELLI,2001). Estes sais normalmente são dosados conjuntamente com a cal ou hidróxido de sódio, que ajudam na produção dos flocos e aumentam o pH da água. O cloreto férrico produz bons flocos em amplo intervalo de pH e sua dosagem para permitir a precipitação de hidróxidos é cerca de 10 mg/L (MANCUSO, 2003).

O sulfato ferroso é muito útil para tratar águas que apresentam pH elevado, enquanto que o sulfato férrico é conveniente para o tratamento de águas altamente coloridas ou ácidas (AZEVEDO NETTO et al., 1979).

O Quadro 3.1 apresenta algumas características, apenas orientativas, de alguns tipos de coagulantes utilizados no tratamento de água e efluentes.

Substância química	Fórmula	Forma disponível	pH	Dosagem (ppm)	pH de atuação
Sulfato de alumínio	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_2$	Líquido e massa sólida	3,5	20 a 60	5,5 a 7,0
Cloreto de alumínio	$\text{AlCl}_3$	Líquido	(1)	(1)	(1)
Hidróxido de cálcio (cal)	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Pó e pasta	(1)	(1)	(1)
Cloreto férrico	$\text{FeCl}_3$	Líquido e massa sólida	3 a 4	30 a 80	8,0 a 9,4
Sulfato férrico	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	Granular	3 a 4	30 a 80	8,0 a 9,4
Sulfato ferroso	$\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Granular	(1)	(1)	8,0 a 9,4
Aluminato de sódio	$\text{Na}_2\text{AlO}_4$	Líquido e Floco	11 a 12	10 a 30	5,5 a 7,0

Quadro 3.1 – Produtos químicos inorgânicos mais usados para coagulação em processos de tratamento de água e efluentes

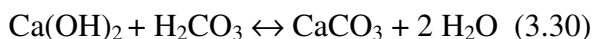
FONTE: Adaptado de METCALF & EDDY (2003), DEGANI (1981) E AZEVEDO NETTO et al., (1979)

(1) Não informado

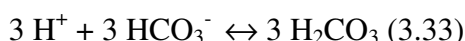
O grau de clarificação do efluente final depende da quantidade utilizada de coagulante e do cuidado com que o processo é operado. É possível obter efluentes bastante clarificados, livres da matéria orgânica em suspensão ou em estado coloidal. Os produtos

químicos adicionados às águas residuárias interagem com as substâncias que estão normalmente presentes no meio, por meio das reações abaixo (METCALF & EDDY, 2003):

**Hidróxido de cálcio (cal):** Quando a cal é adicionada ao efluente, ocorrem as seguintes reações:

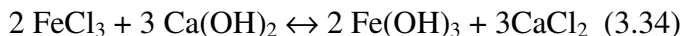


**Cloreto férrico:** As reações para o cloreto férrico no tratamento de águas residuárias são:



O conhecimento da solubilidade das diversas espécies hidrolisadas de ferro, presentes em diferentes valores de pH, é de grande importância, pois os mecanismos da coagulação dependem da concentração de cada espécie na solução.

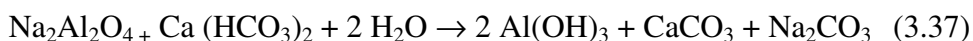
Quando o cloreto férrico e a cal são utilizados simultaneamente, a reação básica resultante é:



**Aluminato de sódio:** As reações para o aluminato de sódio no tratamento de águas residuárias são:



ou:



### 3.3 Operações de mistura rápida e floculação

Segundo Di Bernardo (2005), nas estações de tratamento de água, a operação unitária de mistura é usada com duas finalidades:

- mistura rápida: responsável pela mistura dos produtos químicos na água para ocorrência da coagulação;

- mistura lenta: responsável pela agregação das partículas desestabilizadas, com formação de flocos.

Em se tratando de líquidos pouco viscosos, a mistura em regime turbulento é comumente encontrado nas operações unitárias de mistura rápida e floculação.

A mistura rápida visa conduzir os constituintes, neste caso os coagulantes e seus auxiliares, em câmaras de mistura rápida, a um estado de uniformidade desejada promovendo uma coagulação homogênea. Esta mistura intensa é que assegura uma distribuição uniforme do coagulante na água, colocando-o em contato com as partículas existentes em suspensão (LEME, 1979). A inexistência dessa mistura intensa e adequada implica em que parte da água receba superdosagem, enquanto que outras partes sejam insuficientemente tratadas, prejudicando o tratamento.

Os sistemas de floculação são classificados em hidráulicos ou mecanizados. Os primeiros possuem alguns inconvenientes, como: pouca flexibilidade em relação à variação de vazão, impossibilidade de ajustar o gradiente de velocidade e perda de carga relativamente alta. Por outro lado, apresentam algumas vantagens: menores custos de implantação e manutenção e não exigem pessoal qualificado para operação (DI BERNARDO, 2005).

Fazendo mistura com rotor mecânico em reatores ou câmaras de mistura, é possível obter circulação e cisalhamento do fluido. A potência atribuída por unidade de volume pode ser usada como estimativa da efetividade da mistura, baseado no raciocínio de que maior potência aplicada cria mais turbulência, e mais turbulência resulta em melhor mistura. Camp e Stein (1946, citado por: METCALF & EDDY, 2003) estudaram a fundamentação e o efeito do gradiente de velocidade em vários tipos de tanques de coagulação e desenvolveram a Equação 3.37 para ser usada em projeto e operação de sistemas que utilizam dispositivo por mistura mecânica.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times V}} \quad (3.37)$$

Onde: G = Gradiente de velocidade média, T<sup>-1</sup>, 1/s;

P = Potência necessária, W;

μ = Viscosidade dinâmica, N.s.m<sup>-2</sup>;

V = Volume do floclador, m<sup>3</sup>.



Valores típicos para G usados em várias operações de mistura são apresentados no Quadro 3.2.

Processo	Faixa de valores	
	Tempo de detenção	Valor G (s <sup>-1</sup> )
<b>Mistura</b>		
Operações típicas de mistura rápida em tratamento de efluentes.	5-30 segundos	500 – 1500
Mistura rápida para efetivo contato inicial e dispersão de produtos químicos.	< 1segundo	1500-6000
Mistura rápida de produtos químicos para processos de filtração por contato.	< 1segundo	2500-7500
<b>Floculação</b>		
Processo típico de floculação usado em tratamento de efluentes.	30- 60 minutos	50-100
Floculação em processos de filtração direta.	2-10 minutos	25-150
Floculação em processos de filtração por contato.	2-5 minutos	25-250

Quadro 3.2 – Valores típicos para tempo de detenção e gradiente G para mistura e floculação em efluentes.

FONTE: Adaptado de METCALF & EDDY, 2003

Amirtharajah (1989), ao estudar a influência dos valores de gradiente de velocidade para a mistura rápida (Gm), relata que os melhores resultados no tratamento, com cloreto férrico, de partículas com tamanho médio de 3mm, foram conseguidos com Gm entre 700 e 1000s<sup>-1</sup>, ou acima de 3500s<sup>-1</sup>. Quando o tamanho médio das partículas foi aumentado para 6µm, os valores ótimos de Gm variaram entre 800 e 1000s<sup>-1</sup> e acima de 3000s<sup>-1</sup>. Quanto ao uso de polímeros orgânicos, o referido autor explica que os mecanismos de coagulação resultantes da adição desses polímeros são a neutralização de cargas e a formação de pontes entre partículas (Figura 3.5). Os valores elevados de gradiente de mistura rápida não são essenciais para uma coagulação eficiente quando os polímeros são utilizados, pois diferentemente dos coagulantes inorgânicos (sais de ferro ou de alumínio, por exemplo), não ocorrem reações de adsorção dos colóides e de precipitação dos hidróxidos, reações competitivas entre si. Além disso, valores elevados de gradiente de velocidade podem provocar quebra dos flocos, diminuindo a eficiência da coagulação/floculação. Desta forma, o autor indica valores de gradiente de mistura rápida entre 400 e 650s<sup>-1</sup> e tempo de mistura rápida entre 30 e 60s.

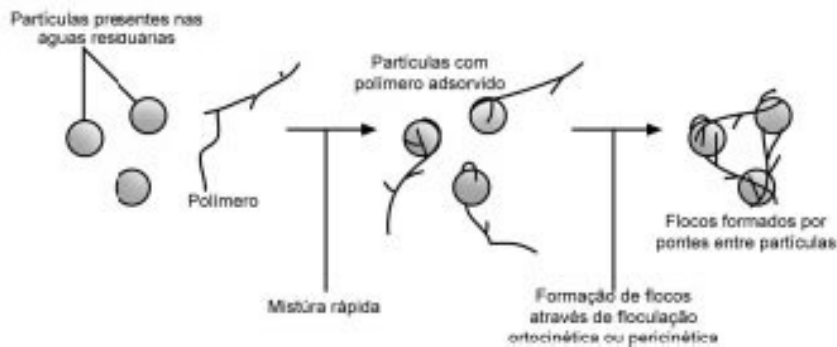


Figura 3.5. Definição esquemática da formação de pontes entre partículas com aplicação de polímeros orgânicos.

Fonte: METCALF & EDDY (2003)

### 3.4 Sedimentação

A sedimentação ou decantação é o fenômeno físico em que as partículas em suspensão apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, devido à ação da gravidade. (DI BERNARDO, 2005).

Os objetivos e aplicações da sedimentação é a retirada de partículas finas como areia, SST e flocos formados por coagulação química de materiais e organismos de difícil sedimentação. A sedimentação também é usada para criar um lodo mais concentrado de sólidos com possibilidade de ser manuseado e tratado mais facilmente (AZEVEDO NETTO et al., 1979; METCALF & EDDY, 2003).

Segundo as características das partículas a serem removidas, o processo de sedimentação pode ser classificado em quatro tipos (GREGORY E ZABEL, 1990; METCALF & EDDY, 2003):

- Tipo 1: sedimentação de partículas discretas, pouco concentradas na água, em que a floculação e a ação entre as partículas são desprezíveis;
- Tipo 2: sedimentação de partículas em baixa concentração ou flocculenta, na qual as partículas continuam a se agregar à medida que o processo de sedimentação ocorre, fazendo com que a velocidade de sedimentação também aumente;
- Tipo 3: sedimentação impedida ou por zona, na qual a concentração de partículas é grande, o que favorece os efeitos de interação e a formação de uma interface bem definida entre o líquido clarificado e os sólidos que sedimentam;

- Tipo 4: sedimentação por compressão, na qual a concentração de partículas é grande, ocorrendo à sedimentação por camadas.

Do ponto de vista do tratamento de água para o abastecimento industrial, o tipo de sedimentação que prevalece é o tipo 2, pois a concentração de partículas que interagem à medida que sedimentam é baixa. Os sólidos formados no processo de floculação quando a água é mantida por um período de tempo suficientemente adequado (tempo de detenção hidráulico) em um dispositivo denominado sedimentador ou decantador (MIERZWA, 2005).

As partículas relativamente grandes (diâmetro acima de 10mm) precipitam-se com um movimento acelerado, e podem ser calculada através da lei de Newton). As partículas relativamente pequenas (diâmetro inferior a 0,1mm), no seu movimento de deposição, atingem um regime de equilíbrio e apresentam velocidade constante, sendo seu movimento calculado através das leis de Allen e Stokes (MACEDO FILHO e BRANCO, 1964).

As partículas extremamente pequenas, da ordem de milésimos de milímetros ou menores, são objetos do movimento browniano contínuo, não sendo sedimentáveis. No caso de remoção de material coloidal, recorre-se à precipitação química ou coagulação (AZEVEDO NETTO et al., 1979). O Quadro 3.3 apresenta algumas características de forma e sedimentação das partículas mais comumente encontradas no tratamento de água e efluentes.

<b>Tipo de partícula</b>	<b>Dimensão (mm)</b>	<b>Área superficial (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Tempo de sedimentação para o percurso de 1 metro</b>
Areia fina	0,20	-	40 segundos
Areia	0,10	-	2 minutos
Silte	0,01	0,314	108 minutos
Bactérias	0,001	3,14	180 horas
Material Coloidal	0,0001	31,4	755 dias

Quadro 3.3 – Características de forma e sedimentação de partículas encontradas no tratamento de água e efluentes.

FONTE: Adaptado de NALCO (1988) e AZEVEDO NETTO et al. (1979).

### 3.5 Flotação

A flotação é um processo que envolve três fases: líquida, sólida e gasosa. É utilizado para separar partículas suspensas ou materiais graxos ou oleosos de uma fase líquida. A separação é produzida pela combinação de bolhas de gás, geralmente o ar, com a partícula,

resultando num agregado, cuja densidade é menor que a do líquido e, portanto, sobe à superfície do mesmo, podendo ser coletada em uma operação de raspagem superficial (METCALF & EDDY, 2003).

### 3.5.1 Tipos de flotação

Existe uma variedade de técnicas para introduzir as bolhas de ar necessárias para a separação sólido-líquido por flotação e, exceto a flotação gravitacional natural, onde as partículas tem peso específico menor que o líquido que as contêm, os processos de flotação podem ser classificados de acordo com o método de produção das bolhas. As técnicas mais utilizadas são a eletroflotação, autoflotação, flotação por ar disperso e flotação por ar dissolvido (FAD) (AISSE et al., 2001).

A eletroflotação é um processo utilizado para tratamento de efluentes radioativos, despejos com tintas e emulsões de pintura, no qual a obtenção das bolhas de H<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> é feita por eletrólise da água.

Em suspensões de algas, pode ocorrer a autoflotação, caso elas se tornem suficientemente supersaturadas com o oxigênio dissolvido da fotossíntese.

Na flotação por ar disperso, a formação de bolhas de ar é feita por agitação do líquido, à pressão atmosférica, e os diâmetros das bolhas produzidas são relativamente grandes, cerca de 1.000µm, quando comparados com o tamanho dos sólidos (MAIA & BEZERRA, 1981).

Na flotação por ar dissolvido, as bolhas são produzidas pela supersaturação do líquido, com o ar, podendo ser efetuada a vácuo ou a pressão. Na flotação por ar dissolvido por pressurização, ou simplesmente flotação por ar dissolvido (FAD), o ar é injetado na entrada de uma câmara de saturação, enquanto o líquido se encontra sob pressão. No interior dessa câmara ocorre a dissolução de ar na massa líquida pressurizada, sendo, em seguida, o líquido exposto a condições atmosféricas. A redução brusca de pressão provoca o desprendimento do ar na forma de minúsculas bolhas, que aderem às partículas em suspensão, flutuando à superfície. A flotação por ar dissolvido (FAD) permite maior flexibilidade ao processo, porque pode utilizar uma faixa de pressão maior, possibilitando um controle mais eficiente da quantidade de ar desprendido que, aliado ao pequeno tamanho das bolhas, constitui a principal vantagem no tratamento de efluentes (AISSE et al., 2001).

### 3.5.1.1 Flotação por ar dissolvido

Os sistemas de FAD são utilizados de três formas, dependendo do método de pressurização empregado:

- Sistema de flotação com pressurização total da vazão afluyente;
- Sistema de flotação com pressurização parcial da vazão afluyente;
- Sistema de flotação por ar dissolvido com recirculação pressurizada (FAD).

A modalidade mais comumente empregada no tratamento de esgotos sanitários e de águas para abastecimento é a flotação por ar dissolvido com recirculação pressurizada. Nessa técnica ocorre a pressurização de uma parcela do afluyente já clarificado, recirculando e misturando a mesma com o afluyente. Esta variação é aconselhável nos casos onde estão presentes no afluyente, partículas frágeis (flocos, por exemplo), as quais sejam suscetíveis de quebra de estrutura ao passarem pela bomba.

A Figura 3.6 ilustra um esquema típico de sistema FAD aplicada ao tratamento de águas residuárias precedido de coagulação química.

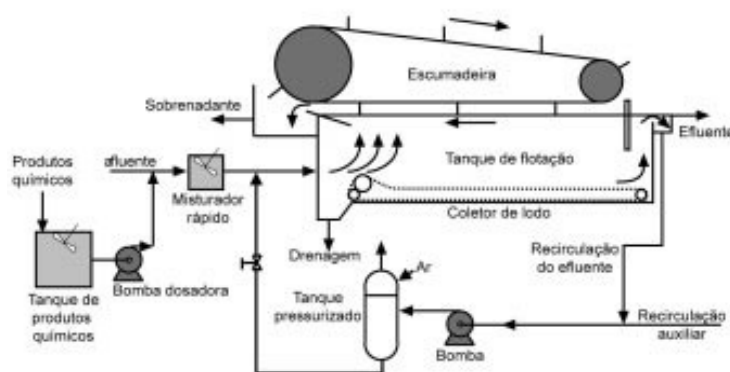


Figura 3.6 - Flotação por ar dissolvido, com recirculação pressurizada (FAD), aplicada ao tratamento físico-químico de águas residuárias

Fonte: Metcalf & Eddy, 2003

### **3.5.1.1.1- Fatores que afetam a eficiência da FAD**

Dentre os principais fatores que afetam a eficiência do processo FAD, podem-se citar a pressão de saturação, a distribuição do tamanho de microbolhas de ar, tipos de bocais difusores e a quantidade de ar fornecida ao sistema.

#### **3.5.1.1.1.1 Pressão de saturação**

De Rijk et al. (1994) realizaram experimentos para determinar a influência de diferentes pressões de saturação na distribuição do tamanho de microbolhas de ar na FAD. Constatou-se que altas pressões produzem pequenas bolhas, sendo que para pressões acima de 5,0 atm, houve um pequeno efeito na distribuição do tamanho de microbolhas de ar na FAD.

Han, Kim T. e Kim J. (2007) realizaram ensaios com água sintética (turbidez de 20 NTU) em diferentes pressões de saturação (2,0; 3,0 e 5atm). Amostras de 20ml eram coletadas e injetadas em uma célula de PVC, na qual uma câmara digital equipada com um microscópio realizava a captura das imagens, para posterior análise computacional. As seguintes conclusões foram obtidas desse trabalho: a) quanto menor a pressão, mais amplo a distribuição do tamanho das bolhas e menor a proporção do número de bolhas; b) um aumento na pressão de saturação gera um aumento na eficiência do processo, diminuindo o tamanho das bolhas e o tamanho crítico dos flocos; c) quanto maior a concentração em volume das bolhas, maior a eficiência sobre todos os tamanhos de partículas.

#### **3.5.1.1.1.2 Distribuição do tamanho de microbolhas**

É importante que a "nuvem" de microbolhas de ar produzidas na entrada das unidades FAD seja uniformemente distribuída, permitindo que essas microbolhas exerçam seu papel com o máximo de eficiência. A principal função das microbolhas de ar no processo FAD é, conforme já comentado, diminuir a densidade dos conjuntos "flocos + bolhas" em relação à densidade da água e, dessa forma, quanto maior o volume de bolhas ligadas aos flocos (ou sólidos), menor a densidade relativa e maior a velocidade ascendente dos conjuntos "flocos + bolhas". Outras funções secundárias das microbolhas, quando o processo FAD é empregado para tratamento de esgotos, são o aumento do nível de oxigênio dissolvido no esgoto tratado, além do arraste de parcela dos gases odoríferos para fora do efluente final. (AISSE et al., 2001).

A título de ilustração da importância do tamanho das microbolhas atuantes no processo FAD, na Tabela 3.2 são mostrados valores de concentração de microbolhas ( $N_b$ , em nº de bolhas por ml de suspensão no interior da zona de reação). Para o cálculo dessas grandezas, foi utilizada a modelação do processo de flotação proposto por Reali (1991 e 1994).

Tabela 3.2 - Estimativa da concentração e da distância média entre as microbolhas de ar, presentes no início de uma unidade FAD, em função do diâmetro das microbolhas

<b>Diâmetro das microbolhas (mm)</b>	<b>Concentração (<math>N_b</math>): nº de bolhas por ml de suspensão</b>	<b>Distância (<math>\Delta b</math>) entre as microbolhas (mm)</b>
0,01	18.000.000	0,04
0,03	670.000	0,12
0,05	150.000	0,20
0,07	50.000	0,28
0,10	18.000	0,40

Notas: Sistema FAD com as seguintes características: pressão de saturação de 450 kPa; 95% de eficiência no sistema de saturação; 15% de recirculação pressurizada; temperatura do líquido igual a 20 °C.

Fonte: Cálculos efetuados com base no modelo proposto por Reali (1991)

Com relação aos dados mostrados na Tabela 3.2, pode ser visto que, para a flotação por ar dissolvido, quanto menor o tamanho médio das microbolhas de ar geradas no interior do flotor, mais eficiente será o processo, pois maior será a probabilidade de colisão entre as bolhas de ar e os flocos em suspensão e maior também a chance de se ter uma ligação mais estável entre as microbolhas e os flocos. Esse último fato é devido à velocidade ascensional, que cresce diretamente com o quadrado do diâmetro das microbolhas. Assim, bolhas maiores tenderão a se desprender mais facilmente da superfície dos flocos, após a colisão, devido às suas maiores velocidades ascensionais (REALI, 1991).

Segundo Ettelt (1964), bolhas de ar menores necessitam deslocar menos líquido da superfície dos sólidos (flocos) aos quais devam aderir, sendo, portanto, mais fácil sua aderência que a das bolhas maiores. Ademais, devido às menores velocidades ascensionais das bolhas menores, as mesmas apresentam maior tempo de permanência no interior do flotor, melhorando apreciavelmente a oportunidade de contato entre as bolhas e os flocos a serem removidos.

A título de ilustração, pode ser destacado que, para uma bolha de ar com diâmetro igual a um décimo do diâmetro de outra bolha, equivaleria um tempo de detenção 100 vezes maior que o tempo de detenção relativo à bolha maior.

A distribuição de tamanho de microbolhas de ar geradas numa unidade FAD depende da taxa de aglutinação. Essa taxa pode ser influenciada por vários fatores como a pressão no interior da câmara de saturação, temperatura do líquido, pH da suspensão, tipo de bocal e concentração de agentes tenso-ativos.

Com o objetivo de determinar os tamanhos de bolhas na FAD indicaram que estas se encontram na faixa de 10 a 100 $\mu$ m (DE RIJK et al., 1994; EDZWALD, 1995), sendo que o diâmetro médio estimado é 40 $\mu$ m. Moruzzi (2005) realizou investigação da distribuição do tamanho de microbolhas de ar em sistemas FAD, o aparato experimental também utilizou uma câmara digital, conjunto de lentes para ampliação e plano de laser. A distribuição do tamanho de microbolhas encontrados estava de acordo com os descritos na literatura (10 a 120 $\mu$ m)

### 3.5.1.1.3 Tipos de bocais difusores

Os dispositivos de despressurização, chamados de bocais difusores, são os responsáveis pela definição da distribuição de tamanhos da microbolhas de ar no flotor.

Zabel (1984) analisou a influência de dois diferentes tipos de bocais difusores (WRC e válvula agulha) no tamanho das microbolhas (Figura 3.7) e verificou que para ambos os tipos de bocais difusores estudados, o tamanho das bolhas está na faixa de 10-120 $\mu$ m.

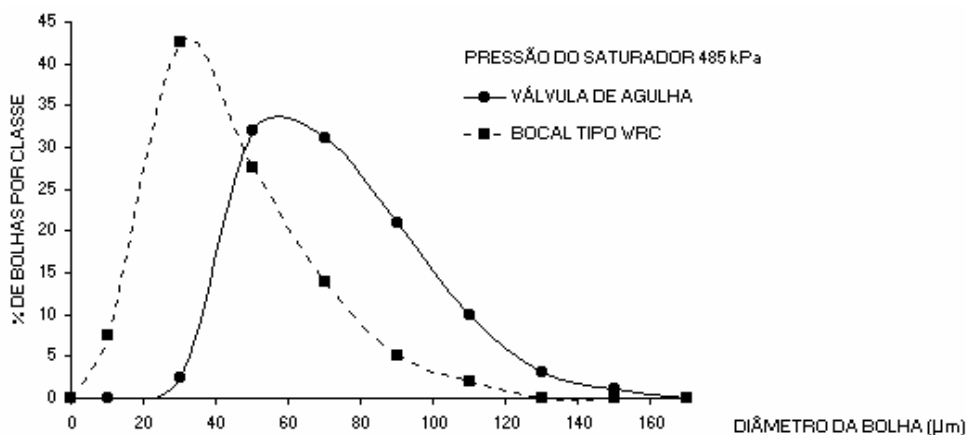


Figura 3.7 - Distribuição de tamanho de bolhas produzidas por válvula agulha e bocal tipo WRC. (Adaptado: Zabel, 1984).



Zhang, Leppinen e Dalziel (2007) realizaram ensaios para desenvolvimento de um projeto de um bocal ideal para FAD (Figura 3.8). Após a escolha da configuração ótima do bocal ( $D1=1\text{mm}$ ;  $L1=14\text{mm}$ ;  $D2=5\text{mm}$ ;  $L2=50\text{mm}$ ) adicionou-se um envoltório externo onde  $D3=5 \times D2$  para reduzir o nível de turbulência na parte final do bocal. O estudo concluiu que o novo bocal pode ser operado em baixas pressões, reduzindo em 30% o consumo de energia. A utilização desse bocal permite que 20% a mais de água possa ser tratada.

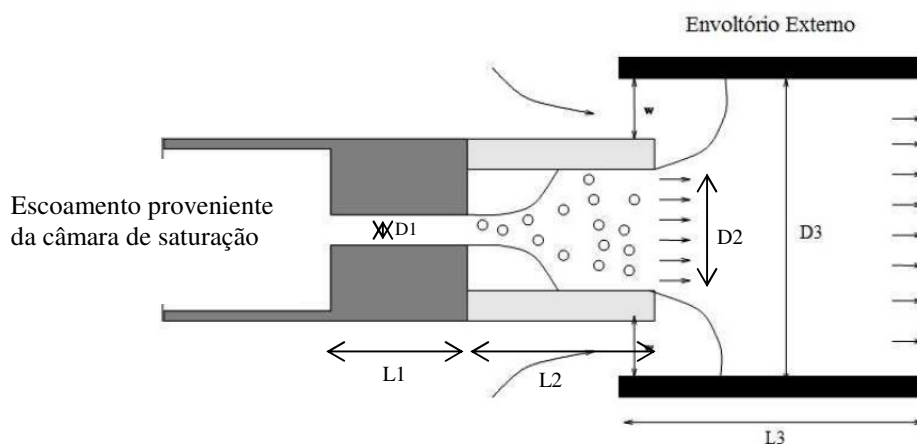


Figura 3.8 - Configuração de bocal onde  $D3=5 \times D2$   
Adaptado: Zhang, Leppinen e Dalziel.

#### 3.5.1.1.4 Quantidade de ar fornecida ao processo

A quantidade de ar fornecida à câmara de flotação pode ser variada mediante alteração da pressão na câmara de saturação, da fração de recirculação ou por ambas. Zabel (1985) realizou experimentos utilizando diferentes tipos de águas, variando a taxa de recirculação pelo uso de diferentes tamanhos de bocais e pressões de saturação. Os ensaios demonstraram que a qualidade da água depende somente da quantidade total de ar fornecido e não da recirculação e pressão de saturação analisados isoladamente.

### 3.5.2 Coagulação e floculação em sistemas de flotação por ar dissolvido

Zabel (1984) explica que, no tratamento de água em geral, o pH de coagulação deve ser otimizado, para que se obtenha eficiente clarificação do efluente, o que pode ser feito através de adição de um ácido ou de uma base. A recomendação também é válida para os sistemas de flotação por ar dissolvido (FAD). As condições de dosagem ótima de coagulante podem ser determinadas em equipamentos de flotação, em escala de laboratório, e verificadas em escala real, uma vez que os tempos de detenção hidráulica nos sistemas de FAD são relativamente curtos (aproximadamente uma hora). Ainda mais importante do que a dosagem de coagulante, são as condições de agitação e a manutenção do valor de pH de coagulação adequado. A maioria dos sistemas de FAD são equipados com agitadores rápidos em tanques de mistura rápida. Em sistemas de grande porte, para garantia de coagulação eficiente, a mistura pode ser realizada ao longo da tubulação afluente, com aplicação do coagulante in-line, por meio de dispositivos adequados.

Quanto à floculação de água bruta antecedendo a flotação, Zabel (1984) comenta que a agitação fornecida deve ser suficiente para promover a colisão das partículas primárias, visando o crescimento do floco. As unidades de floculação são constituídas, geralmente, por dois ou mais tanques de volumes iguais, associados a equipamentos de agitação lenta. O tempo de floculação depende das características da água bruta, mas, em geral, assume valores entre 12 a 20 min.

O referido autor comenta que, em estudo realizado, o valor otimizado de gradiente médio de velocidade de floculação foi de  $70\text{s}^{-1}$ . Uma alternativa para a agitação mecânica é a agitação hidráulica, realizada na tubulação afluente ao sistema. Com isso, o tempo de floculação poderia ser reduzido para cinco minutos, mas o gradiente médio de velocidade deveria ser elevado para  $150\text{s}^{-1}$ .

Edzwald (2007) verificou que para flocos com tamanhos superiores a  $100\mu\text{m}$  atingirem altas velocidades de ascensão, é necessária a adesão de múltiplas bolhas em sua superfície. Para flocos com tamanhos inferiores a  $100\mu\text{m}$  a adesão de uma única bolha é suficiente para o floco atingir uma alta velocidade de ascensão. O autor defende que o tamanho ideal para os flocos encontra-se na faixa de 20 e  $50\mu\text{m}$  (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Velocidades de ascensão do agregado floco-bolha a 20°C (adaptado Edzwald, 2007)

Diâmetro da partícula ( $\mu m$ )	Adesão de uma bolha	Adesão de múltiplas bolhas*
	$v_b$ (m h <sup>-1</sup> )	$v_b$ (m h <sup>-1</sup> )
10	19.5	19.5 (1)
30	19.3	19.3 (1)
50	17.4	17.4 (1)
100	9.9	9.9 (1)
150	4.5	16.1 (3)
200	0.9	22.5 (6)

\*Número aderido é metade do número máximo que pode aderir e é mostrado em ( )

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de coagulação-floculação-sedimentação em unidade de batelada em escala de laboratório (*jar test*) e de coagulação-floculação-flotação também em unidade de batelada em escala de laboratório (flotateste) foram realizados no Laboratório Avançado de Tratamento de Água e Reuso (LATAR) na EESC/USP.

### 4.1 Instalações industriais

A estação de tratamento de efluentes da empresa do ramo metal-mecânico está em operação desde 1986. A estação recebe toda a água residuária da empresa e o seu efluente é encaminhado para a rede pública de esgoto. A Figura 4.1 apresenta o layout da estação de tratamento de efluentes.



Figura 4.1 - Layout da E.T.E.

Legenda: 1- Tanque de homogeneização; 2- Flotador; 3- Decantador lamelar; 4- Osmose Reversa

Na Figura 4.2 é apresentado um fluxograma do tratamento atual do esgoto industrial e nele são indicados as principais vazões e operações da estação. Foram indicados também os pontos de coleta de amostras para caracterização da água residuária (pontos 1, 2, 3 e 4).

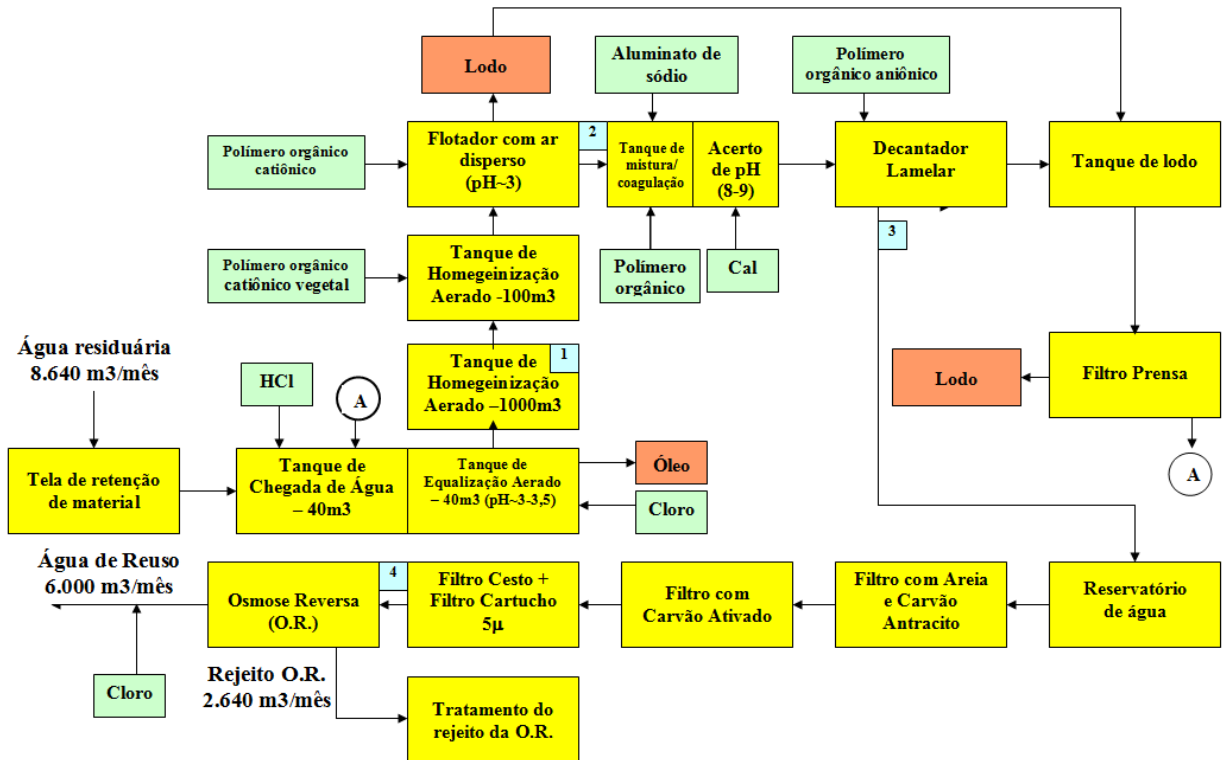


Figura 4.2 - Fluxograma de tratamento da E.T.E.

Legenda: Ponto 1- No tanque de homogeneização de 1.000.000 litros; Ponto 2- Na saída do flotador; Ponto 3- Na saída do decantador; Ponto 4- Na entrada do sistema de osiose reversa

Nas Figuras 4.3 e 4.4, pode-se observar o tanque de homogeneização e os tanques de coagulação, floculação e sedimentação da empresa.



Figura 4.3 - Tanque de homogeneização aerado de 1000m<sup>3</sup> da E.T.E.



Figura 4.4 - Tanques de coagulação, floculação e sedimentação da E.T.E.

## 4.2 Reatores em escala de bancada

Além das unidades de tratamento de esgoto em que foram coletados os afluentes utilizados nesse trabalho, também foram utilizadas as instalações experimentais existentes no Laboratório de Tratamento Avançado e Reuso de Águas - LATAR/SHS/EESC/USP. Essas instalações consistiram em uma unidade para ensaios de coagulação-floculação-sedimentação (*jar test*) e uma unidade para ensaios de coagulação-floculação-flotação (flotatestes), ambas em escala de bancada e com operação em batelada.

### 4.2.1 *Jar test*

O equipamento possui seis recipientes graduados onde cada um possui um volume útil aproximado de 2 litros. O equipamento *jar test* possui paletas giratórias com ajuste de rotação onde é possível regular os gradientes de velocidade. O equipamento possui também dispositivos para coleta simultânea de amostras. Nessa unidade foram empregadas as etapas de mistura rápida, mistura lenta (floculação) e sedimentação. Na Figura 4.5 é apresentada uma imagem do equipamento *jar test* utilizado nessa pesquisa para execução dos testes.



Figura 4.5 - *Jar test* com seis “jarros” (Ética) utilizado nos os ensaios de laboratório.

No item 4.7 está descrito o procedimento experimental para os ensaios de coagulação-floculação-sedimentação, realizados no equipamento *jar test*.

#### 4.2.2 Flotateste

Nos ensaios de flotação por ar dissolvido foi utilizada a unidade de bancada denominada “flotateste”, desenvolvida pelo Prof. Marco Antonio Penalva Reali. Na Figura 4.6 é apresentada a imagem do equipamento utilizado para execução dos testes de flotateste.

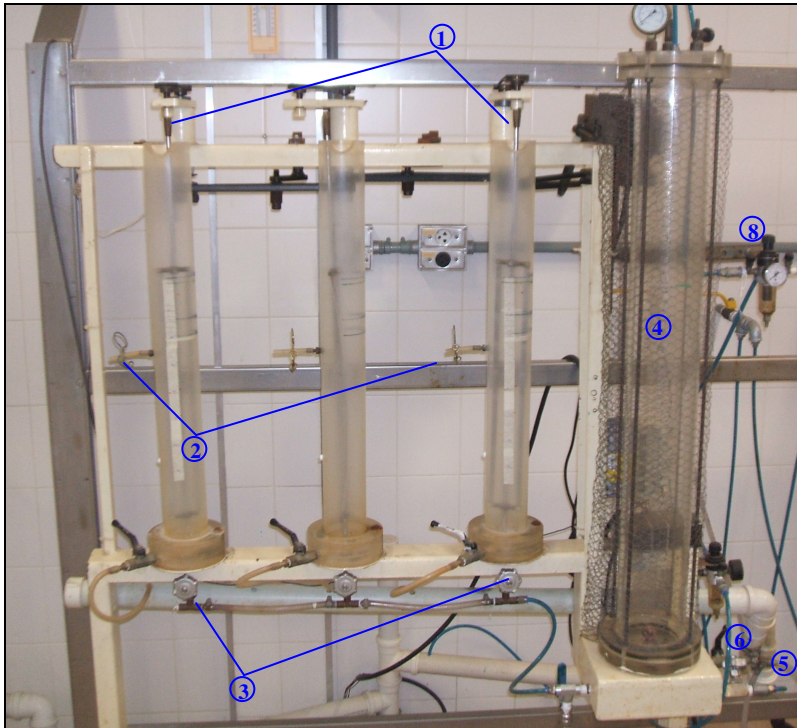


Figura 4.6 – Flotateste utilizado para os ensaios em escala de laboratório.

**Legenda:** 1- Paletas giratórias; 2- Pontos de coleta de amostras; 3- Registros de controle para água saturada; 4- Câmara de saturação; 5- Válvula para controle da injeção de ar na câmara de saturação; 6- Válvula para controle da entrada de água na câmara de saturação; 7- Válvula para controle da pressão no interior da câmara de saturação; 8- Válvula para manutenção da pressão durante coleta de amostras.

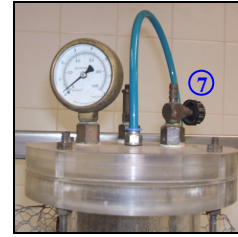


Figura 4.6a- Manômetro e válvula de controle da pressão na câmara de saturação



Figura 4.6b- Inversor de frequência para controle da rotação das paletas giratórias.

A unidade de flotateste apresenta três colunas cilíndricas independentes entre si e ligadas a uma câmara de saturação. A pressão de saturação foi controlada através da válvula e manômetro situados acima da câmara de saturação (Figura 4.6a). Cada coluna apresenta um volume útil de aproximadamente 2 litros e é equipada com agitador próprio com paletas giratórias. A regulagem dos gradientes de velocidade foi feita através do controle da rotação das paletas giratórias através de um inversor de frequência (Figura 4.6b). No flotateste, em função da sua configuração, foram realizadas as etapas de floculação e flotação. As etapas de mistura rápida foram feitas em reator separado (*jar test*) e posteriormente colocadas as amostras no flotateste.

No item 4.8 está descrito o procedimento experimental para os ensaios de coagulação-floculação-flotação, realizados no equipamento flotateste.

### 4.3 Outros equipamentos

Além do *jar test* e flotateste, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Condutivímetro modelo DM-31- Digimed;
- pHmetro modelo DM-20- Digimed;



- Turbidímetro modelo 2100P- Hach Company;
- Balança analítica modelo BP211D- Sartorius AG com precisão de 0,01mg;
- Cronômetro digital com precisão de 0,01s;
- Termômetro de bulbo.

#### 4.4 Produtos químicos utilizados

Os coagulantes e alcalinizante utilizados nesse trabalho estão no Quadro 4.1:

Produto	Nome comercial do produto	Fabricante	Substância principal	Fórmula química
Coagulante 1	Não informado <sup>1</sup>	Não informado <sup>1</sup>	Aluminato de sódio líquido 40% (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -25%)	Na <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Coagulante 2	Cloreto de Ferro (ICO) 6H <sub>2</sub> O P.A.-A.C.S.	Labsynth Produtos para Laboratório Ltda.	Cloreto férrico hexahidratado	FeCl <sub>3</sub> .6 H <sub>2</sub> O
Coagulante 3	Procytrat 100A	Procytek Indústria e Comércio Ltda.	Polímero de oxicloreto de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -11%)	Al <sub>n</sub> (OH) <sub>m</sub> Cl <sub>3n-m</sub>
	Procytrat 300	Procytek Indústria e Comércio Ltda.	Policloretos de alumínio hidroxilados cationizados (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -23%)	Al <sub>n</sub> (OH) <sub>m</sub> Cl <sub>3n-m</sub>
Alcalinizante	Hidróxido de cálcio PA – A.C.S.	Labsynth Produtos para Laboratório Ltda.	Hidróxido de cálcio	Ca(OH) <sub>2</sub>

Quadro 4.1 - Coagulantes e alcalinizante utilizados nos ensaios de coagulação-floculação com a água residuária da E. T.E.

<sup>1</sup> A divulgação do nome do produto e do fabricante não foram autorizados pelo fornecedor, por isso daqui em diante o coagulante 1 será chamado aluminato de sódio.

As “soluções-mãe” para cada coagulante e para o alcalinizante foram preparadas na concentração de 40g/l.

O coagulante 3 é uma mistura de dois produtos comerciais (Procytrat 100A e Procytrat 300) cuja formulação é sigilosa, mas possuem como substância principal, o policloreto de alumínio (PAC). Diante das características da água residuária utilizada nesse estudo, o fornecedor dos dois produtos integrantes do coagulante 3 sugeriu que eles fossem misturados na proporção de 70%- Procytrat 100A e 30%- Procytrat 300. Essa mistura foi avaliada nesse estudo.

#### **4.5 Caracterização da água residuária industrial**

Antes da realização dos ensaios de coagulação-floculação e caracterização da água residuária, foi verificada a variabilidade das características do esgoto industrial.

Após análise preliminar da variabilidade das vazões e do levantamento dos dados dos processos industriais determinou-se o período de amostragem. As amostras foram coletadas ao longo de 24 horas em intervalos de quatro horas, durante 11 dias (03/05/10 a 08/05/10 e de 10/05/10 a 14/05/10) em 4 pontos diferentes da estação de tratamento de efluentes (Figura 4.1).

Os pontos de amostragem escolhidos foram:

- Ponto 1: No tanque de homogeneização de 1 milhão de litros;
- Ponto 2: Na saída do flotador;
- Ponto 3: Na saída do decantador;
- Ponto 4: Na entrada do sistema de osmose reversa;

O período de amostragem iniciou no dia 03 de maio de 2010 as 14:00h e terminou no dia 14 de maio de 2010 as 10:00h.

A coleta de amostras foi feita manualmente e nas amostras coletadas foram realizadas as seguintes análises: temperatura, condutividade, pH e turbidez.

As vazões do efluente foram medidas nos mesmos intervalos das coletas de amostras.

Após o período de amostragem foi realizada a caracterização do efluente. Na caracterização foram analisados os seguintes parâmetros:

- Físicos e organolépticos: Cor aparente, turbidez, Condutividade elétrica e pH;
- DBO e DQO;
- Químicos:
  - a) Compostos orgânicos: Óleos e Graxas, Surfactantes;
  - b) Compostos inorgânicos: Sulfatos, Fosfato total, Cloretos, Carbonatos, Bicarbonatos, Boro, Sulfetos, N (amoniaco), N (nitrito), N (nitrato), N (molecular), Metais (Manganês, Níquel, Ferro, Cobre, Cromo, Alumínio, Sódio, Potássio, Cálcio, Magnésio);
- Sólidos: ST, SF, SV, SDT (SDF+SDV), SST (SSF+SSV) e SS.

As amostras utilizadas no trabalho de caracterização foram mantidas em ambiente refrigerado até a sua análise no laboratório do departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP- São Carlos.

Tanto a coleta quanto as análises das amostras seguiram os métodos descritos no Standard Methods for the Examination Water and Wastewater (APHA/AWWA/WEF, 2005). Os resultados das análises e procedimentos utilizados estão descritos na Tabela 5.1 (p. 72).

#### **4.6 Ensaio de coagulação-floculação com o efluente da ETE.**

A seguir, são discriminados os parâmetros operacionais investigados e as respostas obtidas nos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação e coagulação-floculação-flotação realizados na água residuária em estudo.

##### **4.6.1 Ensaio de coagulação-floculação-sedimentação com o efluente da ETE.**

Os ensaios de coagulação-floculação-sedimentação com a água residuária industrial foram realizados no equipamento *jar test* (Figura 4.5) e divididos em 4 etapas conforme a sequência apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Etapas de coagulação-floculação-sedimentação com efluente da ETE

Etapa		Descrição	Parâmetros variados	Parâmetros mantidos fixos	Análises realizadas (respostas)
Ensaio preliminares	1	Investigação do par pH-DC aproximado	pH, DC, Vs	Gm, Tm, Gf e Tf	Turbidez, condutividade
	2	Investigação dos parâmetros de mistura rápida	Gm e Tm	DC, pH, Gf, Tf e Vs	Turbidez, condutividade
	3	Investigação dos parâmetros de floculação	Gf e Tf	DC, pH, Gf, Tf e VS	Turbidez, condutividade
4	Diagramas de coagulação	pH e DC	Gm, Tm, Gf, Tf e Vs	Turbidez, condutividade	

**Legenda:** Gm: gradiente de velocidade média na mistura rápida; Tm: tempo de mistura rápida; Gf: gradiente de velocidade média na floculação; Tf: tempo de floculação; Vs: velocidade de sedimentação; DC: dosagem de coagulante.

#### 4.6.1.1 Investigação do par pH-DC aproximado.

Na primeira etapa foi obtido o par pH-DC (dosagem de coagulante) aproximado para utilização nos ensaios posteriores. Os parâmetros de mistura rápida, floculação e sedimentação (Gm, Tm, Gf, Tf) foram mantidos constantes e com seus valores arbitrados ou retirados da literatura (GUIMARÃES, 1987; MENDES, 1989; SANTOS, 2001). O melhor valor do par pH-DC foi aquele que obteve melhor resposta na análise de turbidez e condutividade.

#### 4.6.1.2 Investigação dos parâmetros de mistura rápida.

Na segunda etapa, foram investigados os parâmetros de mistura rápida (Gm e Tm) sendo que os outros parâmetros foram mantidos constantes e com seus valores arbitrados ou retirados da literatura (GUIMARÃES, 1987; MENDES, 1989; SANTOS, 2001). A determinação desses parâmetros foi feita variando-se o valor de Tm para cada valor de Gm

estudado. Os melhores valores para os parâmetros de mistura rápida foram aqueles que obtiverem as melhores respostas nas análises de turbidez e condutividade.

#### **4.6.1.3 Investigação dos parâmetros de floculação**

Na terceira etapa, já com os valores dos parâmetros de mistura rápida ( $G_m$  e  $T_m$ ), definidos, foram investigados os parâmetros de floculação ( $G_f$  e  $T_f$ ) sendo que os outros parâmetros foram mantidos constantes e com seus valores arbitrados ou retirados da literatura (GUIMARÃES, 1987; MENDES, 1989; SANTOS, 2001). Nessa etapa, em cada ensaio, foi variado o valor de  $T_f$  para cada valor de  $G_f$  estudado. Os melhores valores para os parâmetros de floculação foram aqueles que obtiverem as melhores respostas nas análises de turbidez e condutividade.

#### **4.6.1.4 Diagramas de coagulação-floculação-sedimentação**

Na quarta etapa, para a construção do diagrama de coagulação, foram utilizados os melhores valores dos parâmetros de mistura rápida e floculação ( $G_m$ ,  $T_m$ ,  $G_f$ ,  $T_f$ ) obtidos na segunda e terceira etapa e foram variados o pH (com a dosagem de hidróxido de cálcio) e a dosagem de coagulante (DC). A velocidade de sedimentação ( $V_s$ ) também foi mantida constante. O procedimento para elaboração dos diagramas foi adaptado dos trabalhos de AMIRTHARAJAH e MILLS (1982), JOHNSON e AMIRTHARAJAH (1983) e GUIMARÃES e MENDES (1989). Conforme o trabalho de SANTOS (2006), os diagramas foram obtidos através da interpolação linear dos resultados das análises de turbidez remanescente utilizando o método geoestatístico “Kriging”, através do programa computacional Surfer®.

#### **4.6.2 Ensaio de coagulação-floculação-flotação com o efluente da ETE.**

Os ensaios de coagulação-floculação-flotação com a água residuária industrial foram realizados nos equipamentos de *jar test* e flotatestes (Figuras 4.5 e 4.6) e divididos em 4 etapas conforme a sequência apresentada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Etapas de coagulação-floculação-flotação com efluente da ETE

Etapa		Descrição	Parâmetros variados	Parâmetros mantidos fixos	Análises realizadas (respostas)
Ensaio preliminares	1	Investigação do par pH-DC aproximado	pH, DC, Vf	Gm, Tm, Gf, Tf, R, Psat e Tsat	Turbidez, condutividade
	2	Investigação dos parâmetros de floculação	Gf, Tf e Vf	DC, pH, Gm, Tm, R, Psat e Tsat	Turbidez, condutividade
	3	Investigação da quantidade de ar fornecida	R e Vf	DC, pH, Gm, Tm, Gf, Tf, Psat e Tsat	Turbidez, condutividade
4		Diagramas de coagulação	pH, DC, Vf	Gm, Tm, Gf, Tf, R, Psat e Tsat	Turbidez, condutividade

Legenda: Gm: gradiente de velocidade média na mistura rápida; Tm: tempo de mistura rápida; Gf: gradiente de velocidade média na floculação; Tf: tempo de floculação; DC: dosagem de coagulante; Vf: velocidade de flotação; R: razão de circulação; Psat: pressão de saturação; Tsat: tempo de saturação.

#### 4.6.2.1 Investigação do par pH-DC aproximado.

Na primeira etapa foi obtido o par pH-DC (dosagem de coagulante) aproximado para utilização nos ensaios posteriores. Os parâmetros de mistura rápida, floculação e flotação (Gm, Tm, Gf, Tf, R, Psat e Tsat) foram mantidos constantes e com seus valores arbitrados ou retirados da literatura. Foram utilizadas nessa etapa duas velocidades de flotação (Vf). O melhor valor do par pH-DC foi aquele que obteve melhor resposta na análise de turbidez e condutividade.

#### 4.6.2.2 Investigação dos parâmetros de floculação

Na segunda etapa, como a mistura rápida foi feita em separado e no mesmo equipamento de *jar test* utilizado no item 4.6.1.2, foram mantidos para os ensaios de flotação os mesmos valores dos parâmetros de mistura rápida obtidos no item 4.6.1.2.

Foram obtidos nessa etapa os parâmetros de floculação ( $G_f$ ,  $T_f$ ), sendo que os outros parâmetros foram mantidos constantes e com seus valores arbitrados ou retirados da literatura. Os melhores valores para os parâmetros de floculação e quantidade de ar fornecida foram aqueles que obtiverem as melhores respostas nas análises de turbidez e condutividade.

#### **4.6.2.3 Investigação da quantidade de ar fornecida**

Com os valores mais adequados dos parâmetros de floculação, foi obtida na terceira etapa, a quantidade de ar fornecida ou taxa de recirculação ( $R$ ). Devido a dificuldade na recirculação do próprio efluente produzido no flotador, foi utilizada água da rede de abastecimento. Os resultados obtidos de turbidez e condutividade foram corrigidos devido a diluição das amostras.

#### **4.6.2.4 Diagramas de coagulação-floculação-flotação**

Na quarta etapa, para a construção do diagrama de coagulação, foram utilizados os melhores valores dos parâmetros de mistura rápida, floculação e taxa de recirculação ( $G_m$ ,  $T_m$ ,  $G_f$ ,  $T_f$  e  $R$ ) obtidos nas etapas anteriores e foram variados o pH (com a dosagem de hidróxido de cálcio), a dosagem de coagulante ( $DC$ ) e a velocidade de flotação ( $V_f$ ). O procedimento para elaboração dos diagramas foi o mesmo utilizado no item 4.6.1.4.

### **4.7 Procedimentos para realização dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação em unidade de *jar test***

O procedimento experimental para os ensaios de coagulação-floculação-sedimentação, realizados em equipamento *jar test*, foi baseado em GUIMARÃES (1987), MENDES (1989) e DI BERNARDO (2005), conforme descrito a seguir:

- a) homogeneizava-se a “amostra bruta” e colocavam-se porções da mesma nos reatores (jarros) do *jar test*, enchendo-os simultaneamente, para assegurar a homogeneidade das amostras em todos os jarros, até a obtenção de 2 litros por jarro;
- b) colocavam-se os volumes de solução-mãe do coagulante em estudo (40g/L), correspondentes às dosagens de produtos químicos, nos recipientes apropriados do *jar test* (cubetas frontal);
- c) acionava-se o equipamento de agitação ajustando a rotação para cerca de 40 rpm (agitação lenta) e determinam-se, diretamente das amostras nos jarros, os valores de temperatura, pH e condutividade da amostra bruta;

Obs. A temperatura não foi controlada (ie. as amostras não foram aquecidas ou resfriadas) no decorrer dos ensaios de coagulação-floculação, entretanto, em todos os ensaios apresentou apenas pequena variação ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ).

- d) nos ensaios em que foi variado o pH, ajustava-se a rotação para cerca de 100 rpm e adicionavam-se os volumes de hidróxido de cálcio (40g/l) pré-estabelecidos. Não foram utilizadas soluções ácidas, pois a amostra bruta já estava ácida com pH menor que 3,6.
- e) a seguir, ajustava-se a rotação no *jar test* para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio na mistura rápida (Gm), adicionava-se a cada jarro o volume preestabelecido de coagulante contido nas cubetas de suporte frontal e disparava-se o cronômetro;
- f) depois de decorrido o tempo de mistura rápida (Tm), reduzia-se a rotação do equipamento para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio na floculação (Gf);
- g) durante a floculação eram feitas leituras de pH e condutividade nas amostras contidas em cada um dos jarros;
- h) Após o tempo de floculação (Tf), desligava-se o equipamento ou, se o tempo de floculação variasse de um jarro para outro, suspendia-se a paleta do jarro cujo tempo de floculação fosse atingido;
- i) Coletavam-se as amostras decantadas após tempo conveniente, de acordo com a(s) velocidade(s) de sedimentação desejada(s);



Obs. Como o ponto de coleta de amostra no *jar test* utilizado situava-se 7,5 cm abaixo da superfície do líquido, quando a velocidade de sedimentação ( $V_s$ ) desejada era, por exemplo, de 1,0 cm/min., o tempo de sedimentação ( $T_s$ ) era de 7,5 min. após o desligamento do agitador. Contudo, como a coleta da amostra do efluente final (aproximadamente 50 mL) durava cerca de 20s, a coleta iniciava-se 10s antes e prolongava-se 10s além do valor de  $T_s$ . Além disso, cerca de 2s antes do início da coleta do efluente final, descartava-se um pequeno volume do mesmo, para que amostra coletada não sofresse influência do esgoto acumulado na mangueira de coleta.

j) após a coleta das amostras, eram feitas determinações de turbidez e condutividade.

#### **4.8 Procedimentos para ensaios de coagulação-floculação-flotação em unidade de flotatete**

Os ensaios de coagulação-floculação-flotação, com utilização do flotatete, foram adaptados dos procedimentos descritos por Reali (1991), Penetra (1998), Di Bernardo (2005), conforme discriminado a seguir:

##### Etapa 1: saturação da água

- a) enchia-se a câmara de saturação com água de abastecimento até cerca de 6 litros;
- b) abria-se o registro para entrada de ar comprimido (item 5 da Figura 4.6) pela parte inferior da câmara de saturação e regulava-se o registro de controle de saída (item 7 da Figura 4.6) de ar para que a pressão no interior da câmara permanecesse em 500kPa durante o período de saturação;
- c) saturava-se a água nas condições descritas por 10 minutos;
- d) fechava-se simultaneamente o registro de controle de saída e de injeção de ar da câmara de saturação (itens 5 e 7 da Figura 4.6) e abria-se a válvula reguladora de pressão (item 8 da Figura 4.6), a qual tinha a função de manter a pressão em  $500 \pm 10$  kPa no interior da câmara durante a injeção de água saturada nas colunas de flotação; após isso, iniciava-se o ensaio de flotação.

##### Etapa 2: ensaio de flotação

Obs. conforme descrito anteriormente, a mistura rápida era feita no equipamento *jar test*, após o que as amostras “coaguladas” eram despejadas nas colunas de flotação do flotatete.

- e) homogeneizava-se a “amostra bruta” e colocavam-se porções da mesma nos reatores (jarros) do *jar test*, enchendo-os simultaneamente, para assegurar a homogeneidade das amostras nos jarros (eram usados 2 jarros), até a obtenção de 2 litros por jarro;
- f) colocavam-se os volumes de solução-mãe do coagulante em estudo (40g/L) correspondentes às dosagens de produtos químicos, nos recipientes apropriados do *jar test* (cubetas de suporte frontal);
- g) acionava-se o equipamento de agitação ajustando a rotação para cerca de 40 rpm (agitação lenta) e determinavam-se, diretamente das amostras nos jarros, os valores de temperatura, pH e condutividade da amostra bruta;

Obs. A temperatura não foi controlada (ie., as amostras não foram aquecidas ou resfriadas) no decorrer dos ensaios de coagulação-floculação, entretanto, em todos os ensaios apresentou apenas pequena variação ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ).

- h) nos ensaios em que foi variado o pH, ajustava-se a rotação para cerca de 100 rpm e adicionavam-se os volumes de hidróxido de cálcio (40g/l) à dosagem pré-estabelecida;
- i) a seguir, ajustava-se a rotação no *jar test* para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio na mistura rápida (Gm), adicionava-se a cada jarro o volume preestabelecido de coagulante contido nas cubetas de suporte frontal e disparava-se o cronômetro;
- j) decorrido o tempo de mistura rápida, desligava-se a agitação do *jar test* e despejava-se cada amostra “coagulada” nas colunas de flotação e a seguir a agitação era acionada através do inversor de frequência (Figura 4.6b), sendo que a rotação das paletas para a etapa de floculação já havia sido previamente ajustada para o gradiente de velocidade desejado. Com o restante de solução “coagulada” que ficava no jarro do *jar test*, foram coletadas amostras para determinação do pH;

Obs. A amostra “coagulada” era despejada até se atingir um nível inicial ( $n_1$ ), previamente marcado na coluna do flotatest. Esse nível dependia de qual o volume necessário para injeção de água saturada, ou seja, da razão de recirculação (R) empregada no ensaio, que determinava o nível final após injeção de água saturada ( $n_2$ ).

- k) após concluída a floculação, desligavam-se os agitadores, retiravam-se as paletas de agitação e abriam-se, cautelosamente, os registros de agulha (item 3 da Figura 4.6) que

permitiam a entrada de água saturada em cada coluna de flotação, até se atingir o nível final ( $n_2$ ), quando se começava a marcar o tempo de flotação;

- l) depois de atingidos os tempos de flotação desejados (equivalentes às velocidades de flotação previamente estabelecidas), coletavam-se amostras de cerca de 50 mL;

Obs. Como o ponto de coleta da amostra no flotatesto utilizado situava-se 35 cm acima do ponto de liberação da água saturada, quando a velocidade de flotação ( $V_f$ ) desejada era, por exemplo, de 10cm/min. o tempo de flotação ( $T_{flot}$ ) era de 3,5 min. Contudo, como a coleta da amostra do efluente final (aproximadamente 50 mL) durava cerca de 20s, a coleta iniciava-se 10s antes e prolongava-se 10s além do valor de  $T_{flot}$ . Além disso, cerca de 2s antes do início da coleta do efluente final, descartava-se um pequeno volume do mesmo, para que a amostra coletada não sofresse influência do esgoto acumulado na mangueira de coleta.

- m) após a coleta, eram feitas determinações de turbidez e condutividade.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Monitoramento dos parâmetros da E.T.E.

Nas Figuras 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 podem ser observados os resultados das análises de condutividade, turbidez, pH e temperatura das amostras coletadas ao longo de 24 horas em intervalos de quatro horas, durante 11 dias (03/05/10 a 08/05/10 e de 10/05/10 a 14/05/10) em 4 pontos diferentes da estação de tratamento de efluentes (Figura 4.2):

- Ponto 1: No tanque de homogeneização de 1 milhão de litros;
- Ponto 2: Na saída do flotador;
- Ponto 3: Na saída do decantador;
- Ponto 4: Na entrada do sistema de osmose reversa;

Os dados coletados podem ser observados no Apêndice A.

Verifica-se nas Figuras 5.1, 5.2, 5.3 que os parâmetros analisados nas amostras coletadas no local escolhido (tanque de homogeneização) são praticamente estáveis. Na Figura 5.4 verifica-se a queda na temperatura (em torno de 4°C) em todas as amostras entre os dias 08/05/10 e 10/05/10 provavelmente devido a queda da temperatura ambiente devido a estação do ano em que foi feito o monitoramento (outono).

Nas Figuras 5.1 e 5.2, são apresentados os valores de condutividade e turbidez em quatro pontos da E.T.E.. Observa-se nessas figuras que os valores de condutividade e turbidez da água residuária nos quatro pontos de coleta apresentam os maiores valores e uma instabilidade as Segundas-feiras (03/05/10 e 10/05/10). A instabilidade do efluente no início das semanas possivelmente ocorre em consequência do descarte de banhos ácidos e alcalinos na indústria nos finais de semana, período onde ocorre a parada da produção e que a indústria utiliza para manutenções e limpeza nos banhos de tratamento de superfície. Observa-se também nessas Figuras que a partir das Quartas-feiras o efluente já apresenta uma estabilidade maior. Devido a essa instabilidade dos parâmetros de análise no início das semanas, optou-se nesse estudo pela coleta de amostras as Sextas-feiras.

Na Figura 5.5, observa-se a pequena variabilidade da vazão durante o período de monitoramento.



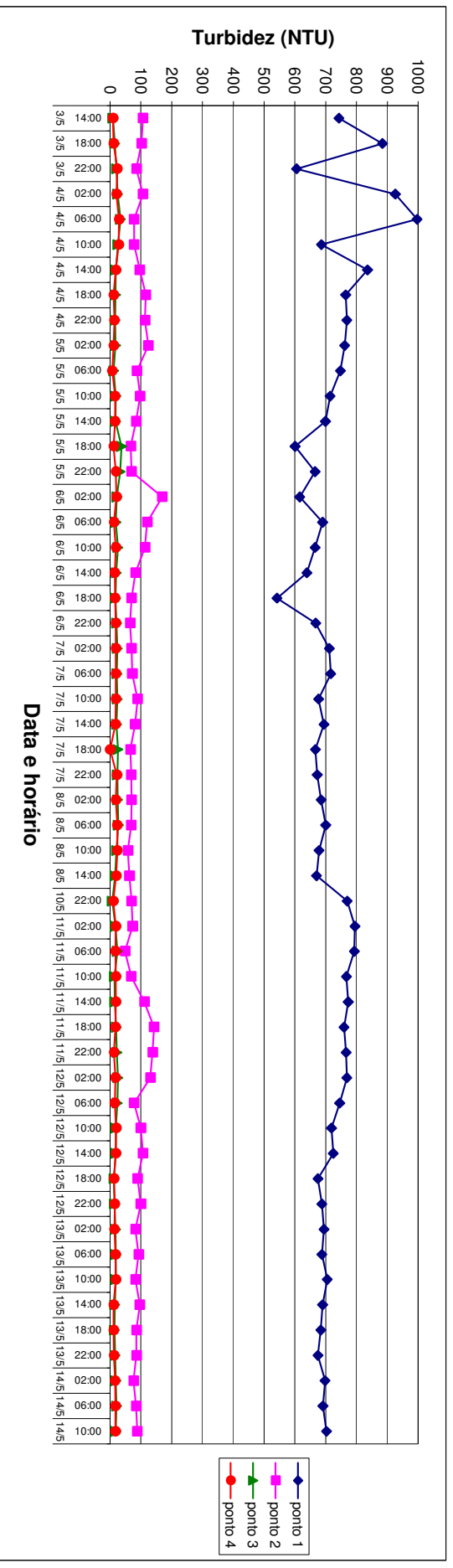


Figura 5.2 – Valores de turbidez nos 4 pontos de coleta de amostras da E.T.E.  
 (Legenda: Ponto 1 - No tanque de homogeneização de 1.000.000 litros; Ponto 2- Na saída do flotorador; Ponto 3- Na saída do decantador; Ponto 4- Na entrada do sistema de osmose reversa)



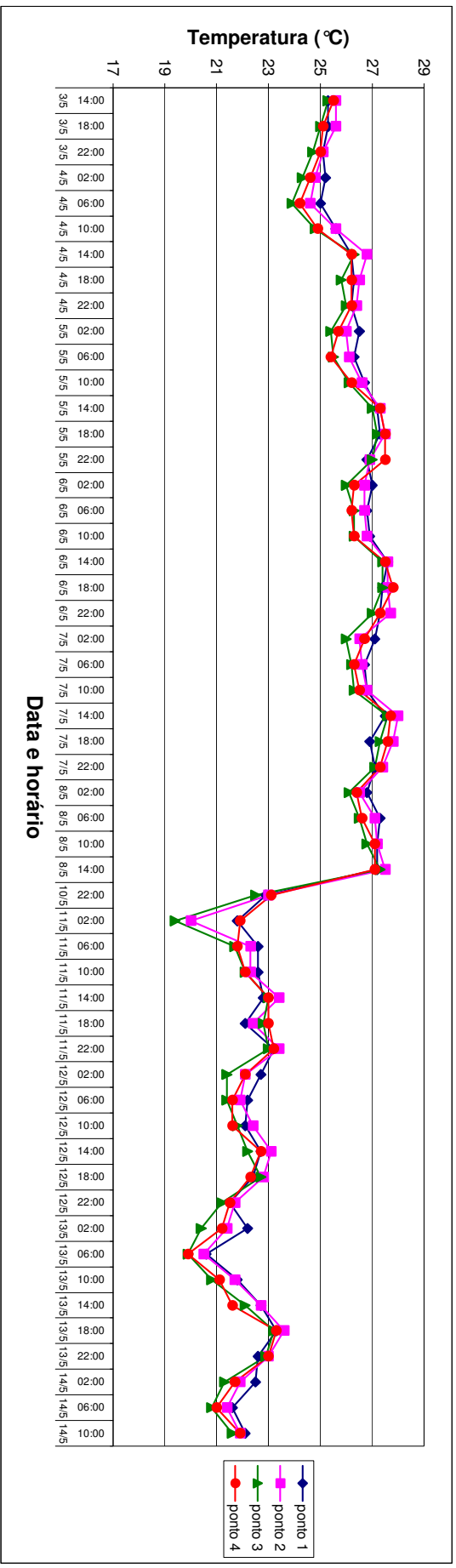


Figura 5.4 – Valores da temperatura nos 4 pontos de coleta de amostras da E.T.E.

(Legenda: Ponto 1- No tanque de homogeneização de 1.000.000 litros; Ponto 2- Na saída do flotador; Ponto 3- Na saída do decantador; Ponto 4- Na entrada do sistema de osmose reversa)



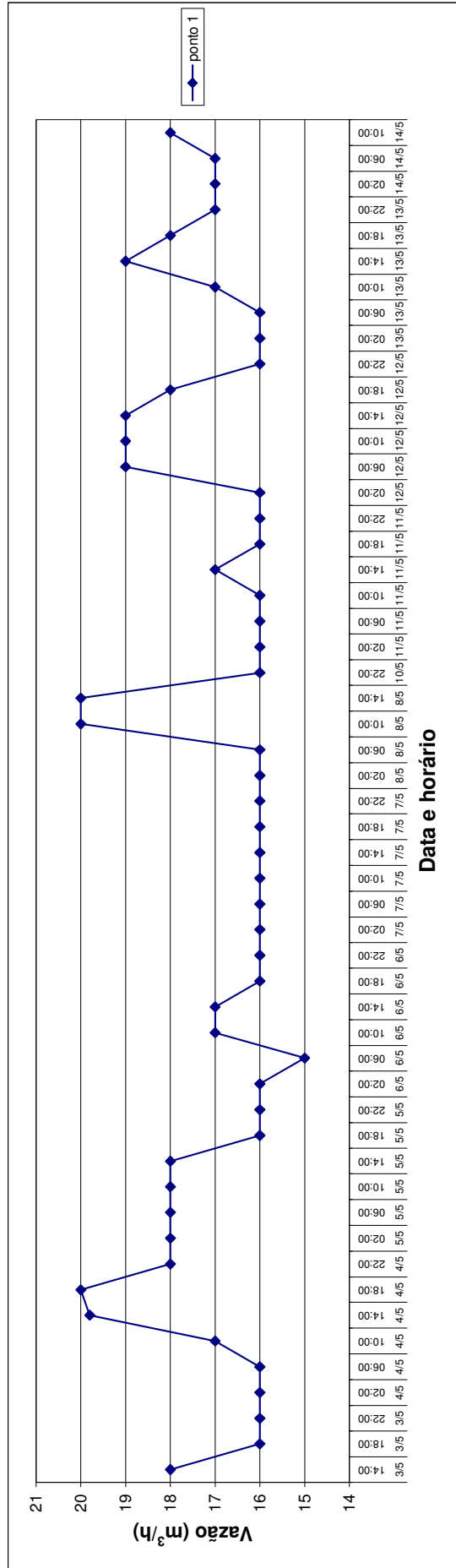


Figura 5.5 – Valores da vazão nos ponto 1 de coleta de amostra da E.T.E.  
 (Legenda: Ponto 1 - No tanque de homogeneização de 1.000.000 litros)

Após o período de monitoramento foi realizada a caracterização da água residuária bruta. Segue na Tabela 5.1 os resultados da caracterização:

Tabela 5.1 - Caracterização da água residuária bruta. Amostra coletada no tanque de homogeneização de 1000m<sup>3</sup>.

PARÂMETRO	RESULTADO	UNIDADE DE MEDIDA	LIMITE DE DETECÇÃO	MÉTODO DE REFERÊNCIA	DATA DO ENSAIO
Alumínio	3,34	mg L <sup>-1</sup>	0,01	SM 3111 D	16/06/2010
Arsênio	< LD	mg L <sup>-1</sup>	0,0001	SM 3114 B	16/06/2010
Bário	< LD	mg L <sup>-1</sup>	0,05	SM 3111 D	16/06/2010
Bicarbonato	Zero	mg L <sup>-1</sup>	1,0	SM 2320 B	11/06/2010
Boro	10,4	mg L <sup>-1</sup>	0,1	SM 4500-B C	16/06/2010
Cádmio	0,004	mg L <sup>-1</sup>	0,0006	SM 3111 B	16/06/2010
Cálcio	308,5	mg L <sup>-1</sup>	0,001	SM 3111 D	16/06/2010
Carbonato	Zero	mg L <sup>-1</sup>	1,0	SM 2320 B	11/06/2010
Chumbo	0,01	mg L <sup>-1</sup>	0,01	SM 3111 B	16/06/2010
Cianeto	0,026	mg L <sup>-1</sup>	0,001	SM 4500-CN <sup>3-</sup> E	14/06/2010
Cloreto	260	mg L <sup>-1</sup>	0,1	SM 4500-Cl <sup>-</sup> C	11/06/2010
Cobre	0,591	mg L <sup>-1</sup>	0,003	SM 3111 b	16/06/2010
Condutividade Elétrica	1360	µS cm <sup>-1</sup>	1	SM-2510 – B	11/06/2010
Cor Aparente	1590	u H	1	SM 2120 C	11/06/2010
Cromo Hexavalente	< LD	mg L <sup>-1</sup>	0,01	SM 3500-Cr B	16/06/2010
Cromo Total	0,153	mg L <sup>-1</sup>	0,005	SM 3111 B	16/06/2010
DBO	352	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 5210 B	16/06/2010
DQO	1428	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 5220 D	11/06/2010
Estanho	0,03	mg L <sup>-1</sup>	0,001	SM 3111 D	16/06/2010
Estrôncio	0,585	mg L <sup>-1</sup>	0,05	SM 3111 D	16/06/2010
Ferro	2,010	mg L <sup>-1</sup>	0,005	SM 3111 B	16/06/2010
Fenóis	0,091	mg L <sup>-1</sup>	0,001	SM 5530 D	14/06/2010
Fluoreto	2,65	mg L <sup>-1</sup>	0,01	SM 4500-F <sup>-</sup> D	14/06/2010
Fosfato Total	69	mg L <sup>-1</sup>	0,1	SM 4500-P E	11/06/2010
Magnésio	2,90	mg L <sup>-1</sup>	0,001	SM 3111 B	16/06/2010
Manganês	4,37	mg L <sup>-1</sup>	0,003	SM 3111 B	16/06/2010
Merúrio	< LD	mg L <sup>-1</sup>	0,0001	SM 3112 B	16/06/2010
Níquel	0,304	mg L <sup>-1</sup>	0,008	SM 3111 B	11/06/2010
Nitrato (como N)	4,18	mg L <sup>-1</sup>	0,01	SM 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> B	11/06/2010
Nitrito (como N)	0,001	mg L <sup>-1</sup>	0,001	SM 4500-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> B	11/06/2010
Nitrogênio Amoniacal	12	mg L <sup>-1</sup>	0,01	SM 4500-NH <sub>3</sub> D	11/06/2010
Nitrogênio Total	79	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 4500-N B	11/06/2010
Óleos e Graxas	92	mg L <sup>-1</sup>	2	SM 5520 D	14/06/2010
pH	3,27	N.A.	0 a 14	SM 4500-H <sup>+</sup> B	11/06/2010
Potássio	23,0	mg L <sup>-1</sup>	0,1	SM 3500-K B	16/06/2010
Prata	0,012	mg L <sup>-1</sup>	0,001	SM 3111 B	16/06/2010
Selênio	< LD	mg L <sup>-1</sup>	0,001	SM 3114 B	16/06/2010
Sílica	100,5	mg L <sup>-1</sup>	0,1	SM 3114-B	11/06/2010
Sódio	202,0	mg L <sup>-1</sup>	0,1	SM 3500-Na-B	14/06/2010
Sulfato	4	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E	11/06/2010
Sulfeto	< LD	mg L <sup>-1</sup>	0,001	SM 4500-S <sup>2-</sup> D	11/06/2010
Surfactantes	0,25	mg L <sup>-1</sup>	0,1	SM 5540 C	14/06/2010
Turbidez	335	NTU	0,1	SM 2130 B	11/06/2010
Zinco	0,631	mg L <sup>-1</sup>	0,002	SM 3111 B	16/06/2010
Sólidos Sedimentáveis	0,2	mg L <sup>-1</sup>	0,1	SM 2540 F	11/06/2010
Sólidos Totais	1460	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 2540 B	11/06/2010
Sólidos Totais Fixos	551	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 2540 E	11/06/2010
Sólidos Totais Voláteis	909	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 2540 E	11/06/2010
Sólidos Suspensos Totais	182	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 2540 D	11/06/2010
Sólidos Suspensos Fixos	60	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 2540 E	11/06/2010
Sólidos Suspensos Voláteis	122	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 2540 E	11/06/2010
Sólidos Dissolvidos Totais	1278	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 2540 C	11/06/2010
Sólidos Dissolvidos Fixos	491	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 2540 C	11/06/2010
Sólidos Dissolvidos Voláteis	787	mg L <sup>-1</sup>	1	SM 2540 C	11/06/2010

Legenda: SM-Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21 edição, 2005.

LD- Limite de Detecção

N.A.- Não se aplica

Observa-se na Tabela 5.1 que a relação DQO/DBO próxima a 4,0 foi elevada e o valor encontrado para Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (1278mg/l) foi bem maior que o valor encontrado para Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) (122mg/l) indicando que a fração inerte (não biodegradável) era elevada indicando que o tratamento físico-químico seria um dos mais indicados para esse tipo de efluente.

Podemos verificar também na Tabela 5.1 a alta quantidade de óleos e graxas (92mg/l), sílica (100,5mg/l), ferro (2,010mg/l), manganês (4,37mg/l) e boro (10,4mg/l), componentes característicos de efluentes industriais de empresas metal-mecânicas que possuem vários tipos de tratamento de superfície. O efluente contendo boro, presente em fluxos de solda e em determinados óleos refrigerantes sintéticos utilizados na usinagem de peças, devido ao seu tamanho, é de difícil tratamento e mesmo o sistema de osmose reversa possui baixa eficiência no seu tratamento, por isso esse contaminante é monitorado constantemente para que não ultrapasse o limite máximo permitido para lançamento (5mg/l).

## **5.2 Ensaio de coagulação-floculação-sedimentação**

Os dados resultantes dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação estão nos Apêndices B a D, como segue:

- Apêndice B - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante aluminato de sódio
- Apêndice C - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante cloreto férrico
- Apêndice D - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300

## **5.2.1 Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante aluminato de sódio**

### **5.2.1.1 Ensaio preliminares**

Na primeira etapa dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação utilizando-se como coagulante o aluminato de sódio foi escolhido o melhor par pH-DC (dosagem de coagulante) para utilização nos ensaios posteriores. Foram realizados 3 ensaios, onde foram mantidos constantes os parâmetros de mistura rápida e floculação ( $G_m$ ,  $T_m$ ,  $G_f$ ,  $T_f$ ) e houve variação dos valores de pH, DC e  $V_s$ .

Foram considerados nesses ensaios duas velocidades de sedimentação ( $V_s$ ), 2cm/min e 1 cm/min, mas como os resultados de turbidez e condutividade remanescente para  $V_s$  igual a 2cm/min foram elevados, foram analisados nessa etapa somente os dados obtidos para  $V_s$  igual a 1cm/min. Esse fato se repetiu também nos outros ensaios de coagulação-floculação-sedimentação com outros coagulantes, por isso consideraremos nesse trabalho, para os ensaios de coagulação-floculação-sedimentação, somente os valores obtidos para  $V_s$  igual a 1cm/min, embora os dados referentes a ensaios com  $V_s$  igual a 2cm/min podem ser vistos nos Apêndices desse trabalho.

Na Tabela 5.2 observa-se que os valores de condutividade remanescente foram elevados em função das próprias características do tratamento físico-químico que utiliza coagulantes que contêm sais metálicos e acabam aumentando a quantidade de íons em solução e conseqüentemente a condutividade. Esse fato se repetirá em outros ensaios, por isso priorizaremos nesse trabalho os resultados da turbidez remanescente na escolha dos melhores pares pH-DC. O melhor resultado de turbidez remanescente (2,6%) foi encontrado para DC igual a 200mg/l e pH igual a 7,2, mas como há a necessidade de aumentar-se o pH em torno de 8,5 em função de sua queda nas etapas posteriores ao tratamento na E.T.E., optou-se pela dosagem de aluminato de sódio de 200mg/l e pH em torno de 8,5 onde o valor de turbidez remanescente ficou em 6,2%.

Tabela 5.2 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante aluminato de sódio

Dosagem de Aluminato de sódio (mg/l)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
80	5,0	88,0	93
80	7,2	4,0	98
80	8,6	7,6	96
140	4,7	93,2	91
140	7,0	4,0	100
140	8,5	7,6	95
200	4,8	43,5	91
200	7,2	2,6	100
<b>200</b>	<b>8,5</b>	<b>6,2</b>	<b>97</b>
260	5,5	7,2	91
260	6,8	4,1	99
260	8,5	4,1	97
320	5,7	4,8	91
320	6,4	4,2	98
320	8,5	4,1	97
380	6,1	3,9	91
380	6,4	4,3	99
380	8,5	3,9	97

Na segunda etapa foram realizados 3 ensaios, nos quais foram investigados os parâmetros de mistura rápida ( $G_m$  e  $T_m$ ) mais adequados, enquanto os demais parâmetros ( $G_f$ ,  $T_f$ , pH, DC) foram mantidos fixos. Como na etapa anterior, foram estudadas também duas velocidades de sedimentação ( $V_s$ ), porém foram considerados apenas os valores para  $V_s$  igual a 1cm/min enquanto os outros resultados para  $V_s$  igual a 2cm/min estão descritos no Apêndice B. Foram testados os seguintes valores de gradiente de mistura rápida ( $G_m$ ):  $500s^{-1}$ ,  $800s^{-1}$  e  $1000s^{-1}$ . Para cada valor de  $G_m$  foram testados os seguintes valores de  $T_m$ : 5s, 10s, 15s, 30s, 60s e 90s. Foram considerados mais adequados, os parâmetros de mistura rápida que forneceram as melhores médias dos resultados de turbidez remanescente.

Na Tabela 5.3, observa-se que os valores escolhidos para  $G_m$  e  $T_m$  foram  $800s^{-1}$  e 5s respectivamente.

Tabela 5.3 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante aluminato de sódio

Gm (s <sup>-1</sup> )	Tm (s)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
500	5	8,6	5,7	99
500	10	8,6	5,8	99
500	15	8,5	6,3	99
500	30	8,6	6,4	99
500	60	8,6	7,0	98
500	90	8,6	7,3	99
<b>800</b>	<b>5</b>	<b>8,6</b>	<b>6,0</b>	<b>101</b>
800	10	8,6	6,1	101
800	15	8,6	6,0	101
800	30	8,6	7,3	101
800	60	8,6	6,3	101
800	90	8,6	8,1	101
1000	5	8,6	5,4	102
1000	10	8,7	7,0	102
1000	15	8,6	7,8	102
1000	30	8,6	7,4	102
1000	60	8,6	10,4	102
1000	90	8,6	8,5	102

Na terceira etapa foram realizados 3 ensaios, nos quais foram investigados os parâmetros de floculação (Gf e Tf) mais adequados, enquanto os demais parâmetros (Gm, Tm, pH, DC) foram mantidos fixos. Como na etapa anterior, foram estudadas também duas velocidades de sedimentação (Vs), porém foram considerados apenas os valores para Vs igual a 1cm/min enquanto os outros resultados para Vs igual a 2cm/min estão descritos no Apêndice B. Foram testados os seguintes valores de gradiente de floculação (Gf): 25s<sup>-1</sup>, 50s<sup>-1</sup> e 75s<sup>-1</sup>. Para cada valor de Gf foram testados os seguintes valores de Tm: 5min, 10min, 20min, 30min, 40min e 60min. Foram considerados mais adequados, os parâmetros de floculação que forneceram as melhores médias dos resultados de turbidez remanescente.

Na Tabela 5.4, observa-se que os valores escolhidos para Gf e Tf foram 50s<sup>-1</sup> e 10min respectivamente.

Tabela 5.4 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante aluminato de sódio

Gf (s <sup>-1</sup> )	Tf (min)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
25	5	8,23	3,7	102
25	10	8,29	2,3	102
25	20	8,32	2,5	102
25	30	8,31	3,5	101
25	40	8,31	3,6	101
25	60	8,28	4,3	102
50	5	8,25	1,9	99
<b>50</b>	<b>10</b>	<b>8,25</b>	<b>2,7</b>	<b>100</b>
50	20	8,26	3,3	100
50	30	8,25	3,5	100
50	40	8,28	4,5	100
50	60	8,29	5,1	100
75	5	8,24	2,3	101
75	10	8,27	2,3	101
75	20	8,29	4,0	100
75	30	8,28	4,1	100
75	40	8,27	4,7	101
75	60	8,25	6,1	101

### 5.2.1.2 Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante aluminato de sódio

Na quarta etapa, para a construção do diagrama de coagulação, foram realizados 7 ensaios onde foram utilizados os valores dos parâmetros de mistura rápida e floculação (Gm, Tm, Gf, Tf) obtidos na segunda e terceira etapa e foram variados o pH (com a dosagem de hidróxido de cálcio) e a dosagem do coagulante (DC), nesse caso, aluminato de sódio.

Foram considerados também nesses ensaios duas velocidades de sedimentação (Vs), 2cm/min e 1 cm/min, mas como os resultados de turbidez e condutividade remanescente para Vs igual a 2cm/min foram elevados, foram analisados nessa etapa somente os dados obtidos para Vs igual a 1cm/min enquanto que os dados relativos a Vs igual a 2cm/min podem ser observados no Apêndice B.

Na Figura 5.6 é apresentado o diagrama de coagulação do efluente relativo a análise de turbidez para o coagulante aluminato de sódio. Os números inscritos sobre os pontos obtidos (marcados no diagrama em forma de “•”) indicam os percentuais de turbidez

remanescente, para os respectivos valores de pH e dosagem de coagulante. Por exemplo, no diagrama da Figura 5.6, relativo a turbidez, para a dosagem de 260mg/l de aluminato de sódio e pH de 7,36, o efluente obtido após o ensaio de coagulação-floculação-sedimentação apresentou turbidez remanescente igual a 1,3% da turbidez da amostra bruta (solução do tanque de homogeneização da E.T.E.), ou seja, nesse ensaio, a eficiência de remoção de turbidez foi de 98,7%.

A partir dos valores de percentuais remanescentes, foram interpoladas as linhas contínuas que aparecem nos diagramas, semelhantes a “curvas de nível”, delimitadoras das regiões de “mesma” eficiência de remoção do parâmetro estudado. Essas linhas foram traçadas utilizando-se o programa computacional Surfer<sup>®</sup>. Contudo, em virtude dos erros inerentes aos ensaios e as análises laboratoriais, essas curvas devem ser interpretadas como aproximações, desenhadas apenas para facilitar a visualização das regiões dos diagramas, e que, portanto, não demarcam precisamente as fronteiras dessas regiões.

Além das linhas interpoladas (contínuas), na Figura 5.6, observam-se linhas tracejadas nas quais são indicadas as dosagens (em mg/l) de  $\text{Ca(OH)}_2$ , utilizado para que o pH da amostra fosse variado.

As regiões hachuradas foram divididas em regiões retangulares para melhor visualização das faixas de pH e dosagem de coagulante que forneceram eficiências de remoção de turbidez maiores que 98% (sedimentação) .

Os diagramas de coagulação-floculação para o parâmetro condutividade não foram construídos nesse trabalho, pois as eficiências de remoção dos íons e conseqüentemente, da condutividade, foram muito baixas para todos os coagulantes testados, chegando várias vezes a atingir valores de condutividade remanescente acima de 100%, ou seja, a condutividade da amostra tratada foi maior que a condutividade da amostra bruta. Esse fato já foi comentado anteriormente e pode ser explicado pela natureza do próprio tratamento que utiliza coagulantes e alcalinizante inorgânico, que podem aumentar a quantidade de íons em solução e conseqüentemente da condutividade.

A forma de apresentação dos diagramas de coagulação descrita nos últimos cinco parágrafos para a Figura 5.6 é também empregada em todos os demais diagramas apresentados no presente texto.

A Tabela 5.5 fornece os resultados das faixas otimizadas de pH e dosagens de coagulante. Observa-se na Tabela 5.5 que as maiores eficiências de remoção de turbidez, são obtidas na faixa de pH de 7,3 a 8,5, sendo que a maior eficiência de remoção (1,3%) foram atingidas nas regiões 1 e 3. Na região 1, temos uma dosagem menor de coagulante (260mg/l)



e conseqüentemente teremos um consumo menor de coagulante se comparada a região 3 cuja dosagem de coagulante é 320mg/l, porém na região 1 teremos que adicionar posteriormente no tratamento, mais hidróxido de cálcio para elevar o pH para o intervalo de 8,3 a 8,5 (pH desejado na saída do decantador) enquanto que na região 3 o pH (7,91) está mais próximo do desejado. A escolha da condição mais adequada, será feita mais adiante neste texto (item 5.5 - p.110).

Tabela 5.5 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-sedimentação com aluminato de sódio e valores percentuais de turbidez remanescente

Região	Faixas de pH-DC para turbidez remanescente < 2%		Melhores pontos dentro das faixas pH-DC			
	pH de coagulação	Dosagem de aluminato de sódio (mg/l)	pH de coagulação	Dosagem de aluminato de sódio (mg/l)	Dosagem de hidróxido de cálcio (mg/l)	Turbidez remanescente (%)
1	7,3 - 7,5	80 - 290	7,36	260	120	1,3
2	7,5 - 7,7	250 - 380	7,64	320	120	1,8
3	7,7 - 8,5	316 - 380	7,91	380	120	1,3

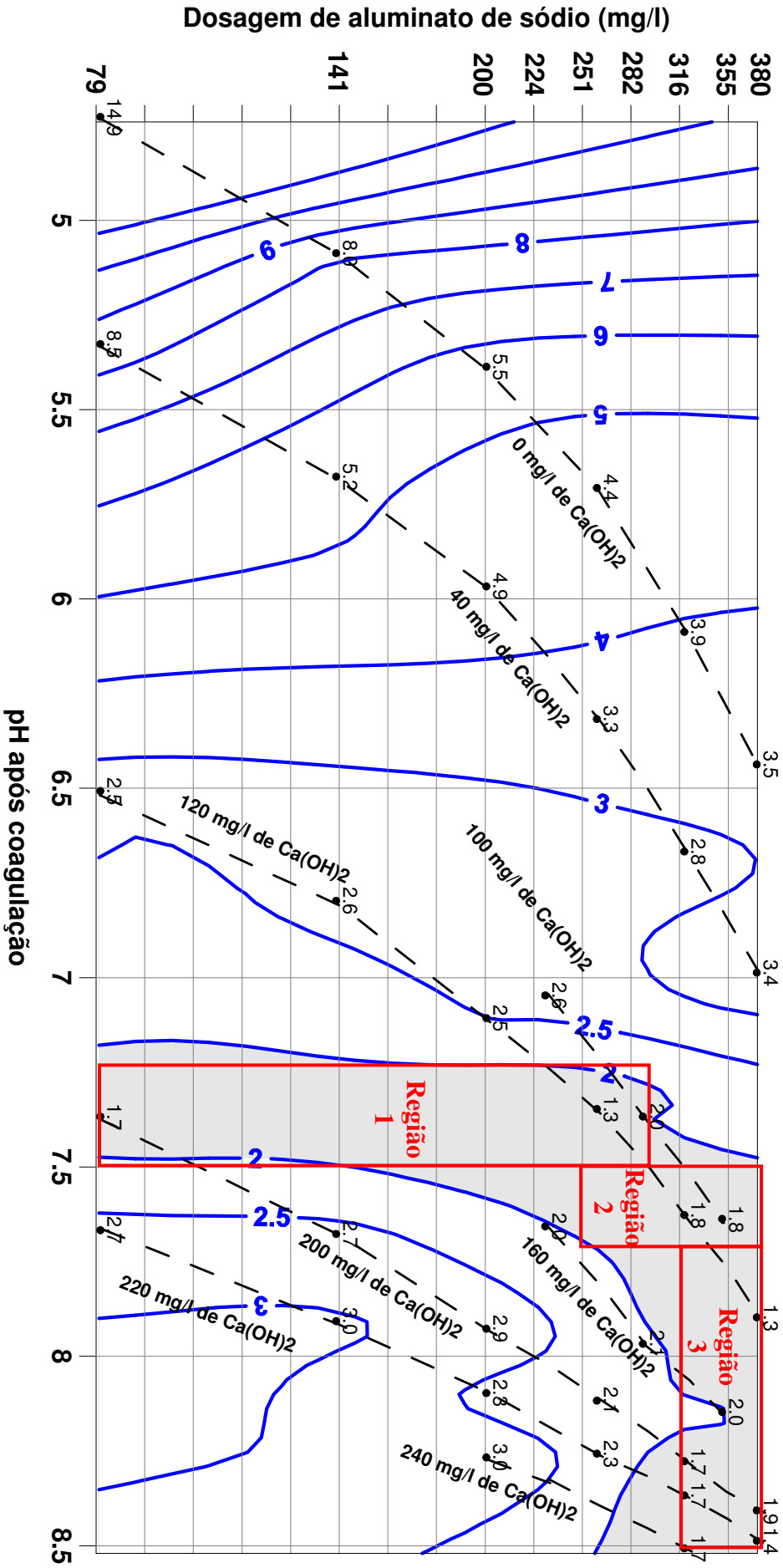


Figura 5.6 – Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação do efluente: percentuais de Turbidez remanescente para o coagulante aluminato de sódio.  
*Condições de ensaio:* Gm: 800s<sup>-1</sup>; Tm: 5s; Gf: 50s<sup>-1</sup>; Tf: 10min; Vs: 1cm/min.

## 5.2.2 Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante cloreto férrico

### 5.2.2.1 Ensaios preliminares

Na primeira etapa dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação utilizando-se como coagulante o cloreto férrico foi escolhido o melhor par pH-DC (dosagem de coagulante) para utilização nos ensaios posteriores. Foi realizado um ensaio, onde foram mantidos constantes os parâmetros de mistura rápida, floculação e sedimentação (Gm, Tm, Gf, Tf, Vs) e a dosagem de coagulante (DC) e houve variação apenas dos valores de pH. Conforme discutido no item 5.2.1.1, como os resultados de turbidez remanescente para a velocidade de sedimentação (Vs) para 2cm/min foram elevados, optou-se para os ensaios com o coagulante cloreto férrico utilizar somente a velocidade de 1cm/min.

Após análise dos resultados obtidos nos ensaios com o coagulante aluminato de sódio e a observação que os melhores resultados de eficiência de remoção de turbidez ocorreram com dosagens de coagulante acima de 200mg/l, optou-se nesse ensaio pela manutenção da dosagem do coagulante cloreto férrico constante e igual a 260mg/l.

Observa-se na Tabela 5.6 que todos os percentuais de turbidez remanescente ficaram abaixo de 2,0% e o melhor resultado (0,9%) foi encontrado para DC igual a 260mg/l e pH igual a 8,1, mas como há a necessidade de elevarmos o pH em torno de 8,5 em função de sua queda nas etapas posteriores ao tratamento físico-químico na E.T.E., optou-se para utilização nos ensaios das etapas 2 e 3 a dosagem de cloreto férrico de 200mg/l e pH em torno de 8,5.

Tabela 5.6 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante cloreto férrico

Dosagem de Cloreto férrico (mg/l)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
260	7,0	1,8	105
260	7,5	1,7	109
260	7,9	1,4	113
<b>260</b>	<b>8,1</b>	<b>0,9</b>	<b>117</b>
260	8,3	1,2	122
260	8,4	1,1	126

Na segunda etapa foram realizados 3 ensaios, nos quais foram investigados os parâmetros de mistura rápida (Gm e Tm) mais adequados, enquanto os demais parâmetros (Gf, Tf, pH, Vs, DC) foram mantidos fixos. Foram testados os seguintes valores de gradiente de mistura rápida (Gm):  $500s^{-1}$ ,  $800s^{-1}$  e  $1000s^{-1}$ . Para cada valor de Gm foram testados os seguintes valores de Tm: 5s, 10s, 15s, 30s, 60s e 90s. Foram considerados mais adequados, os parâmetros de mistura rápida que forneceram as melhores médias dos resultados de turbidez remanescente.

Na Tabela 5.7, observa-se que os valores escolhidos para Gm e Tm foram  $800s^{-1}$  e 5s respectivamente.

Tabela 5.7 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante cloreto férrico

Gm ( $s^{-1}$ )	Tm (s)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente ( $\mu S/cm^2$ )
500	5	8,4	1,4	118
500	10	8,4	1,7	119
500	15	8,4	2,1	119
500	30	8,4	2,9	120
500	60	8,4	2,8	119
500	90	8,4	2,3	120
<b>800</b>	<b>5</b>	<b>8,6</b>	<b>1,4</b>	<b>115</b>
800	10	8,6	1,7	116
800	15	8,6	2,1	116
800	30	8,6	2,3	116
800	60	8,6	2,5	116
800	90	8,6	2,5	116
1000	5	8,5	1,6	114
1000	10	8,5	2,0	115
1000	15	8,5	2,8	115
1000	30	8,5	2,5	115
1000	60	8,5	2,7	115
1000	90	8,6	2,8	116

Na terceira etapa foram realizados 3 ensaios, nos quais foram investigados os parâmetros de floculação (Gf e Tf) mais adequados, enquanto os demais parâmetros (Gm, Tm, pH, Vs e DC) foram mantidos fixos. Foram testados os seguintes valores de gradiente de floculação (Gf):  $25s^{-1}$ ,  $50s^{-1}$  e  $75s^{-1}$ . Para cada valor de Gf foram testados os seguintes valores de Tf: 5min, 10min, 20min, 30min, 40min e 60min. Foram considerados mais adequados, os parâmetros de floculação, que forneceram as melhores médias dos resultados de turbidez remanescente.

Na Tabela 5.8, observa-se que os valores escolhidos para Gf e Tf foram  $25s^{-1}$  e 5min respectivamente.

Tabela 5.8 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante cloreto férrico

Gf ( $s^{-1}$ )	Tf (min)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
<b>25</b>	<b>5</b>	<b>8,56</b>	<b>0,5</b>	<b>121</b>
25	10	8,58	0,7	121
25	20	8,61	1,0	121
25	30	8,56	0,9	121
25	40	8,67	1,5	120
25	60	8,48	2,0	122
50	5	8,58	0,7	119
50	10	8,58	0,8	120
50	20	8,57	1,3	120
50	30	8,67	1,2	120
50	40	8,64	1,5	120
50	60	8,62	1,7	121
75	5	8,23	1,6	120
75	10	8,24	1,4	121
75	20	8,22	2,0	121
75	30	8,20	2,0	120
75	40	8,20	2,4	121
75	60	8,20	3,0	120

### 5.2.2.2 Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante cloreto férrico

Na quarta etapa, para a construção do diagrama de coagulação, foram realizados 9 ensaios onde foram utilizados os valores dos parâmetros de mistura rápida e floculação (Gm, Tm, Gf, Tf) obtidos na segunda e terceira etapa e foram variados o pH (com a dosagem de hidróxido de cálcio) e a dosagem do coagulante (DC), nesse caso, cloreto férrico.

Assim como nos ensaios anteriores, a velocidade de sedimentação (Vs) foi mantida constante e igual a 1cm/min.

Na Figura 5.7 é apresentado o diagrama de coagulação do efluente relativo a análise de turbidez para o coagulante cloreto férrico.

A Tabela 5.9 fornece os resultados das faixas otimizadas de pH e dosagens de coagulante. Observa-se na Tabela 5.9 que as faixas de pH e concentração de coagulante das maiores eficiências de remoção de turbidez são mais amplas se comparadas as faixas com o coagulante aluminato de sódio. As maiores eficiências de remoção estão na faixa de pH de 7,0 a 9,0, sendo que as maiores eficiências de remoção (0,5%) foram atingidas nas regiões 1 e 2 para as dosagens de coagulante de 320 e 380mg/l respectivamente.

Na região 2, temos um ponto com uma eficiência de remoção um pouco menor (0,6%), porém nesse ponto utilizou-se uma dosagem menor de coagulante (200mg/l) e o pH já está próximo do desejado (8,5) conseqüentemente teremos um consumo menor de coagulante se comparada aos outros pontos. A escolha da condição mais adequada, será feita mais adiante neste texto (item 5.5 - p.110).

Tabela 5.9 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-sedimentação com cloreto férrico e valores percentuais de turbidez remanescente

Região	Faixas de pH-DC para turbidez remanescente < 2%		Melhores pontos dentro das regiões			
	pH de coagulação	Dosagem de cloreto férrico (mg/l)	pH de coagulação	Dosagem de cloreto férrico (mg/l)	Dosagem de hidróxido de cálcio (mg/l)	Turbidez remanescente (%)
1	6,7 - 7,5	140 - 380	7,5	380	360	0,5
2	7,5 - 8,5	40 - 380	7,8	320	360	0,5
			8,3	200	360	0,6

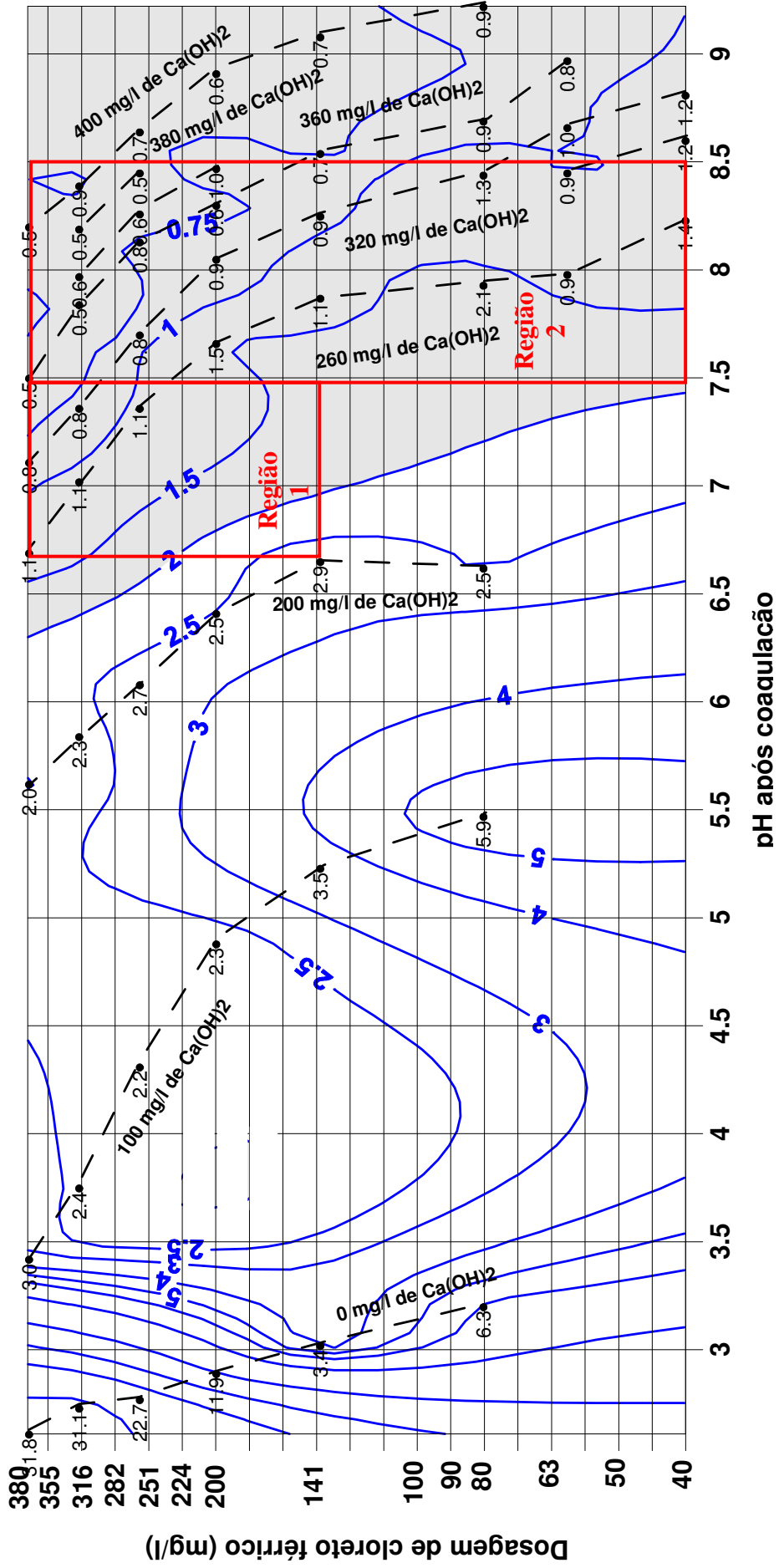


Figura 5.7 – Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação do efluente: percentuais de Turbidez remanescente para o coagulante cloreto férrico

Condições de ensaio: Gm:  $800\text{s}^{-1}$ ; Tm: 5s; Gf:  $25\text{s}^{-1}$ ; Tf: 5min; Vs: 1 cm/min.

### **5.2.3 Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300**

#### **5.2.3.1 Ensaio preliminares**

Na primeira etapa dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação utilizando-se como coagulante a mistura dos produtos Procytrat 100A e Procytrat 300, foi escolhido o melhor par pH-DC (dosagem de coagulante) para utilização nos ensaios posteriores. Foi realizado um ensaio, onde foram mantidos constantes os parâmetros de mistura rápida, floculação e sedimentação ( $G_m$ ,  $T_m$ ,  $G_f$ ,  $T_f$ ,  $V_s$ ) e houve variação dos valores de pH e na dosagem de coagulante (DC). Foram estudadas também duas situações para a mistura dos coagulantes. Na situação 1 a mistura foi de 50%-Procytrat 100A e 50%-Procytrat 300 e na situação 2 a mistura foi de 70%-Procytrat 100A e 30%-Procytrat 300.

Conforme discutido no item 5.2.1.1, como os resultados de turbidez remanescente para a velocidade de sedimentação ( $V_s$ ) para 2cm/min foram elevados, optou-se para os ensaios com o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300 utilizar somente a velocidade de 1cm/min.

Observa-se na Tabela 5.10 que os resultados de turbidez remanescente foram muito próximos, mas os melhores resultados foram encontrados para a situação 2 (mistura de 70%-Procytrat 100A + 30%- Procytrat 300) e DC igual a 300mg/l sendo que o par escolhido foi para DC igual a 300mg/l e pH igual a 8,2 que resultou em uma turbidez remanescente de 1,4%.



Tabela 5.10 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300.

Dosagem de Procytrat 100A + Procytrat 300	Situação	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
100	1	7,4	2,2	99
100	1	8,0	2,5	96
100	1	8,7	1,1	95
100	2	7,4	3,4	98
100	2	8,1	1,3	96
100	2	8,6	2,3	96
200	1	7,3	1,4	101
200	1	7,7	1,8	99
200	1	8,5	1,6	99
200	2	7,4	1,9	103
200	2	7,8	2,1	100
200	2	8,4	2,1	98
300	1	7,4	1,4	102
300	1	7,9	1,5	101
300	1	8,4	1,4	101
300	2	7,3	1,3	103
300	2	7,8	1,7	102
<b>300</b>	<b>2</b>	<b>8,2</b>	<b>1,4</b>	<b>103</b>

Na segunda etapa foram realizados 3 ensaios, nos quais foram investigados os parâmetros de mistura rápida (Gm e Tm) mais adequados, enquanto os demais parâmetros (Gf, Tf, pH, Vs, DC) foram mantidos fixos. Foram testados os seguintes valores de gradiente de mistura rápida (Gm):  $500s^{-1}$ ,  $800s^{-1}$  e  $1000s^{-1}$ . Para cada valor de Gm foram testados os seguintes valores de Tm: 5s, 10s, 15s, 30s, 60s e 90s. Foram considerados mais adequados, os parâmetros de mistura rápida que forneceram as melhores médias dos resultados de turbidez remanescente.

Na Tabela 5.11, observa-se que os valores escolhidos para Gm e Tm foram  $800s^{-1}$  e 5s respectivamente.

Tabela 5.11 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300

<b>Gm (s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Tm (s)</b>	<b>pH</b>	<b>Turbidez remanescente (%)</b>	<b>Condutividade remanescente (%)</b>
500	5	8,08	1,4	97
500	10	8,15	1,3	98
500	15	8,08	1,4	98
500	30	8,15	1,6	98
500	60	8,07	1,9	98
500	90	8,14	2,7	98
<b>800</b>	<b>5</b>	<b>8,09</b>	<b>1,4</b>	<b>97</b>
800	10	8,16	1,3	98
800	15	8,11	1,1	97
800	30	8,15	1,5	97
800	60	8,14	1,7	97
800	90	8,13	2,3	98
1000	5	8,15	1,1	97
1000	10	8,23	1,2	97
1000	15	8,22	1,4	98
1000	30	8,32	1,6	97
1000	60	8,17	2,0	98
1000	90	8,33	2,1	98

Na terceira etapa foram realizados 3 ensaios, nos quais foram investigados os parâmetros de floculação (Gf e Tf) mais adequados, enquanto os demais parâmetros (Gm, Tm, pH, Vs e DC) foram mantidos fixos. Foram testados os seguintes valores de gradiente de floculação (Gf): 25s<sup>-1</sup>, 50s<sup>-1</sup> e 75s<sup>-1</sup>. Para cada valor de Gf foram testados os seguintes valores de Tf: 5min, 10min, 20min, 30min, 40min e 60min. Foram considerados mais adequados, os parâmetros de floculação que forneceram as melhores médias dos resultados de turbidez remanescente.

Na Tabela 5.12, observa-se que os valores escolhidos para Gf e Tf foram 25s<sup>-1</sup> e 5min respectivamente.

Tabela 5.12 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300.

Gf (s <sup>-1</sup> )	Tf (min)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
<b>25</b>	<b>5</b>	<b>8,04</b>	<b>0,8</b>	<b>98,3</b>
25	10	8,16	0,8	98,3
25	20	8,09	1,2	98,1
25	30	8,13	1,7	98,4
25	40	8,11	1,9	98,6
25	60	--	2,2	--
50	5	8,08	0,6	97,0
50	10	8,06	1,2	97,5
50	20	8,04	1,6	96,7
50	30	8,08	1,1	97,3
50	40	8,05	2,5	96,9
50	60	8,12	2,9	97,5
75	5	8,09	0,8	96,5
75	10	8,18	1,5	96,2
75	20	8,21	1,6	96,3
75	30	8,21	1,8	95,6
75	40	8,22	2,7	96,1
75	60	8,24	2,9	96,0

### 5.2.3.2 Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300

Na quarta etapa, para a construção do diagrama de coagulação, foram realizados 8 ensaios onde foram utilizados os valores dos parâmetros de mistura rápida e floculação (Gm, Tm, Gf, Tf) obtidos na segunda e terceira etapa e foram variados o pH (com a dosagem de hidróxido de cálcio) e a dosagem do coagulante (DC), nesse caso, Procytrat 100A (70%) + Procytrat 300 (30%).

Assim como nos ensaios anteriores, a velocidade de sedimentação (Vs) foi mantida constante e igual a 1cm/min.

Na Figura 5.8 é apresentado o diagrama de coagulação do efluente relativo a análise de turbidez para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300.

A Tabela 5.13 fornece os resultados das faixas otimizadas de pH e dosagens de coagulante. Observa-se na Tabela 5.13 que as faixas de pH e concentração de coagulante das

maiores eficiências de remoção de turbidez são mais amplas se comparadas as faixas com o coagulante aluminato de sódio. As maiores eficiências de remoção estão na faixa de pH de 6,5 a 9,0, sendo que a maior eficiência de remoção (0,5%) foi atingida na região 1 para a dosagem de coagulante de 320mg/l respectivamente.

Na região acima do pH 8,5 a turbidez remanescente atingiu valores abaixo de 0,5%, porém como o pH está acima do desejado para o tratamento posterior, seria necessário reduzirmos o pH através da adição de ácido, o que aumentaria o custo do tratamento além de aumentar ainda mais a condutividade, por isso esses valores não são considerados.

A escolha da condição mais adequada, será feita mais adiante neste texto (item 5.5 - p.110).

Tabela 5.13 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-sedimentação com o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300 e valores percentuais de turbidez remanescente

Região	Faixas de pH-DC para turbidez remanescente < 2%		Melhores pontos dentro das regiões			
	pH de coagulação	Dosagem de hidróxicloreto de alumínio* (mg/l)	pH de coagulação	Dosagem de hidróxicloreto de alumínio*	Dosagem de hidróxido de cálcio (mg/l)	Turbidez remanescente (%)
1	6,5 - 8,5	224 - 380	8,1	320	260	0,5
2	7,1 - 8,5	90 - 224	8,5	140	260	0,8
3	7,5 - 8,5	40 - 90	8,2	60	240	1

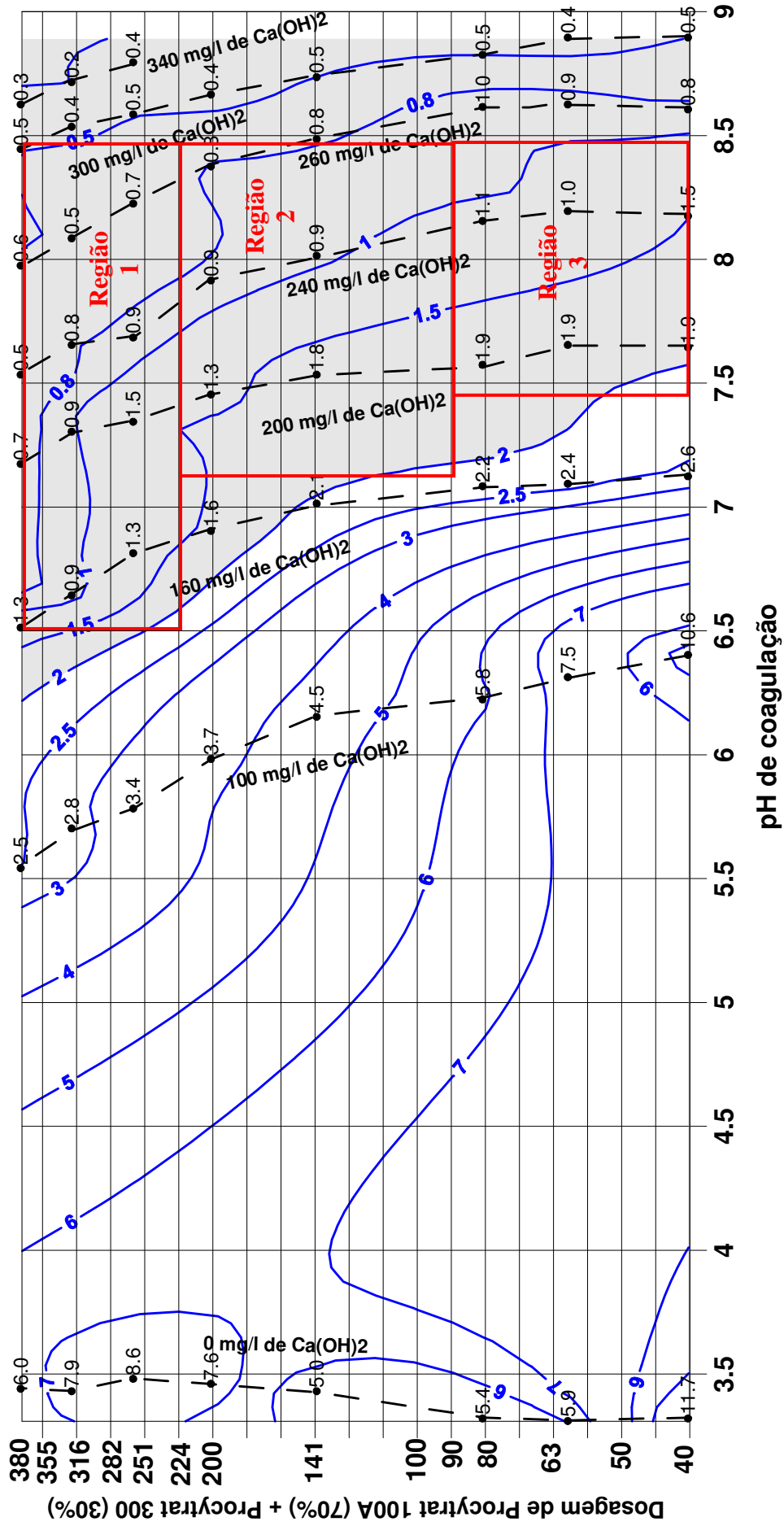


Figura 5.8 – Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação do efluente: percentuais de Turbidez remanescente para o coagulante

Procytrat 100A (70%) + Procytrat 300 (30%)

Condições de ensaio: Gm: 800s<sup>-1</sup>; Tm: 5s; Gf: 25s<sup>-1</sup>; Tf: 5min; Vs: 1cm/min.

### 5.3 Ensaio de coagulação-floculação-flotação

Os dados resultantes dos ensaios de coagulação-floculação-flotação estão nos Apêndices E a G, como segue:

Apêndice E - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante aluminato de sódio

Apêndice F - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante cloreto férrico

Apêndice G - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300

#### 5.3.1 Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante aluminato de sódio

##### 5.3.1.1 Ensaio preliminares

Na primeira etapa dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação utilizando-se como coagulante o aluminato de sódio, foi escolhido o melhor par pH-DC (dosagem de coagulante) para utilização nos ensaios posteriores. Foram realizados 16 ensaios, onde foram mantidos constantes os parâmetros de mistura rápida, floculação e flotação ( $G_m$ ,  $T_m$ ,  $G_f$ ,  $T_f$ ,  $R$ ,  $Psat$  e  $Tsat$ ) e houve variação na dosagem de coagulante (DC) e nos valores de pH e velocidade de flotação ( $V_f$ ), mas assim como já foi discutido no item 5.2.1.1 para os ensaios de sedimentação, os resultados de turbidez remanescente para a velocidade de flotação ( $V_f$ ) para 10cm/min foram elevados e diante desse motivo optou-se por exibir nesse texto, somente os ensaios onde foram utilizados a velocidade de flotação de 5cm/min. Os dados referentes a velocidade de flotação de 10cm/min podem ser observados no Apêndice E.

Conforme pode ser observado na Tabela 5.14, foi escolhido para os ensaios posteriores com o aluminato de sódio a dosagem de coagulante de 20mg/l e pH igual a 5,5 (40 mg/l de  $Ca(OH)_2$ ) que gerou um percentual de turbidez remanescente de 14%.

Em virtude da etapa de mistura rápida ser realizada em reator separado (*jar test*), os valores dos parâmetros de mistura rápida ( $G_m$  e  $T_m$ ) não foram investigados, porém foram adotados os valores que forneceram bons resultados nos ensaios de sedimentação para o

aluminato de sódio (item 5.2.1.1) . Foram utilizados os seguintes valores:  $G_m$ :  $800s^{-1}$  e  $T_m$ : 5s.

Tabela 5.14 -: Valores de turbidez e condutividade remanescente para etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante aluminato de sódio

Dosagem de Aluminato de Sódio (mg/l)	pH	Turbidez remanescente (%)
0	3,5	53
0	5,1	62
0	6,6	26
0	8,2	34
20	3,9	52
20	5,0	14
<b>20</b>	<b>5,5</b>	<b>14</b>
20	6,8	20
20	9,5	23
40	5,7	17
60	4,8	15
60	5,9	32
60	7,0	41
60	8,5	19
60	9,6	42
80	5,1	15
100	5,2	14
100	5,7	23
100	6,2	20
100	7,3	43
100	8,7	22
100	9,7	24
200	6,0	45
200	6,9	64
200	8,1	34
200	8,9	108
300	6,8	24
300	7,6	58
300	8,9	42
300	9,1	60

Na segunda etapa foram realizados 12 ensaios, nos quais foram investigados os parâmetros de floculação ( $G_f$  e  $T_f$ ) mais adequados, enquanto os demais parâmetros ( $G_m$ ,  $T_m$ , pH, R,  $P_{sat}$ ,  $T_{sat}$  e DC) foram mantidos fixos. Assim como nos ensaios anteriores, variou-se a velocidade de flotação ( $V_f$ ), mas a velocidade escolhida em função dos resultados foi 5cm/min.

A dosagem de aluminato de sódio aplicada nesses ensaios foi de 20mg/l e a dosagem de hidróxido de cálcio foi de 40mg/l.

Foram testados os seguintes valores de gradiente de floculação (Gf): 40s<sup>-1</sup>, 60s<sup>-1</sup>, 80s<sup>-1</sup>, 100s<sup>-1</sup>. Para cada valor de Gf foram testados os seguintes valores de Tf: 5min, 10min, 15min, 20min e 30min. Foram considerados mais adequados, os parâmetros de floculação que forneceram as melhores médias dos resultados de turbidez remanescente.

Na Tabela 5.15, observa-se que os valores escolhidos para Gf e Tf foram 60s<sup>-1</sup> e 10min respectivamente.

Tabela 5.15 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante aluminato de sódio

Gf (s <sup>-1</sup> )	Tf (min)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (µS/cm <sup>2</sup> )
40	5	5,6	15,1	116
40	10	5,6	14,0	116
40	15	5,6	14,4	115
40	20	5,6	16,9	114
40	30	5,6	14,2	116
60	5	5,6	13,6	115
60	10	5,6	13,0	115
60	15	5,6	14,3	117
60	20	5,6	13,8	115
60	30	5,6	14,8	116
80	5	5,6	18,5	111
80	10	5,6	14,9	117
80	15	5,7	13,5	118
80	20	5,6	14,9	119
80	30	5,6	14,1	115
100	5	5,6	16,3	117
100	10	5,6	15,0	115
100	15	5,6	12,8	115
100	20	5,6	11,7	114
100	30	5,6	14,0	118

Na terceira etapa foram realizados 3 ensaios, nos quais foi investigada a taxa de recirculação (R) mais adequada, enquanto os demais parâmetros (Gm, Tm, Gf, Tf, Psat, Tsat, pH e DC) foram mantidos fixos. Foi considerada mais adequada, a taxa de recirculação (R) que forneceu o melhor resultado de turbidez remanescente.

Na Tabela 5.16, observa-se que o valor escolhido para a taxa de recirculação (R) foi de 50%.



Tabela 5.16 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante aluminato de sódio.

R (%)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
20	5,2	17,5	93
30	5,2	12,0	99
40	5,2	13,6	104
<b>50</b>	<b>5,2</b>	<b>12,4</b>	<b>109</b>
70	5,2	17,5	134

### 5.3.1.2 Diagrama de coagulação-floculação-flotação para o coagulante aluminato de sódio

Na quarta etapa, para a construção do diagrama de coagulação, foram realizados 28 ensaios onde foram utilizados os valores dos parâmetros de mistura rápida, floculação e taxa de recirculação (Gm, Tm, Gf, Tf, R) obtidos na segunda e terceira etapa e foram variados o pH (com a dosagem de hidróxido de cálcio) e a dosagem do coagulante (DC), nesse caso, aluminato de sódio. A pressão e tempo de saturação (Psat e Tsat) foram mantidas iguais a 500kPa e 10min respectivamente.

Assim como nos ensaios anteriores, a velocidade de flotação (Vf) foi mantida constante e igual a 5cm/min.

Na Figura 5.9 é apresentado o diagrama de coagulação do efluente relativo a análise de turbidez para o coagulante aluminato de sódio.

A Tabela 5.17 fornece os resultados das faixas otimizadas de pH e dosagens de coagulante. Observa-se Tabela 5.17 que as faixas de pH e concentração de coagulante com maiores eficiências de remoção de turbidez são bem menores se comparadas as faixas dos ensaios de sedimentação. As maiores eficiências de remoção também estão em faixas bastante diferentes de pH, sendo que a maior eficiência de remoção (3,7%) foi atingida na região 2 para a dosagem de coagulante de 200mg/l.

Na região 1, temos um ponto com uma eficiência de remoção um pouco menor (4,8%), porém nesse ponto utilizou-se uma dosagem menor de coagulante (60mg/l) e não foi utilizado hidróxido de cálcio, conseqüentemente teremos um consumo menor de coagulante

se comparada ao outro ponto. A escolha da condição mais adequada, será feita mais adiante neste texto (item 5.5 - p.110).

Tabela 5.17 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-flotação com aluminato de sódio. e valores percentuais de turbidez remanescente

Região	Faixas de pH-DC para turbidez remanescente < 5%		Melhores pontos dentro das regiões			
	pH de coagulação	Dosagem de aluminato de sódio (mg/l)	pH de coagulação	Dosagem de aluminato de sódio (mg/l)	Dosagem de hidróxido de cálcio (mg/l)	Turbidez remanescente (%)
<b>1</b>	4,4 - 4,5	60 - 75	4,45	60	0	4,8
<b>2</b>	8,8 - 8,9	190 - 210	8,86	200	240	3,7

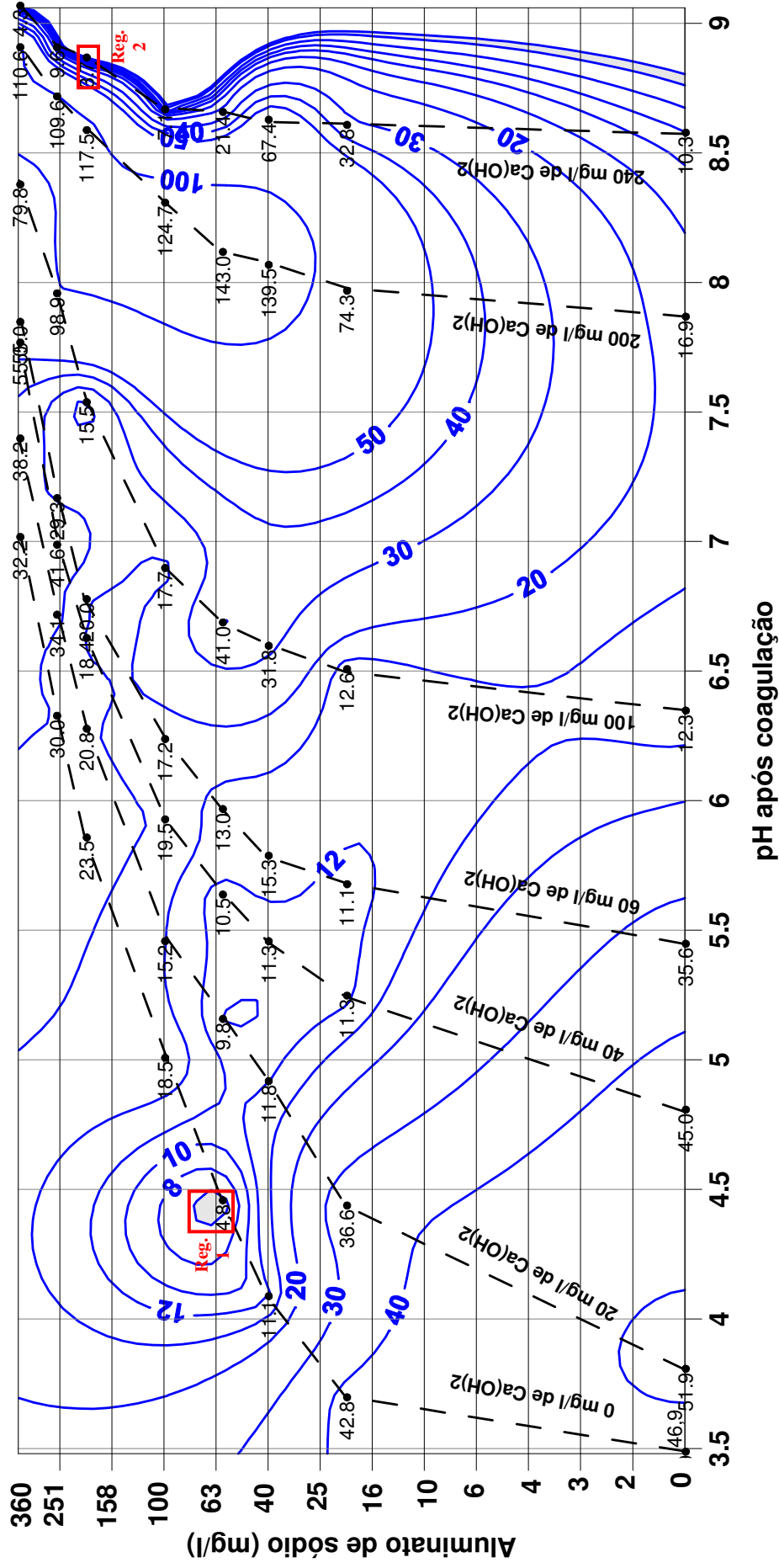


Figura 5.9 – Diagrama de coagulação-floculação-flotação do efluente: percentuais de **Turbidez** remanescente para o coagulante aluminato de sódio

Condições de ensaio: Gm:  $800\text{s}^{-1}$ ; Tm: 5s; Gf:  $60\text{s}^{-1}$ ; Tf: 10min; R: 50%; Reg. 1; Vf: 5cm/min.

### 5.3.2 Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante cloreto férrico

#### 5.3.2.1 Ensaio preliminares

Na primeira etapa dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação utilizando-se como coagulante o cloreto férrico, foi escolhido o melhor par pH-DC (dosagem de coagulante) para utilização nos ensaios posteriores. Foram realizados 12 ensaios, onde foram mantidos constantes os parâmetros de mistura rápida, floculação e flotação ( $G_m$ ,  $T_m$ ,  $G_f$ ,  $T_f$ ,  $R$ ,  $Psat$  e  $Tsat$ ) e houve variação na dosagem de coagulante (DC) e nos valores de pH e velocidade de flotação ( $V_f$ ), mas assim como já foi discutido no item 5.2.1.1 para os ensaios de sedimentação, os resultados de turbidez remanescente para a velocidade de flotação ( $V_f$ ) para 10cm/min foram elevados e diante desse motivo optou-se por exibir nesse texto somente os ensaios onde foram utilizados a velocidade de flotação de 5cm/min. Os dados referentes a velocidade de flotação de 10cm/min podem ser observados no Apêndice F.

Observa-se na Tabela 5.18 que nenhum resultado de percentual de turbidez remanescente ficou abaixo de 5% e que o melhor resultado (8%) foi encontrado para DC igual a 300mg/l e pH igual a 2,7, mas visando a economia de coagulante e hidróxido de cálcio, foi escolhido para os ensaios posteriores a dosagem de coagulante de 40mg/l e pH igual a 4,7 (40 mg/l de  $Ca(OH)_2$ ) que gerou um percentual de turbidez remanescente de 9%.

Em virtude da etapa de mistura rápida ser realizada em reator separado (*jar test*), os valores dos parâmetros de mistura rápida ( $G_m$  e  $T_m$ ) não foram investigados, porém foram adotados os valores que forneceram bons resultados nos ensaios de sedimentação para o cloreto férrico (item 5.2.2.1) . Foram utilizados os seguintes valores:  $G_m$ :  $800s^{-1}$  e  $T_m$ : 5s.

Tabela 5.18 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante cloreto férrico

Dosagem de Cloreto Férrico (mg/l)	pH	Turbidez remanescente (%)
0	3,7	23
0	5,0	14
0	6,1	38
20	3,5	17
20	4,9	9
20	5,3	11
20	6,0	41
40	3,4	12
<b>40</b>	<b>4,7</b>	<b>9</b>
40	5,2	9
40	5,8	37
100	3,1	53
100	4,1	47
100	5,5	28
200	2,9	69
200	3,3	87
200	5,0	92
300	2,7	8
300	3,0	17
300	4,1	81

Na segunda etapa foram realizados 15 ensaios, nos quais foram investigados os parâmetros de floculação ( $G_f$  e  $T_f$ ) mais adequados, enquanto os demais parâmetros ( $G_m$ ,  $T_m$ , pH, R,  $Psat$ ,  $Tsat$  e DC) foram mantidos fixos. Assim como nos ensaios anteriores, variou-se a velocidade de flotação ( $V_f$ ), mas a velocidade escolhida em função dos resultados foi a velocidade de 5cm/min.

A dosagem de cloreto férrico aplicada nesses ensaios foi de 40mg/l e a dosagem de hidróxido de cálcio foi de 40mg/l.

Foram testados os seguintes valores de gradiente de floculação ( $G_f$ ):  $25s^{-1}$ ,  $40s^{-1}$ ,  $60s^{-1}$ ,  $80s^{-1}$ ,  $100s^{-1}$  e  $120s^{-1}$ . Para cada valor de  $G_f$  foram testados os seguintes valores de  $T_f$ : 5min, 10min, 20min e 30min. Foram considerados mais adequados, os parâmetros de floculação que forneceram as melhores médias dos resultados de turbidez remanescente.

Na Tabela 5.19, observa-se que os valores escolhidos para  $G_f$  e  $T_f$  foram  $100s^{-1}$  e 10min respectivamente.

Tabela 5.19 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante cloreto férrico

Gf (s <sup>-1</sup> )	Tf (min)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
25	10	4,9	5,1	116
25	20	4,9	6,2	117
40	5	4,8	5,9	118
40	10	4,8	5,0	118
40	15	4,7	5,1	118
40	20	4,7	4,9	117
40	30	4,8	4,8	118
60	10	4,9	5,6	113
60	20	4,9	5,6	118
80	5	4,8	5,3	125
80	10	4,8	5,5	125
80	15	4,7	5,2	125
80	20	4,8	5,5	124
80	30	4,8	5,2	124
100	5	4,9	4,2	120
<b>100</b>	<b>10</b>	<b>4,9</b>	<b>4,6</b>	<b>121</b>
100	15	4,9	4,9	122
100	20	4,8	4,7	121
100	30	4,9	5,0	122
120	5	4,9	5,3	119
120	10	4,9	5,0	119
120	15	4,9	5,5	119
120	20	4,9	5,3	119
120	30	4,9	4,9	118

Na terceira etapa foram realizados 3 ensaios, nos quais foi investigada a taxa de recirculação (R) mais adequada, enquanto os demais parâmetros (Gm, Tm, Gf, Tf, Psat, Tsat, pH e DC) foram mantidos fixos. Foi considerada mais adequada, a taxa de recirculação (R) que forneceu o melhor resultado de turbidez remanescente.

Na Tabela 5.20, observa-se que o valores escolhido para a taxa de recirculação (R) foi de 50%.

Tabela 5.20 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante cloreto férrico

R (%)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
10	4,6	27,9	101
20	4,6	42,0	104
30	4,6	10,6	109
<b>50</b>	<b>4,6</b>	<b>5,2</b>	<b>122</b>
70	4,6	5,2	144

### 5.3.2.2 Diagrama de coagulação-floculação-flotação para o coagulante cloreto férrico

Na quarta etapa, para a construção do diagrama de coagulação, foram realizados 19 ensaios onde foram utilizados os valores dos parâmetros de mistura rápida, floculação e taxa de recirculação (Gm, Tm, Gf, Tf, R), obtidos na segunda e terceira etapa e foram variados o pH (com a dosagem de hidróxido de cálcio) e a dosagem do coagulante (DC), nesse caso, cloreto férrico. A pressão e tempo de saturação (Psat e Tsat) foram mantidas iguais a 500kPa e 10min respectivamente.

Assim como nos ensaios anteriores, a velocidade de flotação (Vf) foi mantida constante e igual a 5cm/min.

Na Figura 5.10 é apresentado o diagrama de coagulação do efluente relativo a análise de turbidez para o coagulante cloreto férrico.

A Tabela 5.21 fornece os resultados das faixas otimizadas de pH e dosagens de coagulante. Observa-se na Tabela 5.21 que as faixas de pH e concentração de coagulante com maiores eficiências de remoção de turbidez são bem menores se comparadas as faixas dos ensaios de sedimentação. As maiores eficiências de remoção estão na faixa de pH de 3,2 a 5,3, sendo que a maior eficiência de remoção (3,5%) foi atingida na região 1 para a dosagem de coagulante de 60mg/l.

Na região 2, temos um ponto com uma eficiencia de remoção um pouco menor (4,5%), porém nesse ponto utilizou-se uma dosagem menor de coagulante (20mg/l) e o pH já está mais próximo do desejado (8,5) e conseqüentemente teremos um consumo menor de coagulante se comparada ao outro ponto. A escolha da condição mais adequada, será feita mais adiante neste texto (item 5.5 - p.110).

Tabela 5.21 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-flotação com cloreto férrico e valores percentuais de turbidez remanescente

Região	Faixas de pH-DC para turbidez remanescente < 5%		Melhores pontos dentro das regiões			
	pH de coagulação	Dosagem de cloreto férrico (mg/l)	pH de coagulação	Dosagem de cloreto férrico (mg/l)	Dosagem de hidróxido de cálcio (mg/l)	Turbidez remanescente (%)
1	3,2 - 4,6	40 - 60	3,2	60	0	3,5
2	4,6 - 5,3	16 - 60	5,3	20	60	4,5





### **5.3.3 Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300**

#### **5.3.3.1 Ensaio preliminares**

Na primeira etapa dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação utilizando-se como coagulante a mistura dos produtos Procytrat 100A (70%) e Procytrat 300 (30%), foi escolhido o melhor par pH-DC (dosagem de coagulante) para utilização nos ensaios posteriores. Foram realizados 13 ensaios, onde foram mantidos constantes os parâmetros de mistura rápida, floculação e flotação ( $G_m$ ,  $T_m$ ,  $G_f$ ,  $T_f$ ,  $R$ ,  $Psat$ ,  $Tsat$ ) e houve variação na dosagem de coagulante (DC) e nos valores de pH e velocidade de flotação ( $V_f$ ), mas assim como já foi discutido no item 5.2.1.1 para os ensaios de sedimentação, os resultados de turbidez remanescente para a velocidade de flotação ( $V_f$ ) para 10cm/min foram elevados e diante desse motivo optou-se por exibir nesse texto somente os ensaios onde foram utilizados a velocidade de flotação de 5cm/min. Os dados referentes a velocidade de flotação de 10cm/min podem ser observados no Apêndice G.

Observa-se na Tabela 5.22 que o melhor resultado (1,8%) foi encontrado para DC igual a 200mg/l e pH igual a 4,23, mas visando a economia de coagulante e hidróxido de cálcio, foi escolhido para os ensaios posteriores a dosagem de coagulante de 100mg/l e pH igual a 3,92 (20 mg/l de  $Ca(OH)_2$ ) que gerou um percentual de turbidez remanescente de 2,4%. Colaborou também para essa escolha o bom resultado da turbidez remanescente para  $V_f$  igual a 10cm/min para esse mesma dosagem que foi de 2,5%.

Em virtude da etapa de mistura rápida ser realizada em reator separado (*jar test*), os valores dos parâmetros de mistura rápida ( $G_m$  e  $T_m$ ) não foram investigados, porém foram adotados os valores que forneceram bons resultados nos ensaios de sedimentação para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300 (item 5.2.3.1) . Foram utilizados os seguintes valores:  $G_m$ :  $800s^{-1}$  e  $T_m$ : 5s.

Tabela 5.22 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para etapa 1 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300

Dosagem de Procytrat 100A + Procytrat 300 (mg/l)	pH	Turbidez remanescente (%)
0	4,86	8,9
0	6,36	16,3
20	3,32	7,4
20	4,83	5,1
20	6,33	7,3
40	3,37	2,3
40	4,78	3,5
40	6,30	10,0
60	3,40	2,0
60	3,90	2,6
60	4,74	3,0
60	6,25	6,2
100	3,41	2,1
<b>100</b>	<b>3,92</b>	<b>2,4</b>
100	4,66	2,2
100	6,17	17,4
200	3,46	4,0
200	3,90	3,2
200	4,23	1,8
260	3,46	3,2
260	4,05	13,4
260	5,73	61,5
360	3,46	2,6
360	3,85	89,0

Na segunda etapa foram realizados 9 ensaios, nos quais foram investigados os parâmetros de floculação (Gf e Tf) mais adequados, enquanto os demais parâmetros (Gm, Tm, pH, R, Psat, Tsat e DC) foram mantidos fixos. Assim como nos ensaios anteriores, variou-se a velocidade de flotação (Vf), mas a velocidade escolhida em função dos resultados foi a velocidade de 5cm/min. Os valores para a velocidade de 10cm/min podem ser encontradas no Apêndice G.

A dosagem da mistura Procytrat 100A (70%) + Procytrat 300 (30%) aplicada nesses ensaios foi de 100mg/l e a dosagem de hidróxido de cálcio foi de 20mg/l.

Foram testados os seguintes valores de gradiente de floculação (Gf):  $40s^{-1}$ ,  $60s^{-1}$  e  $80s^{-1}$ . Para cada valor de Gf foram testados os seguintes valores de Tf: 5min, 10min, 20min e 30min. Foram considerados mais adequados, os parâmetros de mistura rápida que forneceram as melhores médias dos resultados de turbidez remanescente.

Na Tabela 5.23, observa-se que o menor valor de turbidez remanescente foi de 2,2%, porém esse valor aumentaria os custos com energia e o tempo de floculação, por isso o valores escolhidos para Gf e Tf foram  $60s^{-1}$  e 15min respectivamente. Para esses parâmetros o valor de turbidez remanescente foi de 2,8%.

Tabela 5.23 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 2 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300

Gf ( $s^{-1}$ )	Tf (min)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
40	5	3,90	3,3	110,1
40	10	3,90	3,3	109,6
40	15	3,88	3,0	110,2
40	20	3,90	3,0	109,4
40	30	3,90	3,1	103,3
60	5	3,91	2,9	105,3
60	10	3,90	3,2	102,1
<b>60</b>	<b>15</b>	<b>3,90</b>	<b>2,8</b>	<b>104,0</b>
60	20	3,92	2,8	104,3
60	30	3,91	2,4	105,3
80	5	3,92	2,8	109,4
80	10	3,91	2,7	108,8
80	15	3,94	3,1	108,3
80	20	3,94	3,1	110,7
80	30	3,93	2,2	110,7

Na terceira etapa foram realizados 3 ensaios, nos quais foi investigada a taxa de recirculação (R) mais adequada, enquanto os demais parâmetros (Gm, Tm, Gf, Tf, Psat, Tsat, pH e DC) foram mantidos fixos. Foi considerada mais adequada, a taxa de recirculação (R) que forneceu o melhor resultado de turbidez remanescente. Assim como nos ensaios anteriores, variou-se a velocidade de flotação (Vf), mas a velocidade escolhida em função dos resultados foi a velocidade de 5cm/min. Os valores para a velocidade de 10cm/min podem ser encontradas no Apêndice G.

Na Tabela 5.24, observa-se que o valores escolhido para a taxa de recirculação (R) foi de 40%.

Tabela 5.24 - Valores de turbidez e condutividade remanescente para a etapa 3 dos ensaios preliminares de coagulação-floculação-flotação com o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300

R (%)	pH	Turbidez remanescente (%)	Condutividade remanescente (%)
20	3,93	13,5	1145
30	3,93	10,8	1174
<b>40</b>	<b>3,95</b>	<b>10,1</b>	<b>1193</b>
50	3,94	12,6	1282
70	3,95	20,0	1457

### 5.3.3.2 Diagrama de coagulação-floculação-flotação para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300

Na quarta etapa, para a construção do diagrama de coagulação, foram realizados 20 ensaios onde foram utilizados os valores dos parâmetros de mistura rápida, floculação e taxa de recirculação (Gm, Tm, Gf, Tf, R) obtidos na segunda e terceira etapa e foram variados o pH (com a dosagem de hidróxido de cálcio) e a dosagem do coagulante (DC), nesse caso, Procytrat 100A + Procytrat 300. A pressão e tempo de saturação (P<sub>sat</sub> e T<sub>sat</sub>) foram mantidas iguais a 500kPa e 10min respectivamente.

Assim como nos ensaios anteriores, a velocidade de flotação (V<sub>f</sub>) foi mantida constante e igual a 5cm/min. Os valores para a velocidade de 10cm/min podem ser encontradas no Apêndice G.

Na Figura 5.11 é apresentado o diagrama de coagulação do efluente relativo a análise de turbidez para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300.

A Tabela 5.25 fornece os resultados das faixas otimizadas de pH e dosagens de coagulante. Observa-se na Tabela 5.25 que as faixas de pH e concentração de coagulante com maiores eficiências de remoção de turbidez são bem menores se comparadas as faixas dos ensaios de sedimentação. As maiores eficiências de remoção estão na faixa de pH de 3,3 a 5,5, sendo que a maior eficiência de remoção (1,4%) foi atingida na região 2 para a dosagem de coagulante de 200mg/l.

A escolha da condição mais adequada, será feita mais adiante neste texto (item 5.5 - p.110).

Tabela 5.25 - Regiões dos diagramas de coagulação-floculação-flotação com Procytrat 100A + Procytrat 300 e valores percentuais de turbidez remanescente

Região	Faixas de pH-DC para turbidez remanescente < 5%		Melhores pontos dentro das regiões			
	pH de coagulação	Dosagem de hidróxicloreto de alumínio* (mg/l)	pH de coagulação	Dosagem de hidróxicloreto de alumínio* (mg/l)	Dosagem de hidróxido de cálcio (mg/l)	Turbidez remanescente (%)
1	3,3 - 5,5	10 - 60	3,3	60	0	1,6
2	3,3 - 5,3	60 - 200	4,2	200	40	1,4

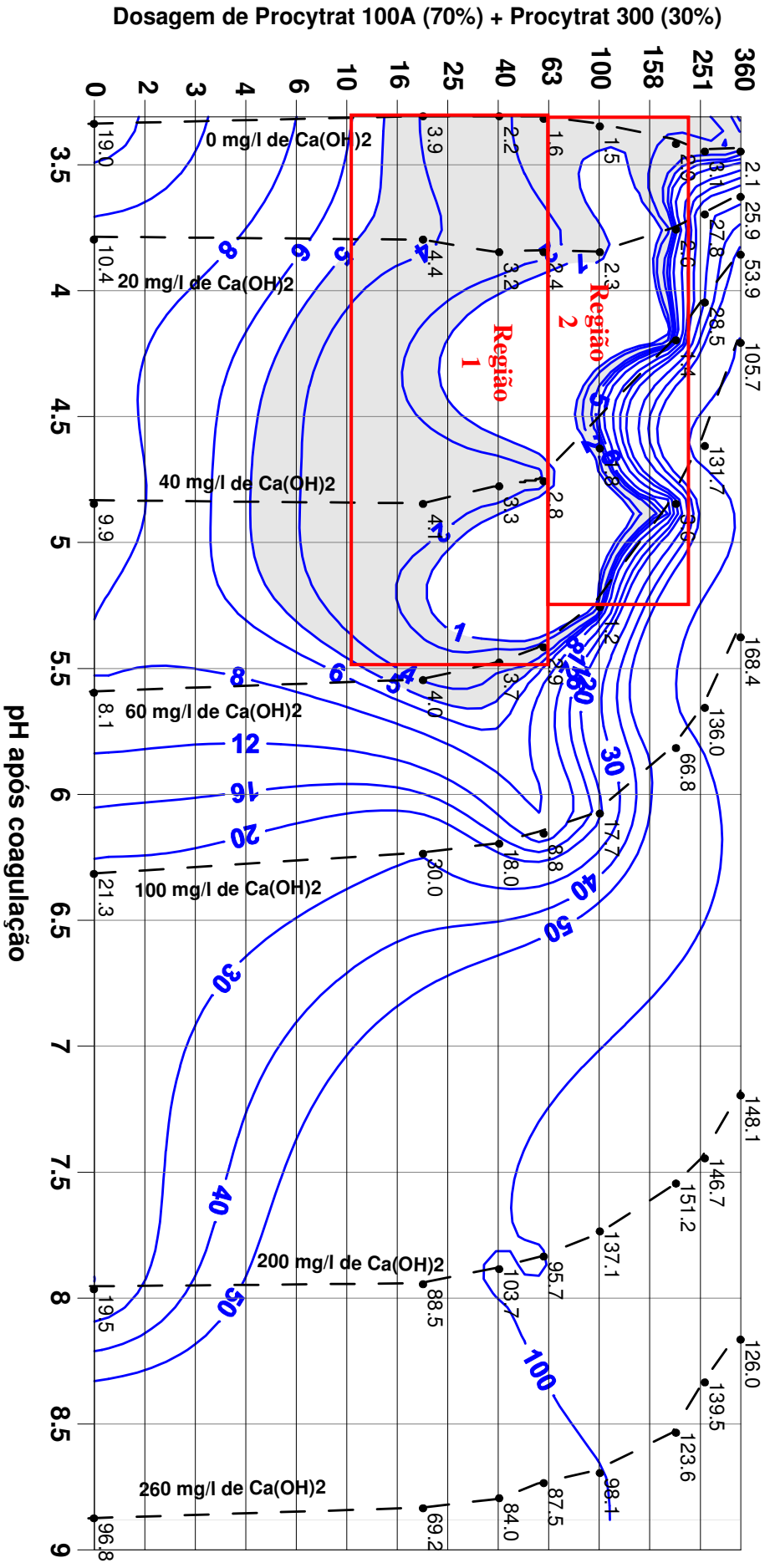


Figura 5.11 – Diagrama de coagulação-floculação-flotação do efluente: percentuais de **Turbidez** remanescente para o coagulante Procytrat 100<sup>a</sup> (70%) + Procytrat 300 (30%)  
*Condições de ensaio:* Gm: 800s<sup>-1</sup>; Tm: 5s; Gf: 60s<sup>-1</sup>; Tf: 15min; R: 40%; Vf: 5cm/min.

#### 5.4 Resumo dos resultados dos ensaios de coagulação-floculação

No Quadro 5.1 pode-se observar um resumo dos parâmetros operacionais encontrados nos ensaios de coagulação-floculação:

		Parâmetros operacionais encontrados								
Ensaio	Coagulante	Gm (s <sup>-1</sup> )	Tm (s)	Gf (s <sup>-1</sup> )	Tf (min)	Vs (cm/min)	Vf (cm/min)	R (%)	Psat (kPa)	Tsat (min)
Sedimentação	Aluminato de sódio	800	5	50	10	1	-	-	-	-
Sedimentação	Cloreto férrico	800	5	25	5	1	-	-	-	-
Sedimentação	Procytrat 100A (70%) + Procytrat 300 (30%)	800	5	25	5	1	-	-	-	-
Flotação	Aluminato de sódio	800*	5*	60	10	-	5	50	500*	10*
Flotação	Cloreto férrico	800*	5*	100	10	-	5	50	500*	10*
Flotação	Procytrat 100A (70%) + Procytrat 300 (30%)	800*	5*	60	15	-	5	40	500*	10*

Quadro 5.1 - Resumo dos parâmetros operacionais encontrados nos ensaios de floculação-coagulação.

Legenda: \* valores assumidos ou retirados da literatura

De um modo geral, pode ser verificado no Quadro 5.1, que mesmo com as variações nas características das amostras coletadas para realização dos ensaios, os parâmetros operacionais encontrados não sofreram grandes variações dentro de seus respectivos ensaios. Nos casos onde a diferença entre parâmetros foi um pouco maior, como por exemplo, o gradiente de velocidade para o ensaio de flotação para o coagulante cloreto férrico (100s<sup>-1</sup>), o valor de turbidez remanescente encontrado para o tempo de floculação (10min) foi de 4,6% enquanto que dentro dos mesmos ensaios, para um gradiente de floculação menor (60s<sup>-1</sup>) e

mesmo tempo de floculação, a turbidez remanescente encontrada foi de 5,6% (Tabela 5.19) , portanto, uma diferença de apenas 1%.

Pode ser observado nos diagramas de coagulação-floculação que a utilização do coagulante aluminato de sódio, assim como descrito na literatura, causa um aumento nos valores de pH quando adicionado a água residuária, necessitando de uma menor dosagem de hidróxido de cálcio para atingir o pH considerado como ideal ao final do tratamento, já o cloreto férrico possui um comportamento inverso, devido a liberação dos íons de hidrogênio durante a sua hidrólise. Observou-se também que a adição do Procytrat 100A + Procytrat 300 na água residuária também diminui o seu pH, porém em patamares bem menores se comparados à queda de pH com o uso do cloreto férrico;

### **5.5 Determinação do custo “aproximado” para os melhores pares pH/dosagem de coagulante para cada ensaio de coagulação-floculação-sedimentação/flotação.**

A determinação da dosagem de coagulante e o processo a ser empregado em um sistema de tratamento de efluentes industriais por coagulação/precipitação é bastante complexo devido ao grande número de variáveis envolvidas no processo, tais como: o transporte, outros produtos químicos, preparo da solução, armazenamento, forma de dosagem, metologia de dosagens, disposição do lodo, entre outras. Nesse estudo, por simplicidade, foram considerados somente os custos com os coagulantes e alcalinizante para o processo de separação de sólidos por sedimentação. No processo de flotação, além dos custos com coagulantes e alcalinizante, também foram inclusos os custos com energia elétrica para saturação da água com ar comprimido à pressão de 500 kPa. Os cálculos se encontram no Apêndice H.

Na Tabela 5.26 estão os preços dos coagulantes e alcalinizante utilizado nesse estudo.



Tabela 5.26 - Informações e preços dos coagulantes e alcalinizante.

Produto	Nome comercial do produto	Fornecedor	Substância principal	Preço <sup>1</sup> (R\$/Kg)
				Mês ref. Julho/11
Coagulante 1	Aluminato de sódio líquido 40%	Não informado	Aluminato de sódio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -25%)	2,50
Coagulante 2	Cloreto férrico líquido 40%	OCC Química	Cloreto férrico	1,10
Coagulante 3	Procytrat 100A (70%) + Procytrat 300 (30%)	Procytek Indústria e Comércio Ltda.	Polímero de oxicloreto de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -11%) + Policloretos de alumínio hidroxilados cationizados (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -23%)	3,22
Alcalinizante	Cal Hidratada Calcítica	Carbotex Indústria e Comércio de Cal Ltda.	Hidróxido de cálcio	0,38

Os custos com os produtos químicos variam linearmente com as dosagens empregadas dos mesmos. Na Figura 5.12 pode-se observar a variação do custo por m<sup>3</sup> dos três coagulantes utilizados nesse estudo e o baixo custo do coagulante cloreto férrico em relação aos outros dois coagulantes. Observa-se também o custo da cal hidratada que foi utilizada como alcalinizante nesse trabalho.

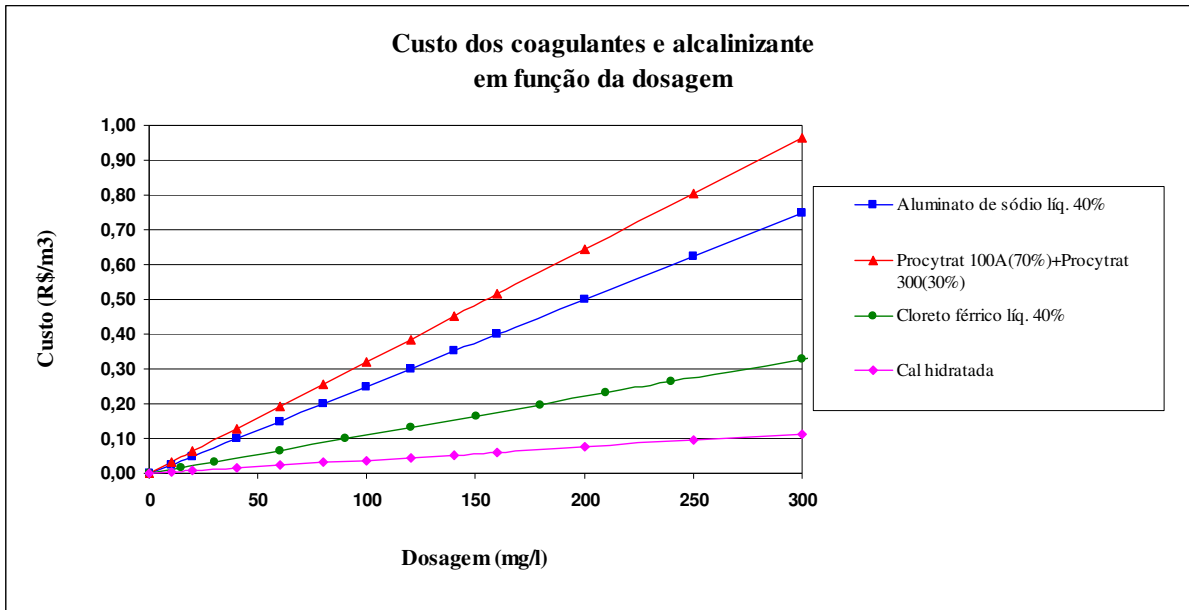


Figura 5.12 – Custo por m<sup>3</sup> dos três coagulantes e alcalinizante utilizados nesse estudo, de acordo com a dosagem empregada.

A Figura 5.13 (Diagrama de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante aluminato de sódio) foi utilizada para exemplificar o método escolhido na determinação do melhor coagulante no processo de separação de sólidos por sedimentação ou flotação. As etapas são descritas abaixo:

- a) através do diagrama (Figura 5.13) e com o auxílio de funções do software Surfer<sup>®</sup> foi determinada a região onde o valor de turbidez remanescente foi menor que 2% (valor máximo considerado para a água residuária após o tratamento físico-químico segundo os padrões exigidos pelo sistema de osmose reversa da empresa em estudo). Devido a baixa eficiência de remoção de turbidez apresentada nos diagramas de coagulação-floculação-flotação, o valor máximo de turbidez remanescente considerado para esses processos foi de 5%. Devido ao formato irregular da região (área hachurada da Figura 5.13), como forma de aproximação, ela foi subdividida e transformada em três regiões retangulares limitadas pelos valores de pH e dosagem de coagulante;
- b) dentro de cada região retangular, foi escolhido o ponto de menor turbidez remanescente, por exemplo, dentro da região 1, foi escolhido a turbidez remanescente de 1,3%;
- c) através do ponto escolhido encontrou-se o seu respectivo par pH e dosagem de coagulante, 7,4 e 260mg/l respectivamente;

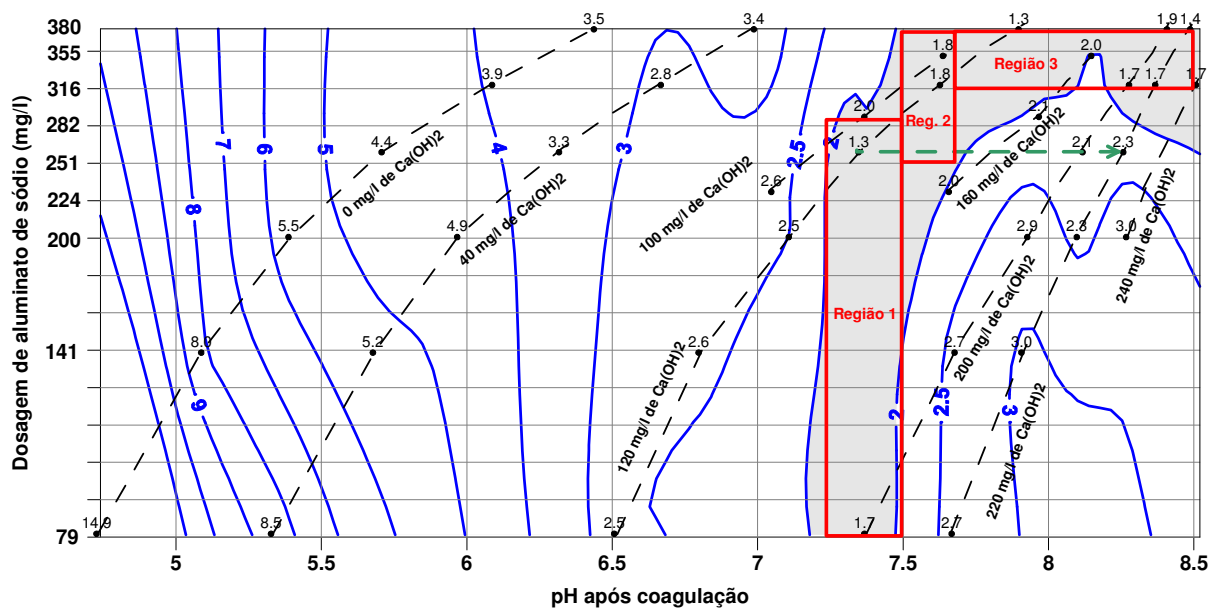


Figura 5.13 – Exemplo: diagrama de coagulação-floculação-sedimentação do efluente: percentuais de **Turbidez** remanescente para o coagulante aluminato de sódio. Condições de ensaio: Gm:  $800s^{-1}$ ; Tm: 5s; Gf:  $50s^{-1}$ ; Tf: 10min; Vs: 1cm/min.

d) a seguir, foi determinada a dosagem aproximada de alcalinizante necessária para aumentar o pH, após o processo de sedimentação ou flotação. Essa dosagem deve ser suficiente para atingir a faixa de pH entre 8,3 e 8,5 (faixa de pH considerada como ideal para a água residuária após o tratamento físico-químico baseado nos valores encontrados nesse ponto durante o período de amostragem na estação de tratamento da empresa (Apêndice A). Essa dosagem aproximada foi determinada traçando-se uma linha horizontal (ver Figura 5.13) do ponto escolhido (1,3%) até o ponto dentro da faixa de pH de 8,3-8,5 (2,3%). Nesse trajeto a dosagem de coagulante é constante;

e) a partir do valor da dosagem de alcalinizante encontrada (220mg/l), foi determinada a quantidade de alcalinizante necessária (100mg/l);

e) com o custo dos coagulantes, alcalinizante (Tabela 5.26) e o custo de energia elétrica (considerado apenas no processo de flotação) determinou-se o custo por  $m^3$  para os valores de menor turbidez remanescente dentro de cada região escolhida;

A análise do melhor coagulante foi baseada nos seguintes critérios de avaliação:

- 1° - Menor valor de turbidez remanescente;
- 2° - Menor custo por  $m^3$ ;

### 5.5.1 Determinação do “melhor” coagulante em ensaios de coagulação-floculação-sedimentação

Na Tabela 5.27 podem ser observados os custos por m<sup>3</sup> para os pontos de menor valor de turbidez remanescente dentro das regiões escolhidas nos diagramas de coagulação-floculação-sedimentação para cada coagulante utilizado nesse estudo.

Tabela 5.27 - Avaliação dos custos do processo de sedimentação em função do coagulante utilizado no processo.

Coagulante	Região	Melhores pontos dentro das regiões				Dosagem de hidróxido de cálcio p/ atingir pH~8,3 (mg/l)	Custo (R\$/m <sup>3</sup> )
		pH de coagulação	Dosagem de Coagulante (mg/l)	Dosagem de hidróxido de cálcio (mg/l)	Turbidez remanescente (%)		
Aluminato de sódio	1	7,36	260	120	1,3	100	0,73
	2	7,64	320	120	1,8	80	0,88
	3	7,91	380	120	1,3	80	1,03
Cloreto férrico	1	7,50	380	360	0,5	40	0,78
	2	7,84	320	360	0,5	20	0,68
		<b>8,30</b>	<b>200</b>	<b>360</b>	<b>0,6</b>	<b>0</b>	<b>0,47</b>
Procytrat 100A +	1	8,08	320	260	0,5	40	1,14
	2	8,48	140	260	0,8	0	0,55
Procytrat 300	3	8,19	60	240	1,0	10	0,29

De acordo com os dados da Tabela 5.27, os menores valores de turbidez remanescente para o processo de sedimentação foram encontrados utilizando-se como coagulante o cloreto férrico, sendo que a opção mais econômica foi alcançada para o pH igual a 8,30 e dosagem de 200mg/l de cloreto férrico. O custo para essa configuração foi de R\$0,47/m<sup>3</sup>.

Pode-se observar também na Tabela 5.27 que o menor custo foi alcançado utilizando-se o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300 (R\$0,29/m<sup>3</sup>), porém o valor de turbidez remanescente para esse valor foi mais elevada (1,0%).

### 5.5.2 Determinação do “melhor” coagulante em ensaios de coagulação-floculação-flotação

Na Tabela 5.28 podem ser observados os custos por m<sup>3</sup> para os pontos de menor valor de turbidez remanescente dentro das regiões escolhidas nos diagramas de coagulação-floculação-flotação para cada coagulante utilizado nesse estudo.

Tabela 5.28 - Avaliação dos custos do processo de flotação em função do coagulante utilizado no processo.

Coagulante	Região	Melhores pontos dentro das regiões				Dosagem de hidróxido de cálcio p/ atingir pH~8,3 (mg/l)	Custo energia (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo (R\$/m <sup>3</sup> )
		pH de coagulação	Dosagem de Coagulante (mg/l)	Dosagem de hidróxido de cálcio (mg/l)	Turbidez remanescente (%)			
Aluminato de sódio	1	4,45	60	0	4,8	220	0,06	0,29
	2	8,86	200	240	3,7	0	0,06	0,65
Cloreto férrico	1	3,20	60	0	3,5	300	0,06	0,27
	2	5,30	20	60	4,5	240	0,06	0,20
Procytrat 100A + Procytrat 300	1	<b>3,30</b>	<b>60</b>	<b>0</b>	<b>1,6</b>	<b>240</b>	<b>0,05</b>	<b>0,33</b>
	2	4,20	200	40	1,4	220	0,05	0,79

De acordo com os dados da Tabela 5.28, os menores valores de turbidez remanescente para o processo de flotação foram encontrados utilizando-se como coagulante o Procytrat 100A + Procytrat 300, sendo que a opção mais econômica foi alcançada para o pH igual a 3,30 e dosagem de 60mg/l. O custo para essa configuração foi de R\$0,33/m<sup>3</sup>.

O menor custo foi alcançado utilizando-se o coagulante cloreto férrico (R\$0,20/m<sup>3</sup>), porém o valor de turbidez remanescente para esse valor foi mais elevada (4,5%).

### 5.5.3 Comparação dos custos entre os processos de sedimentação e flotação

Os valores de turbidez remanescente e custo por m<sup>3</sup> nas Tabelas 5.27 e 5.28 indicam que o processo de separação de sólidos por sedimentação parece ser o tratamento que oferece a maior remoção de sólidos e um custo razoável de tratamento, sem considerar outros custos

envolvidos para a água residuária em estudo. Esse fato pode ser confirmado através das Figuras 5.14 a 5.16 nos quais são apresentadas as curvas de eficiência de remoção de turbidez da água residuária em estudo em função do custo com produtos químicos para a sedimentação ou flotação por ar dissolvido. Para o processo de flotação por ar dissolvido foi considerado também o custo da energia elétrica.

Observa-se que nas Figuras 5.14 e 5.15 que, para os coagulantes aluminato de sódio e cloreto férrico respectivamente, para eficiências de remoção acima de 97% a separação de sólidos por sedimentação foi a que apresentou os melhores resultados.

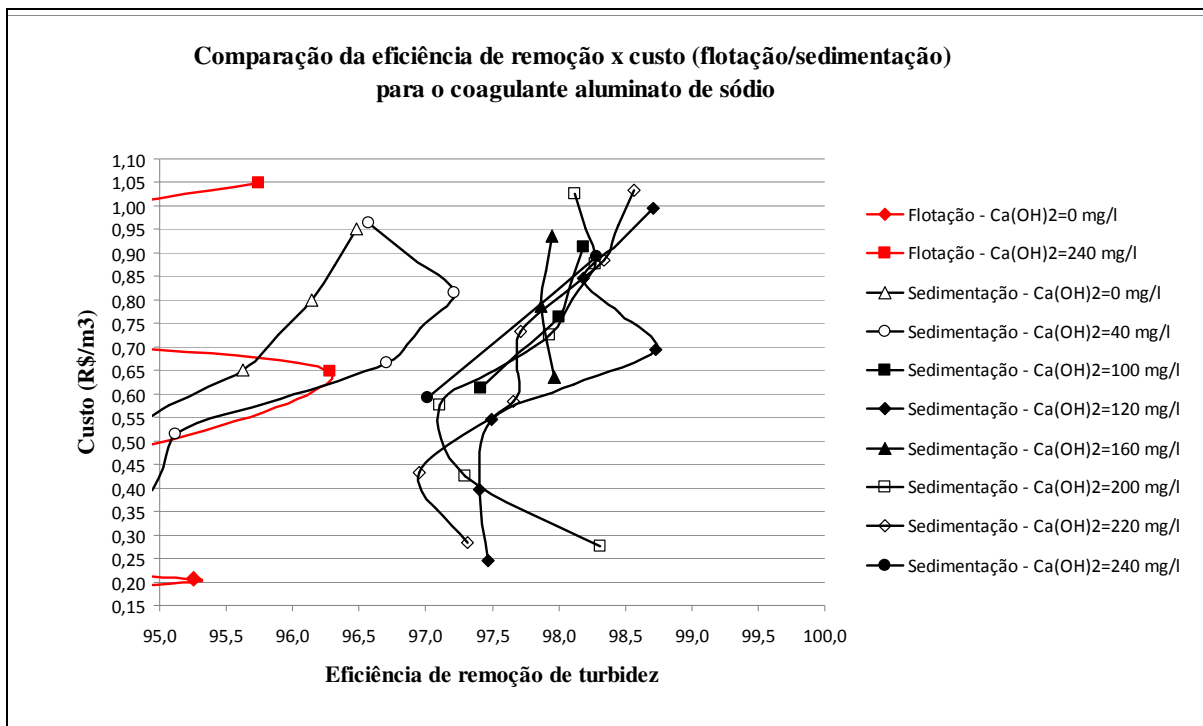


Figura 5.14 – Comparação de custos entre a separação de sólidos por sedimentação ( $V_s$ : 1,0 cm/min) e flotação por ar dissolvido ( $V_f$ : 5,0cm/min), de acordo com a eficiência de remoção de turbidez do efluente industrial por coagulação/precipitação com aluminato de sódio.

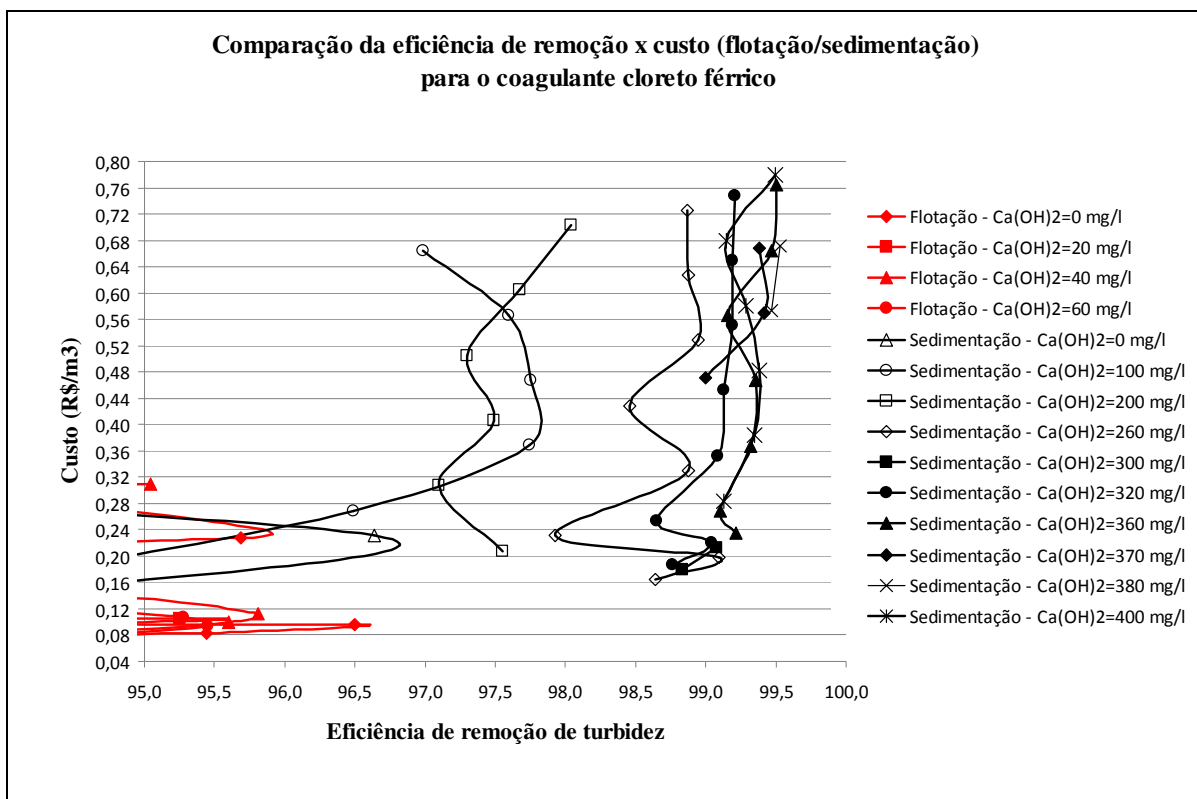


Figura 5.15 – Comparação de custos entre a separação de sólidos por sedimentação ( $V_s$ : 1,0 cm/min) e flotação por ar dissolvido ( $V_f$ : 5,0cm/min), de acordo com a eficiência de remoção de turbidez do efluente industrial por coagulação/precipitação com cloreto férrico.

Na Figura 5.16, para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300, o processo de sedimentação apresentou os melhores resultados para eficiência de remoção acima de 99%, mas a figura também indica que o processo de flotação por ar dissolvido pode ser utilizado com menor custo para eficiências de remoção de até, 97,8%, portanto se houver necessidade de remoção até este valor, a flotação pode ser empregada, mas caso sejam necessárias maiores eficiências de remoção, a sedimentação será a alternativa mais econômica.

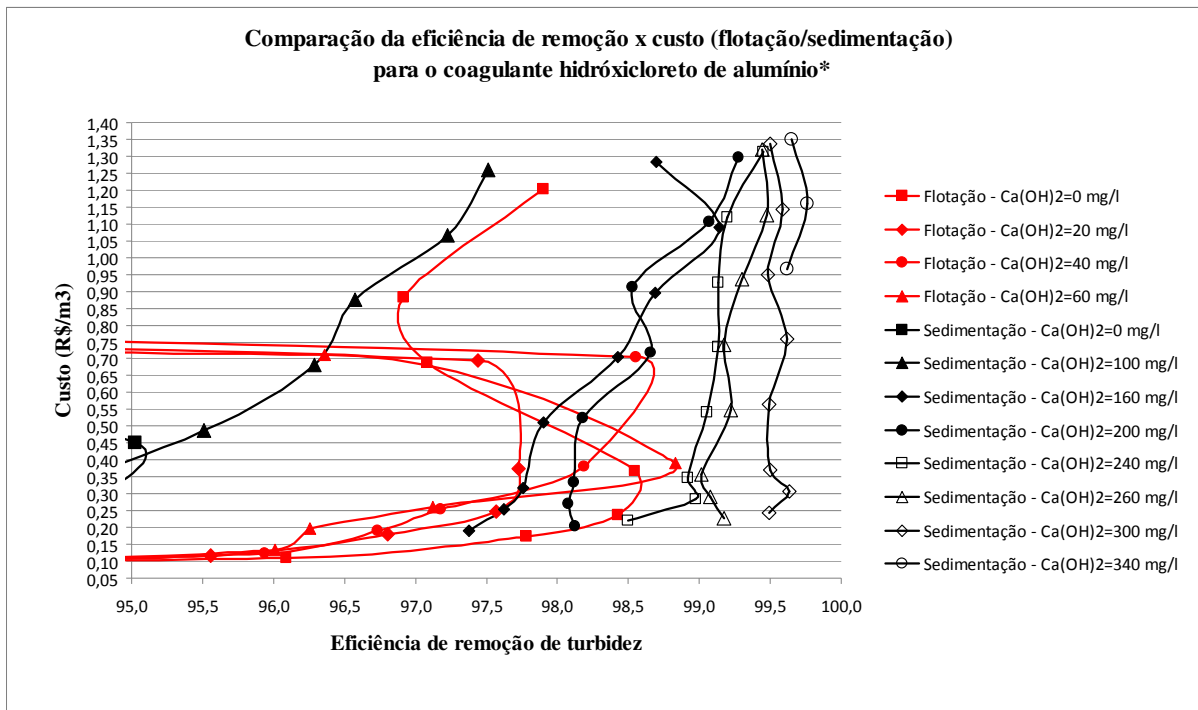


Figura 5.16 – Comparação de custos entre a separação de sólidos por sedimentação ( $V_s$ : 1,0 cm/min) e flotação por ar dissolvido ( $V_f$ : 5,0cm/min), de acordo com a eficiência de remoção de turbidez do efluente industrial por coagulação/precipitação com Procytrat 100A + Procytrat 300.

Observa-se também na Figura 5.16 que, a separação de sólidos por flotação utilizando-se o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300 foi a que obteve as melhores eficiências de remoção se comparamos o mesmo processo utilizando-se os coagulantes aluminato de sódio e cloreto férrico.

Cabe ressaltar que em virtude das simplificações adotadas na análise de custo (que considera apenas os custos com produtos químicos e com energia elétrica) e nos ensaios (realizados em escala de bancada com configurações geométricas diferentes), os resultados obtidos nesse trabalho podem divergir consideravelmente de condições práticas em unidades de sedimentação ou flotação por ar dissolvido. Os resultados apresentados, não podem ser utilizados como valores de referência em termos práticos e servem apenas como orientação.



## 6- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 Conclusões

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de coagulação-floculação com a água residuária industrial, chegou-se as seguintes conclusões:

- A utilização do diagrama de coagulação-floculação é uma importante ferramenta para definições, mesmo que aproximadas, de regiões otimizadas de turbidez remanescente e conseqüentemente economia no consumo de produtos químicos;
- Os diagramas de coagulação-floculação-sedimentação foram os que apresentaram regiões com as maiores áreas de turbidez remanescente menor que 2%, principalmente para os coagulantes cloreto férrico e Procytrat 100A + Procytrat 300, chegando a alcançar valores próximos a 0,5%, quando utilizado o cloreto férrico como coagulante. Essas regiões, devido as suas faixas de pH e dosagem de coagulante mais amplas, acabam possibilitando que pequenas variações de pH ou na dosagem de coagulante, afetem muito pouco os resultados de turbidez remanescente. Do ponto de vista operacional, esse fato oferece uma maior flexibilidade no controle da estação de tratamento, principalmente a que recebe esgoto industrial cujas características podem sofrer alterações repentinas ao longo do dia;
- Os menores valores de turbidez remanescente para o processo de sedimentação foram encontrados utilizando-se como coagulante o cloreto férrico, sendo que a opção mais econômica foi alcançada para o pH igual a 8,30 e dosagem de 200mg/l de cloreto férrico. O custo para essa configuração foi de R\$0,47/m<sup>3</sup>;
- Os diagramas de coagulação-floculação-flotação apresentaram regiões de turbidez remanescente com áreas bem mais reduzidas se comparadas aos diagramas de coagulação-floculação-sedimentação, sendo que não foram atingidos valores de

turbidez remanescente menores que 1,5%, esse fato pode exigir um controle operacional bem mais rígido;

- Os menores valores de turbidez remanescente para o processo de flotação foram encontrados utilizando-se como coagulante o Procytrat 100A + Procytrat 300, sendo que a opção mais econômica foi alcançada para o pH igual a 3,3 e dosagem de 60mg/l. O custo para essa configuração foi de R\$0,33/m<sup>3</sup>;
- De um modo geral, para todos os coagulantes testados, as regiões escolhidas nos diagramas de coagulação-floculação-flotação, cujos valores de turbidez remanescente foram menores, estavam concentradas em valores de pH baixos (3,2 a 5,5), dosagens de coagulante reduzidas (10 a 80mg/l) e dosagens de alcalinizante também reduzidas (0 a 60mg/l de Ca(OH)<sub>2</sub>). Esse comportamento foi contrário ao apresentado pelos diagramas coagulação-floculação-sedimentação cujos valores de turbidez remanescente foram menores em valores de pH mais altos (6,5 a 8,5), maiores dosagens de coagulante (40 a 380mg/l) e altas dosagens de alcalinizante (100 a 400mg/l de Ca(OH)<sub>2</sub>);
- Considerando-se as condições aplicadas nesta pesquisa, a flotação por ar dissolvido não apresentou bons resultados como etapa final de separação, de modo que quanto maior a dosagem de coagulante, menores foram as eficiências de remoção de partículas por flotação.
- De um modo geral, no processo de flotação, apesar dos resultados de remoção de turbidez serem inferiores aos resultados dos ensaios de sedimentação, na média, devido as baixas concentrações de coagulante e alcalinizante utilizados no processo, apresentaram um custo por m<sup>3</sup> menor, por isso o processo de flotação poderia ser utilizado como pré-tratamento com baixas dosagens de coagulante e com a finalidade de remoção da maioria dos sólidos e óleo sobrenadante. A quantidade de lodo gerado no tratamento nesse caso poderia ser bem menor, diminuindo os custos com a sua disposição e manuseio.

## 6.2 Recomendações

Seguem abaixo algumas sugestões e recomendações para futuros trabalhos:

- Baseado nos resultados desse trabalho, recomenda-se realizar estudos em ensaios de bancada (*jar test*/flotateste) ou em uma unidade piloto utilizando-se do mesmo processo de tratamento da água residuária empregado na E.T.E. da empresa desse estudo, ou seja, utilizar o processo de flotação como pré-tratamento e a sedimentação como última etapa do processo físico-químico de tratamento;
- No processo de remoção de sólidos por flotação, recomenda-se realizar novos estudos utilizando-se como alcalinizante o hidróxido de sódio, pois a cal hidratada além de ser um alcalinizante, também é um coagulante inorgânico e a baixa eficiência de remoção encontrada no processo de flotação em faixas próximas ao pH 7, pode ter sido causada pela formação de uma grande quantidade de flocos e também pelo tamanho dos mesmos, já que a cal hidratada forma flocos maiores por causa da sua bivalência positiva;
- Estudar o uso de auxiliares de coagulação nos processos de sedimentação e flotação.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, M.M.; JURGENSEN, D.; REALI, M. A. P.; PENETRA R.; ALÉM SOBRINHO, P.; FLORÊNCIO L. (2001) Avaliação do sistema reator RALF e flotação por ar dissolvido, no tratamento de esgoto sanitário. In: Chemicharo, C.A.L. (Coordenador) Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – Coletânea de artigos técnicos- Volume 2, ABES, 2001, Rio de Janeiro.

AMIRTHARAJAH A. Velocity gradients in rapid mix units. In: Seminário Nacional sobre Coagulação e Filtração Direta, Anais, 1989, São Carlos.

AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K.M. (1982) Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. **AWWA Journal**, vol.74, n°4, p.210-216, Apr.

APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21<sup>th</sup> ed., Washington, D.C., 2005, USA.

AZEVEDO NETTO, J. M.; MANFRINI, C.; CAMPOS, J. R.; POVINELLI, J.; PARLATORE, A. C.; HESPANHOL, I.; ROSSIN, A. C.; YAGUINUMA, S. **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. 2<sup>a</sup> ed., v.2, CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1979, São Paulo.

CAMP, T. R.; STEIN, P. C. (1946) Velocity gradients and internal work in fluid motion. **Journal Boston Society of Civil Engineers**, vol 30, p.209, 1946, citado por: METCALF & EDDY, INC Wastewater engineering: treatment and reuse, 4th. ed., McGraw-Hill, 2003, New York.

CARVALHO, M.E. **Flotação de alta taxa aplicada ao pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CAMPOS, J.R.; REALI, M.A.P.; DOMBROSKI, S.A.G.; MARCHETTO, M. & LIMA, M.R.A. Tratamento físico-químico por flotação de efluentes de reatores anaeróbios. In: XXV Congresso Interamericano Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 1996, México.

DEGANI, L. F. S. **Apostila do Curso de Tratamento de Águas Industriais**, Degani – Departamento de Divulgação Técnica, 1981, Curitiba.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Vol. 1, 2ª ed., Editora Rima, 2005, São Carlos.

ECKENFELDER JR, W. W. Industrial water pollution control, 2<sup>nd</sup> ed., McGraw-Hill, 1989, New York.

EDZWALD, J.K. Principles and applications of dissolved air flotation. **Water Science and Technology**, v. 31, n. 3-4, p.1-23, 1995, Great Britain

EDZWALD, J.K. The science and engineering of dissolved air flotation for drinking water treatment. In: The 5<sup>th</sup> International Conference on Flotation in Water and Wastewater Systems, 2007, Seul, Korea.

ETTELT, G.A. Activated Sludge Thickening by Dissolved Air Flotation. In: Industrial Waste Conference. Proceedings, Purdue University, 1964, Lafaiatte, Indiana.

GUIMARÃES, A. F. **Estudo da coagulação-floculação de água com turbidez ou cor elevada**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

GREGORY, R.; ZABEL, T. F. Sedimentation and flotation. In: Water quality and treatment – a handbook of community water supplies. 4.ed. , McGraw-Hill, 1990, New York.

HAN, M.; KIM, T.; KIM J. Effects of floc and bubble size on the efficiency of the dissolved air flotation (DAF) process. **Water Science and Technology**, Great Britain, v. 56, n. 10, p. 109-115, 2007

LEME, F. P. **Teoria e técnicas de tratamento de água**. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1979, São Paulo.

LEVINE, A. D.; TCHOBANOGLOUS, G.; ASANO, T. Size distribution of particulate contaminants in wastewater and their impact on treatability. **Water Research**, v.25, n.08, p.911-922, 1991

MACEDO FILHO, A.; BRANCO, Z. C. **Água - Tratamento e Qualidade**. USAID –Centro de Publicações Técnicas da Aliança, 1964, Rio de Janeiro.

MAIA, J. C. C.; BEZERRA, J. F. M. Aplicação de flotação por ar dissolvido no tratamento de despejos líquidos industriais. In: XI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Fortaleza, 1981. Anais, ABES, 1981, Fortaleza.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reuso de Água**. NISAM – USP, 2003, Barueri.

MENDES, C.G.N. **Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

METCALF & EDDY, INC, **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th. ed., McGraw-Hill, 2003, New York.

MIERZWA, J. C. **Água na indústria: uso racional e reuso**, Oficina dos Textos, 2005, São Paulo.

MORUZZI, R. B. **Flotação por ar dissolvido (FAD): Influência da distribuição de tamanho de partículas e do binômio velocidade/tempo de detenção na zona de reação no desempenho do processo**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

NALCO Chemical Company. **The Nalco water handbook**. 2<sup>a</sup> ed., Editor: Frank N.

Kemmer, McGraw-Hill, 1988, New York.

ODEGAARD, H. Chemical floc formation in wastewater treatment – an introduction. Prog. Wat. Tech., Supl. 1, p. 103-110, 1979, Pergamon Press.

PAVANELLI G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PENETRA, R.G. **Pós-Tratamento físico-químico por flotação de efluentes de reatores anaeróbios de manta de lodo.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

PENETRA, R.G. **Flotação aplicada ao pós-tratamento do efluente de reator anaeróbio de leito expandido tratando esgoto sanitário.** Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003

PINTO FILHO, A.C.T.; BRANDÃO, C.C.S. Avaliação do potencial da flotação por ar dissolvido sob pressão como pós – tratamento para efluentes de reatores anaeróbios de fluxo ascendente. In: XXVII Congresso da AIDIS, Porto Alegre-RS, Anais, 8p(I-001), ABES, 2000, Rio de Janeiro.

REALI, M.A.P. **Avaliação de um sistema original compacto para clarificação de águas de abastecimento utilizando o processo de flotação e filtração com taxa declinante.** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

REALI, M.A.P. Proposição de uma equação teórica para o processo de flotação por ar dissolvido. In: XXIV Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental - AIDIS, Buenos Aires, 1994, Argentina.

REALI, M.A.P.; PENETRA, R.G.; CAMPOS, J.R. Influência da floculação na flotação de efluentes de reatores anaeróbios (UASB): In: XXVI Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental - AIDIS, 1998, Lima, Peru.

De RIJK et al. Bubble size in flotation thickening. **Water Research**. v. 28, n.2, p.465-473, 1994, Great Britain.

RUDOLFS, W.; BALMAT, J.L. Colloids in sewage - I. Separation of sewage colloids aid of the electron microscope. **Sewage and Industrial Wastes**, v.24, n.03, p.248-256, 1952.

SANTOS, H.R.; PRADO, G.S.; VIDAL, C.M.S.; MORUZZI, R.B.; CAMPOS, J.R. Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.9, n.4, p.291-300, Out/Dez, 2004.

SANTOS, H.R. **Coagulação/precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

ZABEL, T. Flotation in Water Treatment. In: IVES, K.J. ed. **The scientific basis of flotation**. NATO Advanced Science Institute on the Scientific Basis of Flotation. Proceedings, Cambridge, Jul, Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, p.349-77, 1984, England.

ZABEL, T. The advantages of dissolved air flotation for water treatment. **Journal of American Water Works – AWWA**, v.77, n.5, p.42-46, 1985, USA.

ZHANG, Y.; LEPPINEN, D. M.; DALZIEL, S.B. A new nozzle for dissolved air flotation. In: The 5<sup>th</sup> International Conference on Flotation in Water and Wastewater Systems, 2007, Seul, Korea.



## **Apêndice A**

### **Amostragem para caracterização da água residuária industrial**

Data	Horário	Condutividade (µS/cm a 25 °C)				Turbidez (FAU)				pH				Temperatura (°C)				Vazão (m³/h)
		ponto 1	ponto 2	ponto 3	ponto 4	ponto 1	ponto 2	ponto 3	ponto 4	ponto 1	ponto 2	ponto 3	ponto 4	ponto 1	ponto 2	ponto 3	ponto 4	
3/5	14:00	1318	1328	1346	1655	743	106	15	9	3,24	3,29	8,57	7,16	25,3	25,6	25,3	25,5	18
3/5	18:00	1312	1307	1357	1446	884	102	15	12	3,31	3,44	8,70	6,88	25,3	25,0	25,1	25,1	16
3/5	22:00	1306	1316	1361	1662	605	86	21	23	3,31	3,33	8,67	7,41	25,1	25,1	24,7	25,0	16
4/5	02:00	1298	1307	1357	1652	926	106	24	21	3,37	3,38	8,68	7,29	25,2	24,8	24,3	24,6	16
4/5	06:00	1282	1289	1368	1445	997	78	34	29	3,49	3,56	8,66	6,93	25,0	24,6	23,9	24,2	16
4/5	10:00	1312	1322	1345	1638	686	78	26	28	3,37	3,35	8,42	7,45	25,6	25,6	24,8	24,9	17
4/5	14:00	1369	1369	1313	1617	836	96	19	19	3,07	3,07	8,53	6,77	26,2	26,8	26,3	26,2	20
4/5	18:00	1725	1682	1323	1590	765	116	17	11	2,88	2,90	8,29	6,32	26,3	26,5	25,8	26,2	20
4/5	22:00	1475	1470	1337	1414	768	113	16	14	2,80	2,88	8,59	6,18	26,2	26,4	26,0	26,2	18
5/5	02:00	1633	1645	1350	1600	741	124	17	11	2,99	2,93	8,29	6,17	26,5	26,0	25,4	25,7	18
5/5	06:00	1562	1585	1338	1424	748	87	11	7	3,19	3,19	8,09	6,74	26,3	26,1	25,5	25,4	18
5/5	10:00	1325	1358	1319	1564	714	97	19	16	2,99	2,98	8,29	6,25	26,3	26,6	26,1	26,2	18
5/5	14:00	1254	1277	1296	1509	699	85	17	16	3,43	3,37	7,73	6,04	27,2	27,3	27,0	27,3	18
5/5	18:00	1220	1245	1272	1342	601	67	37	12	3,48	3,43	8,46	6,05	27,3	27,5	27,2	27,5	16
5/5	22:00	1232	1252	1261	1362	666	70	32	19	3,49	3,43	8,88	7,17	26,8	26,9	27,0	27,5	16
6/5	02:00	1207	1213	1226	1338	616	169	22	21	3,52	3,55	8,60	6,95	27,0	26,7	26,0	26,3	16
6/5	06:00	1236	1262	1220	1303	690	120	18	13	3,35	3,33	8,53	6,74	26,8	26,7	26,3	26,2	15
6/5	10:00	1253	1263	1231	1319	665	114	25	19	3,36	3,36	8,10	6,90	26,9	26,8	26,8	26,3	17
6/5	14:00	1232	1240	1214	1291	639	82	20	15	3,39	3,39	8,43	6,41	27,6	27,6	27,4	27,5	17
6/5	18:00	1228	1241	1223	1313	542	70	17	16	3,41	3,42	8,66	6,86	27,4	27,6	27,4	27,8	16
6/5	22:00	1208	1235	1229	1319	668	65	21	19	3,44	3,41	8,55	6,87	27,3	27,7	27,0	27,3	16
7/5	02:00	1222	1225	1242	1332	712	70	23	19	3,53	3,53	8,42	6,75	27,1	26,5	26,0	26,7	16
7/5	06:00	1208	1235	1238	1308	716	72	22	18	3,53	3,45	8,21	6,47	26,7	26,6	26,2	26,3	16
7/5	10:00	1223	1231	1215	1311	677	89	23	18	3,49	3,49	8,45	7,20	26,8	26,8	26,8	26,3	16
7/5	14:00	1236	1245	1204	1319	694	81	21	17	3,41	3,41	8,66	7,96	27,5	28,0	27,6	27,7	16
7/5	18:00	1263	1262	1227	1325	667	66	25	??	3,30	3,35	8,78	8,06	26,9	27,8	27,8	27,6	16
7/5	22:00	1248	1256	1249	1343	673	68	23	22	3,33	3,36	8,68	7,72	27,1	27,4	27,1	27,3	16
8/5	02:00	1243	1271	1255	1352	685	69	24	19	3,35	3,32	8,70	7,63	26,8	26,5	26,1	26,4	16
8/5	06:00	1202	1213	1246	1338	700	68	27	23	3,54	3,60	8,61	7,81	27,3	27,1	26,5	26,6	16
8/5	10:00	1241	1251	1234	1325	678	58	21	23	3,57	3,54	8,60	7,49	27,2	27,2	26,8	27,1	20
8/5	14:00	1286	1285	1237	1306	741	62	16	20	3,46	3,48	8,68	6,84	27,2	27,5	27,3	27,1	20
10/5	22:00	1449	1526	1560	1797	770	70	7	10	3,18	3,07	8,65	6,89	22,9	23,0	22,5	23,1	16
11/5	02:00	1462	1485	1967	2050	795	73	17	18	3,20	3,24	8,45	6,54	21,8	20,0	19,4	21,9	16
11/5	06:00	1402	1345	1849	2040	793	49	23	17	3,32	3,61	8,61	6,02	22,6	22,3	21,7	21,8	16
11/5	10:00	1464	1472	1640	1991	767	68	14	19	3,37	3,40	8,92	8,15	22,6	22,3	22,1	22,1	16
11/5	14:00	1453	1458	1578	1908	773	111	15	18	3,42	3,45	8,80	7,78	22,8	23,4	23,0	23,0	17
11/5	18:00	1448	1486	1565	1825	759	142	20	17	3,42	3,36	8,63	6,60	22,1	22,4	22,8	23,3	16
11/5	22:00	1445	1464	1524	1872	766	138	22	13	3,39	3,36	8,59	6,12	23,2	23,4	23,0	23,2	16
12/5	02:00	1449	1460	1525	1679	768	131	25	17	3,37	3,42	8,66	6,27	22,7	22,1	21,4	22,1	16
12/5	06:00	1436	1444	1520	1659	745	77	23	15	3,43	3,47	8,74	6,27	22,2	21,9	21,4	21,6	19
12/5	10:00	1455	1488	1502	1665	719	99	19	20	3,39	3,34	8,26	6,69	22,1	22,4	21,8	21,6	19
12/5	14:00	1421	1420	1461	1595	724	106	18	18	3,41	3,44	8,18	6,01	22,7	23,1	22,2	22,7	19
12/5	18:00	1401	1415	1493	1618	675	89	13	13	3,45	3,49	8,74	6,22	22,4	22,8	22,7	22,3	18
12/5	22:00	1405	1437	1492	1630	688	100	14	15	3,44	3,40	8,78	6,61	21,5	21,7	21,2	21,5	16
13/5	02:00	1395	1411	1485	1624	695	82	17	14	3,45	3,49	8,74	6,76	22,2	21,4	20,4	21,2	16
13/5	06:00	1390	1403	1462	1589	687	82	19	17	3,44	3,53	8,58	6,54	20,6	20,5	19,9	19,9	16
13/5	10:00	1375	1431	1459	1593	705	82	18	19	3,44	3,44	8,52	7,00	21,8	21,7	20,8	21,1	17
13/5	14:00	1399	1421	1429	1558	690	96	15	12	3,35	3,35	8,30	6,29	22,7	22,7	22,1	21,6	19
13/5	18:00	1395	1423	1395	1500	684	86	14	11	3,24	3,20	8,26	6,08	23,3	23,6	23,2	23,3	18
13/5	22:00	1407	1411	1400	1501	675	86	16	13	3,28	3,28	8,46	5,95	22,6	23,0	22,9	23,0	17
14/5	02:00	1389	1386	1400	1442	698	76	18	16	3,30	3,33	8,51	6,31	22,5	21,9	21,3	21,7	17
14/5	06:00	1341	1337	1386	1481	691	85	21	17	3,40	3,49	8,67	6,32	21,6	21,4	20,8	21,0	17
14/5	10:00	1305	1348	1363	1471	702	88	18	17	3,41	3,32	8,19	6,62	22,1	21,9	21,6	21,9	18
<b>Media</b>		<b>1352</b>	<b>1365</b>	<b>1379</b>	<b>1531</b>	<b>719</b>	<b>90</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>3,35</b>	<b>3,36</b>	<b>8,53</b>	<b>6,78</b>	<b>24,8</b>	<b>24,8</b>	<b>24,3</b>	<b>24,6</b>	<b>17</b>

Pontos de coleta de amostras: Ponto 1 - No tanque de homogeneização de 1.000.000 litros; Ponto 2 - Na saída do flotor; Ponto 3 - Na saída do decantador; Ponto 4 - Na entrada do sistema de osmose reversa.

## **Apêndice B**

**Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante aluminato de sódio**

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação

*Coagulante: Aluminato de Sódio*

N° do ensaio: 01	Ensaio: Determinação do par pHxDC aproximado para determinação dos parâmetros					
Data ensaio: 20/07/2010	Horário início: 8:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,42	Turbidez (NTU): 600					
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1464					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50	Vs1 (cm/min): 2		Vs2 (cm/min): 1		
Tm (s): 15	Tf (min): 20	Ts1 (s): 3,8		Ts2 (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	3	2	2	1	0	0
pHcoag.	7,23	6,99	7,16	6,84	6,38	6,41
DC (mg/l)**	80	40	200	260	320	380
Turbidez p/ Vs1 (NTU)	90,5	178,5	151,6	292,5	267,0	549,0
Turbidez p/ Vs2 (NTU)	23,9	24,2	15,4	24,8	25,4	25,6
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)	1432	1466	1459	1449	1435	1437
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)	1436	1464	1460	1454	1432	1443

N° do ensaio: 02	Ensaio: Determinação do par pHxDC aproximado para determinação dos parâmetros					
Data ensaio: 20/07/2010	Horário início: 14:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,42	Turbidez (NTU): 600					
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1464					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50	Vs1 (cm/min): 2		Vs2 (cm/min): 1		
Tm (s): 15	Tf (min): 20	Ts1 (s): 3,8		Ts2 (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	3	2	2	1	0	0
pHcoag.	5,04	4,65	4,83	5,45	5,70	6,13
DC (mg/l)**	80	40	200	260	320	380
Turbidez p/ Vs1 (NTU)	525	546	472	246	330	382
Turbidez p/ Vs2 (NTU)	528	559	261	43,1	28,6	23,1
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)	1298	1346	1339	1345	1352	1382
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)	1356	1339	1333	1332	1338	1367

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Aluminato de Sódio**

<b>N° do ensaio:</b> 03	<b>Ensaio:</b> Determinação do par pHxDC aproximado para determinação dos parâmetros						
<b>Data ensaio:</b> 20/07/2010			<b>Horário início:</b> 16:00h				
<b>Coleta da amostra</b>							
<b>Data/horário da coleta:</b> 16/07/2010 / 15:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23				
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>							
<b>pH:</b> 3,42			<b>Turbidez (NTU):</b> 600				
<b>Temperatura (°C):</b> 23			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1464				
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>							
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800		<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 50		<b>Vs1 (cm/min):</b> 2		<b>Vs2 (cm/min):</b> 1	
<b>Tm (s):</b> 15		<b>Tf (min):</b> 20		<b>Ts1 (s):</b> 3,8		<b>Ts2 (s):</b> 7,5	
<b>Reator</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	22	20	19	13	16	15	
<b>pHcoag.</b>	8,59	8,48	8,48	8,48	8,46	8,51	
<b>DC (mg/l)**</b>	80	40	200	260	320	380	
<b>Turbidez p/ Vs1 (NTU)</b>	65,2	59,6	58,8	60,3	50,2	73,5	
<b>Turbidez p/ Vs2 (NTU)</b>	45,6	45,6	37,4	24,8	24,8	23,1	
<b>Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)</b>	1342	1406	1412	1417	1424	1422	
<b>Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)</b>	1411	1397	1414	1422	1425	1423	

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação

*Coagulante: Aluminato de Sódio*

N° do ensaio: 04	Ensaio: Determinação dos parâmetros de mistura rápida					
Data ensaio: 21/07/2010	Horário início: 8:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,42	Turbidez (NTU): 600					
Temperatura (°C): 24	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1530					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 500	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50	Vs1 (cm/min): 2		Vs2 (cm/min): 1		
Tm (s): variável	Tf (min): 20	Ts1 (s): 3,8		Ts2 (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	19	19	19	19	19	19
Tm (s)	5	10	15	30	60	90
pHcoag.	8,61	8,57	8,58	8,60	8,61	8,61
DC (mg/l)**	200	200	200	200	200	200
Turbidez p/ Vs1 (NTU)	100,3	111,3	129,2	107,1	111,1	120,3
Turbidez p/ Vs2 (NTU)	34,2	34,7	37,6	38,2	42	43,7
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)	1472	1509	1508	1511	1513	1505
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)	1512	1511	1511	1508	1507	1510

N° do ensaio: 05	Ensaio: Determinação dos parâmetros de mistura rápida					
Data ensaio: 21/07/2010	Horário início: 9:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,42	Turbidez (NTU): 600					
Temperatura (°C): 24	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1530					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50	Vs (cm/min): 2		Vs (cm/min): 1		
Tm (s): variável	Tf (min): 20	Ts (s): 3,8		Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	19	19	19	19	19	19
Tm (s)	5	10	15	30	60	90
pHcoag.	8,64	8,62	8,61	8,62	8,61	8,60
DC (mg/l)**	200	200	200	200	200	200
Turbidez p/ Vs1 (NTU)	59	75,8	79	78,8	85,7	81,5
Turbidez p/ Vs2 (NTU)	35,7	36,5	36,1	43,9	37,6	48,5
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)	1544	1550	1555	1559	1556	1554
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)	1595	1552	1549	1550	1552	1552

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Aluminato de Sódio**

<b>N° do ensaio:</b> 06	<b>Ensaio:</b> Determinação dos parâmetros de mistura rápida					
<b>Data ensaio:</b> 21/07/2010			<b>Horário início:</b> 10:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 16/07/2010 / 15:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,42			<b>Turbidez (NTU):</b> 600			
<b>Temperatura (°C):</b> 24			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1530			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 1000	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 50		<b>Vs (cm/min):</b> 2		<b>Vs (cm/min):</b> 1	
<b>Tm (s):</b> variável	<b>Tf (min):</b> 20		<b>Ts (s):</b> 3,8		<b>Ts (s):</b> 7,5	
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	19	19	19	19	19	19
<b>Tm (s)</b>	5	10	15	30	60	90
<b>pHcoag.</b>	8,60	8,65	8,63	8,63	8,64	8,64
<b>DC (mg/l)**</b>	200	200	200	200	200	200
<b>Turbidez p/ Vs1 (NTU)</b>	65,5	77,9	84,4	88,4	100,2	82,3
<b>Turbidez p/ Vs2 (NTU)</b>	32,6	42,0	46,8	44,3	62,3	51,2
<b>Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)</b>	1557	1564	1566	1552	1568	1567
<b>Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)</b>	1566	1563	1554	1556	1557	1558

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação

### *Coagulante: Aluminato de Sódio*

N° do ensaio: 07		Ensaio: Determinação dos parâmetros de floculação					
Data ensaio: 21/07/2010			Horário início: 11:00h				
<b>Coleta da amostra</b>							
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 23				
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>							
pH: 3,36			Turbidez (NTU): 584				
Temperatura (°C): 25			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1539				
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>							
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25	Vs (cm/min): 2		Vs (cm/min): 1			
Tm (s): 5	Tf (min): variável	Ts (s): 3,8		Ts (s): 7,5			
		<b>Reator</b>					
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		11	11	11	11	11	11
Tf (min)		5	10	20	30	40	60
pHcoag.		8,23	8,29	8,32	8,31	8,31	8,28
DC (mg/l)**		200	200	200	200	200	200
Turbidez p/ Vs1 (NTU)		455	383	410	422	356	415
Turbidez p/ Vs2 (NTU)		21,5	13,2	14,7	20,2	21,2	25,4
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)		1560	1564	1567	1562	1565	1566
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)		1570	1571	1567	1559	1568	1566

N° do ensaio: 08		Ensaio: Determinação dos parâmetros de floculação					
Data ensaio: 21/07/2010			Horário início: 14:00h				
<b>Coleta da amostra</b>							
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 23				
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>							
pH: 3,36			Turbidez (NTU): 584				
Temperatura (°C): 25			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1539				
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>							
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50	Vs (cm/min): 2		Vs (cm/min): 1			
Tm (s): 5	Tf (min): variável	Ts (s): 3,8		Ts (s): 7,5			
		<b>Reator</b>					
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		11	11	11	11	11	11
Tf (min)		5	10	20	30	40	60
pHcoag.		8,25	8,25-	8,26	8,25	8,28	8,29
DC (mg/l)**		200	200	200	200	200	200
Turbidez p/ Vs1 (NTU)		342	302	373	365	369	342
Turbidez p/ Vs2 (NTU)		10,9	16,0	19,0	20,2	26,1	29,8
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)		1550	1552	1553	1553	1562	1550
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)		1536	1535	1532	1535	1539	1535

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio



**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Aluminato de Sódio**

<b>N° do ensaio:</b> 09	<b>Ensaio:</b> Determinação dos parâmetros de floculação					
<b>Data ensaio:</b> 21/07/2010			<b>Horário início:</b> 15:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 16/07/2010 / 15:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,36			<b>Turbidez (NTU):</b> 584			
<b>Temperatura (°C):</b> 25			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1539			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 75		<b>Vs (cm/min):</b> 2		<b>Vs (cm/min):</b> 1	
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> variável		<b>Ts (s):</b> 3,8		<b>Ts (s):</b> 7,5	
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	11	11	11	11	11	11
<b>Tf (min)</b>	5	10	20	30	40	60
<b>pHcoag.</b>	8,24	8,27	8,29	8,28	8,27	8,25
<b>DC (mg/l)**</b>	200	200	200	200	200	200
<b>Turbidez p/ Vs1 (NTU)</b>	273	257	331	337	379	383
<b>Turbidez p/ Vs2 (NTU)</b>	13,7	13,7	23,3	24,2	27,2	35,6
<b>Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)</b>	1564	1564	1560	1556	1563	1561
<b>Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)</b>	1549	1551	1546	1544	1547	1548

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação

*Coagulante: Aluminato de Sódio*

N° do ensaio: 10	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 23/07/2010	Horário início: 12:30h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,32	Turbidez (NTU): 610					
Temperatura (°C): 24	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1616					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50	Vs (cm/min): 2		Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Ts (s): 3,8		Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	0	0	0	0	0	0
pHcoag.	4,74	5,10	5,40	5,72	6,10	6,45
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez p/ Vs1 (NTU)	235	235	284	341	421	441
Turbidez p/ Vs2 (NTU)	91,0	48,8	33,4	26,7	23,5	21,5
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)	1450	1444	1444	1457	1471	1476
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)	1447	1441	1446	1448	1462	1477

N° do ensaio: 11	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 23/07/2010	Horário início: 15:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,32	Turbidez (NTU): 610					
Temperatura (°C): 24	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1616					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50	Vs (cm/min): 2		Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Ts (s): 3,8		Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	2	2	2	2	2	2
pHcoag.	5,34	5,69	5,98	6,33	6,68	7,00
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez p/ Vs1 (NTU)	233	251	325	391	431	-
Turbidez p/ Vs2 (NTU)	52,1	31,9	29,8	20,1	17,0	20,9
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)	1505	1500	1493	1493	1497	-
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)	1476	1481	1485	1488	1503	1520

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Aluminato de Sódio**

N° do ensaio: 12	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 23/07/2010	Horário início: 17:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,32	Turbidez (NTU): 639					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1672					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50	Vs (cm/min): 2		Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Ts (s): 3,8		Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	6	6	6	6	6	6
pHcoag.	6,52	6,81	7,12	7,36	7,64	7,91
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez p/ Vs1 (NTU)	134	202	310	448	542	551
Turbidez p/ Vs2 (NTU)	16,2	16,6	16,0	8,14	11,6	8,25
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)	1562	1550	1544	1539	1533	1547
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)	1553	1550	1545	1542	1545	1546

N° do ensaio: 13	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 23/07/2010	Horário início: 19:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,32	Turbidez (NTU): 639					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1672					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50	Vs (cm/min): 2		Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Ts (s): 3,8		Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	10	10	10	10	10	10
pHcoag.	7,38	7,69	7,94	8,13	8,29	8,42
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez p/ Vs1 (NTU)	104	215	323	325	356	449
Turbidez p/ Vs2 (NTU)	10,8	17,3	18,5	13,2	11,0	12,0
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)	1574	1563	1563	1563	1572	1578
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)	1573	1566	1566	1565	1570	1555

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação

*Coagulante: Aluminato de Sódio*

N° do ensaio: 14	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 24/07/2010	Horário início: 12:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,32	Turbidez (NTU): 607					
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1566					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50	Vs (cm/min): 2		Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Ts (s): 3,8		Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	11	11	11	11	11	11
pHcoag.	7,68	7,92	8,11	8,27	8,38	8,50
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez p/ Vs1 (NTU)	182	282	275	273	377	343
Turbidez p/ Vs2 (NTU)	16,3	18,5	14,2	13,5	10,1	8,73
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)	1490	1492	-	1493	1504	1534
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)	1489	1488	1491	1494	1500	1544

N° do ensaio: 15	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 24/07/2010	Horário início: 14:30h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 16/07/2010 / 15:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,32	Turbidez (NTU): 600					
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1634					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50	Vs (cm/min): 2		Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Ts (s): 3,8		Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	5	8	5	8	5	8
pHcoag.	7,06	7,67	7,38	7,98	7,65	8,16
DC (mg/l)**	230	230	290	290	350	350
Turbidez p/ Vs1 (NTU)	457	394	390	477	513	523
Turbidez p/ Vs2 (NTU)	15,5	12,2	12,0	12,8	10,9	12,3
Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)	1527	1514	1523	1516	1522	1529
Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)	1529	1519	1520	1518	1529	1523

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Aluminato de Sódio**

<b>N° do ensaio:</b> 16	<b>Ensaio:</b> Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
<b>Data ensaio:</b> 24/07/2010	<b>Horário início:</b> 16:30h					
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 16/07/2010 / 15:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,32			<b>Turbidez (NTU):</b> 600			
<b>Temperatura (°C):</b> 23			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1634			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800		<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 50		<b>Vs (cm/min):</b> 2		
<b>Tm (s):</b> 5		<b>Tf (min):</b> 10		<b>Ts (s):</b> 3,8		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	12	12				
<b>pHcoag.</b>	8,28	8,52				
<b>DC (mg/l)**</b>	200	320				
<b>Turbidez p/ Vs1 (NTU)</b>	146	206				
<b>Turbidez p/ Vs2 (NTU)</b>	17,9	10,3				
<b>Condutividade p/Vs1 (µS/cm a 25°C)</b>	1519	1534				
<b>Condutividade p/Vs2 (µS/cm a 25°C)</b>	1517	1526				

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

## **Apêndice C**

**Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante cloreto férrico**

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

<b>N° do ensaio:</b> 01	<b>Ensaio:</b> Determinação do par pHxDC aproximado para determinação dos parâmetros					
<b>Data ensaio:</b> 04/09/2010			<b>Horário início:</b> 8:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 03/09/2010 / 14:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 26			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,60			<b>Turbidez (NTU):</b> 983			
<b>Temperatura (°C):</b> 25			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1252			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800		<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 50		<b>Vs (cm/min):</b> 1		
<b>Tm (s):</b> 10		<b>Tf (min):</b> 10		<b>Ts (s):</b> 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	12	14	16	18	20	22
<b>pHcoag.</b>	6,95	7,49	7,92	8,11	8,27	8,37
<b>DC (mg/l)**</b>	260	260	260	260	260	260
<b>Turbidez (NTU)</b>	18,0	17,0	14,0	9,0	12,0	11,0
<b>Condutividade (µS/cm a 25°C)</b>	1315	1364	1410	1468	1523	1578

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

N° do ensaio: 02	Ensaio: Determinação dos parâmetros de mistura rápida					
Data ensaio: 04/09/10	Horário início: 14:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,65	Turbidez (NTU): 930					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1200					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 500	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): variável	Tf (min): 10			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	19	19	19	19	19	19
Tm (s)	5	10	15	30	60	90
pHcoag.	8,38	8,37	8,39	8,40	8,36	8,35
DC (mg/l)**	200	200	200	200	200	200
Turbidez (NTU)	13,4	15,8	19,7	26,7	26	21,1
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1417	1425	1426	1435	1430	1435

N° do ensaio: 03	Ensaio: Determinação dos parâmetros de mistura rápida					
Data ensaio: 04/09/10	Horário início: 16:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,65	Turbidez (NTU): 930					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1200					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): variável	Tf (min): 10			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	19	19	19	19	19	19
Tm (s)	5	10	15	30	60	90
pHcoag.	8,55	8,56	8,60	8,56	8,55	8,56
DC (mg/l)**	200	200	200	200	200	200
Turbidez (NTU)	12,8	15,8	19,2	21,0	22,8	22,8
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1377	1389	1389	1392	1391	1390

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico



**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

<b>N° do ensaio:</b> 04	<b>Ensaio:</b> Determinação dos parâmetros de mistura rápida					
<b>Data ensaio:</b> 04/09/10				<b>Horário início:</b> 18:00h		
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 03/09/2010 / 14:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 26			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,65			<b>Turbidez (NTU):</b> 930			
<b>Temperatura (°C):</b> 25			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1200			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 1000		<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 50		<b>Vs (cm/min):</b> 1		
<b>Tm (s):</b> variável		<b>Tf (min):</b> 10		<b>Ts (s):</b> 7,5		
<b>Reator</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	19	19	19	19	19	19
<b>Tm (s)</b>	5	10	15	30	60	90
<b>pHcoag.</b>	8,48	8,48	8,49	8,46	8,51	8,60
<b>DC (mg/l)**</b>	200	200	200	200	200	200
<b>Turbidez (NTU)</b>	15,3	18,5	26,0	23,3	24,7	25,8
<b>Condutividade (µS/cm a 25°C)</b>	1370	1380	1378	1377	1378	1388

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

N° do ensaio: 05	Ensaio: Determinação dos parâmetros de floculação					
Data ensaio: 05/09/10	Horário início: 08:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,70	Turbidez (NTU): 930					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1265					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): variável			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	19	19	19	19	19	19
Tf (min)	5	10	20	30	40	60
pHcoag.	8,56	8,58	8,61	8,56	8,67	8,48
DC (mg/l)**	200	200	200	200	200	200
Turbidez (NTU)	5,42	6,82	9,97	9,09	15,3	19,7
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1526	1529	1531	1533	1520	1537

N° do ensaio: 06	Ensaio: Determinação dos parâmetros de floculação					
Data ensaio: 05/09/10	Horário início: 10:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,70	Turbidez (NTU): 930					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1265					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): variável			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	19	19	19	19	19	19
Tf (min)	5	10	20	30	40	60
pHcoag.	8,58	8,58	8,57	8,67	8,64	8,62
DC (mg/l)**	200	200	200	200	200	200
Turbidez (NTU)	7,07	7,51	12,7	12,0	14,8	17,4
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1507	1520	1522	1516	1521	1526

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

<b>N° do ensaio:</b> 07	<b>Ensaio:</b> Determinação dos parâmetros de floculação					
<b>Data ensaio:</b> 05/09/10			<b>Horário início:</b> 13:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 03/09/2010 / 14:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 26			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,52			<b>Turbidez (NTU):</b> 910			
<b>Temperatura (°C):</b> 25			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1256			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 75		<b>Vs (cm/min):</b> 1			
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> variável		<b>Ts (s):</b> 7,5			
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	19	19	19	19	19	19
<b>Tf (min)</b>	5	10	20	30	40	60
<b>pHcoag.</b>	8,23	8,24	8,22	8,20	8,20	8,20
<b>DC (mg/l)**</b>	200	200	200	200	200	200
<b>Turbidez (NTU)</b>	15,8	14,4	19,6	20,4	23,6	30,2
<b>Condutividade (µS/cm a 25°C)</b>	1504	1519	1514	1513	1518	1511

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

N° do ensaio: 8	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 05/09/10	Horário início: 15:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,52	Turbidez (NTU): 910					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1256					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 5			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	0	0	0	0	0	0
pHcoag.	3,20	3,02	2,89	2,77	2,73	2,61
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	57,1	30,6	108	207	283	289
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1417	1567	1679	1833	1920	2120

N° do ensaio: 9	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 05/09/10	Horário início: 16:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,52	Turbidez (NTU): 910					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1256					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 5			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	10	10	10	10	10	10
pHcoag.	6,62	6,65	6,41	6,08	5,84	5,62
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	22,3	26,4	22,8	24,6	21,2	17,8
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1292	1344	1377	1408	1450	1476

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

N° do ensaio: 10	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 07/09/10	Horário início: 14:00h					
<i>Coleta da amostra</i>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>						
pH: 3,58	Turbidez (NTU): 955					
Temperatura (°C): 24	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1251					
<i>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</i>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 5			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	13	13	13	13	13	13
pHcoag.	7,93	7,86	7,66	7,36	7,02	6,69
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	18,9	10,2	14,0	9,57	10,2	10,3
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1250	1312	1363	1413	1468	1516

N° do ensaio: 11	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 05/09/10	Horário início: 14:00h					
<i>Coleta da amostra</i>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>						
pH: 3,6	Turbidez (NTU): 917					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1219					
<i>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</i>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 5			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	5	5	5	5	5	5
pHcoag.	5,47	5,23	4,88	4,31	3,75	3,42
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	53,8	32,2	20,7	20,6	22,1	27,7
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1228	1253	1279	1329	1414	1510

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

N° do ensaio: 12	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 07/09/10	Horário início: 16:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,67	Turbidez (NTU): 904					
Temperatura (°C): 24	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1241					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 5			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	16	16	16	16	16	16
pHcoag.	8,44	8,25	8,05	7,70	7,36	7,11
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	12,2	8,29	7,87	7,36	7,36	7,20
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1284	1343	1392	1455	1505	1551

N° do ensaio: 13	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 07/09/10	Horário início: 16:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,67	Turbidez (NTU): 904					
Temperatura (°C): 24	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1241					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 5			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	20	20	20	20	20	20
pHcoag.	9,22	9,08	8,91	8,64	8,39	8,20
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	7,86	5,91	5,60	6,43	7,74	4,57
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1237	1292	1348	1406	1465	1533

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

N° do ensaio: 14	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 07/09/10	Horário início: 17:00h					
<i>Coleta da amostra</i>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>						
pH: 3,64	Turbidez (NTU): 891					
Temperatura (°C): 24	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1325					
<i>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</i>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 5			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	18	18	18	18	18	18
pHcoag.	8,69	8,54	8,30	8,13	7,84	7,50
DC (mg/l)**	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	7,98	6,06	5,75	7,52	4,70	4,42
Condutividade (µS/cm a 25°C)	13,05	13,65	14,22	14,60	15,35	15,91

N° do ensaio: 15	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 07/09/10	Horário início: 19:00h					
<i>Coleta da amostra</i>						
Data/horário da coleta: 03/09/2010 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 26					
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>						
pH: 3,64	Turbidez (NTU): 959					
Temperatura (°C): 24	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1306					
<i>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</i>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): 5			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	13	15	16	18	19	19
pHcoag.	7,98	8,45	8,66	8,97	8,45	8,19
DC (mg/l)**	60	60	60	60	260	320
Turbidez (NTU)	8,71	8,88	9,19	7,55	5,12	4,51
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1269	1262	1257	1258	1426	1487

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

<b>N° do ensaio:</b> 16	<b>Ensaio:</b> Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
<b>Data ensaio:</b> 07/09/10	<b>Horário início:</b> 20:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 03/09/2010 / 14:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 26			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,63			<b>Turbidez (NTU):</b> 919			
<b>Temperatura (°C):</b> 24			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1202			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 25		<b>Vs (cm/min):</b> 1			
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> 5		<b>Ts (s):</b> 7,5			
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	13	15	16	18,5	18,5	18,5
<b>pHcoag.</b>	8,23	8,60	8,81	8,47	8,26	7,97
<b>DC (mg/l)**</b>	40	40	40	200	260	320
<b>Turbidez (NTU)</b>	12,5	10,7	11,4	9,24	5,38	5,72
<b>Condutividade (µS/cm a 25°C)</b>	1203	1200	1202	1350	1407	1455

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico



## **Apêndice D**

**Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300**

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

Nº do ensaio: 01	Ensaio: Determinação do par pHxDC aproximado para determinação dos parâmetros					
Data ensaio: 23/05/2011	Horário início: 14:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,42	Turbidez (NTU): 500					
Temperatura (°C): 24	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1245					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 10	Tf (min): 10			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	8	10	12	8	10	12
pHcoag.	7,43	8,01	8,69	7,44	8,07	8,58
DC (Procytrat 100A + Procytrat 300) (mg/l)	100	100	100	100	100	100
Procytrat 100A na solução (%)**	50	50	50	70	70	70
Procytrat 300 na solução (%)**	50	50	50	30	30	30
Turbidez (NTU)	10,8	12,3	5,67	17,2	6,34	11,3
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1230	1191	1177	1226	1195	1193
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	9	11	13	9	11	13
pHcoag.	7,34	7,71	8,46	7,39	7,82	8,43
DC (Procytrat 100A + Procytrat 300) (mg/l)	200	200	200	200	200	200
Procytrat 100A na solução (%)**	50	50	50	70	70	70
Procytrat 300 na solução (%)**	50	50	50	30	30	30
Turbidez (NTU)	6,89	8,81	8,00	9,65	10,4	10,7
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1259	1238	1233	1278	1251	1220
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	9	11	13	9	11	13
pHcoag.	7,40	7,86	8,39	7,28	7,76	8,22
DC (Procytrat 100A + Procytrat 300) (mg/l)	300	300	300	300	300	300
Procytrat 100A na solução (%)**	50	50	50	70	70	70
Procytrat 300 na solução (%)***	50	50	50	30	30	30
Turbidez (NTU)	7,23	7,52	7,16	6,49	8,53	6,78
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1276	1257	1260	1288	1274	1287

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de Procytrat 100A

\*\*\* Solução 40g/l de Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

N° do ensaio: 02	Ensaio: Determinação dos parâmetros de mistura rápida					
Data ensaio: 24/05/11	Horário início: 14:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,33	Turbidez (NTU): 500					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1325					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 500	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): variável	Tf (min): 10			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	14	14	14	14	14	14
Tm (s)	5	10	15	30	60	90
pHcoag.	8,08	6,38	7,20	7,79	9,34	13,6
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	300	300	300	300	300	300
Turbidez (NTU)	7,12	6,38	7,20	7,79	9,34	13,6
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1289	1293	1293	1294	1294	1294

N° do ensaio: 03	Ensaio: Determinação dos parâmetros de mistura rápida					
Data ensaio: 24/05/11	Horário início: 15:00h					
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,33	Turbidez (NTU): 500					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1325					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): variável	Tf (min): 10			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	14	14	14	14	14	14
Tm (s)	5	10	15	30	60	90
pHcoag.	6,92	6,69	5,45	7,32	8,31	11,6
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	300	300	300	300	300	300
Turbidez (NTU)	6,92	6,69	5,45	7,32	8,31	11,6
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1288	1292	1290	1285	1291	1292

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

<b>N° do ensaio:</b> 04	<b>Ensaio:</b> Determinação dos parâmetros de mistura rápida					
<b>Data ensaio:</b> 24/05/11			<b>Horário início:</b> 16:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 20/05/2011 / 14:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 24			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,33			<b>Turbidez (NTU):</b> 500			
<b>Temperatura (°C):</b> 25			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1325			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 1000		<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 50		<b>Vs (cm/min):</b> 1		
<b>Tm (s):</b> variável		<b>Tf (min):</b> 10		<b>Ts (s):</b> 7,5		
<b>Reator</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	14	14	14	14	14	14
<b>Tm (s)</b>	5	10	15	30	60	90
<b>pHcoag.</b>	8,15	8,23	8,22	8,32	8,17	8,33
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>	300	300	300	300	300	300
<b>Turbidez (NTU)</b>	5,56	6,10	6,98	7,94	9,79	10,50
<b>Condutividade (µS/cm a 25°C)</b>	1280	1284	1292	1290	1294	1294

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

N° do ensaio: 05	Ensaio: Determinação dos parâmetros de floculação					
Data ensaio: 24/05/11	Horário início: 17:00h					
<i>Coleta da amostra</i>						
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24					
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>						
pH: 3,32	Turbidez (NTU): 509					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1300					
<i>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</i>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): variável			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	14	14	14	14	14	14
Tf (min)	5	10	20	30	40	60
pHcoag.	8,04	8,16	8,09	8,13	8,11	-
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	300	300	300	300	300	300
Turbidez (NTU)	4,23	4,28	5,89	8,68	9,87	-
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1278	1278	1275	1279	1282	-

N° do ensaio: 06	Ensaio: Determinação dos parâmetros de floculação					
Data ensaio: 24/09/10	Horário início: 19:00h					
<i>Coleta da amostra</i>						
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24					
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>						
pH: 3,32	Turbidez (NTU): 509					
Temperatura (°C): 25	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1300					
<i>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</i>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 50			Vs (cm/min): 1		
Tm (s): 5	Tf (min): variável			Ts (s): 7,5		
	<b>Reator</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	14	14	14	14	14	14
Tf (min)	5	10	20	30	40	60
pHcoag.	8,08	8,06	8,04	8,08	8,05	8,12
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	300	300	300	300	300	300
Turbidez (NTU)	2,83	6,06	8,20	5,61	12,7	14,6
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1261	1267	1257	1265	1257	1267

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A + Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

<b>N° do ensaio:</b> 07	<b>Ensaio:</b> Determinação dos parâmetros de floculação					
<b>Data ensaio:</b> 24/05/11			<b>Horário início:</b> 21:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 20/05/2011 / 14:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 24			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,32			<b>Turbidez (NTU):</b> 509			
<b>Temperatura (°C):</b> 25			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1300			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800		<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 75		<b>Vs (cm/min):</b> 1		
<b>Tm (s):</b> 5		<b>Tf (min):</b> variável		<b>Ts (s):</b> 7,5		
<b>Reator</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	14	14	14	14	14	14
<b>Tf (min)</b>	5	10	20	30	40	60
<b>pHcoag.</b>	8,09	8,18	8,21	8,21	8,22	8,24
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>	300	300	300	300	300	300
<b>Turbidez (NTU)</b>	4,17	7,74	7,96	9,33	13,7	14,9
<b>Condutividade (µS/cm a 25°C)</b>	1255	1251	1252	1243	1249	1248

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação

*Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300*

N° do ensaio: 8	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
Data ensaio: 25/05/11	Horário início: 14:00h							
<i>Coleta da amostra</i>								
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24							
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>								
pH: 3,33	Turbidez (NTU): 490							
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1290							
<i>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</i>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25				Vs (cm/min): 1			
Tm (s): 5	Tf (min): 5				Ts (s): 7,5			
	<b>Reator</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	0	0	0	0	0	0	0	0
pHcoag.	3,32	3,31	3,32	3,43	3,46	3,48	3,43	3,44
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	40	60	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	57,5	29,1	26,5	24,4	37,3	41,9	38,6	29,5
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1281	1280	1290	1277	1290	1303	1338	1317

N° do ensaio: 9	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
Data ensaio: 25/05/11	Horário início: 16:00h							
<i>Coleta da amostra</i>								
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24							
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>								
pH: 3,33	Turbidez (NTU): 490							
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1290							
<i>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</i>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gm (s <sup>-1</sup> ): 800				Gm (s <sup>-1</sup> ): 800			
Tm (s): 5	Tm (s): 5				Tm (s): 5			
	<b>Reator</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	5	5	5	5	5	5	5	5
pHcoag.	6,40	6,31	6,22	6,15	5,98	5,78	5,70	5,54
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	40	60	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	51,9	36,7	28,6	22,0	18,2	16,8	13,6	12,2
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1178	1182	1185	1196	1207	1225	1241	1251

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

N° do ensaio: 10	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
Data ensaio: 25/05/11	Horário início: 18:00h							
<b>Coleta da amostra</b>								
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24							
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
pH: 3,33	Turbidez (NTU): 500							
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1281							
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25				Vs (cm/min): 1			
Tm (s): 5	Tf (min): 5				Ts (s): 7,5			
	<b>Reator</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	8	8	8	8	8	8	8	8
pHcoag.	7,12	7,09	7,08	7,01	6,90	6,81	6,64	6,51
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	40	60	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	13,1	11,9	11,2	10,5	7,87	6,56	4,31	6,50
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1217	1224	1228	1242	1258	1276	1284	1294

N° do ensaio: 11	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
Data ensaio: 25/05/11	Horário início: 20:00h							
<b>Coleta da amostra</b>								
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24							
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
pH: 3,33	Turbidez (NTU): 500							
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1281							
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25				Vs (cm/min): 1			
Tm (s): 5	Tf (min): 5				Ts (s): 7,5			
	<b>Reator</b>							
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	10	10	10	10	10	10	10	10
pHcoag.	7,64	7,65	7,57	7,53	7,45	7,34	7,30	7,17
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	40	60	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	9,37	9,63	9,42	9,11	6,71	7,37	4,67	3,62
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1160	1166	1178	1199	1221	1245	1257	1273

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300



## Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação

**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

Nº do ensaio: 12	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
Data ensaio: 26/05/11	Horário início: 10:00h							
<b>Coleta da amostra</b>								
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24							
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
pH: 3,33	Turbidez (NTU): 500							
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1281							
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25				Vs (cm/min): 1			
Tm (s): 5	Tf (min): 5				Ts (s): 7,5			
	<b>Reator</b>							
	1	2	3	4	5	6	1	2
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	12	12	12	12	12	12	12	12
pHcoag.	8,17	8,19	8,15	8,01	7,91	7,68	7,65	7,57
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	40	60	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	7,50	5,11	5,41	4,73	4,32	4,35	4,01	2,73
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1182	1194	1203	1227	1253	1279	1291	1314

Nº do ensaio: 13	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
Data ensaio: 26/05/11	Horário início: 14:00h							
<b>Coleta da amostra</b>								
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24							
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
pH: 3,33	Turbidez (NTU): 500							
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1281							
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gm (s <sup>-1</sup> ): 800				Gm (s <sup>-1</sup> ): 800			
Tm (s): 5	Tm (s): 5				Tm (s): 5			
	<b>Reator</b>							
	1	2	3	4	5	6	1	2
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	13	13	13	13	13	13	13	13
pHcoag.	8,60	8,62	8,61	8,48	8,37	8,22	8,08	7,97
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	40	60	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	4,14	4,63	4,92	3,90	4,19	3,49	2,62	2,77
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1153	1156	1163	1191	1217	1238	1254	1275

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Sedimentação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

N° do ensaio: 14	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
Data ensaio: 26/05/11	Horário início: 16:00h							
<b>Coleta da amostra</b>								
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24							
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
pH: 3,33	Turbidez (NTU): 500							
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1281							
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1				
Tm (s): 5	Tf (min): 5			Ts (s): 7,5				
	<b>Reator</b>							
	1	2	3	4	5	6	1	2
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	15	15	15	15	15	15	15	15
pHcoag.	8,89	8,89	8,82	8,73	8,66	8,58	8,53	8,44
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**)	40	60	80	140	200	260	320	380
Turbidez (NTU)	2,53	1,82	2,52	2,54	1,89	2,57	2,06	2,49
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1204	1205	1218	1243	1264	1288	1308	1335

N° do ensaio: 15	Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
Data ensaio: 26/05/11	Horário início: 18:00h							
<b>Coleta da amostra</b>								
Data/horário da coleta: 20/05/2011 / 14:00h	Temperatura da amostra na coleta (°C): 24							
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
pH: 3,35	Turbidez (NTU): 508							
Temperatura (°C): 23	Condutividade (µS/cm a 25°C): 1300							
<b>Parâmetros de mistura, floculação e sedimentação</b>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25			Vs (cm/min): 1				
Tm (s): 5	Tf (min): 5			Ts (s): 7,5				
	<b>Reator</b>							
	1	2	3	4	5	6	1	2
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	17	17	17					
pHcoag.	8,79	8,71	8,62					
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**)	260	320	380					
Turbidez (NTU)	1,95	1,22	1,77					
Condutividade (µS/cm a 25°C)	1265	1289	1321					

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

## **Apêndice E**

**Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante aluminato de sódio**

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação

*Coagulante: Aluminato de Sódio*

N° do ensaio: 01 a 12		Ensaio: Determinação do par pHxDC aproximado para determinação dos parâmetros						
Data ensaio: 30/10/2010			Horário início: 8:00h					
<i>Coleta da amostra</i>								
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 27					
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>								
pH: 3,4			Turbidez (NTU): 640					
Temperatura (°C): 23			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1240					
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 80	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5			
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tflot1 (min): 3,5	Tflot2 (min): 7		Tsat (min): 10			
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	0	0		0	0	0	0	0
pHcoag	3,50	3,91		4,75	5,07	5,19	6,03	6,83
DC (mg/l)**	0	20		60	80	100	200	300
Turbidez (NTU) – Vf1	429	461		248	260	203	640	592
Turbidez (NTU) – Vf2	339	330		97	94	92	288	156
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	1	1						
pHcoag	4,96	5,71						
DC (mg/l)**	20	100						
Turbidez (NTU) – Vf1	174	461						
Turbidez (NTU) – Vf2	90	147						
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	2	2	2	2		2	2	2
pHcoag	5,05	5,47	5,68	5,85		6,18	6,85	7,62
DC (mg/l)**	0	20	40	60		100	200	300
Turbidez (NTU) – Vf1	477	124	261	496		515	650	762
Turbidez (NTU) – Vf2	394	90	107	204		126	410	368
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	5	5		5		5	5	5
pHcoag	6,62	6,77		7,02		7,29	8,07	8,89
DC (mg/l)**	0	20		60		100	200	300
Turbidez (NTU) – Vf1	256	169		-		995	723	701
Turbidez (NTU) – Vf2	169	129		265		277	217	266

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Aluminato de Sódio**

<b>N° do ensaio:</b> 13 a 16		<b>Ensaio:</b> Determinação do par pHxDC aproximado para determinação dos parâmetros						
<b>Data ensaio:</b> 30/10/2010				<b>Horário início:</b> 14:00h				
<b>Coleta da amostra</b>								
<b>Data/horário da coleta:</b> 29/10/2010 / 16:00h				<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 27				
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
<b>pH:</b> 3,4				<b>Turbidez (NTU):</b> 640				
<b>Temperatura (°C):</b> 23				<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1240				
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>								
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 80	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 50		<b>Psat (bar):</b> 5		
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> 10	<b>Tf1 (min):</b> 3,5	<b>Tf2 (min):</b> 7			<b>Tsat (min):</b> 10		
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	10	10	10	10	10	15	15	15
<b>PHcoag</b>	8,15	8,47	8,67	8,87	9,08	9,48	9,56	9,69
<b>DC (mg/l)**</b>	0	60	100	200	300	20	60	100
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>	938	778	1411	1194	1366	1366	1491	1382
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>	220	118	143	691	381	147	272	150

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

<b>Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação</b>						
<b>Coagulante: Aluminato de Sódio</b>						
N° do ensaio: 17 a 19		Ensaio Determinação dos parâmetros de floculação				
Data ensaio: 31/10/2010			Horário início: 9:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 27			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,52			Turbidez (NTU): 615			
Temperatura (°C): 26			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1213			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 40	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5	
Tm (s): 5	Tf (min): variável	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7		Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>						
		1	2	1	2	1
		2	2	2	2	2
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		2	2	2	2	2
Tf (min)		5	10	15	20	30
pHcoag		5,63	5,59	5,59	5,60	5,60
DC (mg/l)**		20	20	20	20	20
Turbidez (NTU) – Vf1		142	151	136	149	127
Turbidez (NTU) – Vf2		93	86	88	104	87
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1437	1452	1421	1450	1454
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1411	1406	1394	1386	1411

N° do ensaio: 20 a 22		Ensaio Determinação dos parâmetros de floculação				
Data ensaio: 31/10/2010			Horário início: 10:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 27			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,52			Turbidez (NTU): 615			
Temperatura (°C): 26			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1213			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5	
Tm (s): 5	Tf (min): variável	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7		Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>						
		1	2	1	2	1
		2	2	2	2	2
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		2	2	2	2	2
Tf (min)		5	10	15	20	30
pHcoag		5,60	5,60	5,65	5,60	5,63
DC (mg/l)**		20	20	20	20	20
Turbidez (NTU) – Vf1		128	138	121	171	127
Turbidez (NTU) – Vf2		83	80	88	85	91
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1425	1429	1454	1448	1506
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1398	1396	1423	1398	1408

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Aluminato de Sódio**

N° do ensaio: 23 a 25		Ensaio Determinação dos parâmetros de floculação				
Data ensaio: 31/10/2010			Horário início: 14:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 27			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,52			Turbidez (NTU): 615			
Temperatura (°C): 26			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1213			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 80	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5	
Tm (s): 5	Tf (min): variável	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7		Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>						
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		2	2	2	2	
Tf (min)		5	10	15	20	
pHcoag		5,60	5,60	5,65	5,60	
DC (mg/l)**		20	20	20	20	
Turbidez (NTU) – Vf1		114	92	83	92	
Turbidez (NTU) – Vf2		214	142	125	133	
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1435	1439	1450	1454	
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1346	1419	1435	1444	

N° do ensaio: 26 a 28		Ensaio Determinação dos parâmetros de floculação				
Data ensaio: 31/10/2010			Horário início: 16:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 27			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
pH: 3,52			Turbidez (NTU): 615			
Temperatura (°C): 26			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1213			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 100	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5	
Tm (s): 5	Tf (min): variável	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7		Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>						
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		2	2	2	2	
Tf (min)		5	10	15	20	
pHcoag		5,62	5,55	5,50	5,60	
DC (mg/l)**		20	20	20	20	
Turbidez (NTU) – Vf1		123	169	150	158	
Turbidez (NTU) – Vf2		100	92	79	72	
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1458	1429	1427	1433	
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1419	1398	1396	1384	

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação

*Coagulante: Aluminato de Sódio*

N° do ensaio: 29 a 31		Ensaio: Determinação da taxa de recirculação				
Data ensaio: 31/10/2010			Horário início: 18:00h			
<i>Coleta da amostra</i>						
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 27			
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>						
pH: 3,52			Turbidez (NTU): 615			
Temperatura (°C): 26			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1213			
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): variável	Psat (bar): 5	
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tflot1 (min): 3,5	Tflot2 (min): 7		Tsat (min): 10	
		<b>Reator</b>				
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		2	2	2	2	
R (%)		20	30	40	50	
pHcoag		5,23	5,24	5,25	5,25	
DC (mg/l)**		20	20	20	20	
Turbidez (NTU) – Vf1		209	115	140	100	
Turbidez (NTU) – Vf2		106	72	83	75	
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1148	1216	1282	1342	
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1125	1203	1258	1328	

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio



**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Aluminato de Sódio**

N° do ensaio: 32 a 35		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação						
Data ensaio: 02/11/2010				Horário início: 8:00h				
<b>Coleta da amostra</b>								
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h				Temperatura da amostra na coleta (°C): 27				
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
pH: 3,33				Turbidez (NTU): 640				
Temperatura (°C): 22				Condutividade (µS/cm a 25°C): 1201				
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5			
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7					Tsat (min): 10
<b>Reator</b>								
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		0	0	0	0	0	0	0
pHcoag		3,48	3,69	4,08	4,45	5,00	5,85	6,32
DC (mg/l)**		0	20	40	60	100	200	260
Turbidez (NTU) – Vf1		-	-	99	58	500	632	510
Turbidez (NTU) – Vf2		300	274	71	30	119	150	192
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		-	-	1272	1296	1308	1314	1324
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1266	1270	1266	1262	1290	1308	1312

N° do ensaio: 36 a 39		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação						
Data ensaio: 02/11/2010				Horário início: 10:00h				
<b>Coleta da amostra</b>								
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h				Temperatura da amostra na coleta (°C): 27				
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
pH: 3,33				Turbidez (NTU): 640				
Temperatura (°C): 22				Condutividade (µS/cm a 25°C): 1201				
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5			
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7					Tsat (min): 10
<b>Reator</b>								
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		1	1	1	1	1	1	1
pHcoag		3,80	4,43	4,91	5,15	5,45	6,27	6,71
DC (mg/l)**		0	20	40	60	100	200	260
Turbidez (NTU) – Vf1		306	242	137	140	214	328	516
Turbidez (NTU) – Vf2		332	234	76	63	97	133	218
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1304	1310	1320	1336	1338	1376	1320
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1306	1306	1312	1326	1320	1350	1316

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação

*Coagulante: Aluminato de Sódio*

N° do ensaio: 40 a 43		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 02/11/2010			Horário início: 14:00h				
<i>Coleta da amostra</i>							
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 27				
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>							
pH: 3,33			Turbidez (NTU): 640				
Temperatura (°C): 22			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1201				
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>							
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tflot1 (min): 3,5	Tflot2 (min): 7			Tsatsat (min): 10	
<b>Reator</b>							
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		2	2	2	2	2	2
pHcoag		4,80	5,24	5,45	5,63	5,92	6,62
DC (mg/l)**		0	20	40	60	100	200
Turbidez (NTU) – Vf1		324	115	136	119	362	468
Turbidez (NTU) – Vf2		288	72	72	67	125	118
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1352	1388	1376	1360	1344	1340
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1344	1362	1350	1344	1342	1336

N° do ensaio: 44 a 47		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 02/11/2010			Horário início: 16:00h				
<i>Coleta da amostra</i>							
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 27				
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>							
pH: 3,33			Turbidez (NTU): 629				
Temperatura (°C): 22			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1249				
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>							
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tflot1 (min): 3,5	Tflot2 (min): 7			Tsatsat (min): 10	
<b>Reator</b>							
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		3	3	3	3	3	3
pHcoag		5,44	5,67	5,78	5,96	6,23	6,77
DC (mg/l)**		0	20	40	60	100	200
Turbidez (NTU) – Vf1		262	119	242	222	430	496
Turbidez (NTU) – Vf2		224	70	96	82	108	126
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1428	1446	1448	1490	1436	1390
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1416	1416	1424	1422	1412	1408

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Aluminato de Sódio**

N° do ensaio: 48 a 51		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação						
Data ensaio: 02/11/2010				Horário início: 18:00h				
<b>Coleta da amostra</b>								
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h				Temperatura da amostra na coleta (°C): 27				
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
pH: 3,33				Turbidez (NTU): 629				
Temperatura (°C): 22				Condutividade (µS/cm a 25°C): 1249				
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5			
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7					Tsat (min): 10
<b>Reator</b>								
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		5	5	5	5	5	5	5
pHcoag		6,34	6,50	6,59	6,68	6,89	7,53	8,37
DC (mg/l)**		0	20	40	60	100	200	360
Turbidez (NTU) – Vf1		128	320	772	774	432	472	758
Turbidez (NTU) – Vf2		78	79	200	258	111	97	502
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1496	1486	1436	1404	1488	1472	1404
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1450	1450	1428	1396	1458	1460	1392

N° do ensaio: 52 a 55		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação						
Data ensaio: 02/11/2010				Horário início: 20:00h				
<b>Coleta da amostra</b>								
Data/horário da coleta: 29/10/2010 / 16:00h				Temperatura da amostra na coleta (°C): 27				
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
pH: 3,40				Turbidez (NTU): 635				
Temperatura (°C): 22				Condutividade (µS/cm a 25°C): 1248				
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5			
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7					Tsat (min): 10
<b>Reator</b>								
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		12	12	12	12	12	12	12
pHcoag		8,57	8,60	8,62	8,65	8,66	8,86	9,06
DC (mg/l)**		0	20	40	60	100	200	360
Turbidez (NTU) – Vf1		522	1236	1038	1226	1304	1516	1606
Turbidez (NTU) – Vf2		65	208	428	136	45	24	27
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1402	1412	1398	1394	1376	1392	1412
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1386	1400	1388	1366	1370	1384	1412

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação

*Coagulante: Aluminato de Sódio*

<b>Nº do ensaio:</b> 56 a 59		<b>Ensaio:</b> Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
<b>Data ensaio:</b> 02/11/2010			<b>Horário início:</b> 22:00h						
<b>Coleta da amostra</b>									
<b>Data/horário da coleta:</b> 29/10/2010 / 16:00h				<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 27					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>									
<b>pH:</b> 3,33			<b>Turbidez (NTU):</b> 629						
<b>Temperatura (°C):</b> 22			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1249						
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>									
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 60	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 50	<b>Psat (bar):</b> 5				
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> 10	<b>Tflot1 (min):</b> 3,5	<b>Tflot2 (min):</b> 7				<b>Tsat (min):</b> 10		
<b>Reator</b>									
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>		
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>		10	10	10	10	10	10		
<b>pH<sub>coag</sub></b>		7,86	7,96	8,06	8,11	8,30	8,58	8,71	8,87
<b>DC (mg/l)**</b>		0	20	40	60	100	200	260	360
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>		854	1056	896	818	906	1192	1070	1118
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>		107	472	886	908	792	746	696	702
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1</b>		1442	1462	1406	1400	1386	1380	1378	1390
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2</b>		1438	1432	1400	1394	1386	1370	1368	1382

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de aluminato de sódio

## **Apêndice F**

**Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante cloreto férrico**

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação

*Coagulante: Cloreto Férrico*

N° do ensaio: 01 a 06		Ensaio: Determinação do par pHxDC aproximado para determinação dos parâmetros				
Data ensaio: 09/10/2010			Horário início: 8:00h			
<i>Coleta da amostra</i>						
Data/horário da coleta: 08/10/2010 / 15:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 26			
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>						
pH: 3,67			Turbidez (NTU): 696			
Temperatura (°C): 23			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1290			
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 80	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 30	Psat (bar): 5	
Tm (s): 5	Tf (min): 5	Tflot1 (min): 3,5	Tflot2 (min): 7		Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	0	0	0	0	0	0
pHcoag	3,7	3,51	3,40	3,11	2,88	2,69
DC (mg/l)**	0	20	40	100	200	300
Turbidez (NTU) – Vf1	196	197	240	817	583	277
Turbidez (NTU) – Vf2	159	117	84	366	480	59
<b>Reator</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	2	2	2	2	2	2
pHcoag	4,98	4,87	4,72	4,09	3,31	2,96
DC (mg/l)**	0	20	40	100	200	300
Turbidez (NTU) – Vf1	94	79	118	949	663	774
Turbidez (NTU) – Vf2	94	61	66	327	606	119

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

<b>Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação</b>						
<b>Coagulante: Cloreto Férrico</b>						
<b>N° do ensaio:</b> 07 a 11		<b>Ensaio:</b> Determinação do par pHxDC aproximado para determinação dos parâmetros				
<b>Data ensaio:</b> 09/10/2010			<b>Horário início:</b> 11:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 08/10/2010 / 15:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 26			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,65			<b>Turbidez (NTU):</b> 734			
<b>Temperatura (°C):</b> 23			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1295			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 80	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 30	<b>Psat (bar):</b> 5	
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> 5	<b>Tflot1 (min):</b> 3,5	<b>Tflot2 (min):</b> 7		<b>Tsat (min):</b> 10	
<b>Reator</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	5	5	5	5	5	5
<b>pHcoag</b>	6,07	5,97	5,79	5,46	4,98	4,05
<b>DC (mg/l)**</b>	0	20	40	100	200	300
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>	450	619	596	787	843	729
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>	276	304	271	207	677	594
<b>Reator</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	3	3				
<b>pHcoag</b>	5,25	5,17				
<b>DC (mg/l)**</b>	20	40				
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>	133	136				
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>	78	67				
<b>N° do ensaio:</b> 12		<b>Ensaio:</b> Determinação do par pHxDC aproximado para determinação dos parâmetros				
<b>Data ensaio:</b> 09/10/2010			<b>Horário início:</b> 13:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 08/10/2010 / 15:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 26			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,65			<b>Turbidez (NTU):</b> 739			
<b>Temperatura (°C):</b> 23			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1292			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 80	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 50	<b>Psat (bar):</b> 5	
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> 5	<b>Tflot1 (min):</b> 3,5	<b>Tflot2 (min):</b> 7		<b>Tsat (min):</b> 10	
<b>Reator</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	2	2				
<b>pHcoag</b>	4,85	4,72				
<b>DC (mg/l)**</b>	20	40				
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>	46	41				
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>	44	38				

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação

*Coagulante: Cloreto Férrico*

N° do ensaio: 13		Ensaio Determinação dos parâmetros de floculação			
Data ensaio: 10/10/2010		Horário início: 9:00h			
<i>Coleta da amostra</i>					
Data/horário da coleta: 08/10/2010 / 15:00h		Temperatura da amostra na coleta (°C): 26			
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>					
pH: 3,78		Turbidez (NTU): 686			
Temperatura (°C): 23		Condutividade (µS/cm a 25°C): 1250			
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>					
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 25	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5
Tm (s): 5	Tf (min): variável	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7		Tsat (min): 10
<b>Reator</b>					
		1	2	1	2
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		2	2		
Tf (min)		10	20		
pHcoag		4,90	4,89		
DC (mg/l)**		40	40		
Turbidez (NTU) – Vf1		41	52		
Turbidez (NTU) – Vf2		35	43		
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1482	1482		
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1462	1472		

N° do ensaio: 14 a 16		Ensaio Determinação dos parâmetros de floculação			
Data ensaio: 10/10/2010		Horário início: 11:00h			
<i>Coleta da amostra</i>					
Data/horário da coleta: 08/10/2010 / 15:00h		Temperatura da amostra na coleta (°C): 26			
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>					
pH: 3,78		Turbidez (NTU): 686			
Temperatura (°C): 23		Condutividade (µS/cm a 25°C): 1250			
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>					
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 40	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5
Tm (s): 5	Tf (min): variável	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7		Tsat (min): 10
<b>Reator</b>					
		1	2	1	2
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		2	2	2	
Tf (min)		5	10	15	20
pHcoag		4,75	4,71	4,73	4,75
DC (mg/l)**		40	40	40	40
Turbidez (NTU) – Vf1		49	39	42	39
Turbidez (NTU) – Vf2		40	34	35	34
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1484	1486	1482	1496
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1480	1480	1478	1476

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico



<b>Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação</b>						
<b>Coagulante: Cloreto Férrico</b>						
<b>N° do ensaio:</b> 17		<b>Ensaio</b> Determinação dos parâmetros de floculação				
<b>Data ensaio:</b> 10/10/2010			<b>Horário início:</b> 15:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 08/10/2010 / 15:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 26			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,78			<b>Turbidez (NTU):</b> 686			
<b>Temperatura (°C):</b> 23			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1250			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 60	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 50	<b>Psat (bar):</b> 5	
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> variável	<b>Tf1 (min):</b> 3,5	<b>Tf2 (min):</b> 7		<b>Tsat (min):</b> 10	
	<b>Reator</b>					
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>		2	2	2	2	2
<b>Tf (min)</b>		10	20			
<b>pHcoag</b>		4,90	4,91			
<b>DC (mg/l)**</b>		40	40			
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>		52	46			
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>		38	38			
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1</b>		1468	1478			
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2</b>		1424	1478			
<b>N° do ensaio:</b> 18 a 20						
<b>Ensaio</b> Determinação dos parâmetros de floculação						
<b>Data ensaio:</b> 10/10/2010			<b>Horário início:</b> 16:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 08/10/2010 / 15:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 26			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,78			<b>Turbidez (NTU):</b> 686			
<b>Temperatura (°C):</b> 23			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1250			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 80	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 50	<b>Psat (bar):</b> 5	
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> variável	<b>Tf1 (min):</b> 3,5	<b>Tf2 (min):</b> 7		<b>Tsat (min):</b> 10	
	<b>Reator</b>					
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>		2	2	2	2	2
<b>Tf (min)</b>		5	10	15	20	30
<b>pHcoag</b>		4,77	4,87	4,88	4,80	4,88
<b>DC (mg/l)**</b>		40	40	40	40	40
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>		39	53	45	40	49
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>		36	38	36	37	35
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1</b>		1596	1598	1590	1572	1564
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2</b>		1576	1574	1566	1562	1562

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação

*Coagulante: Cloreto Férrico*

N° do ensaio: 21 a 23		Ensaio Determinação dos parâmetros de floculação				
Data ensaio: 10/10/2010			Horário início: 17:00h			
<i>Coleta da amostra</i>						
Data/horário da coleta: 08/10/2010 / 15:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 26			
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>						
pH: 3,78			Turbidez (NTU): 686			
Temperatura (°C): 23			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1250			
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 100	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5	
Tm (s): 5	Tf (min): variável	Tflot1 (min): 3,5	Tflot2 (min): 7		Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>						
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		2	2	2	2	
Tf (min)		5	10	15	20	
pHcoag		4,87	4,87	4,80	4,88	
DC (mg/l)**		40	40	40	40	
Turbidez (NTU) – Vf1		32	39	47	41	
Turbidez (NTU) – Vf2		29	31	34	32	
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1514	1534	1546	1520	
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1510	1526	1538	1520	

N° do ensaio: 24 a 27		Ensaio Determinação dos parâmetros de floculação				
Data ensaio: 10/10/2010			Horário início: 18:00h			
<i>Coleta da amostra</i>						
Data/horário da coleta: 08/10/2010 / 15:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 26			
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>						
pH: 3,78			Turbidez (NTU): 686			
Temperatura (°C): 23			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1250			
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>						
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 120	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5	
Tm (s): 5	Tf (min): variável	Tflot1 (min): 3,5	Tflot2 (min): 7		Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>						
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		2	2	2	2	
Tf (min)		5	10	15	20	
pHcoag		4,89	4,88	4,88	4,88	
DC (mg/l)**		40	40	40	40	
Turbidez (NTU) – Vf1		78	41	69	46	
Turbidez (NTU) – Vf2		36	34	38	36	
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1518	1494	1500	1522	
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1500	1492	1496	1490	

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

<b>N° do ensaio:</b> 28 a 30		<b>Ensaio</b> Determinação da taxa de recirculação				
<b>Data ensaio:</b> 11/10/2010			<b>Horário início:</b> 9:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 08/10/2010 / 15:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 26			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,58			<b>Turbidez (NTU):</b> 690			
<b>Temperatura (°C):</b> 23			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1296			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 100	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> variável	<b>Psat (bar):</b> 5	
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> 10	<b>Tf1 (min):</b> 3,5	<b>Tf2 (min):</b> 7		<b>Tsat (min):</b> 10	
<b>Reator</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	2	2	2	2	2	
<b>R (%)</b>	10	20	30	50	70	
<b>pHcoag</b>	4,61	4,58	4,60	4,60	4,59	
<b>DC (mg/l)**</b>	40	40	40	40	40	
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>	469	514	160	41	38	
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>	192	289	73	36	36	
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1</b>	1307	1368	1439	1586	1893	
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2</b>	1307	1344	1406	1578	1863	

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação

*Coagulante: Cloreto Férrico*

N° do ensaio: 30 a 34		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 12/10/2010			Horário início: 8:00h				
<i>Coleta da amostra</i>							
Data/horário da coleta: 08/10/2010 / 15:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 26				
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>							
pH: 3,57			Turbidez (NTU): 645				
Temperatura (°C): 23			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1263				
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>							
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 100	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tflot1 (min): 3,5	Tflot2 (min): 7				Tsat (min): 10
<b>Reator</b>							
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		0	0	0	0	0	0
pHcoag		3,53	3,43	3,33	3,20	3,13	2,89
DC (mg/l)**		0	20	40	60	100	200
Turbidez (NTU) – Vf1		140	106	47	76	716	658
Turbidez (NTU) – Vf2		121	83	29	23	464	129
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1504	1498	1478	1522	1596	1836
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1378	1452	1440	1494	1558	1742

N° do ensaio: 35 a 38		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 12/10/2010			Horário início: 10:00h				
<i>Coleta da amostra</i>							
Data/horário da coleta: 08/10/2010 / 15:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 26				
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>							
pH: 3,53			Turbidez (NTU): 682				
Temperatura (°C): 23			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1299				
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>							
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 100	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tflot1 (min): 3,5	Tflot2 (min): 7				Tsat (min): 10
<b>Reator</b>							
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		1	1	1	1	1	1
pHcoag		4,32	4,01	3,82	3,60	3,35	2,96
DC (mg/l)**		0	20	40	60	100	200
Turbidez (NTU) – Vf1		110	87	74	70	780	932
Turbidez (NTU) – Vf2		111	82	55	32	426	364
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1598	1616	1620	1628	1632	1846
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1562	1616	1574	1628	1582	1750

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Cloreto Férrico**

N° do ensaio: 39 a 42		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 12/10/2010			Horário início: 14:00h				
<i>Coleta da amostra</i>							
Data/horário da coleta: 08/10/2010 / 15:00h				Temperatura da amostra na coleta (°C): 26			
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>							
pH: 3,53			Turbidez (NTU): 682				
Temperatura (°C): 23			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1299				
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>							
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 100	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50		Psat (bar): 5	
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7			Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>							
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		2	2	2	2	2	2
pHcoag		4,90	4,75	4,61	4,41	3,89	3,21
DC (mg/l)**		0	20	40	60	100	200
Turbidez (NTU) – Vf1		63	41	37	40	143	700
Turbidez (NTU) – Vf2		62	37	30	29	37	424
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1610	1618	1604	1598	1628	1722
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1572	1590	1592	1596	1600	1614

N° do ensaio: 42 a 45		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 12/10/2010			Horário início: 16:00h				
<i>Coleta da amostra</i>							
Data/horário da coleta: 08/10/2010 / 15:00h				Temperatura da amostra na coleta (°C): 26			
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>							
pH: 3,64			Turbidez (NTU): 686				
Temperatura (°C): 23			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1308				
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>							
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 100	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50		Psat (bar): 5	
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7			Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>							
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		3	3	3	3	3	2
pHcoag		5,38	5,30	5,16	5,01	4,80	3,70
DC (mg/l)**		0	20	40	60	100	200
Turbidez (NTU) – Vf1		37	39	65	108	590	854
Turbidez (NTU) – Vf2		37	31	32	38	87	658
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1574	1604	1596	1604	1608	1712
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1560	1594	1590	1594	1600	1710

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

## Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação

*Coagulante: Cloreto Férrico*

N° do ensaio: 46 a 49		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 12/10/2010			Horário início: 20:00h				
<i>Coleta da amostra</i>							
Data/horário da coleta: 08/10/2010 / 15:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 26				
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>							
pH: 3,64			Turbidez (NTU): 686				
Temperatura (°C): 23			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1308				
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>							
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 100	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7			Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>							
		1	2	1	2	1	2
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		5	5	5	5	5	5
pHcoag		6,06	5,93	5,75	5,66	5,43	4,96
DC (mg/l)**		0	20	40	60	100	200
Turbidez (NTU) – Vf1		198	760	800	646	746	886
Turbidez (NTU) – Vf2		55	162	89	75	122	131
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1622	1636	1620	1636	1652	1708
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1608	1630	1614	1636	1640	1698

N° do ensaio: 50 a 53		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação					
Data ensaio: 12/10/2010			Horário início: 22:00h				
<i>Coleta da amostra</i>							
Data/horário da coleta: 08/10/2010 / 15:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 26				
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>							
pH: 3,64			Turbidez (NTU): 686				
Temperatura (°C): 23			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1308				
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>							
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 100	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 50	Psat (bar): 5		
Tm (s): 5	Tf (min): 10	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7			Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>							
		1	2	1	2	1	2
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		10	10	10	10		15
pHcoag		7,44	7,33	7,26	7,18		8,48
DC (mg/l)**		0	20	40	60		0
Turbidez (NTU) – Vf1		264	804	1034	1012		583
Turbidez (NTU) – Vf2		57	154	58	52		152
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1668	1702	1696	1706		813
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1644	1690	1676	1686		1580

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Solução 40g/l de cloreto férrico

## **Apêndice G**

**Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-flotação para o coagulante Procytrat 100A + Procytrat 300**

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

<b>N° do ensaio:</b> 01 a 13		<b>Ensaio:</b> Determinação do par pHxDC aproximado para determinação dos parâmetros						
<b>Data ensaio:</b> 23/06/2011				<b>Horário início:</b> 8:00h				
<b>Coleta da amostra</b>								
<b>Data/horário da coleta:</b> 22/06/2011 / 16:00h				<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23				
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
<b>pH:</b> 3,33				<b>Turbidez (NTU):</b> 438				
<b>Temperatura (°C):</b> 22				<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1286				
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>								
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 60	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 50	<b>Psat (bar):</b> 5			
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> 10	<b>Tf1 (min):</b> 3,5	<b>Tf2 (min):</b> 7		<b>Tsat (min):</b> 10			
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>pHcoag</b>	3,33	3,32	3,37	3,40	3,41	3,46	3,46	3,46
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>	0	20	40	60	100	200	260	360
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>	128	44	16	10	10	22	77	26
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>	-	32	10	9	9	18	14	11
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	1	1	1	1				
<b>pHcoag</b>	3,86	3,90	3,92	3,90				
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>	40	60	100	200				
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>	17	14	11	18				
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>	-	12	10	14				
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	2	2	2	2	2	2	2	2
<b>pHcoag</b>	4,86	4,83	4,78	4,74	4,66	4,23	4,05	3,85
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>	0	20	40	60	100	200	260	360
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>	42	25	19	15	12	9	292	704
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>	39	22	15	13	10	8	59	390
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	5	5	5	5	5	5		
<b>pHcoag</b>	6,36	6,33	6,30	6,25	6,17	5,73		
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>	0	20	40	60	100	260		
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>	143	65	113	109	466	1048		
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>	74	33	46	28	79	280		

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300



**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

<b>N° do ensaio:</b> 14 a 16		<b>Ensaio</b> Determinação dos parâmetros de floculação			
<b>Data ensaio:</b> 24/06/2011			<b>Horário início:</b> 8:00h		
<b>Coleta da amostra</b>					
<b>Data/horário da coleta:</b> 22/06/2011 / 16:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23		
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>					
<b>pH:</b> 3,34			<b>Turbidez (NTU):</b> 450		
<b>Temperatura (°C):</b> 22			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1210		
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>					
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 40	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 50	<b>Psat (bar):</b> 5
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> variável	<b>Tf1 (min):</b> 3,5	<b>Tf2 (min):</b> 7		<b>Tsat (min):</b> 10
<b>Reator</b>					
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>		1	1	1	1
<b>Tf (min)</b>		5	10	15	20
<b>pHcoag</b>		3,90	3,90	3,88	3,90
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>		100	100	100	100
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>		16,5	17,1	15,3	15,7
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>		15,1	14,9	13,3	13,7
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1</b>		1298	1296	1298	1314
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2</b>		1332	1326	1334	1324

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

<b>N° do ensaio:</b> 17 a 19		<b>Ensaio</b> Determinação dos parâmetros de floculação				
<b>Data ensaio:</b> 24/06/2011			<b>Horário início:</b> 10:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 22/06/2011 / 16:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,34			<b>Turbidez (NTU):</b> 450			
<b>Temperatura (°C):</b> 22			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1210			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 60	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 50	<b>Psat (bar):</b> 5	
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> variável	<b>Tf1 (min):</b> 3,5	<b>Tf2 (min):</b> 7		<b>Tsat (min):</b> 10	
<b>Reator</b>						
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>		1	1	1	1	1
<b>Tf (min)</b>		5	10	15	20	30
<b>pHcoag</b>		3,91	3,90	3,90	3,92	3,91
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>		100	100	100	100	100
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>		14,3	15,3	13,8	13,4	12,2
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>		13,2	14,2	12,6	12,6	11,0
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1</b>		1282	1262	1260	1266	1272
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2</b>		1274	1236	1258	1262	1274

<b>N° do ensaio:</b> 20 a 22		<b>Ensaio</b> Determinação dos parâmetros de floculação				
<b>Data ensaio:</b> 24/06/2011			<b>Horário início:</b> 14:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 22/06/2011 / 16:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,34			<b>Turbidez (NTU):</b> 450			
<b>Temperatura (°C):</b> 22			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1210			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 80	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 50	<b>Psat (bar):</b> 5	
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> variável	<b>Tf1 (min):</b> 3,5	<b>Tf2 (min):</b> 7		<b>Tsat (min):</b> 10	
<b>Reator</b>						
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>		1	1	1	1	1
<b>Tf (min)</b>		5	10	15	20	30
<b>pHcoag</b>		3,92	3,91	3,94	3,94	3,93
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>		100	100	100	100	100
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>		14,4	13,9	15,4	16,1	11,4
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>		12,6	12,3	14,0	13,9	10,0
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1</b>		1268	1260	1276	1312	1282
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2</b>		1324	1316	1310	1340	1340

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

<b>N° do ensaio:</b> 23 a 25		<b>Ensaio:</b> Determinação da taxa de recirculação				
<b>Data ensaio:</b> 24/06/2011			<b>Horário início:</b> 18:00h			
<b>Coleta da amostra</b>						
<b>Data/horário da coleta:</b> 22/06/2011 / 16:00h			<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23			
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>						
<b>pH:</b> 3,34			<b>Turbidez (NTU):</b> 450			
<b>Temperatura (°C):</b> 22			<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1210			
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>						
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 60	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> variável	<b>Psat (bar):</b> 5	
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> 15	<b>Tf1 (min):</b> 3,5	<b>Tf2 (min):</b> 7		<b>Tsat (min):</b> 10	
<b>Reator</b>						
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	1	1	1	1	1	
<b>R (%)</b>	20	30	40	50	70	
<b>pHcoag</b>	3,94	3,93	3,93	3,94	3,95	
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>	100	100	100	100	100	
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>	56,9	79,3	13,4	14,7	22,9	
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>	13,5	10,8	10,1	12,6	20,0	
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1</b>	1138	1171	1195	1270	1463	
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2</b>	1145	1174	1193	1282	1457	

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

<b>N° do ensaio:</b> 26 a 29		<b>Ensaio:</b> Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
<b>Data ensaio:</b> 25/06/2011			<b>Horário início:</b> 8:00h						
<b>Coleta da amostra</b>									
<b>Data/horário da coleta:</b> 22/06/2011 / 16:00h				<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>									
<b>pH:</b> 3,33				<b>Turbidez (NTU):</b> 469					
<b>Temperatura (°C):</b> 22				<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1359					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>									
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 60	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 40		<b>Psat (bar):</b> 5			
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> 15	<b>Tflot1 (min):</b> 3,5	<b>Tflot2 (min):</b> 7			<b>Tsat (min):</b> 10			
<b>Reator</b>									
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>		0	0	0	0	0	0	0	0
<b>pHcoag</b>		3,34	3,31	3,31	3,32	3,35	3,42	3,45	3,45
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>		0	20	40	60	100	200	260	360
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>		160	40	21	10	8	13	31	13
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>		89	18	10	7	7	14	14	10
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1</b>		1405	1390	1402	1388	1398	1488	1493	1522
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2</b>		1413	1377	1383	1377	1403	1425	1483	1495

<b>N° do ensaio:</b> 30 a 33		<b>Ensaio:</b> Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
<b>Data ensaio:</b> 25/06/2011			<b>Horário início:</b> 10:00h						
<b>Coleta da amostra</b>									
<b>Data/horário da coleta:</b> 22/06/2011 / 16:00h				<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>									
<b>pH:</b> 3,33				<b>Turbidez (NTU):</b> 469					
<b>Temperatura (°C):</b> 22				<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1359					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>									
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800	<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 60	<b>Vf1 (cm/min):</b> 10	<b>Vf2 (cm/min):</b> 5	<b>R (%):</b> 40		<b>Psat (bar):</b> 5			
<b>Tm (s):</b> 5	<b>Tf (min):</b> 15	<b>Tflot1 (min):</b> 3,5	<b>Tflot2 (min):</b> 7			<b>Tsat (min):</b> 10			
<b>Reator</b>									
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>		1	1	1	1	1	1	1	1
<b>pHcoag</b>		3,80	3,80	3,85	3,85	3,85	3,76	3,70	3,63
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>		0	20	40	60	100	200	260	360
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>		52	52	24	15	14	14	468	463
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>		49	21	15	11	11	12	130	122
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1</b>		1330	1335	1320	1337	1327	1395	1433	1477
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2</b>		1328	1325	1323	1322	1328	1400	1400	1465

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

N° do ensaio: 33 a 37		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação						
Data ensaio: 25/06/2011			Horário início: 14:00h					
<i>Coleta da amostra</i>								
Data/horário da coleta: 22/06/2011 / 16:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>								
pH: 3,33			Turbidez (NTU): 476					
Temperatura (°C): 22			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1313					
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 40	Psat (bar): 5			
Tm (s): 5	Tf (min): 15	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7				Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	2	2	2	2	2	2	2	2
pHcoag	4,85	4,85	4,78	4,76	4,63	4,20	4,05	3,86
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	0	20	40	60	100	200	260	360
Turbidez (NTU) – Vf1	50	21	18	15	10	27	692	598
Turbidez (NTU) – Vf2	47	19	16	13	9	7	136	257
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1	1312	1327	1320	1320	1345	1372	1382	1470
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2	1315	1338	1333	1332	1352	1380	1362	1412

N° do ensaio: 33 a 37		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação						
Data ensaio: 25/06/2011			Horário início: 16:00h					
<i>Coleta da amostra</i>								
Data/horário da coleta: 22/06/2011 / 16:00h			Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<i>Características da amostra bruta no início do ensaio</i>								
pH: 3,33			Turbidez (NTU): 476					
Temperatura (°C): 22			Condutividade (µS/cm a 25°C): 1313					
<i>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</i>								
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 40	Psat (bar): 5			
Tm (s): 5	Tf (min): 15	Tf1 (min): 3,5	Tf2 (min): 7				Tsat (min): 10	
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*	3	3	3	3	3	3	3	3
pHcoag	5,60	5,55	5,48	5,42	5,26	4,85	4,62	4,21
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**	0	20	40	60	100	200	260	360
Turbidez (NTU) – Vf1	49	21	-	-	8	178	90	907
Turbidez (NTU) – Vf2	39	19	18	14	6	17	627	503
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1	1335	1338	-	-	1350	1375	1487	1528
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2	1343	1352	1347	1355	1350	1372	1500	1533

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

N° do ensaio: 38 a 42		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
Data ensaio: 25/06/2011				Horário início: 18:00h					
<b>Coleta da amostra</b>									
Data/horário da coleta: 22/06/2011 / 16:00h				Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>									
pH: 3,33				Turbidez (NTU): 484					
Temperatura (°C): 22				Condutividade (µS/cm a 25°C): 1371					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>									
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 40	Psat (bar): 5				
Tm (s): 5	Tf (min): 15	Tflot1 (min): 3,5	Tflot2 (min): 7	Tsatsat (min): 10					
<b>Reator</b>									
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		5	5	5	5	5	5	5	5
pHcoag		6,32	6,24	6,20	6,16	6,08	5,82	5,66	5,38
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**		0	20	40	60	100	200	260	360
Turbidez (NTU) – Vf1		197	385	233	180	490	898	720	623
Turbidez (NTU) – Vf2		103	145	87	43	86	323	658	815
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1467	1478	1487	1492	1492	1522	1543	1580
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1465	1445	1480	1488	1478	1515	1540	1567

N° do ensaio: 42 a 45		Ensaio: Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação							
Data ensaio: 26/06/2011				Horário início: 8:00h					
<b>Coleta da amostra</b>									
Data/horário da coleta: 22/06/2011 / 16:00h				Temperatura da amostra na coleta (°C): 23					
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>									
pH: 3,33				Turbidez (NTU): 484					
Temperatura (°C): 22				Condutividade (µS/cm a 25°C): 1371					
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>									
Gm (s <sup>-1</sup> ): 800	Gf (s <sup>-1</sup> ): 60	Vf1 (cm/min): 10	Vf2 (cm/min): 5	R (%): 40	Psat (bar): 5				
Tm (s): 5	Tf (min): 15	Tflot1 (min): 3,5	Tflot2 (min): 7	Tsatsat (min): 10					
<b>Reator</b>									
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Ca(OH) <sub>2</sub> (ml)*		10	10	10	10	10	10	10	10
pHcoag		7,97	7,95	7,89	7,84	7,74	7,55	7,45	7,20
DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**		0	20	40	60	100	200	260	360
Turbidez (NTU) – Vf1		687	805	882	923	775	733	663	633
Turbidez (NTU) – Vf2		94	428	502	463	663	732	710	717
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1		1438	1455	1468	1467	1487	1520	1557	1580
Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2		1438	1458	1472	1468	1487	1523	1555	1583

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

**Ensaio de Coagulação-Floculação-Flotação**  
**Coagulante: Procytrat 100A + Procytrat 300**

<b>N° do ensaio:</b> 42 a 45		<b>Ensaio:</b> Determinação dos pares pHxDC para construção do Diagrama de Coagulação						
<b>Data ensaio:</b> 26/06/2011				<b>Horário início:</b> 10:00h				
<b>Coleta da amostra</b>								
<b>Data/horário da coleta:</b> 22/06/2011 / 16:00h				<b>Temperatura da amostra na coleta (°C):</b> 23				
<b>Características da amostra bruta no início do ensaio</b>								
<b>pH:</b> 3,33				<b>Turbidez (NTU):</b> 484				
<b>Temperatura (°C):</b> 22				<b>Condutividade (µS/cm a 25°C):</b> 1371				
<b>Parâmetros de mistura, floculação e flotação</b>								
<b>Gm (s<sup>-1</sup>):</b> 800		<b>Gf (s<sup>-1</sup>):</b> 60		<b>Vf1 (cm/min):</b> 10		<b>Vf2 (cm/min):</b> 5		<b>R (%):</b> 40
<b>Tm (s):</b> 5		<b>Tf (min):</b> 15		<b>Tf1 (min):</b> 3,5		<b>Tf2 (min):</b> 7		<b>Psat (bar):</b> 5
<b>Reator</b>								
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ca(OH)<sub>2</sub> (ml)*</b>	13	13	13	13	13	13	13	13
<b>pHcoag</b>	8,88	8,84	8,80	8,74	8,70	8,54	8,34	8,17
<b>DC (Proc. 100A-70%+Proc. 300-30% (mg/l)**</b>	0	20	40	60	100	200	260	360
<b>Turbidez (NTU) – Vf1</b>	865	1052	953	945	892	810	767	710
<b>Turbidez (NTU) – Vf2</b>	468	335	407	423	475	598	675	610
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf1</b>	1385	1405	1405	1410	1435	1485	1500	1562
<b>Condutiv. (µS/cm a 25°C) – Vf2</b>	1388	1398	1405	1413	1432	1488	1505	1555

\* Solução 40g/l de Ca(OH)<sub>2</sub>

\*\* Soluções: 40g/l de Procytrat 100A e 40g/l de Procytrat 300

## **Apêndice H**

**Memória de cálculo do custo com energia elétrica para a flotação por ar dissolvido**



### **Memória de cálculo do custo com energia elétrica para a flotação por ar dissolvido.**

A energia elétrica consumida no processo de flotação por ar dissolvido se deve principalmente ao sistema de pressurização de ar, ou seja, ao conjunto moto-bomba para bombeamento da água até a pressão de saturação e ao compressor de ar. Porém, o consumo de energia para pressurização do ar pode ser desprezado, pois, por metro cúbico de água saturada, este geralmente representa menos de 1% do consumo de energia para bombeamento da água. Logo, a seguir considera-se apenas o custo com energia elétrica para bombeamento da água.

#### **1. Custo com energia elétrica no conjunto moto-bomba**

Segundo Azevedo Netto e Alvarez (1991), considerando-se a eficiência do conjunto moto-bomba de aproximadamente 67%, tem-se:

$$P(cv) = \frac{Q(l/s) \times H_{man}(m.c.a.)}{50}, \text{ em que}$$

P(cv): potência do motor, em cv;

Q(L/s): vazão, em L/s;

H<sub>man</sub>: altura manométrica, em m.c.a.

Para pressurização da água até a pressão de saturação considerada em todos os ensaios neste trabalho (500 kPa ou 50 m.c.a.) e considerando-se a perda de carga total de 5 m.c.a. (5 m.c.a.), tem-se:

$$P(cv) = Q(l/s) \times 1,1$$

Sabe-se ainda que:

$$P(cv) = \frac{P(kW)}{0,7457} \text{ e que } Q(l/s) = \frac{Q(m^3/h)}{3,6}, \text{ em que:}$$

P(kW): potência do motor, em kW;

Q(m<sup>3</sup>/h): vazão, em m<sup>3</sup>/h

Logo:

$$P(kW) = 0,22785 \times Q(m^3 / h) \text{ ou } P(kW) = 0,22785 \times \frac{V(m^3)}{t(h)}, \text{ em que:}$$

$V(m^3)$ : volume de água bombeado, em  $m^3$

$t(h)$ : tempo de bombeamento, em h

O consumo de energia elétrica pelo conjunto moto-bomba pode ser calculado pela fórmula a seguir:

$$C(kW.h) = P(kW) \times t(h), \text{ em que:}$$

$C(kW.h)$ : consumo de energia elétrica pelo conjunto moto-bomba, em kW.h

Portanto:

$$C(kW.h) = 0,22785 \times V(m^3)$$

Assim, o consumo de energia para cada metro cúbico de água pressurizada será:

$$\frac{C(kW.h)}{V(m^3)} = 0,22785 \frac{kW.h}{m^3}$$

Considerando-se o custo de cada kW.h igual R\$ 0,50, o custo por metro cúbico de água saturada será:

$$\text{Custo} \left( \frac{R\$}{m^3} \right) = 0,22785 \frac{kW.h}{m^3} \times \frac{R\$0,50}{kW.h} = R\$0,114 / m^3$$

**OBS.:** para calcular o custo com energia elétrica por metro cúbico tratado, em um ensaio de flotação em particular, multiplica-se o valor obtido acima pela razão de recirculação.