

USP

Campus de São Carlos

INFLUÊNCIA DO USO DE POLÍMEROS SINTÉTICOS
NO DESEMPENHO DA FLOTAÇÃO POR AR
DISSOLVIDO APLICADA NO TRATAMENTO DE ÁGUA
PARA ABASTECIMENTO

LUCI SARTORI

ORIENTADOR: Prof. Dr. MARCO ANTONIO P. REALI

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

INFLUÊNCIA DO USO DE POLÍMEROS SINTÉTICOS NO DESEMPENHO DA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO APLICADA NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO



LUCI SARTORI

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Penalva Reali

DEDALUS - Acervo - EESC



31100013584

São Carlos - São Paulo

1998

Class.	TESE/EESC
Cutt.	5208 ✓
Tombo	7238/98

st 0994884

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

S249i Sartori, Luci
Influência do uso de polímeros sintéticos no
desempenho da flotação por ar dissolvido aplicada
no tratamento de água para abastecimento /
Luci Sartori. -- São Carlos, 1998.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.

Área: Hidráulica e Saneamento.

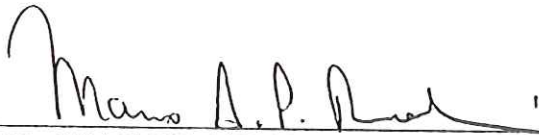
Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Penalva
Reali.

1. Flotação por ar dissolvido. 2. Flotação com
polímeros. 3. Tratamento de água. 4. Floculação
com polímero. I. Título.

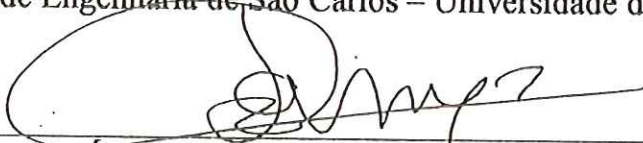
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Licenciada **LUCI SARTORI**

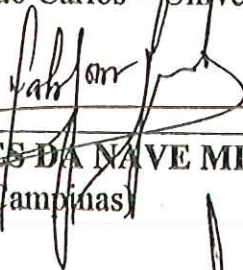
Dissertação defendida e aprovada em 14.08.1998
pela Comissão Julgadora:



Prof. Dr. **MARCO ANTONIO PENALVA REALI (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo)



Prof. Tit. **JOSÉ ROBERTO CAMPOS**
(Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo)



Prof. Dr. **CARLOS GOMES DA NAVE MENDES**
(Universidade Estadual de Campinas)



Prof. Titular **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Aos meus pais Alcides e Ilda, que
ao longo de toda a minha vida,
me ensinaram seus princípios de
dignidade, e me deram o carinho
e o apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marco Antonio Penalva Reali pela orientação e dedicação no decorrer deste trabalho.

À amiga Eng. Margarida pelas valiosas contribuições e ajuda sempre pronta.

Ao Eng. Rogério G. Penetra pela amizade e apoio.

Aos técnicos do Laboratório de Saneamento, Paulo, Júlio e Cidinha pela colaboração.

Ao técnico Francisco Carlos Bergamini pela montagem e manutenção das instalações utilizadas.

Ao técnico Wagner do Laboratório de Fenômenos de Transporte pela montagem e manutenção dos materiais eletromecânicos.

Ao CNPq pela bolsa concedida, e a FAPESP, pelo auxílio financeiro para aquisição de materiais e equipamentos.

Ao meu irmão Josimar L. Sartori pelas valiosas contribuições em computação.

Ao Prof. Dr. Antonio Aparecido Mozeto pelo incentivo, amizade e por sempre me acolher em seu laboratório.

Ao Lauri pelo apoio e compreensão e por estar ao meu lado nesta caminhada, meu eterno carinho.

A todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

E acima de tudo a Deus por esta oportunidade.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS	xiii
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xv
1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVOS	04
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
3.1 - Introdução	05
3.1.1 - Cor e turbidez em águas naturais	06
3.1.2 - Alguns conceitos de coagulação química de águas naturais	08
3.1.3 - Mecanismos de coagulação	09
3.1.4 - Coagulação com sulfato de alumínio	13
3.1.5 - Considerações iniciais	13
3.1.6 - Diagrama de coagulação	13
3.2 - Conceitos Básicos da Flotação	17
3.2.1 - Introdução	17
3.2.2 - Técnicas de flotação	18
3.2.3 - Conceitos Gerais sobre Flotação por Ar Dissolvido (FAD)	20
3.2.4 - Flotação por Ar Dissolvido na Clarificação de Águas para Abastecimento	24
3.2.5 - Coagulação- Flocculação na FAD	27
3.3 - Polímero como auxiliar de flocculação	29
3.3.1 - Introdução	29
3.3.2 - Definição de polímeros	31
3.3.3 - Mecanismo do polímero como auxiliar de flocculação	34
3.3.4 - Fatores que interferem na eficiência da flocculação com polímeros	37
3.3.5 - Polímero como auxiliar de flocculação na FAD	39
3.3.6 - Vantagens e Desvantagens do uso de polímero	40
4 - MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.1 - Considerações Iniciais	42
4.2 - Descrição das Instalações	44

4.2.1 - Descrição da instalação de flotação por ar dissolvido em escala de laboratório (Flotateste)	44
4.2.2 - Descrição da instalação piloto de flotação com escoamento horizontal	46
4.2.3 - Outros equipamentos e materiais utilizados na pesquisa	47
4.3 - Água de Estudo	58
4.4 - Produtos Químicos utilizados	59
4.5 - Ensaio realizados com o flotateste	60
4.5.1 - Procedimento e monitoramento dos ensaios	60
4.5.2 - Para a câmara de saturação	60
4.5.3 - Utilização do flotateste	61
4.5.4 - Ensaio visando a otimização da dosagem de coagulante e pH de coagulação	64
4.5.5 - Ensaio visando a otimização do polímero e a dosagem mais adequada	64
4.5.6 - Construção das curvas de flotação	65
4.5.7 - Ensaio visando a investigação da influência do tempo decorrido após a mistura rápida (do coagulante primário), para a adição de polímero.	66
4.5.8 - Ensaio visando a otimização da dosagem de ar fornecida	67
4.5.9 - Ensaio visando a investigação do tempo e do gradiente médio de velocidade de floculação	68
4.6 - Ensaio realizados com a instalação piloto com escoamento contínuo	68
4.6.1 - Procedimento da operação na instalação piloto durante os ensaios	71
4.7 - Monitoramento e análise dos resultados	72
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
5.1 - Resultados dos ensaios realizados com equipamento de flotateste para utilização de polímero sintético como auxiliar de floculação	74
5.1.1 - Otimização da dosagem de coagulante e pH de coagulação	74
5.1.2 - Investigação do polímero e dosagem mais adequados, em ensaios realizados com o equipamento do flotateste	88
5.1.3 - Investigação acerca da influência na flotação do modo de aplicação do polímero (tempo decorrido após mistura rápida do coagulante primário)	108
5.1.4 - Otimização da quantidade de ar fornecida para a flotação, para ensaios com o equipamento do flotateste	124
5.1.5 - Influência do tempo e do gradiente médio de velocidade durante a floculação na eficiência da flotação (ensaio com o equipamento de flotateste)	131
5.2 - Resultados dos ensaios realizados com a instalação piloto com escoamento contínuo	143
5.2.1 - Considerações iniciais	143

5.2.2 - Resultados referentes à primeira carreira de operação com a instalação piloto (carreira I)	144
5.2.3 - Resultados referentes à segunda carreira de operação com a instalação piloto (carreira 2)	148
5.2.4 - Comparação entre os resultados obtidos nas carreiras I e II (DSA de 40 mg/L sem adição de polímero)	152
5.2.5 - Resultados referentes à terceira carreira de operação com a instalação piloto (carreira III)	152
5.2.6 - Resultados referentes à quarta carreira de ensaios com a instalação piloto (carreira IV)	156
5.2.7 - Comparação entre os resultados obtidos nas etapas III e IV (DSA de 20 mg/L com adição de 0,25 mg/L de polímero não iônico)	160
5.2.8 - Resultados referentes à quinta carreira de ensaio com a instalação piloto (carreira V)	161
5.2.9 - Resultados referentes à sexta carreira de ensaio com a instalação piloto (carreira VI)	165
5.2.10 - Comparação entre os resultados obtidos nas carreiras de ensaios V e VI (DSA de 12 mg/L com adição de 0,25 mg/L de polímero catiônico)	169
5.2.11 - Resultados referentes à sétima carreira de ensaio com a instalação piloto (carreira VII)	170
5.2.12 - Influência do Gf na eficiência da flotação para os ensaios com DSA de 12 mg/L e aplicação de 0,25 mg/L de polímero catiônico	174
5.2.13 - Comparação dos melhores resultados obtidos nas 7 carreiras de ensaio com a instalação piloto de flotação com alta taxa	176
6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	180
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	184
APÊNDICES	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	Exemplos de estruturas químicas sugeridas para as substâncias húmicas	07
FIGURA 02	Conformações do polímero com a interface da partícula	12
FIGURA 03	Regiões de remoção de cor para concentrações iniciais de ácido húmico igual a 4,0 mg/L (100 uC) (ausência total de turbidez)	15
FIGURA 04	Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio e sua relação com o potencial zeta	16
FIGURA 05	Modalidade da técnica de FAD por pressurização	20
FIGURA 06	Ângulo de contato entre uma fase sólida e uma fase gasosa imersa numa fase líquida	22
FIGURA 07	Ângulo de inclinação do anteparo na entrada da câmara de flotação	23
FIGURA 08	Estrutura de uma unidade de acrilamida	32
FIGURA 09	Estrutura esquemática do polímero aniônico	32
FIGURA 10	Estrutura de polímeros aniônicos -(1) contendo grupos ácidos sulfônico (2) - contendo grupos ácidos fosfóricos	33
FIGURA 11	Estrutura de polímero catiônico contendo grupos amida, amino quaternário	33
FIGURA 12	Representação esquemática da desestabilização de colóides por polímeros	35
FIGURA 13	Floculação e estabilização por polímeros como auxiliar de floculação. (1)-Floculação com dosagem adequada de polímero. (2)-Estabilização com dosagem elevada de polímero	36
FIGURA 14	Fotografia da instalação de flotação por ar dissolvido em escala de laboratório (flotateste)	45
FIGURA 15	Esquema geral da unidade de flotação por ar dissolvido em regime de batelada	45
FIGURA 16	Esquema geral da instalação piloto de flotação por ar dissolvido de escoamento com baixo número de Reynolds	47
FIGURA 17	Fotografia geral da instalação piloto	48
FIGURA 18	Unidade de mistura rápida	49

FIGURA 19	Fotografia da unidade de floculação da instalação piloto	49
FIGURA 20	Esquema da unidade de flotação por ar dissolvido com escoamento horizontal (FADEHBR)	50
FIGURA 21	Esquema da câmara de saturação	54
FIGURA 22	Fotografia da câmara de saturação da instalação piloto	55
FIGURA 23	Fotografia dos reservatórios de preparação e armazenamento da água de estudo	55
FIGURA 24	Fotografia do conversor eletromagnético da vazão de recirculação e dos medidores eletrônicos de vazão	56
FIGURA 25	Fotografia das bombas dosadoras para solução do coagulante e alcalinizante e dos reservatórios para preparação das soluções	56
FIGURA 26	Fotografia do equipamento de <i>Jar Test</i> , pHmetro e turbidímetro	57
FIGURA 27	Fluxograma ilustrativo das variáveis investigadas com o flotateste	63
FIGURA 28	Fluxograma ilustrativo dos ensaios realizados com a instalação piloto com escoamento contínuo	69
FIGURA 29	Diagrama de coagulação - Cor aparente remanescente em função da dosagem de sulfato de alumínio e do pH de coagulação para VF de 6,7 cm/min	78
FIGURA 30 a 43	Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 12, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 mg/L	81 a 87
FIGURA 44 a 51	Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função das dosagens de polímeros: aniônico Adesol (PM 18 - 25×10^6 g), não iônico Adesol (PM 15 - 20×10^6 g), catiônico Adesol (PM 15 - 20×10^6 g) e polímero catiônico Nalco para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio	92 a 95
Figura 52 a 59	Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função das dosagens de polímeros: aniônico Adesol (PM 18 - 25×10^6 g), não iônico Adesol (PM 15 - 20×10^6 g), catiônico Adesol (PM 15 - 20×10^6 g) e polímero catiônico Nalco para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio	96 a 99
Figura 60 a 67	Fração remanescente de cor aparente (C/C_0) e de turbidez (T/T_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímeros: aniônico Adesol, não iônico Adesol, catiônico Adesol e catiônico Nalco para água coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio	100 a 103

FIGURA 68 a 75	Fração remanescente de cor aparente (C/C0) e de turbidez (T/T0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero aniônico Adesol, não iônico Adesol, catiônico Adesol e catiônico Nalco para água coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio	104 a 107
FIGURA 76	Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 20 seg de mistura rápida, seguido de 24 min de floculação	112
FIGURA 77	Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 1 min de floculação, seguido de mais 23 min de floculação	112
FIGURA 78	Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 5 min de floculação, seguido de mais 1 min de floculação	113
FIGURA 79	Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 5 min de floculação, seguido de mais 5 min de floculação	113
FIGURA 80	Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 5 min de floculação, seguido de mais 19 min de floculação	114
FIGURA 81	Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 10 min de floculação, seguido de mais 1 min de floculação	114
FIGURA 82	Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 10 min de floculação, seguido de mais 5 min de floculação	115
FIGURA 83	Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 10 min de floculação, seguido de mais 10 min de floculação	115
FIGURA 84	Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 10 min de floculação, seguido de mais 14 min de floculação	116

- FIGURA 85 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 15 min de floculação, seguido de mais 1 min de floculação 116
- FIGURA 86 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 15 min de floculação, seguido de mais 5 min de floculação 117
- FIGURA 87 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 15 min de floculação, seguido de mais 9 min de floculação 117
- FIGURA 88 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 10 seg de mistura rápida, seguido de 24 min de floculação 118
- FIGURA 89 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 1 min de floculação, seguido de mais 23 min de floculação 118
- FIGURA 90 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 5 min de floculação, seguido de mais 1 min de floculação 119
- FIGURA 91 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 5 min. de floculação, seguido de mais 5 min. de floculação 119
- FIGURA 92 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 5 min de floculação, seguido de mais 19 min de floculação 120
- FIGURA 93 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 10 min de floculação, seguido de mais 1 min de floculação 120
- FIGURA 94 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 10 min de floculação, seguido de mais 5 min de floculação 121

FIGURA 95	Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 10 min de floculação, seguido de mais 10 min de floculação	121
FIGURA 96	Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 10 min de floculação, seguido de mais 14 min de floculação	122
FIGURA 97	Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 15 min de floculação, seguido de mais 1 min de floculação	122
FIGURA 98	Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 15 min de floculação, seguido de mais 5 min de floculação	123
FIGURA 99	Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 15 min de floculação, seguido de mais 9 min de floculação	123
FIGURA 100 a 101	Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para fração de recirculação (R) de 4%, 6%, 8%, 10%, 12% e 14% (em volume), para DSA de 12 mg/L e 0,25 mg/L de polímero catiônico	127 a 128
FIGURA 102 a 103	Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para fração de recirculação (R) de 4%, 6%, 8%, 10%, 12% e 14% (em volume), para DSA de 20 mg/L e 0,25 mg/L de polímero não iônico	129 a 130
FIGURA 104 a 109	Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação de 16 min, 20 min e 24 min, para dosagem de sulfato de alumínio de 12 mg/L e 0,25 mg/L de polímero catiônico	135 a 137
FIGURA 110 a 119	Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação de 5 min, 10 min, 15 min, 20 min e 24 min para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L e polímero não iônico 0,25 mg/L	138 a 142
FIGURA 120	Resultados obtidos durante a carreira de ensaio I com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 40 mg/L sem adição de polímero	145

FIGURA 121	Resultados obtidos durante a carreira de ensaio II com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 40 mg/L sem adição de polímero	149
FIGURA 122	Resultados obtidos durante a carreira de ensaio III da instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 20 mg/L com 0,25mg/L de polímero não iônico	154
FIGURA 123	Resultados obtidos durante a carreira de ensaio IV com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 20 mg/L com 0,25mg/L de polímero não iônico	158
FIGURA 124	Resultados obtidos durante a carreira de ensaio V com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 12 mg/L com 0,25mg/L de polímero catiônico	163
FIGURA 125	Resultados obtidos durante o ensaio VI com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 12 mg/L com 0,25mg/L de polímero catiônico	166
FIGURA 126	Resultados obtidos durante a carreira de ensaio VII com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 12 mg/L com 0,25mg/L de polímero catiônico	172

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01	Resumo das características da água do poço e água de estudo	59
QUADRO 02	Tempo decorrido após o início da floculação antes da adição do polímero nos jarros do flotateste e tempo total de floculação após a mistura rápida do coagulante primário	67
QUADRO 03	Ensaios programados com a unidade em escala piloto	70
QUADRO 04	Resumo dos resultados obtidos durante os ensaios com o flotateste para os melhores resultados de remoção de cor aparente e turbidez, para diferentes DSA e pH de coagulação	75
QUADRO 05	Valores do potencial zeta para as DSA de 12, 20, 25,30,35 e 40 mg/L e respectivos pH de coagulação ótimos	79
QUADRO 06	Resumo dos melhores resultados obtidos durante os ensaios com o flotateste para diferentes dosagens de polímero aniônico, catiônico e não iônico	89
QUADRO 07	Resumo dos melhores resultados obtidos durante os ensaios realizados com o equipamento de flotateste para otimização do tempo de adição dos polímeros não iônico e catiônico	109
QUADRO 08	Parâmetros operacionais utilizados com o equipamento de flotateste para a otimização da quantidade de ar fornecida	124
QUADRO 09	Resumo dos resultados obtidos nos ensaios para otimização da quantidade de ar fornecida para DSA de 12 mg/L com 0,250 mg/L de polímero catiônico e DSA de 20 mg/L com 0,250 mg/L de polímero não iônico	125
QUADRO 10	Valor de gradiente médio de velocidade de floculação ótimo ($G_{f_{ót}}$) para cada T_f estudado e respectivos valores de remoção de cor aparente e turbidez para DSA de 12 mg/L e 0,25 mg/L de polímero catiônico	132

QUADRO 11	Valor de gradiente médio de velocidade de floculação ótimo ($Gf_{ót}$) para cada T_f estudado e respectivos valores de remoção de cor aparente e turbidez para DSA de 20 mg/L e 0,25 mg/L de polímero não iônico	133
QUADRO 12	Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio I, utilizando-se DSA de 40 mg/l e TASapa de 525 m^3/m^2d	146
QUADRO 13	Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio III, utilizando-se DSA de 40 mg/l e TASapa de 262 m^3/m^2d	150
QUADRO 14	Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio II, utilizando-se DSA de 20 mg/l e TASapa de 525 m^3/m^2d	155
QUADRO 15	Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio IV, utilizando-se DSA de 20 mg/l e TASapa de 262 m^3/m^2d	159
QUADRO 16	Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio V, utilizando-se DSA de 12 mg/l e TASapa de 525 m^3/m^2d	164
QUADRO 17	Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio VI, utilizando-se DSA de 12 mg/l e TASapa de 262 m^3/m^2d	167
QUADRO 18	Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio VII, utilizando-se DSA de 12 mg/l e TASapa de 525 e 262 m^3/m^2d	173

QUADRO 19	Resumo dos melhores resultados apresentados nos ensaios com a instalação piloto com escoamento contínuo, referentes a cada dosagem de sulfato de alumínio e cada TASap utilizados para as amostras compostas clarificadas	177
-----------	---	-----

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	Resultados obtidos em ensaios de coagulação-floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação de Sulfato de Alumínio e pH de coagulação	Apêndice 1
TABELA 02	Resultados obtidos em ensaios de coagulação-floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação da dosagem de polímero, para diferentes valores de velocidade de flotação para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio	Apêndice 1
TABELA 03	Cor aparente remanescente e turbidez remanescente obtidos em ensaios de coagulação-floculação-flotação em escala de laboratório em função da variação da dosagem de polímeros para diferentes valores de velocidades de fotação com 12 mg/L de sulfato de alumínio	Apêndice 1
TABELA 04 e 05	Resultados obtidos em ensaios de coagulação-floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação da dosagem de polímero, para diferentes valores de velocidade de flotação para água bruta coagulada com 20g/L de sulfato de alumínio	Apêndice 1
TABELA 06	Resultados obtidos em ensaios de coagulação-floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação do tempo de aplicação do polímero catiônico Nalco (0.25 mg/L) e velocidade de flotação, para dosagem de sulfato de alumínio de 12 mg/L	Apêndice 1
TABELA 07	Resultados obtidos em ensaios de coagulação-floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação do tempo de aplicação do polímero não iônico Adesol (0.25 mg/L) e velocidade de flotação, para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L	Apêndice 1
TABELA 08	Resultados obtidos em ensaios de coagulação-floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação da fração de recirculação - R- 4, 6, 8, 10, 12, e 14%- e velocidade de flotação, para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio e 0,25 mg/L de polímero catiônico (Nalco)	Apêndice 1

TABELA 09	Resultados obtidos em ensaios de coagulação-floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação da fração de recirculação - R- 4, 6, 8, 10, 12, e 14%- e velocidade de flotação, para água coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio e 0,25 mg/L de polímero não iônico (Adesol)	Apêndice 1
TABELA 10	Resultados obtidos em ensaios de coagulação - floculação- flotação realizados em escala de laboratório em função da variação do tempo de floculação e gradiente médio de velocidade de floculação, para as seguintes variáveis: Tf- 16, 20 e 25 min; Gf- 40, 60, 80 e 100 s ⁻¹ ; dosagem de sulfato de alumínio 12 mg/L com 0,25 mg/L de polímero catiônico (Nalco)	Apêndice 1
TABELA 11	Resultados obtidos em ensaios de coagulação - floculação- flotação realizados em escala de laboratório em função da variação do tempo de floculação e gradiente médio de velocidade de floculação, para as seguintes variáveis: Tf- 05, 10, 15, 20 e 24 min; Gf- 40, 60, 80 e 100 s ⁻¹ ; dosagem de sulfato de alumínio 20mg/L com 0,25 mg/L de polímero não iônico (Adesol)	Apêndice 1
TABELA 12	Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 40 mg/L e TASap de 525 m ³ /m ² d	Apêndice 2
TABELA 13	Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 40 mg/L e TASap de 262 m ³ /m ² d	Apêndice 2
TABELA 14	Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com 20 mg/L, TASap de 525m ³ /m ² d e 0,25 mg/L de polímero não iônico	Apêndice 2
TABELA 15	Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 20 mg/L, TASap de 262 m ³ /m ² d e 0,25 mg/L de polímero não iônico	Apêndice 2
TABELA 16	Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 12 mg/L, TASap de 525m ³ /m ² d e 0,25 mg/L de polímero catiônico	Apêndice 2

TABELA 17	Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 12 mg/L, TASap de 525m ³ /m ² d e 0,25 mg/L de polímero catiônico	Apêndice 2
TABELA 18	Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 12mg/L, TASap de 525 e 262m ³ /m ² d e 0,25 mg/L de polímero catiônico	Apêndice 2

LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS

- $A_{frontal}$ - área entre as placas, perpendicular à inclinação das mesmas (m^2, cm^2)
- A_{placas} - área em plantas entre as placas (m^2, cm^2)
- DSA - Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)
- FAD - Flotação por ar dissolvido
- FADEHBER - Flotação por ar dissolvido em escoamento horizontal com baixo número de Reynolds
- Gf - Gradiente médio de velocidade de floculação (s^{-1})
- Gf_{ot} Gradiente médio de velocidade ótimo de floculação (s^{-1})
- Gmr - Gradiente médio de velocidade da mistura rápida (s^{-1})
- P - Pressão na câmara de saturação (kPa)
- Psat - Pressão na câmara de saturação (kPa)
- pie - Ponto isoelétrico
- Qaf. - Vazão do afluente na câmara de saturação (m^3/d)
- Qafl - Vazão afluente a câmara de flotação (m^3/d)
- $Q_{af.Total}$ - Vazão do afluente total (m^3/d)
- Qrecic - Vazão de recirculação (m^3/d)
- $$r = \frac{Q_{recirc}}{Q_{afl}}$$
- R - Variação da quantidade de ar fornecida (%)
- Rey - Número de Reynolds
- Rh - raio hidráulico (m)
- Sps - Concentração de ar dissolvido presente na câmara de saturação (g/m^3)
- Sp^*p - Quantidade de ar fornecida (mg de ar/ m^3 de água)
- TAsap. - Taxa de aplicação superficial aparente (m^3/m^2d)
- Tf - Tempo de floculação (min)
- Tmr - Tempo de mistura rápida (seg)
- Vel placas - Velocidade entre as placas (m/d m/s, cm/min)
- VF - Velocidade de flotação (cm/min)
- ν = viscosidade cinemática da água (m^2/s)

RESUMO

SARTORI, L. Influência do uso de polímeros sintéticos no desempenho da flotação por ar dissolvido aplicada no tratamento de água para abastecimento. São Carlos, 1998. 193p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O uso de polímeros sintéticos como auxiliares de floculação no tratamento de águas para abastecimento é uma prática que vem sendo bastante estimulada. Contudo o uso na floculação visando a flotação de águas para abastecimento tem sido pouco estudado. Neste trabalho, são apresentados os resultados de estudo da influência da aplicação de polímeros sintéticos como auxiliares de floculação na clarificação, por flotação, de água preparada com cor elevada ($100 \pm 9,0$ uC) e baixa turbidez ($6,80 \pm 1,0$ uT). Foram investigados três diferentes tipos de polímeros (catiônico, aniônico e não iônico), aplicados conjuntamente ao coagulante primário (sulfato de alumínio). Após a otimização da dosagem deste coagulante (40 mg/L), sem emprego de polímeros, foi estudado o desempenho da flotação diante a redução da dosagem de coagulante conjugado à aplicação de diferentes dosagens de polímeros. Também foram investigadas a influência do tempo decorrido após a mistura rápida para a adição do polímero, e do tempo e gradiente médio de velocidade na floculação para a flotação. Foram utilizadas duas unidades de flotação por ar dissolvido, uma em escala de laboratório (Flotateste) e outra em escala piloto (com escoamento contínuo). Após a adequação dos parâmetros de floculação, os ensaios obtidos com o flotateste mostraram que a aplicação de 0,25 mg/L de polímero não iônico permitiu a redução de 50% na dosagem de coagulante, sem queda significativa na eficiência de remoção de cor e turbidez (96% e 93% respectivamente). Por sua vez, o polímero catiônico, na dosagem de 0,25 mg/L, possibilitou redução de 70% na dosagem de sulfato de alumínio, com eficiência de remoção de cor e turbidez de 90%. A instalação piloto de flotação operando com TASap de $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, e aplicação de polímeros, nas condições otimizadas com o flotateste, foi capaz de fornecer bons resultados de remoção de cor aparente (82% e cor no efluente de 18,6 uC) e de turbidez (80% com turbidez de 1,40 uT no efluente). Nos ensaios com a unidade piloto de flotação operando com TASap de $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, com redução de 70% na dosagem de coagulante (aplicação de 0,25 mg/L de polímero catiônico), observou-se redução de até 79% na massa de lodo gerada.

PALAVRAS CHAVES: Flotação por ar dissolvido, flotação com polímeros, floculação com polímeros, tratamento de água

ABSTRACT

SARTORI, L. Influence of synthetic polymer usage on the performance of dissolved air flotation applied to supply water.

The usage of synthetic polymers as flocculation aids for the treatment of supply water is a practice which has been widely stimulated, however its usage in flocculation aiming supply water flocculation has been scarcely studied. This work presents the results of the study of the influence of synthetic polymer application as a flocculation aid for clarifying prepared water containing high level of color (100 ± 9.0 CU) and low turbidity (6.80 ± 1.0 NTU) through flotation. Three different kinds of polymers were investigated - cationic, anionic and non-ionic - which were applied together with the primary coagulant (aluminium sulphate). After the optimization of this coagulant dosage (40 mg/L), without the utilization of polymers, it was studied the flotation performance by the reduction of the coagulant dosage together with the application of different polymer dosages. It was also studied the influence of the time after rapid mixing for the polymer addition, and of time and average velocity gradient and flotation. Two units of dissolved air flotation were used, a bench unit and a pilot plant unit (with continuous flow). After the flocculation parameters adequacy, the essays obtained with FLOTATESTE showed that the application of 0.5 mg/L of non-ionic polymer allowed a reduction of 50% on coagulant dosage, without meaningful drops of the color and turbidity removal efficiency (96% and 93% respectively). On the other hand, the cationic polymer, at 0.25 mg/L, enabled a 70% reduction on the aluminium sulphate dosage with color and turbidity removal efficiency of 90%. The plant flotation unit, operating under a flow rate of $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ and with polymer application, under conditions optimized by FLOTATESTE, was able to provide good results of colour removal (82% and effluent color of 18.6 CU) and turbidity removal (83% with turbidity of 1.23 NTU in the effluent). In the essays with the pilot plant flotation unit, operating under a flow rate of $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ after reduction of 70% on the coagulant dosage (application of 0.25 mg/L of cationic polymer), an up to 79% reduction in mass of sludge generated was observed.

Key words: dissolved air flotation, flotation with polymers, flocculation with polymers, supply water treatment

1-INTRODUÇÃO

A água constitui um elemento essencial à vida no planeta, e seu papel no desenvolvimento das civilizações é reconhecido desde a mais alta antigüidade (OLIVEIRA, 1973).

Sem dúvida o abastecimento público é o uso mais nobre da água, e se manifesta em todas as atividades do homem, tais como manutenção da vida (água para beber), higiene pessoal e muitas outras (BINETTI & BIDONE, 1993).

Segundo ZAJIC (1971), provavelmente os primeiros registros do "tratamento" de água foram feitos pelos egípcios, que usavam métodos rudimentares de clarificação. Somente no século XIX, na Inglaterra, que se iniciou o tratamento de água denominado moderno, utilizando-se filtração lenta em filtros de areia.

Devido ao contínuo crescimento demográfico e ao uso indevido da água, suas qualidades foram sendo alteradas limitando as disponibilidades hídricas, tornando-se indispensável o uso de tecnologias capazes de promover seu tratamento adequado para consumo humano.

Entre as novas técnicas de tratamento de água para abastecimento, pode-se citar a flotação por ar dissolvido. A flotação pode ser definida como a separação de sólidos ou líquidos de uma fase líquida por meio de bolhas de gás, sendo que o ar é o gás mais largamente usado, devido a sua disponibilidade e baixo custo (ZABEL et al., 1979).

Inicialmente a flotação era usada apenas como processo de separação de fases, na indústria de beneficiamento de minério. Durante a

década de 20, começou a ser utilizada na indústria de papel, tendo posteriormente suas aplicações ampliadas em diversos processos industriais, como recuperação de óleos e gorduras, separação de sementes, etc (KITCHENER, 1984).

Em tratamento de águas para abastecimento, a flotação por ar dissolvido vem sendo utilizada recentemente para clarificação de águas, cujos flocos formados apresentam baixa velocidade de sedimentação. Entretanto, pesquisa realizada por REALI & MARCHIORETTO (1997) demonstra que a flotação por ar dissolvido apresenta-se como uma técnica eficiente também para águas que contenham alta turbidez .

No Brasil, um dos primeiros trabalhos de flotação por ar dissolvido como etapa no tratamento de águas para abastecimento é apresentado por REALI (1984). Em 1994, foi implantada a primeira estação pública de tratamento de água por flotação de ar dissolvido em escala real, na cidade de Meaípe- ES (LOBATO et al, 1995).

Segundo EDZWALD (1995), alguns fatores como coagulação, floculação, quantidade de ar fornecida, dispositivos de liberação de gás, influenciam marcadamente o desempenho das unidades de flotação aplicada ao tratamento de água.

A floculação, precedendo a flotação, é uma etapa importante, pois como foi mencionado, pode afetar o desempenho da flotação e por isso requer condições de pré-tratamento físico-químico diferentes daqueles exigidos para a sedimentação.

Nos últimos anos, o uso de polímeros sintéticos como auxiliares de floculação/e ou filtração estão sendo amplamente empregados em tratamento de água para abastecimento (CAMPOS, 1980).

Os polímeros podem ser classificados, quanto à sua carga, em: aniônicos, aqueles que em meio aquoso apresentam sítios negativos; catiônicos que apresentam sítios positivos e não iônicos, que possuem sítios poucos carregados ou com baixa tendência para desenvolvê-los em solução aquosa (VORCHHEIMER, 1980).

O uso de polímeros como auxiliares de floculação melhora a qualidade da água decantada e filtrada, aumenta o período médio entre lavagens consecutivas dos filtros, reduzindo, portanto, a perda de água e acarretando a redução no volume de lodo (CAMPOS, 1980).

Devido às vantagens do uso de polímeros como auxiliares de floculação em relação ao uso de somente um sal de alumínio ou ferro, muitos trabalhos de pesquisa têm sido publicados visando a sedimentação, tais como CARNS & PACKER (1985), DENTEL et al. (1988), CAMPOS (1972), CAMPOS (1980), COSTA (1991), DI BERNARDO & PAIXÃO (1995), entre outros.

Contudo, poucos trabalhos mencionam o uso de polímeros como auxiliares de floculação na flotação. Tendo em vista isso, foi realizado o presente trabalho, cuja principal proposta consistiu no estudo da influência da aplicação de polímeros sintéticos no desempenho da floculação seguida de flotação por ar dissolvido empregada no tratamento de águas para abastecimento que tenham cor elevada e baixa turbidez.

Vale a pena citar, ainda, que o presente estudo faz parte de uma linha de pesquisa existente no Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP, cujo objetivo geral é investigar as potencialidades da técnica da flotação aplicada ao tratamento de águas de abastecimento e residuárias. Dentro dessa linha, recentemente foi desenvolvida uma unidade original de flotação de alta taxa, cujo desempenho e economia - em termos de espaço necessário para implantação de e ar requerido para o processo - são significativamente superiores comparados às unidades convencionais de flotação (REALI & MARCHETTO, 1997). Para o presente trabalho, foi utilizada a referida unidade de flotação de alta taxa (instalação piloto) além de unidade de flotação em escala de laboratório (flotatestes).

2- OBJETIVOS

O presente trabalho teve o seguinte objetivo principal:

- ✓ Utilizando-se água bruta preparada, com cor elevada e baixa turbidez, verificar a influência do emprego de quatro tipos de polímeros sintéticos como auxiliares de floculação na eficiência da remoção por flotação de cor, turbidez e sólidos suspensos.

Para a consecução do objetivo principal, foi necessária a realização de diversas etapas de estudo, que caracterizaram os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Empregando-se uma unidade de coagulação/floculação e flotação por ar dissolvido em escala de laboratório (flotateste), obter as melhores condições de coagulação (pH e dosagem de coagulante) com aplicação somente de sulfato de alumínio;
- ✓ Utilizando-se o equipamento de flotateste, investigar os efeitos da aplicação de diferentes dosagens de quatro tipos de polímeros sintéticos associados a dosagens decrescentes de coagulante primário, na eficiência da floculação seguida de flotação por ar dissolvido;
- ✓ Com o emprego do equipamento de flotateste, verificar a influência do tempo decorrido após o início da floculação para adição do polímero, e do tempo e do gradiente médio de velocidade de floculação, na eficiência da flotação;
- ✓ Com a utilização de uma instalação piloto de flotação de alta taxa com escoamento contínuo - adotando-se as melhores condições estudadas - verificar a influência da Taxa de Aplicação Superficial e da quantidade de ar fornecida no desempenho do sistema de flotação.

3- REVISÃO DA LITERATURA

3.1- Introdução

Como os processos de coagulação-floculação das partículas a serem flotadas afetam diretamente o desempenho da flotação, julgou-se adequada uma breve exposição dos principais conceitos, concernentes ao referido assunto. Deve-se ressaltar, no entanto, que o presente trabalho não teve o intuito de apresentar uma revisão aprofundada da literatura concernente aos fundamentos da coagulação química de águas naturais . Para informação mais aprofundada a esse respeito, recomenda-se a leitura de outros trabalhos publicados anteriormente, tais como, DI BERNARDO (1993), AMIRTHARAJAH & O'MELIA (1990), MENDES (1989), entre outros.

O presente capítulo inicia-se com uma breve análise das impurezas da água, tais como, cor e turbidez, que são passíveis de serem removidas pela flotação, seguida de uma revisão sucinta dos principais conceitos de coagulação. A partir de então, são apresentados brevemente alguns parâmetros relacionados à técnica de flotação, e finalmente alguns aspectos relacionados a polímeros e sua aplicação como auxiliar de floculação na flotação.

3.1.1- Cor e turbidez em águas naturais

A poluição pode afetar as propriedades óticas de um manancial através da cor e turbidez. Várias atividades humanas podem, por outro lado, concorrer para a elevação da turbidez e da cor de cursos d'água: irrigação de terras destinadas à agricultura, dragagens de areia, queima de matas, poluição por despejos de esgotos domésticos e de vários outros tipos de poluentes (BRANCO, 1986).

- **COR**

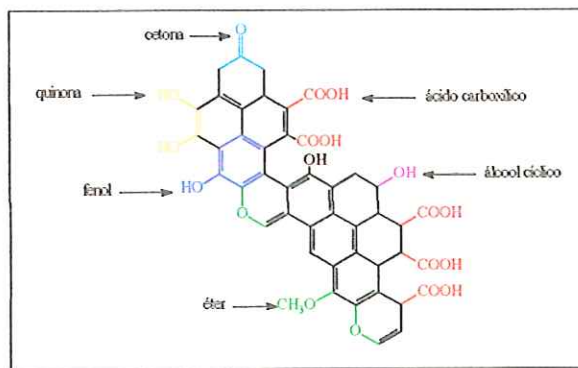
Muitas águas superficiais são freqüentemente coloridas e não são aceitas para uso doméstico, ou industrial sem tratamento para remover a cor. Na maioria dos casos, a cor resulta do contato da água com material orgânico, tal como madeira em estágio de decomposição e substâncias húmicas provenientes da decomposição da lignina, e que são consideradas as principais causadoras de cor (SAWYER & McCARTY, 1994).

De acordo com (BOLTO, 1995), as substâncias húmicas são constituídas de muitos compostos que contêm principalmente carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), nitrogênio (N) e enxofre (S). Sua composição varia de 43 a 62% de C, 31 a 49% de O, 1 a 7% de N e de 0,1 a 1,5% de S. As substâncias húmicas são ácidas e predominantemente constituídas de compostos aromáticos, comumente divididos em ácidos húmicos, os quais são solúveis em base mas não em ácidos, e ácidos fúlvicos, que são solúveis em ácidos e bases. Há também uma fração que não é solúvel nem em ácidos e nem em bases, e que são chamados de huminas. Os ácidos fúlvicos são hidrofílicos, enquanto os ácidos húmicos têm características hidrofóbicas. As substâncias húmicas são materiais únicos que:

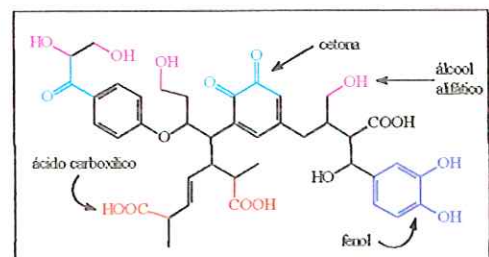
- possuem peso molecular entre 300 e 30000;
- através de suas regiões alifáticas e aromáticas hidrofóbicas, interagem com poluentes não polares como pesticidas;
- variam em suas estruturas moleculares, que têm principalmente fenóis, ácidos carboxílicos, além de álcool, quinona, éter, éster e grupos cetona;
- comportam-se como colóides carregados negativamente, ou como polímeros aniônicos com valor de pH de águas naturais.

Essas substâncias, além de provocarem cor, gosto e odor na água, sua remoção é essencial para minimizar riscos à saúde, decorrentes do potencial carcinogênico dos hidrocarbonetos clorados, que são formados pela reação do cloro com a matéria orgânica presente na água durante a desinfecção.(BOLTO, 1996).

Na Figura 01, são apresentadas algumas estruturas propostas para as substâncias húmicas.



Funchs, 1930



Steelink, 1985

FIGURA 01- Exemplos de estruturas químicas sugeridas para as substâncias húmicas.

Fonte modificada: BOLTO (1995)

- **Turbidez**

O termo turbidez é aplicado à água que contém matéria suspensa que interfere na passagem de luz. A turbidez pode ser causada por uma ampla variedade de materiais suspensos, cujo tamanho pode variar de coloidal a dispersões mais grosseiras, dependendo da turbulência. Muitos desses materiais são de natureza inorgânica, mas quantidades consideradas de matéria orgânica e biológica estão incluídas (na variação típica de 1-20%) (SAWYER & McCARTY, 1994).

Os materiais causadores da turbidez são um importante componente das águas naturais e precisam ser retirados devido ao fato de os microrganismos se adsorverem na superfície das partículas, podendo ser protegidos contra desinfecção (BOLTO, 1995).

A maioria das partículas presentes em águas naturais possui carga superficial negativa, tal como, siltes e substâncias húmicas, e, devido a este fato, a remoção pode ser realizada por coagulação com auxílio de um sal com íon metálico trivalente, como alumínio e ferro (SAWYER & McCARTY, 1994).

3.1.2- Alguns conceitos de coagulação química de águas naturais

A coagulação é definida como um processo por meio do qual uma solução estável ou dispersão de impurezas são desestabilizadas, e a floculação é o processo físico pelo qual o material desestabilizado é aglomerado (WANG, 1992).

O termo "coagulante" diz respeito a agentes químicos adicionados à água para facilitar a desestabilização da matéria coloidal em suspensão (AWWA, 1964).

Segundo DI BERNARDO (1993), a coagulação resulta de dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, e o segundo fundamentalmente físico. O fenômeno químico consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga, e depende da concentração do metal e do pH final da mistura. O fenômeno físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água. Ainda segundo DI BERNARDO (1993), a coagulação vai depender das características da água e das impurezas presentes, conhecidas através de parâmetros tais como pH, cor verdadeira, turbidez, alcalinidade, temperatura, força iônica, sólidos totais dissolvidos.

O uso de coagulantes químicos em estações de tratamento de água serve para diversos propósitos, tais como: desestabilizar partículas sólidas (particulados), remover da solução cor e precursores de trihalometanos (THM), melhorar a filtração e a floculação através do uso de auxiliar de coagulação (AWWA, 1989).

O'MELIA (1972) comenta que a maioria dos colóides em água e em águas residuárias apresenta carga negativa, e que a dispersão coloidal não produz carga elétrica. Forças repulsivas causadas pela carga coloidal e a atração de van der Waals, interagem entre as partículas na solução, produzindo uma barreira que impede a aproximação e caracterizando a estabilidade da partícula. O processo que supera esta barreira repulsiva resultando na aglomeração é denominado de coagulação. Quatro mecanismos distintos de coagulação são reconhecidos e apresentados a seguir.

3.1.3- Mecanismos de coagulação

A coagulação é resultado de quatro mecanismos distintos: a) compressão da camada difusa; b) adsorção e neutralização; c) varredura; d) adsorção e formação de pontes (DI BERNARDO, 1993).

a) Compressão da camada difusa

Segundo DI BERNARDO (1993), um sistema coloidal pode ser desestabilizado pela ação de íons de cargas contrárias às das partículas coloidais. Os sais de cloreto de sódio são “considerados eletrólitos indiferentes”, não tendo características de adsorção ou hidrólise, como os sais de alumínio e ferro. Por volta de 1900, Hardey e Schulze observaram que a desestabilização de um colóide por um eletrólito indiferente é ocasionada por íons de carga oposta, ou seja, pelas interações eletrostáticas, em que íons de mesma carga são repelidos e íons de carga oposta, atraídos pelos colóides. Quanto maior a carga do íon positivo, menor a quantidade requerida para a coagulação. A introdução de um eletrólito indiferente num sistema coloidal ocasiona aumento na densidade de carga na camada difusa e diminui a esfera de influência das partículas (haverá um potencial repulsivo menor), ocorrendo a coagulação por compressão da camada difusa. Ainda segundo o mesmo autor, os aspectos que merecem referência no fenômeno da dupla camada são:

- a quantidade de eletrólitos para conseguir-se a coagulação é, praticamente, independente da concentração de colóides na água;
- não é possível causar a reversão de carga dos colóides, qualquer que seja a quantidade de eletrólitos adicionada.

b) Adsorção e neutralização

A neutralização de carga ocorre quando sais de alumínio ou ferro são adicionados em água, formando espécies hidrolisadas (exemplo de espécies hidrolisadas de alumínio: $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$ e $\text{Al}(\text{OH})_4^-$), que são adsorvidas nas superfícies dos colóides desestabilizando-os. (AMIRTHARAJAH, 1989)

A adsorção dessas espécies hidrolisadas na superfície dos colóides pode ser devida a pontes de hidrogênio, reações de coordenação, ligação covalente e reação de troca iônica (STUMM & O'MELIA, 1968).

DI BERNARDO (1993) cita que "o mecanismo de adsorção-neutralização é muito importante quando o tratamento é realizado através de uma das tecnologias de filtração direta, pois não há necessidade da produção de flocos para posterior sedimentação mas de partículas desestabilizadas, que serão retiradas no meio filtrante".

Segundo COSTA (1990), existem diferenças entre o mecanismo de adsorção e compressão. Os que vêm descritos abaixo merecem especial atenção:

- a desestabilização promovida através de espécies adsorvíveis é conseguida com dosagens bem inferiores às dos eletrólitos indiferentes (concentração de cátions, em mol/L de Na^+ , Ca^{2+} e Al^{3+} , necessária para a coagulação, varia na razão de 0,1: 0,01 e 0,001);
- existe relação estequiométrica entre a quantidade da substância adsorvível e a concentração dos colóides;
- a reversão da carga superficial pode ocorrer pela superdosagem das espécies adsorvíveis.

c) Varredura

Quando um sal metálico, como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ou FeCl_3 , é usado como coagulante em concentrações suficientemente altas para causar a precipitação do hidróxido do metal ($\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$), as partículas coloidais podem ser "arrastadas" pelos precipitados formados. (STUMM & O'MELIA, 1968)

O mecanismo da varredura é intensamente utilizado nas estações em que se tem a floculação e sedimentação antecedendo a filtração, pois os flocos resultantes são de maior tamanho e apresentam velocidades de sedimentação

relativamente altas, se comparados aos flocos obtidos com a coagulação realizada no mecanismo de adsorção neutralização (DI BERNARDO, 1993).

d) Adsorção e formação de pontes

Esse mecanismo de desestabilização é alcançado por meio de alguns compostos orgânicos com longas cadeias e alto peso molecular, com sítios ionizáveis denominados polímeros ou polieletrólitos. Os polímeros são classificados, de acordo com a natureza de suas cargas: aniônicos, catiônicos, não iônicos e os anfótericos (que possuem carga aniônica e catiônica). (HAMMER, 1979)

BAJPAI (1997) cita que uma molécula de polímero adsorve-se à superfície do colóide, formando várias conformações denominadas de "laços" e "caudas", conforme é apresentado na Figura 02, e que poderá adsorver uma segunda partícula com sítios de adsorção livre, caso entre em contato com essas caudas e laços.

Maiores informações serão apresentadas no item 3.3.3.

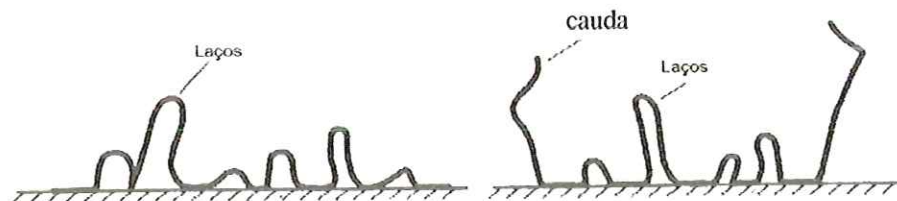


FIGURA 02- Conformações do polímero com a interface da partícula
Fonte modificada: BAJPAI (1997)

3.1.4- Coagulação com sulfato de alumínio

3.1.5- Considerações iniciais

Quando sais de alumínio são adicionados em água, o íon metálico Al^{3+} hidrata-se, coordenando com seis moléculas de água e formando um complexo hexaidratado $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$. Esta espécie reage, formando várias espécies hidrolisadas, onde grupos hidroxílicos irão substituir as moléculas de água coordenada (AMIRTHARAJAH & MILLS, 1982). Aceitando o fato da existência da espécie formada da hidrólise do Al (III), os mesmos autores deduziram que os complexos hidroximetálicos adsorvem-se na superfície da partícula coloidal podendo causar a reversão de carga dessas espécies, e que a seqüencial reação de hidrólise libera íons H^+ , abaixando o pH da solução nas quais eles são formados, e que a concentração das várias espécies hidrolisadas será controlada pela concentração final dos íons H^+ , ou seja, pelo pH.

DI BERNARDO (1993) comenta que é importante estudar as espécies hidrolisadas, que poderão estar presentes em determinado valor de pH, pois os mecanismos de coagulação dependem destas espécies, e que, através das espécies hidrolisadas do alumínio, é possível a construção de um diagrama em função do pH e concentração molar do alumínio.

3.1.6- Diagrama de coagulação

DI BERNARDO (1993) cita que trabalhos de diversos investigadores contribuíram consideravelmente para que, na década de 80, Amirtharajah propusesse uma forma mais simples de se estudar a coagulação baseada nos diagramas de solubilidade do alumínio e do ferro.

O diagrama de coagulação do sulfato de alumínio foi desenvolvido através do diagrama de estabilidade termodinâmica (pC -pH) para hidróxido de alumínio na fase sólida (AMIRTHARAJAH, 1989).

- **Remoção de cor**

Como mencionado no item 3.1.1, a cor é causada por compostos que possuem longas cadeias moleculares denominadas substâncias húmicas.

Essas substâncias são carregadas negativamente podendo ser removidas por dois mecanismos de coagulação do alumínio, a diferentes faixas de pH (AMIRTHARAJAH, 1989).

Na Figura 03, é apresentado um diagrama de coagulação do sulfato de alumínio obtido por AMIRTHARAJAH (1989), onde são mostradas as regiões de remoção de cor em função do pH de coagulação e da dosagem do coagulante. A dispersão que deu origem ao diagrama possui concentração de ácido húmico igual a 4,0 mg/L ou 100uC.

Observando-se o diagrama de coagulação, verifica-se a existência de duas regiões onde a remoção é superior a 80%. A primeira situa-se na faixa de pH entre 6,0 e 8,0 e dosagem de sulfato de alumínio superior a 12 mg/L, onde provavelmente ocorra remoção pelo mecanismo da varredura, feita pela ação do precipitado composto $Al(OH)_{3(s)}$. A segunda região situa-se na faixa de pH entre 4,0 e 5,5 onde os compostos hidrolisados de alumínio neutralizam as cargas dos compostos húmicos, desestabilizando-as (COSTA, 1990).

sulfato de alumínio é mostrada na Figura 04. O ponto isoelétrico (pie), ou ponto de coagulação zero, para o hidróxido de alumínio está na faixa de pH entre 7,0 e 9,0, dependendo dos íons presentes em solução. Na Figura 04, foi assumido que o ponto isoelétrico do hidróxido de alumínio seja 8,0. A interação do colóide negativamente carregado com as espécies hidrolisadas de alumínio resulta em dois pontos isoelétricos, potencial zeta igual a zero, (pontos A e B da Figura 04). Como mostra a Figura 04, uma dosagem de sulfato de alumínio igual a 10 mg/L produzirá duas condições de neutralização de cargas: no pH igual a 4,8, onde o colóide é desestabilizado devido à adsorção de espécies hidrolisadas solúveis, e no pH 6,8, onde ocorre a desestabilização por neutralização de cargas. Como o potencial zeta é próximo a zero, as duas regiões produzem condições muito boas para a coagulação. Entre esses dois valores, o colóide coberto é restabilizado devido à adsorção em excesso de espécies carregadas positivamente.

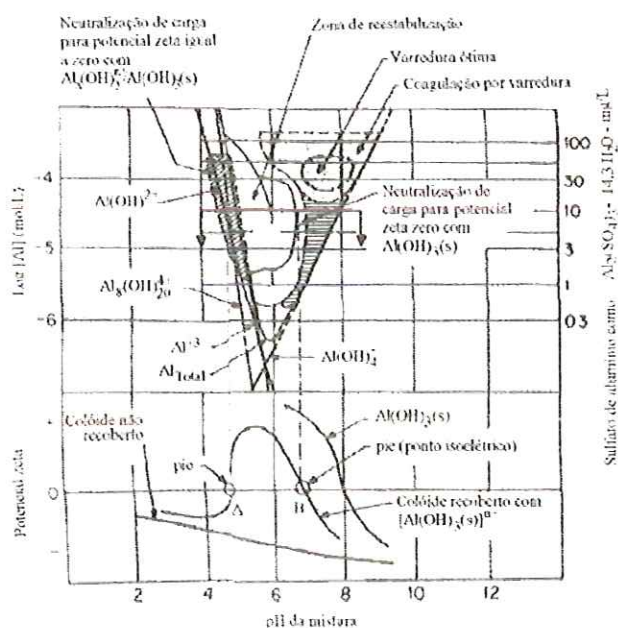


FIGURA 04- Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio e sua relação com o potencial zeta.

Fonte: DOMBROSKI (1996), adaptado de AMIRTHARAJAH (1989)

3.2- Conceitos Básicos da Flotação

3.2.1- Introdução

A primeira menção da flotação se dá no século XV, quando ela era empregada no enriquecimento do carbonato de cobre. Mas somente no século XIX, em consequência da Revolução Industrial, foi que o processo da flotação emergiu, ainda de forma rudimentar, na indústria de mineração. Em 1860, William Haynes patenteou um processo que consistia na mistura de grande quantidade de determinado tipo de óleo com o minério bruto moído em suspensão aquosa, e que o óleo flutuando sobre a massa líquida, arrastava grande parte do minério desejado. Em 1902, Froment, propôs a introdução de bolhas de ar ou CO₂ na mistura "minério bruto + água + óleo", com a finalidade de ajudar a flutuação das substâncias oleofílicas, dando início ao desenvolvimento das técnicas modernas de flotação. Em 1907, H. Norris obteve ótimos resultados na flotação de sulfetos metálicos, através da saturação de certo volume de água com ar submetido a alta pressão, a qual injetada, em seguida, diretamente em um bocal dentro de um tanque contendo a "mistura" de minério bruto + óleo, formava minúsculas bolhas de ar devido à despressurização da água saturada com ar (KITCHENER, 1984).

Segundo (EDZWALD, 1995), algumas vezes a flotação é descrita em termos do material a ser removido: por exemplo, flotação de minérios; outras vezes, é descrita em termos do método de formação de bolhas, como eletroflotação, flotação por ar disperso e flotação por ar dissolvido. Ainda segundo EDZWALD (1995), existem muitas aplicações para a flotação por ar dissolvido (FAD), podendo-se citar, entre outras, na indústria de papel e celulose, tratamento de águas residuárias industriais e municipais, remoção de tintas de efluentes líquidos industriais, remoção de óleos e gorduras, e na área de tratamento de águas para abastecimento.

No Brasil, a primeira aplicação da flotação por ar dissolvido para tratamento de água é a de Meaípe, Espírito Santo, operando desde 1994. (LOBATO et al., 1995)

3.2.2- Técnicas de flotação

De acordo com ZABEL & MELBOURNE (1980), os diferentes métodos de produção de bolhas fornecem os seguintes tipos de processos de flotação: flotação eletrolítica, flotação por ar disperso e flotação por ar dissolvido (FAD).

- **Flotação eletrolítica**

A base da eletroflotação, ou flotação eletrolítica, é a geração de bolhas de hidrogênio ou oxigênio em uma solução aquosa diluída, através da aplicação de uma corrente elétrica entre dois eletrodos: portanto, as bolhas são geradas pela eletrólise da água.

- **Flotação por ar disperso**

A flotação por ar disperso tende a gerar bolhas de ar relativamente grandes (1mm), quando comparada com a flotação por ar dissolvido e a flotação eletrolítica. Dois diferentes sistemas de flotação por ar disperso são usados: (1)- "foam flotation", e (2)- "froth flotation".

(1)- *foam flotation*: as bolhas de ar são geradas pela passagem do ar através dos poros de uma placa porosa, que pode ser de metal, cerâmica ou plástico.

(2)- *froth flotation*: as bolhas de ar são geradas por uma turbina.

A flotação por ar disperso é geralmente usada em indústrias de minério.

- **Flotação por ar dissolvido (FAD)**

Na flotação por ar dissolvido, as bolhas são produzidas pela redução da pressão de uma parcela de água saturada com ar. O ar é, então, liberado na forma de pequenas bolhas (10 a 100 μm). De acordo com a lei de Henry, a solubilidade de um gás em um líquido é proporcional à pressão parcial do gás sobre o líquido. São conhecidos os seguintes tipos de processos de FAD:

①- *flotação a vácuo*: a água a ser tratada é saturada com ar a pressão atmosférica, em seguida é encaminhada a uma câmara de vácuo, e então aplicada ao tanque de flotação, liberando pequenas bolhas devido à queda de pressão. Este processo é usado em indústrias de papel para a recuperação das fibras.

②- *flotação por pressurização*: o ar dissolvido na água sob pressão é liberado quando é submetido a pressão atmosférica, na forma de pequenas bolhas de ar.

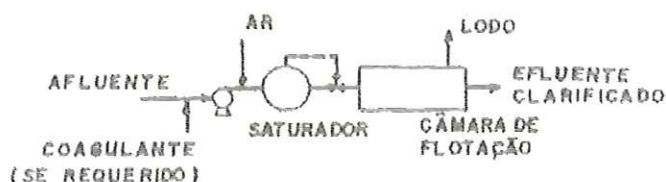
Há três processos básicos de FAD por pressurização. São eles:

a) FAD com pressurização total do afluente: todo o afluente é pressurizado e tratado.

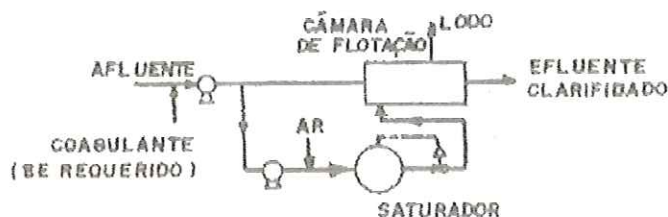
b) FAD com pressurização parcial do afluente: uma fração do afluente é pressurizada. Este esquema oferece um custo menor em relação à pressurização total, pois o saturador e a bomba alimentadora trabalham com uma porção do afluente total e menores unidades são requeridas.

c) FAD com recirculação pressurizada do afluente: neste processo, parte do efluente já clarificado é recirculado, pressurizado e saturado com ar na câmara de saturação. A água pressurizada é introduzida no tanque de flotação através de um dispositivo de despressurização e misturada com a água floculada. A pressão liberada é reduzida a pressão atmosférica, liberando o ar na forma de pequenas bolhas (10 a 100 μm).

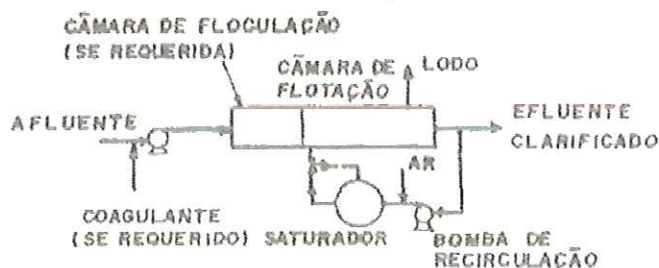
Para a aplicação no tratamento de água para abastecimento, onde os flocos formados são relativamente frágeis, o sistema mais apropriado é a flotação por ar dissolvido com recirculação pressurizada (REALI, 1991).



a) Flotação por ar dissolvido com pressurização total do afluente



b) Flotação por ar dissolvido com pressurização parcial do afluente



c) Flotação por ar dissolvido com recirculação pressurizada

FIGURA 05- Modalidade da técnica de FAD por pressurização
Fonte modificada: (ZABEL 1980)

3.2.3- Conceitos Gerais sobre Flotação por Ar Dissolvido (FAD)

Segundo REALI (1991), a flotação é a operação pela qual se tem a separação de partículas sólidas ou líquidas de uma fase líquida através da

utilização de bolhas de gás (normalmente o ar), que, aderindo à superfície das partículas, aumentam seu empuxo, provocando assim a ascensão das mesmas em direção à superfície da fase líquida.

REALI & CAMPOS (1992) citam que o sucesso da FAD depende basicamente de três estágios:

- geração de microbolhas de gás;
- flotação propriamente dita, em que ocorrem a colisão e a aderência das microbolhas às partículas, proporcionando sua remoção por flotação.
- coagulação/floculação das partículas coloidais. A relação será discutida posteriormente no item.3.2.5.

EDZWALD (1995) cita que pequenas bolhas de ar ($\leq 100 \mu\text{m}$) são formadas pela injeção de água pressurizada dentro do tanque de flotação usando-se bocais ou válvulas, e que, para assegurar pequenas bolhas (entre 10 a $100 \mu\text{m}$), pressões relativas entre 400 a 600 kPa são recomendadas na câmara de saturação. O autor sugere como um possível mecanismo para a formação de agregado bolha-partícula, a colisão da partícula e a aderência com as bolhas préformadas. Classicamente, ainda segundo EDZWALD (1995), o ângulo de contato formado pela bolha e a partícula a ela aderida, como ilustra a Figura 06, é usado para descrever a flotação das partículas pela bolha. O ângulo de contato (θ) deve ser finito e grande o bastante para que o trabalho ou energia de aderência da água na partícula sólida seja menor que a energia de coesão da água. Para que ocorra a aderência entre a partícula e a bolha, é necessário que a partícula seja hidrofóbica, ou possua sítios de hidrofobicidade.

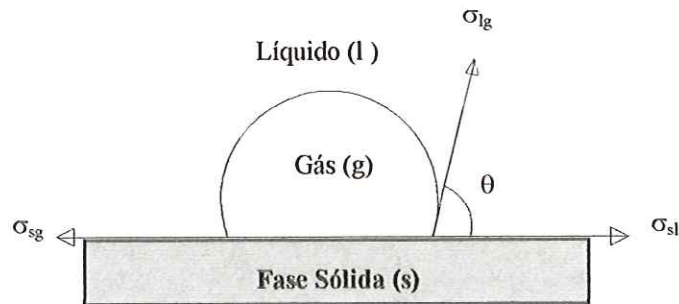


Figura 06- Ângulo de contato entre uma fase sólida e uma fase gasosa imersa numa fase líquida.

Fonte: EDZWALD (1995)

KITCHENER (1984) comenta que partículas nunca são capturadas pelas bolhas sem um ângulo de contato finito (θ), que é formado junto a água.

Segundo HAHN (1984), com o decréscimo do ângulo de contato (isto é, para flocos com menores graus de hidrofobicidade), são necessárias bolhas de gás cada vez menores para o estabelecimento de uma ligação "bolha/floco" estável. O contato permanente depende das forças resultantes na interface gás/líq./sólido, derivadas das forças físicas de atração e das forças físico-químicas de repulsão. Assim, esta etapa da reação é controlada predominantemente por parâmetros físico-químicos.

REALI & CAMPOS (1992) citam que o projeto adequado dos equipamentos que compõem a unidade de geração de microbolhas de uma instalação de FAD é de fundamental importância para a obtenção de bons resultados na flotação. Os referidos autores desenvolveram um tipo de câmara de saturação com recheios de PVC, que apresentou bom desempenho em toda a faixa de valores de $TASap$ (entre 290 e 1060 m^3/m^2d) e pressão (entre 200 e 490 kPa) estudadas. Este tipo de câmara de flotação é o mesmo utilizado na presente pesquisa com a instalação piloto de escoamento horizontal apresentada no item 4.2.2.

Em relação à colisão e aderência das microbolhas à partícula, EDZWALD (1995) informa que a câmara de flotação é dividida em duas zonas: a zona de contato ou zona de reação, onde são promovidos o contato e

aderência de partículas à bolha; e a zona de clarificação, que proporciona relativas condições de repouso para que os aglomerados bolha-floco subam à superfície.

Segundo LONGHURST et al apud² REALI (1991), para garantir a presença dos aglomerados bolha-floco na superfície do tanque de flotação, é utilizado um anteparo inclinado na entrada do tanque para direcionar o fluxo de bolhas para cima rumo à saída do flotador, com ângulo entre 45° a 90° com a horizontal, conforme mostra a Figura 07

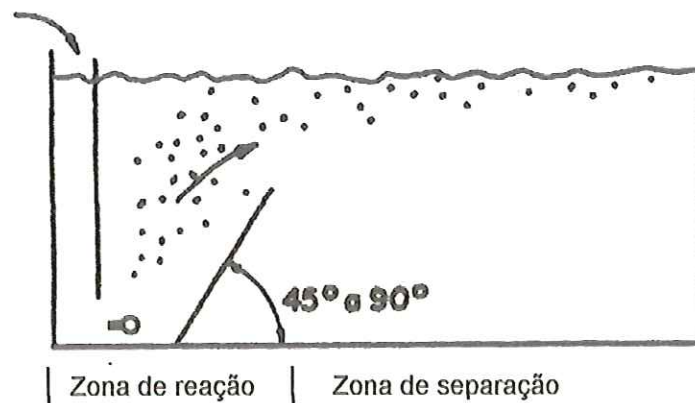


Figura 07- Ângulo de inclinação do anteparo na entrada da câmara de flotação
Fonte modificada: REALI (1991)

ZABEL & MELBOURNE (1980) citam que um importante fator para uma adequada qualidade da água tratada é a quantidade de ar fornecida na flotação por ar dissolvido, e que esta pode variar, alternando-se a pressão na câmara de saturação ou a quantidade de água recirculada. Os autores referidos efetuaram diversas pesquisas variando a razão de recirculação com diferentes pressões de saturação, e concluíram que o importante é a quantidade de ar introduzida e não valores individuais de pressão e recirculação. Ainda segundo os mesmos autores, uma quantidade de ar,

² LONGHURST, S.J., GRAHAM, N.J.D. (1987) Dissolved air flotation for potable water treatment: a survey of operational units in Great Britain. *The Public Health Engineer*, v.14, p.71-76, Apr.

fornecida entre aproximadamente 8 a 10 g de ar/ m³ de água, é adequada para um bom desempenho na flotação.

3.2.4- Flotação por Ar Dissolvido na Clarificação de Águas para Abastecimento

A flotação por ar dissolvido (FAD) é uma alternativa ao processo de clarificação por sedimentação, especialmente quando a água a ser tratada contém partículas de baixa densidade, como é o caso das algas e flocos formados com águas contendo cor natural ou substâncias húmicas. (MALLEY.& EDZWALD, 1991b).

Desde 1965, a Finlândia utiliza a flotação por ar dissolvido como processo de clarificação de águas contendo substâncias húmicas (HEINANEN, 1995). Na África do Sul, a primeira aplicação da FAD em tratamento de água, foi em 1969, para a remoção de águas eutrofizadas, quando se desenvolveram técnicas combinadas de FAD/Filtração, entre outros (OFFRINGA, 1995). Por volta de 1970, começaram as primeiras pesquisas de FAD na Holanda, e em 1979, foi construída a primeira estação de tratamento de água utilizando FAD em combinação com filtração rápida para águas contendo baixa turbidez e presença de algas (PUFFELEN, 1995). NICKOLS et al. (1995), citam que em 1993, entrou em operação a primeira estação de tratamento de água por FAD, na cidade de Westchester, localizada a 60 km ao norte da cidade de New York. No Brasil, através de pesquisas realizadas por REALI (1984), foi efetuada a primeira aplicação da flotação por ar dissolvido como etapa do tratamento de água para abastecimento, numa instalação piloto, montada na estação de tratamento de água na cidade de São Carlos -SP.

Ainda com relação à aplicação da flotação por ar dissolvido ao tratamento de água para abastecimento, vale ressaltar o trabalho realizado por

REALI & MARCHETTO(1996), os quais avaliaram o desempenho de uma unidade original de flotação por ar dissolvido de alta taxa. Esse tipo de unidade possui, em seu interior, placas planas paralelas, inclinadas a 60° e 70°, permitindo a obtenção de escoamento horizontal associado a baixos números de Reynolds. No trabalho experimental, o referido reator foi alimentado com água contendo cor elevada (100 uC) e baixa turbidez (6,0uT). Segundo os referidos autores, esse tipo de reator apresentou elevada eficiência, demonstrando capacidade para suportar taxas de aplicação superficial aparente (TASap) bastante elevadas (até 1104 m³/m²d). Além disso, os autores verificaram que a quantidade de ar requerida para a flotação, nesse tipo de reator, foi bem menor (em torno de 4,0 g de ar/ m³ de água) que aquelas exigidas por unidades convencionais de flotação (em torno de 8,0 a 10,0 g de ar/ m³ de água). Como será mencionado no item 4, parte da presente pesquisa foi desenvolvida na mesma unidade de instalação piloto com escoamento horizontal entre placas planas paralelas inclinadas a 60°.

REALI & DOMBROSKI (1996) verificaram a influência do gradiente médio de velocidade (Gf) e do tempo de floculação (Tf) na eficiência de uma unidade de flotação por ar dissolvido em escala de laboratório, aplicada para o tratamento de água de abastecimento contendo cor elevada (100 uC) e baixa turbidez (6,0 uT). Os ensaios foram realizados para tempo de mistura rápida (Tmr) de 10; 20; 30 e 40 seg, com gradiente médio de velocidade de mistura rápida (Gmr) de 600; 700; 800; 1000 e 1100 s⁻¹, e, com a finalidade de adequar o tempo e o gradiente médio de velocidade de floculação visando a flotação, foram testados Tf de 2; 4; 8; 12; 16; 20 e 30 min e Gf de 20; 40; 60; 80 e 100s⁻¹. Os referidos autores concluíram que o Gmr e o Tmr que obtiveram melhores resultados foram o de 1000 s⁻¹ e o de 10 seg, respectivamente, e, quanto ao tempo de floculação, o que proporcionou a maior eficiência de remoção de cor aparente e turbidez foi o Tf de 20 min com Gf de 60 s⁻¹.

DOMBROSKI et al. (1996) relatam os resultados obtidos com a operação de uma instalação piloto de floculação - flotação por ar dissolvido em escala de laboratório (flotatestes), empregada para a clarificação de uma água bruta contendo cor elevada (em torno de 263 uC) e baixa turbidez (em torno de 5,0 uT), após a coagulação com sulfato de alumínio. Os ensaios foram realizados variando-se a dosagem de sulfato de alumínio entre 20 mg/L e 70 mg/L em diferentes valores de pH (entre 5,2 e 7,2). Os autores verificaram que para o tipo de água estudada, a maior eficiência de remoção de cor aparente (94%) foi obtida para DSA de 70 mg/L.

REALI & DOS SANTOS (1997) relatam os resultados obtidos em uma instalação de floculação-flotação por ar dissolvido (FAD) em escala piloto, onde investigaram o desempenho da flotação com escoamento vertical entre placas na remoção de algas em águas de abastecimento. Nos ensaios, foram investigadas a influência da Taxa de Aplicação Superficial Aparente (TASap) com os respectivos números de Reynolds associados ao escoamento entre placas e a quantidade de ar fornecida, na eficiência da flotação. Os referidos autores constataram que o sistema mostrou melhor desempenho com o fornecimento de ar na faixa de 2,7 a 4,7 g de ar/ m³ de água, para valores de TASap de 220, 365 e 1020 m³/m²d, e apresentou remoção entre 94,7 a 98,2% de redução de clorofila *a*. O melhor desempenho foi obtido para TASap de 220 m³/m²d, quando foram alcançadas eficiências médias de 98,2% de remoção de clorofila *a*, 86% de remoção de turbidez e 93,6% de remoção de SST.

Algumas possíveis vantagens do uso da FAD são citadas por REES (1979), tais como: podem operar com altas taxas de aplicação superficial (288 m³/m²d); têm partida rápida, podendo alcançar qualidade constante da água em 45 minutos; possuem unidades relativamente pequenas e com baixa profundidade (1,2 a 1,6 m), e concentração de sólidos relativamente altas, no lodo produzido.

Como desvantagem, EDZWALD et al. (1992) citam os altos custos com energia elétrica para recalque da água de recirculação.

3.2.5- Coagulação/ Floculação na FAD

Segundo EDZWALD (1995), considera-se que o que pré-tratamento feito antes da flotação como, por exemplo, adição de coagulante e floculação, pode afetar o desempenho da FAD. Condições favoráveis para a fixação das bolhas nas partículas requerem condições de coagulação que reduzam a carga da partícula e produzam partículas hidrofóbicas.

EDZWALD et al. (1992) afirmam que uma flotação efetiva requer a desestabilização da partícula e partículas hidrofóbicas. Isto não difere da desestabilização das partículas para sedimentação, filtração, ou filtração direta; difere, contudo, no tamanho dos flocos, que na flotação precisam ser menores.

A adequada interação partícula-bolha tem duas causas para a estabilidade: a interação da carga elétrica entre partícula e bolha, e a camada de água ao redor das partículas, que deve ser deslocada para haver colisão entre partícula e bolha. Para que isto ocorra, condições de coagulação adequadas como pH e dosagem de coagulante, são necessárias (MALLEY & EDZWALD 1991.b).

VALADE et al. (1996), examinando os efeitos do tipo de coagulante (alumínio e ferro), tempo de floculação (5 e 20 min) e intensidade do gradiente de floculação (G de 30 e 70 s^{-1}), sobre o desempenho da flotação por ar dissolvido, seguido de filtração, verificaram que as variações ocorridas na floculação eram devidas à coagulação química (pH e dosagem de coagulante) que teve influência no desempenho da FAD mais forte que os parâmetros físicos da floculação.

Segundo ZABEL (1984), a otimização do pH e dosagens de coagulantes na flotação são similares à requerida para a sedimentação, podendo ser determinada por ensaios de sedimentação (*jar test*). A esse respeito, REALI & CAMPOS (1995) realizaram estudo visando a comparação entre as condições de coagulação requeridas para a flotação e a sedimentação para o tratamento de água bruta com cor elevada e baixa turbidez. Os autores verificaram que para aquele tipo de água, as condições adequadas (pH e dosagem de coagulante) obtidas em ensaios de sedimentação (*jar test*) foram diferentes das condições obtidas em testes de flotação (flotatestes). Assim, os referidos autores concluíram que as condições ótimas de coagulação para flotação devem ser determinadas em equipamentos do tipo flotatestes.

Segundo GREGORY & ZABEL (1990), o tempo de floculação, o grau de agitação e a forma como é promovida a agitação afetam o desempenho da flotação.

Segundo ZABEL & MELOURNE (1980), o tempo de floculação vai ser diferente dependendo das características físico-químicas da água a ser tratada. Eles constataram que, para águas que possuíam concentrações de algas, o tempo de floculação foi de 12 minutos; contudo, quando a água era colorida, o tempo de floculação foi de 20 minutos.

VALADE et al. (1996) afirmam que o tempo de floculação na flotação geralmente varia de 5 a 20 minutos.

ZABEL & MELBOURNE (1980); ZABEL (1982) citam que o valor adequado do gradiente de velocidade de floculação (G_f) utilizado na flotação, foi de 70 s^{-1} ; ØDEGAARD (1995), estudando a otimização da floculação na flotação, encontraram valores de G_f adequados de 60 a 80 s^{-1} .

Segundo EDZWALD (1995), a maioria dos projetos prevê dois ou três compartimentos de floculação, com valores decrescentes do gradiente médio de velocidade de floculação. A esse respeito, DOMBROSKI (1996), estudando aspectos fundamentais da floculação, tais como número de compartimentos de

floculação, empregando uma unidade de flotação por ar dissolvido em escala piloto e utilizando água de estudo de forma a apresentar cor aparente em torno de 100 uC e turbidez de 6,0 uT, verificou que os melhores resultados apresentados ocorreram quando a instalação-piloto foi operada com tempo de floculação de 24 minutos e com duas câmaras de floculação em série com gradiente médio de velocidade de 80 s^{-1} na primeira câmara e 60 s^{-1} na segunda.

Contudo, REES et al. (1979) afirmam que não é necessário utilizar valores decrescentes de gradiente médio de velocidade de floculação.

3.3-Polímero como auxiliar de floculação

3.3.1- Introdução

Os polímeros existem na forma natural desde os primórdios da vida, e alguns como o DNA, RNA, proteínas e polissacarídeos possuem papel crucial na vida de plantas e animais. O homem têm explorado os polímeros naturais como material para o fornecimento de roupas, abrigos, ferramentas e outras necessidades. Entretanto, as origens da indústria polimérica atual é comumente relacionada como proveniente do século XIX quando importantes descobertas foram feitas concernentes à modificação de certos polímeros naturais iniciando-se assim a ciência dos polímeros sintéticos. Em 1910, foi comercializado o primeiro polímero sintético, as resinas de fenol formaldeído. Na Primeira Guerra Mundial, a Alemanha produziu a primeira borracha sintética, como substituto da borracha natural. Embora a indústria de polímeros já estivesse estabilizada, seu crescimento era restrito devido à considerada falta de entendimento da natureza dos polímeros. Por volta de 1920, os

cientistas acreditavam que os polímeros consistiam de agregados de pequenas moléculas. Poucos cientistas concordavam com o ponto de vista de Hermann Staudinger, em que os polímeros eram compostos de grandes moléculas contendo longas seqüências de unidades químicas, unidas por ligações covalentes, em que ele denominou de macromoléculas. Através dos estudos de Staudinger, Mark e Meyer, trabalhando com cristalografia de polímeros naturais e preparação de poliamidas e poliéster, ficou constatado e aceito a estrutura macromolecular dos polímeros (YOUNG & LOVELL, 1991).

Em 1930, Baylis, Graf e Schworm mostraram que poderiam obter uma pronunciada melhora na clarificação de águas para abastecimento, utilizando cátions trivalentes (coagulante primário) com pequenas quantidades de ácido silícico de sódio. Esse ácido tornou-se o primeiro polímero a ser usado em tratamento de água, sendo seguido, em 1950, pela adição de polímeros naturais e sintéticos. Numerosos polímeros foram então introduzidos, especificamente formulados para serem usados em clarificação de águas (HILSON & RICHARD, 1980).

Desde a sua introdução no mercado mundial, em 1960, os polímeros sintéticos utilizados como floculantes foram amplamente empregados dado o fato de suas características líquidas apresentarem facilidade de manuseio e de sua diluição em solução ser relativamente rápida (SHALL et al., 1996).

LETTERMAN & PERO (1990) comentam que, até 1990, tinha sido estimado que mais da metade das estações de tratamento de água nos Estados Unidos usava um ou mais polímeros para aumentar a eficiência do tratamento.

No Brasil, um dos primeiros estudos com relação à utilização de polímeros sintéticos como auxiliares de floculação em tratamento de água, foi realizado por CAMPOS (1972), que efetuou uma série de testes com polímeros comerciais disponíveis no Brasil, com o objetivo de conhecer algumas

propriedades desses produtos, quando empregados como auxiliares de floculação na sedimentação.

DI BERNARDO & PAIXÃO (1996) desenvolveram uma metodologia para o uso combinado de um sal, como coagulante primário e de polímeros sintéticos como auxiliares de floculação na sedimentação. Esta metodologia consiste na construção do diagrama de coagulação, traçando-se as curvas de turbidez ou da cor aparente remanescente, e selecionando-se os pontos de menor dosagem do coagulante primário nas curvas de diferentes valores de turbidez ou da cor aparente remanescente, para os quais varia-se a dosagem dos polímeros a serem estudados. Ainda segundo os referidos autores, geralmente o estudo do uso de polímeros como auxiliar de floculação era feito reduzindo-se a dosagem de sulfato de alumínio, porém mantendo-se o pH aproximado de coagulação.

3.3.2 - Definição de polímeros

Os polímeros utilizados em tratamento de água são compostos naturais ou sintéticos, também conhecidos como polieletrólitos, que possuem uma forte tendência para adsorver-se sobre a superfície da partícula em suspensão aquosa (LETTERMAN & PERO 1990).

Os polímeros sintéticos são constituídos de uma série de unidades químicas (monômeros) repetidas que se mantêm unidas por ligações covalentes. Se as unidades que se repetem têm a mesma estrutura molecular, o composto se denomina homopolímero. Caso contrário, denomina-se copolímero (MANFRINI, 1976).

Os polímeros podem ser também classificados quanto a sua carga. São eles: os aniônicos, catiônicos e os não iônicos.

- *Polímeros aniônicos:*

Segundo VORCHHEIMER (1981), o sítio ativo desses polímeros é negativo. Os que contêm grupos ácidos carboxílicos ($R-COO^-$) são os mais comumente usados como floculante para tratamento de água e águas residuárias.

Contudo, uma pequena percentagem de grupos carboxílicos é distribuída ao longo da cadeia polimérica, sendo a acrilamida a estrutura mais comumente encontrada como um resultado da hidrólise de alguns grupos amina (LUTTINGER, 1980).

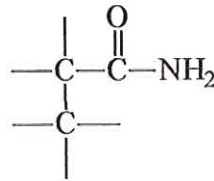


Figura 08- Estrutura de uma unidade de acrilamida
Fonte: LUTTINGER (1980)

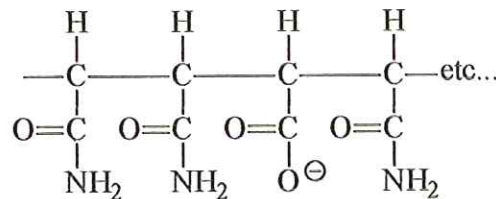


FIGURA 9- Estrutura esquemática do polímero aniônico
Fonte: LUTTINGER (1980)

Outros polímeros aniônicos também usados em tratamento de água são os que contêm grupos ácidos sulfônicos (1) e ácidos fosfóricos(2)

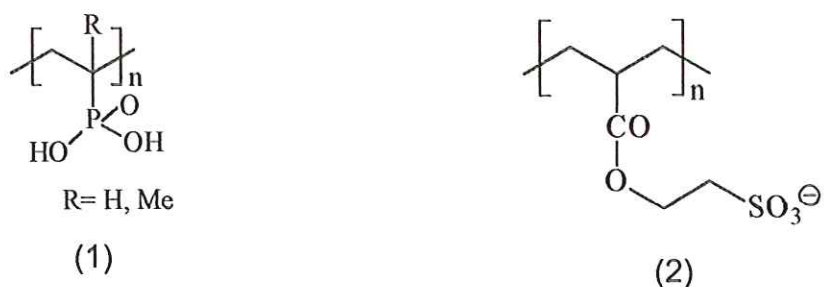


Figura 10- Estrutura de polímeros aniônicos -(1) contendo grupos ácidos sulfônicos (2)- contendo grupos ácidos fosfóricos
Fonte: BOLTO (1995)

- *Polímero catiônico*

Esses polímeros contêm grupos carregados positivamente, tais como amino ($-\text{NH}_3^+$), imino ($-\text{CH}_3-\text{NH}_2^+-\text{CH}_2-$), ou amino quaternário ($-\text{NR}_4^+$). Os polímeros catiônicos podem ser utilizados como coagulante primário, ou seja, neutralizam ou desestabilizam partículas coloidais, e também como auxiliar de floculação pelo mecanismo ponte (LUTTINGER, 1980).

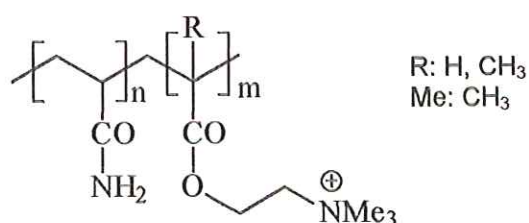


Figura 11- Estrutura de polímero catiônico contendo grupos amida, amino quaternário.
Fonte: BOLTO (1995)

- *Polímeros não iônicos*

Esses polímeros possuem sítios com baixa densidade de carga ou baixa tendência para desenvolvê-los em solução aquosa. Polímeros sintéticos, como poliacrilamida, são relativamente recentes em tratamento de água, mas

polímeros de origem natural têm sido usados desde muitos anos, como derivados de celulose, gelatinas e amido. Os polímeros sintéticos contêm de 1 a 3% de grupos aniônicos derivados da hidrólise dos grupos aminas (BOLTO, 1995).

Segundo LUTTINGER (1980), poder-se-ia, então, esperar um comportamento do polímero não iônico semelhante ao do polímero aniônico. Contudo, os sítios pouco carregados dos polímeros não iônicos impedem uma extensão significativa da cadeia estrutural, sendo, portanto, menos estendidos em solução que os polímeros aniônicos. Este fato poderia ocasionar diferenças, especialmente em relação a aplicação de polímeros não iônicos na filtração, ocasionando uma menor sobrecarga de cargas negativas.

3.3.3- Mecanismo do polímero como auxiliar de floculação

Segundo HILSON & RICHARDS (1980), as ligações dos polímeros dependem de um número de fatores incluindo: interações dipolo, iônica, pontes de hidrogênio e forças de van der Waals.

Quando polímeros em solução entram em contato com uma superfície sólida (partícula coloidal), devido às grandes dimensões das suas moléculas e à presença de grandes quantidades de sítios ativos, eles apresentam uma enorme tendência para adsorver-se sobre estas partículas (BAJPAI, 1997).

O mecanismo que melhor explica a desestabilização dos colóides e floculação é o de adsorção e formação de pontes (item 3.1.4).

O'MELIA (1972) comenta que La Mer (1958), Michael (1954) e outros pesquisadores desenvolveram uma teoria para explicar a habilidade dos polímeros de desestabilizar colóides. Este fenômeno baseia-se no fato de que uma molécula de polímero contém grupos que podem interagir com a superfície coloidal. Quando uma molécula de polímero entra em contato com uma

partícula coloidal, ela adsorve-se na superfície da partícula, ficando um segmento desta molécula estendida na solução. Se uma partícula com sítios de adsorção livre entra em contato com este segmento estendido, pode ocorrer um novo contato formando um complexo partícula-polímero-partícula, com o polímero servindo como ponte.

A Figura 12, a seguir, apresenta alguns esquemas clássicos da adsorção e subsequente interação entre a molécula do polímero e a partícula coloidal.

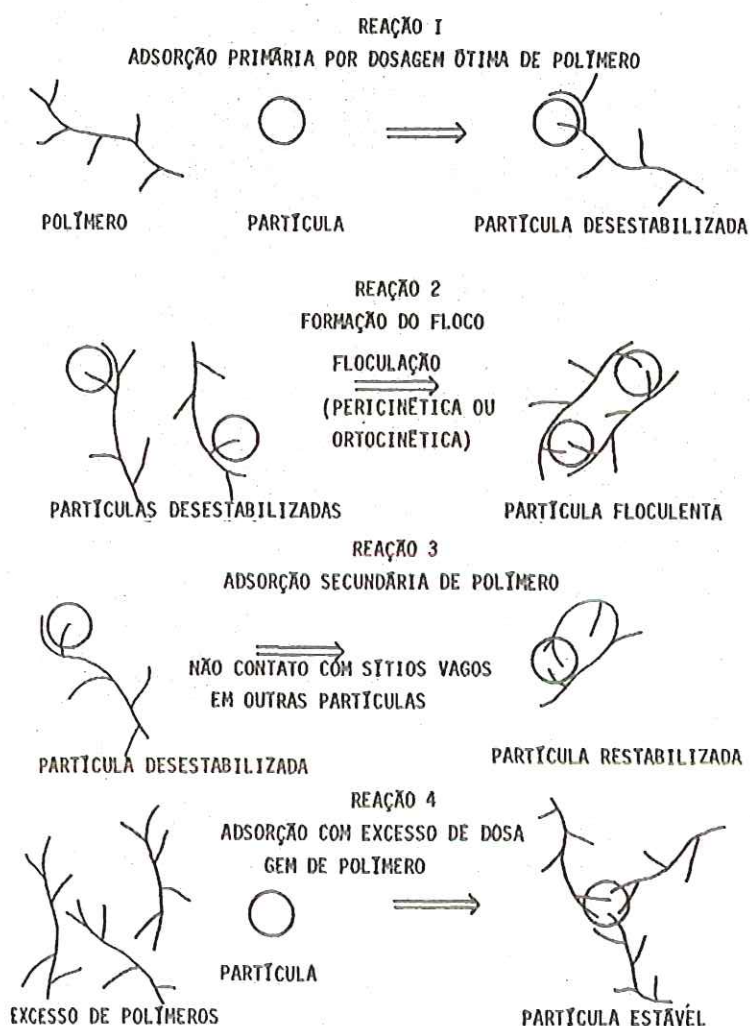


FIGURA 12- Representação esquemática da desestabilização de colóides por polímeros

Fonte modificada: O'MELIA (1972)

De acordo com O'MELIA (1972), como mostra a Figura 12, o polímero é adsorvido em sítios específicos da superfície das partículas coloidais, desestabilizando-as (reação 1), e uma mesma cadeia polimérica pode envolver mais que uma partícula coloidal (reação 2). As reações 3 e 4 mostram que as partículas coloidais permanecem estáveis, em detrimento da formação de flocos, e que a agitação excessiva pode ocasionar a ruptura de flocos previamente formados provocando novamente o aparecimento de partículas estáveis, semelhantes às obtidas na reação 3. Na reação 4, o polímero participa como um agente de proteção, pois suas cadeias se estendem para o interior do meio, dificultando a agregação das partículas coloidais, efeito denominado "estabilização estérica".

A respeito da estabilização estérica, HILSON & RICHARDS, (1980) citam que a superfície da partícula pode tornar-se progressivamente encoberta com o polímero, minimizando o efeito ponte, e eventualmente estabilizando a suspensão. Cuidadosa atenção com o controle da dosagem de polímero se faz necessária. Na Figura 13, é apresentado um esquema em que ocorre a floculação devido às quantidades adequadas do polímero e à estabilização pelo excesso de polímero.

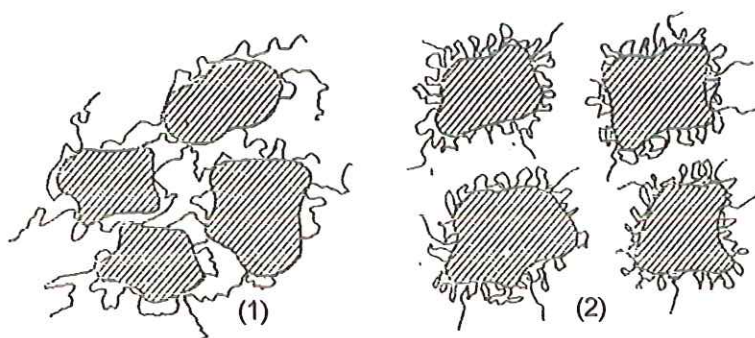


Figura 13- Floculação e estabilização por polímeros como auxiliar de floculação. (1)-Floculação com dosagem adequada de polímero. (2)-Estabilização com dosagem elevada de polímero.
Fonte modificada: HILSON & RICHARDS (1980)

LUTTINGER (1980), menciona que a floculação é usualmente mais efetiva quando usado polímeros de alto peso molecular, pois maior é a sua

extensão geométrica no sistema, e maior o número de partículas que ele pode afixar.

3.3.4- Fatores que interferem na eficiência da floculação com polímeros

Alguns dos fatores relacionados à interferência da floculação com polímeros, citados por CAMPOS (1980), serão exibidos superficialmente. Os principais são:

- *Concentração de polímero*

Existe uma correlação entre concentração ótima de polímeros e a eficiência máxima na floculação, sendo que esta condição ótima consiste no fato de que a metade das partículas em suspensão seja coberta pelos polímeros adsorvidos.

- *Peso molecular do polímero*

HELLER & PUCH (1963) apud³ CAMPOS (1980) constataram uma grande redução na eficiência da floculação quando o peso molecular do polímero apresenta valores superiores a 3.000.000.g. Isso é resultante da maior dificuldade de aproximação das partículas causada pelos grandes segmentos adsorvidos com uma pequena porção de partícula, impedindo a aproximação de outras.

- *Concentração de sólidos e superfície específica dos sólidos*

Quanto maior a superfície específica e maior concentração de sólidos, maior será a dosagem necessária do polímero.

³ HELLER & PUG, citados por LAMER, V.K. & HEALTY, T.W. (1963)- Adsorption- Flocculation Reactions of Macromolecules at Solid-Liquid Interface. Reviews of Pure and Applied Chemistry, v.13, p.112-133.

- *Concentração Hidrogeniônica (pH)*

Geralmente, quanto maior as características catiônicas de um polímero, menor será sua sensibilidade às mudanças de pH. Por outro lado, quanto mais fortes as características aniônicas de um polímero, maior será a sensibilidade pelo pH.

- *Concentração de Íons*

A concentração de íons no meio exerce papel importante na floculação de partículas com polímero, podendo provocar ações favoráveis e desfavoráveis.

Como ação favorável, o aumento da concentração de íons pode reduzir o potencial zeta das partículas, facilitando a aproximação e a floculação das mesmas. Já como ação desfavorável, a presença de íons no meio pode provocar alterações no comportamento dos polímeros, quer pela eventual adsorção desses íons a grupos pertencentes à molécula de polímero, quer pelo prejuízo à desejável distensão dos seguimentos.

3.3.5- Polímero como auxiliar de floculação na FAD

Apenas alguns trabalhos na literatura incluem o uso de polímeros sintéticos como auxiliar de floculação na FAD em tratamento de águas para abastecimento. Pode-se citar:

EDZWALD (1995) comenta que, em baixas temperaturas (4 a 6 °C), a flotação, usando-se sais de alumínio ou ferro como coagulante primário, produz valores indesejáveis de residuais de turbidez. Para solucionar este problema, o referido autor cita a adição de polímeros que possuam alto peso molecular e baixa densidade de carga como auxiliar de floculação, obtendo-se

desempenho favorável na flotação quando o polímero é adicionado após 5 min do início da floculação.

KLUTE et al. (1995) estudando a influência do pH e o gradiente de floculação na flotação para água de abastecimento, usando Fe^{3+} como coagulante primário e polímero catiônico como auxiliares de floculação, constataram que aplicações de polímero após a coagulação com Fe^{3+} provocou considerável melhora na eficiência de remoção de turbidez. O autor informa que o processo de coagulação foi mais efetivo com valor de pH de 6,0 e Gf de $50\text{-}40\text{ s}^{-1}$, para duas câmaras de floculação em série, e que, ao adicionar polímero catiônico como auxiliar de floculação, resultou na formação de flocos com maior sítios de aderência, caracterizando melhores remoções por flotação.

BUNKER et al. (1995) constataram que o uso de polímero como auxiliar de floculação na FAD poderia aumentar a eficiência da flotação e diminuir o tempo de floculação. Foram testados os tempos de 2, 5, e 10 min após o início da floculação para adição do polímero (aniônico, catiônico e não iônico), utilizando-se Gf de 55 s^{-1} , e água de estudo com baixa turbidez e temperatura de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Os autores concluíram, que pequenas dosagens de polímeros aniônicos adicionados após 5 min do início da floculação, seguidos de mais 2,5 min de floculação poderia melhorar a remoção de turbidez.

MALLEY, J.P. (1995), estudou duas condições para adição de polímero: a primeira após 2 min de floculação, seguidos de mais 10 min de floculação, e a segunda, a adição de polímero na câmara de saturação. O referido autor concluiu que os polímeros catiônicos podem formar uma cobertura sobre as bolhas, mudando a mobilidade e a carga, e que, dosagens de $0,5\text{ mg/L}$ de polímero catiônico proporcionou maior eficiência de remoção quando adicionados após 2 min do início da floculação.

3.3.6- Vantagens e Desvantagens do uso de polímero

Algumas vantagens e desvantagens do uso de polímeros como auxiliar de floculação é citado por BOLTO (1995), como:

- *Vantagens*

- redução do volume de lodo;
- aumento da carreira de filtração;
- aumento da eficiência da desinfecção, em consequência da redução da concentração de sólidos suspensos da água filtrada;
- diminuição da dosagem de reagentes inorgânicos (coagulante primário)

- *Desvantagens*

- o excesso de polímero pode reestabilizar a dispersão e afetar outros processos;
- problemas concernentes à toxicidade dos residuais de monômeros que poderiam estar presentes nas amostra de água clarificada;
- riscos ao ambiente aquático.

Em relação aos possíveis problemas para a saúde causados pelos polímeros, LETTERMAN & PERO (1990) comentam que, durante a fabricação do polímero, há usualmente pequenas percentagens de residuais de monômeros fisiologicamente ativos presentes na solução. Estes monômeros, como a acrilamida, causam enorme preocupação quando se faz tratamento de água, visto que possuem propriedades carcinogênicas e afetam o sistema nervoso se ingeridos continuamente. Em 1970, a US Environmental Protection Agency (USEPA) publicou uma lista de produtos aceitos, incluindo a máxima dosagem aceitável de cada produto. Limites no nível de monômeros são

recomendados: o máximo permitido de acrilamida é 0,025%, e o residual de monômero em águas clarificadas é 25µg/L (BOLTO, 1995).

A biodegradabilidade dos polímeros sintéticos é extremamente vagarosa. Eles não são rapidamente absorvidos pelos organismos e sua toxicidade é alterada pelos componentes aquáticos. Os polímeros catiônicos tendem a ser mais tóxicos que os polímeros aniônicos e não iônicos, e causam mortes em peixes por asfixia (HAMILTON et al., 1994).

Algumas técnicas, como cromatografia e fragmentação por pirólise são usadas para detectar residuais de polímeros em águas clarificadas (BOLTO, 1995).

HILSON & RICHARDS (1980) citam que há enorme número e variedades de polímeros sintéticos potencialmente aceitos para uso em tratamento de água, e que avanços na tecnologia de polimerização (reação química usada para ligar as unidades de monômeros para formação dos polímeros), tornaram possível a melhoria na qualidade do produto e maior o controle sobre as características do mesmo. Ainda segundo os autores, prospectos fornecidos pelos fabricantes de polímeros flocculantes comercialmente disponíveis, são falhos em informações sobre sua estrutura e propriedades: os fornecedores revelam, quando muito, o peso molecular, a densidade de carga e o tipo de polímero.

4- MATERIAIS E MÉTODOS

4.1- Considerações Iniciais

Este trabalho teve como propósito o estudo da influência do uso de polímeros sintéticos na floculação visando a flotação para águas de abastecimento. A água de estudo foi preparada de forma a apresentar cor aparente elevada (em torno de 100 uC) e baixa turbidez (em torno de 6,0uT).

Os polímeros utilizados na presente pesquisa foram:

ADESOL:

W 302 Polímero Aniônico- Peso molecular: 18 a 25 x 10⁶ g

W 341 Polímero Catiônico- Peso molecular: 15 a 20 x 10⁶ g

W 303 Polímero Não Iônico- Peso molecular: 15 a 20 x 10⁶ g

NALCO:

Optimer 7128 Catiônico- Massa específica 1,005 - 1,040 g/cm³
e peso molecular alto.

Maiores informações como, o valor do peso molecular do polímero Nalco ou a densidade dos polímeros Adesol, não foram fornecidas pelos fabricantes.

Foram escolhidas duas dosagens de sulfato de alumínio: 12 mg/L e 20 mg/L, que são valores menores que o "ótimo" apresentado por DOMBROSKI (1996), de 40 mg/L, a qual utilizou água de estudo com características semelhantes às deste trabalho. Os parâmetros relacionados com a água de estudo, tais como, tempo de mistura rápida (Tmr), gradiente médio de velocidade de mistura rápida (Gmr), taxa de recirculação (R%), gradiente médio de velocidade de floculação (Gf), tempo de floculação (Tf) e dosagem de sulfato de alumínio ideal, foram otimizados por DOMBROSKI (1996) e seus resultados foram adotados no presente trabalho.

Os ensaios visando a verificação da influência de polímeros sintéticos na eficiência da floculação foram realizados utilizando-se os conceitos expostos por PAIXÃO (1996), e fazendo-se sua adaptação para a investigação da influência da aplicação do polímero na flotação, já que o referido autor propôs metodologia para a otimização da aplicação de polímeros como auxiliar de floculação visando a sedimentação.

Para o presente estudo, utilizou-se uma instalação de flotação por ar dissolvido em escala de laboratório (flotatestes), onde se estudaram os seguintes parâmetros relacionados ao uso de polímeros como auxiliares da floculação seguida da flotação: otimização do polímero e dosagem mais adequada, investigação do tempo decorrido após mistura rápida para adição do polímero, investigação da quantidade de ar fornecida, tempo e gradiente de velocidade de floculação. Assim, com base nos dados obtidos nos ensaios em escala de laboratório (flotatestes), numa segunda fase da pesquisa, foram realizados ensaios com uma instalação piloto de flotação com alta taxa com escoamento horizontal (FADEHBR), concebida e descrita pelo orientador do presente trabalho. Não faz parte do escopo da presente pesquisa qualquer avaliação dos parâmetros do projeto dessa unidade.

A seguir apresenta-se a descrição da instalação de flotação por ar dissolvido em escala de laboratório (flotatestes) e da instalação piloto de flotação por ar dissolvido de alta taxa com escoamento horizontal.

4.2- DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES

4.2.1- Descrição da instalação de flotação por ar dissolvido em escala de laboratório (Flotateste)

O equipamento para ensaios de flotação com regime de alimentação por batelada (Flotateste), foi desenvolvido no departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC- USP, sendo constituído de quatro jarros de flotação independentes entre si, e interligados a uma única câmara de saturação. A fotografia do sistema é apresentada na Figura 14.

Cada jarro possui o seu próprio agitador, do tipo eixo vertical, ligado a um regulador de tensão para controle da energia fornecida para a floculação. Os jarros possuem capacidade útil de 2,1 L, altura de 75,0 cm, diâmetro interno de 6,0 cm e espessura das paredes de acrílico de 5,0 mm. Um esquema geral do flotateste é apresentado na Figura 15.

A câmara de saturação é do tipo sem recheio e possui volume de 3,0 L, manômetro, entrada de ar comprimido, entrada de água e válvula de segurança.

O controle da entrada de água nos jarros de flotação é feita por registros de agulha, e a coleta das amostras nos jarros é feita através de pequenos orifícios, onde estão acopladas mangueiras de silicone de aproximadamente 5,0 cm de comprimento, com pinças na extremidade para controle da operação de retirada das amostras.

O ar injetado na câmara de saturação é proveniente de um compressor de ar (marca Shultz, modelo MSI 2,6 VL/40; C56 JZ; ½ CV; 850 rpm).

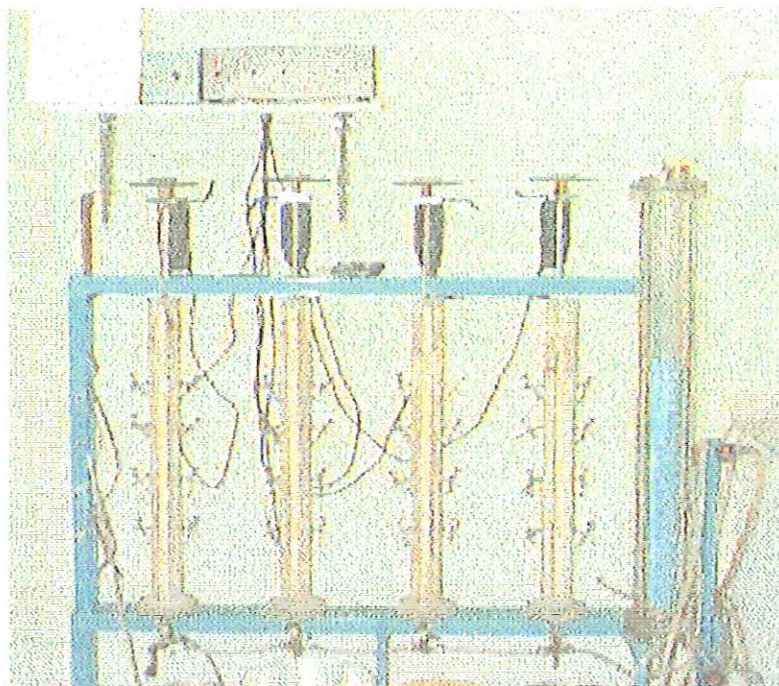
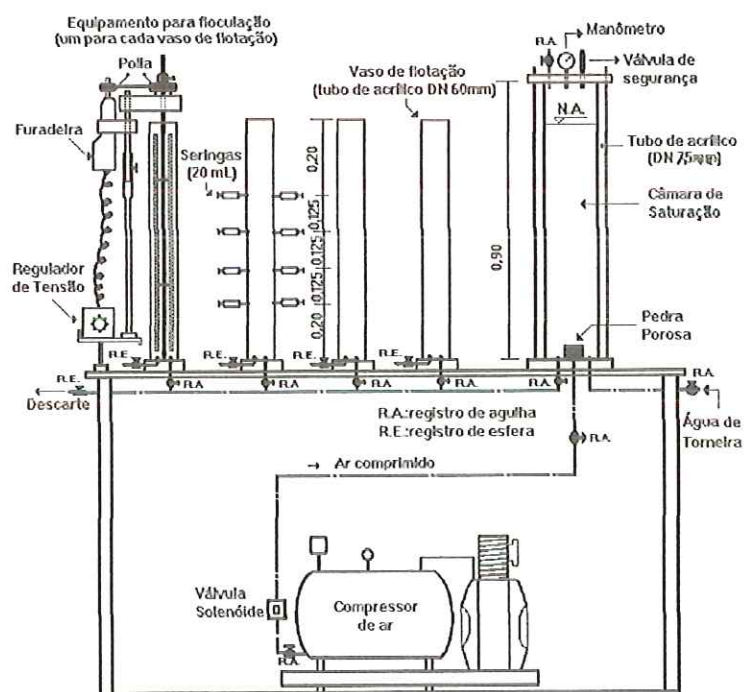


FIGURA 14- Fotografia da instalação de flotação por ar dissolvido em escala de laboratório (flotateste)



Obs.: medidas em metros.

Figura 15- Esquema geral da unidade de flotação por ar dissolvido em regime de batelada.

Fonte : REALI, 1994

4.2.2- Descrição da instalação piloto de flotação com escoamento horizontal

A instalação piloto é constituída de uma unidade de mistura rápida, três câmaras de floculação mecanizadas em série, uma câmara de flotação e uma câmara de saturação com recheio. A Figura 16 mostra um esquema geral e a Figura 17, uma fotografia da instalação piloto.

A unidade de mistura rápida é do tipo “*in line*”, onde o coagulante (sulfato de alumínio) é aplicado num ponto imediatamente a montante de um reator tubular construído de acordo com recomendações de HESPANOL (1977), conforme Figura 18

A água a ser estudada, após passar pela mistura rápida, é submetida a uma unidade de floculação que pode ser usada com uma, duas ou três unidades em série. Cada câmara apresenta dimensões de 36,6 cm por 36,1 cm, com profundidade de 1,0 m e contém agitadores mecanizados com eixo vertical e paletas paralelas ao eixo, com controles de rotação independentes.

A entrada da água coagulada para qualquer câmara de floculação é controlada por registro de esfera, e a passagem da água floculada de uma câmara para outra é feita através de abertura de 5,0 cm por 5,0 cm. A Figura 19 mostra uma fotografia da unidade de floculação.

Os polímeros utilizados são aplicados através de um registro de agulha colocado na parte inferior da primeira e da segunda câmara de floculação .

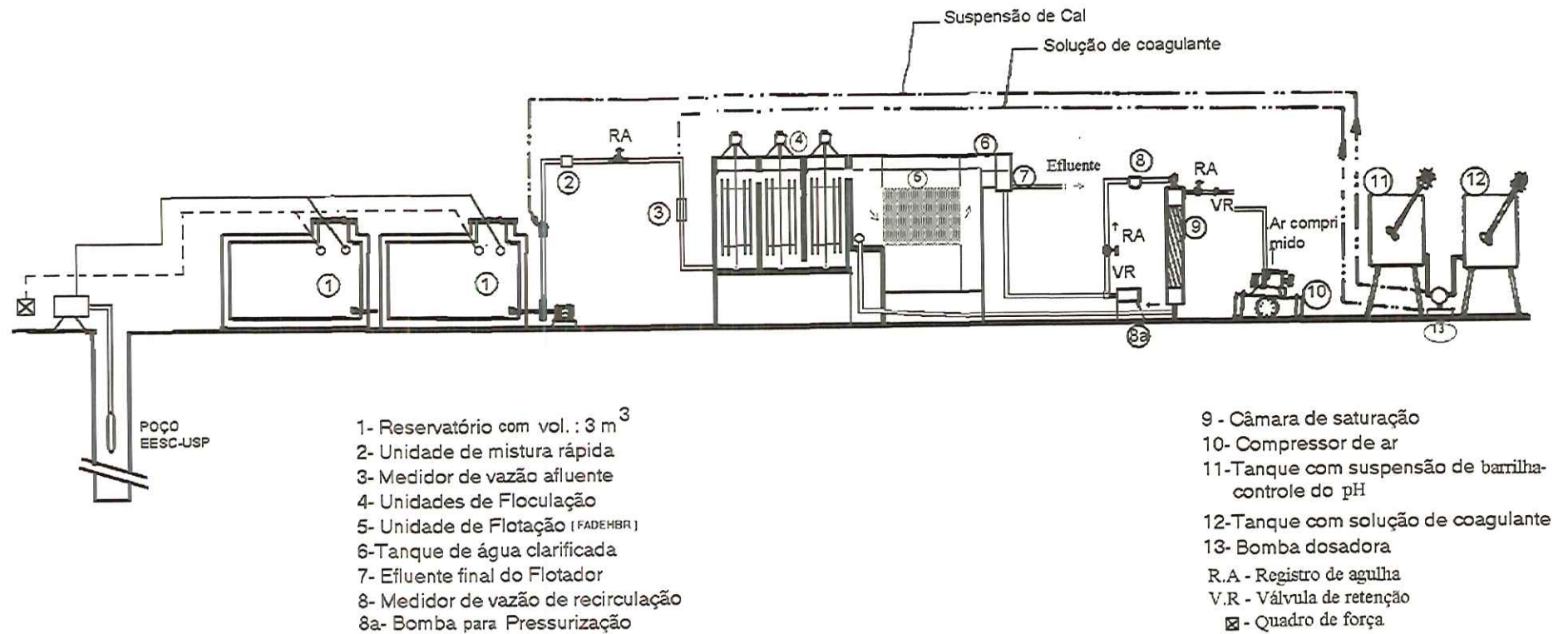


FIGURA 16 - Esquema geral da Instalação piloto de flotação por ar dissolvido de escoamento com baixo número de Reynolds

Fonte: MARCHETTO (1996)

Após passar pela última câmara de floculação, a água floculada que escoar pela parte superior é misturada à água de recirculação saturada com ar dissolvido, proveniente da câmara de saturação. Este processo ocorre na unidade de flotação. Na Figura 20, é mostrado um esquema das câmaras de floculação e unidade de flotação.

A unidade de flotação consiste em uma câmara, que possui no início o dispositivo de despressurização, constituído de um registro de agulha DN 1/8". A região de contato entre a água despressurizada e a água floculada é chamada de zona de contato. Nesta região, ocorre o encontro entre os flocos e as microbolhas de ar gerados após a despressurização da vazão de recirculação.

Após passarem pela zona de contato, os aglomerados "flocos/bolhas" atingem a zona de separação, que é a região onde acontece o processo de clarificação por flotação em regime de escoamento horizontal entre placas planas paralelas. A instalação piloto possui, em seu interior, módulos contendo placas planas paralelas assentadas com ângulos de inclinação de 60°.



FIGURA17 - Fotografia geral da instalação piloto

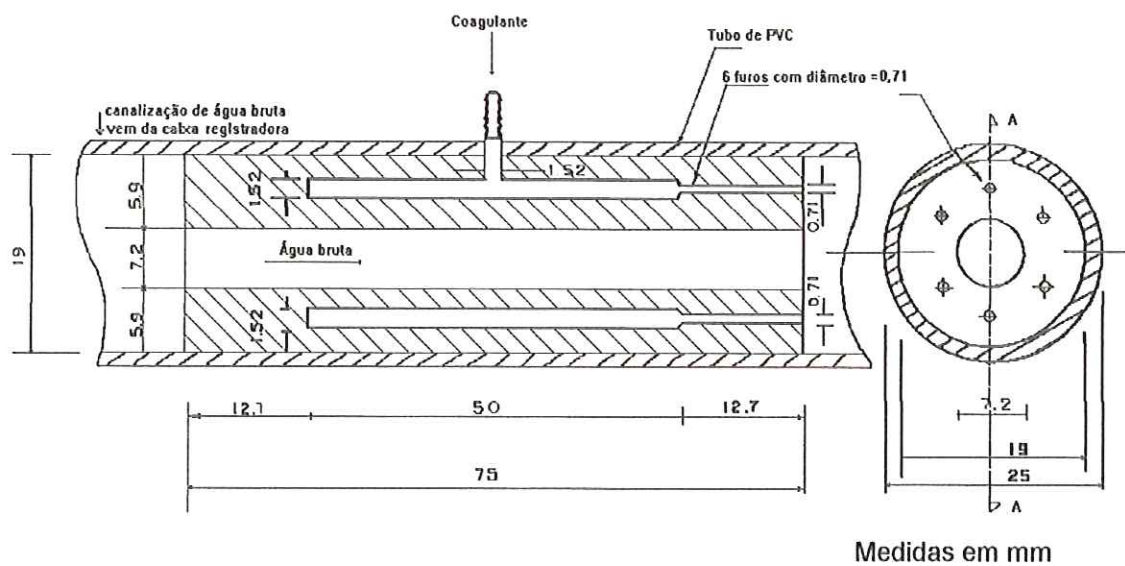


FIGURA 18- Unidade de mistura rápida

Fonte: MARCHETTO, 1996

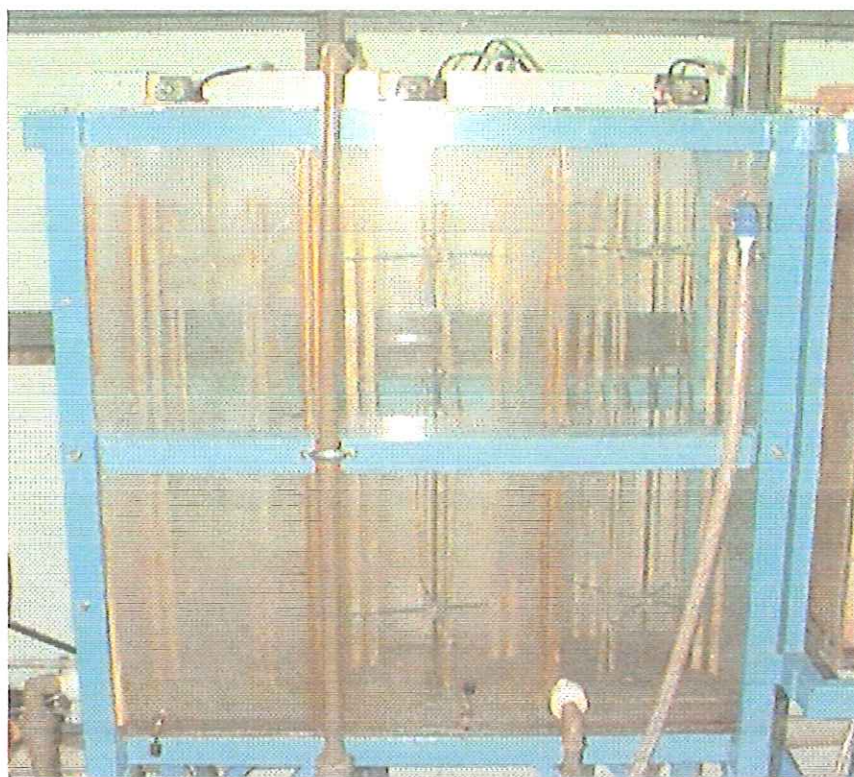


FIGURA-19 Fotografia da unidade de floculação da instalação piloto

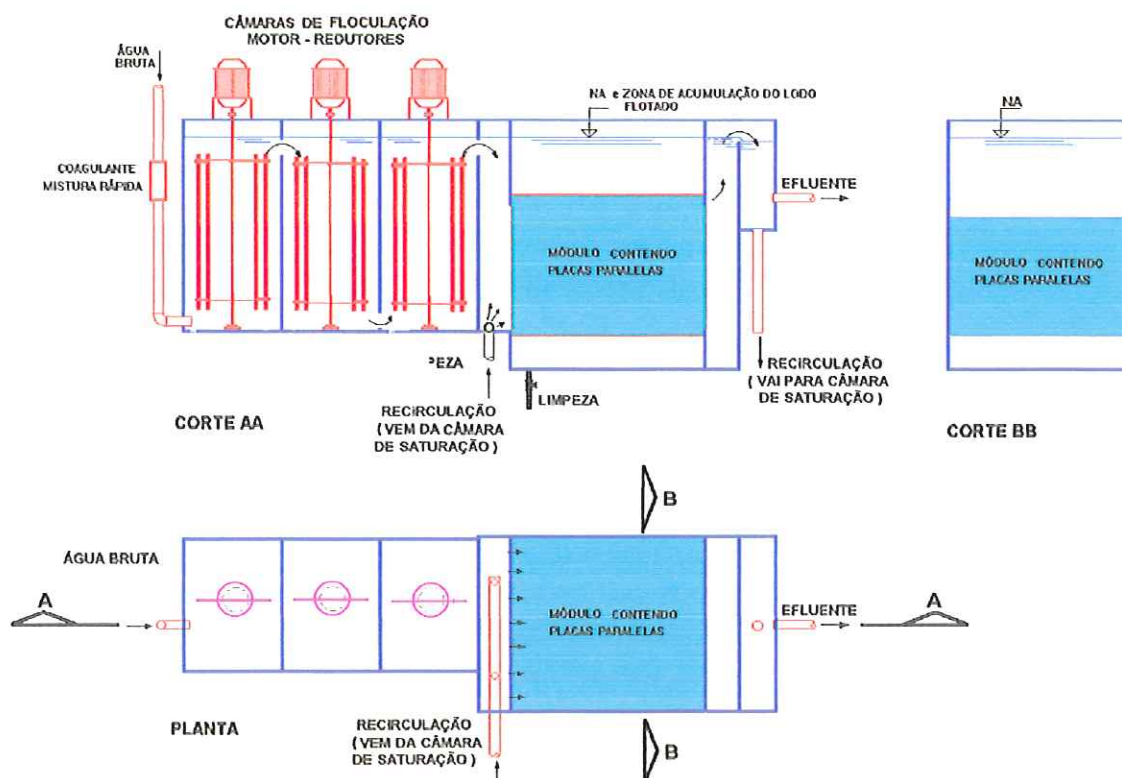


FIGURA 20- Esquema da unidade de flotação por ar dissolvido com escoamento horizontal (FADEHBR)

Fonte: MARCHETTO, 1996

Os módulos possuem cinco condutos iguais e, para que a velocidade de escoamento entre as placas (Vel_{placas}), número de Reynolds (Rey) e taxa de aplicação superficial aparente ($TASap$) sejam mantidos constantes, fecha-se determinado número de espaçamento entre as placas com dispositivos de vedação de borracha.

A $TASap$ é definida como sendo a vazão total (afluente + recirculação + dosagem de produtos químicos) dividida pela área útil em planta.

$$TASap = \frac{Q_{af. Total}}{A_{placas}}, \text{ onde:}$$

$TASap$ = Taxa de aplicação superficial (m^3/m^2d)



$Q_{af.Total}$ = Vazão da água de estudo + vazão água de recirculação + vazão dos produtos químicos (m^3/d)

A_{placas} = Área em planta entre as placas

A velocidade média de escoamento entre as placas é definida como:

$$Vel_{placas} = \frac{Q_{af.Total}}{A_{frontal}}, \text{ onde :}$$

Vel_{placas} = Velocidade média de escoamento entre as placas (m/d, m/s, cm/min.)

$A_{frontal}$ = Área entre as placas, perpendicular à inclinação das mesmas (m^2 , cm^2)

O número de Reynolds é definido como:

$$Rey = \frac{Vel_{placas} \times 4Rh}{\nu}, \text{ onde :}$$

Rey = número de Reynolds

Rh = raio hidráulico (m)

ν = viscosidade cinemática da água (m^2/s)

Os flocos removidos são acumulados na superfície da câmara de flotação, e o líquido clarificado é recalado por uma bomba centrífuga multi-estágio, de alta pressão, para a câmara de saturação com recheio. Esses recheios são constituídos de anéis de PVC com diâmetro de 30mm e comprimento de 2cm conforme proposto por REALI & CAMPOS (1992) e promovem um melhor contato da água sob pressão com o ar proveniente do compressor. A Figura 21 mostra um esquema geral e a figura 22, uma fotografia da câmara de saturação.

Como a pressão na câmara de saturação mantém-se constante a 456 kPa, o valor da quantidade de ar fornecida ($Sp \cdot p$) vai depender exclusivamente da temperatura da água e da vazão de recirculação.

De acordo com SANTOS (1997), teve-se que:

$$Sp^*p = r \times Sps \times P \quad (\text{g/m}^3), \text{ onde:}$$

Sp^*p = concentração de ar dissolvido fornecida para a flotação em g ar/m³ de água

Sps = concentração de ar dissolvido presente na câmara de saturação (g/m³)

Mas, $Sps = Kcs \times r$, em que:

Kcs = coeficiente que caracteriza a capacidade de dissolução de ar de uma determinada câmara de saturação. Para o caso em questão, a câmara utilizada apresenta valor de Kcs igual a 0,18496, de acordo com DOMBROSKI (1996). Portanto, tem-se que :

$$Sp^*p = r \times 0,18496 \times P, \text{ onde:}$$

P = pressão na câmara de saturação (kPa)

$$r = \frac{Q_{\text{recirc.}}}{Q_{\text{aff.}}}$$

$Q_{\text{aff.}}$ = vazão afluyente à câmara de flotação, isto é, vazão da água de estudo mais vazão dos produtos químicos (m³/d)

$Q_{\text{recirc.}}$ = vazão de recirculação (m³/d)

A instalação piloto consta também de:

- Dois reservatórios de fibra de vidro com volume de 3m³ cada, onde se prepara e armazena a água de estudo. A homogeneização da água dentro dos reservatórios é feita pela injeção de ar comprimido através de difusores de ar colocados no fundo de cada reservatório. A Figura 23 mostra uma fotografia dos reservatórios.

- aspersores de água colocados sobre os reservatórios para evitar o aumento rápido da temperatura quando a temperatura ambiente estiver relativamente alta;

- reservatórios para a preparação da solução coagulante e para a preparação da solução alcalinizante; ambos com medidores volumétricos de vazão. A Figura 25 mostra uma foto dos reservatórios;
- compressor marca Shultz, modelo MSV - 10 VL/200; 2CV; 850 rpm;
- um medidor eletromagnético de vazão acoplado a um conversor (marca Engistrel Engematic, modelo 570 TM) para controle da vazão de recirculação. A Figura 24 apresenta uma foto do conversor eletromagnético;
- dois medidores eletrônicos de vazão (modelo SKGTO -3321), para controle da vazão afluyente e da vazão de descarte de água floculada. Tal descarte foi necessário para que fossem mantidas constantes as condições de floculação quando era variada a taxa aparente de aplicação superficial no flotor. A Figura 24 apresenta uma foto dos medidores;
- bomba dosadora para solução de coagulante e solução de alcalinizante (marca Wallace & Tiernan, modelo G 20 50 MD), conforme é mostrado na Figura 25;
- bomba dosadora eletromagnética para a solução de polímero (ProMinent gamma G/4a).

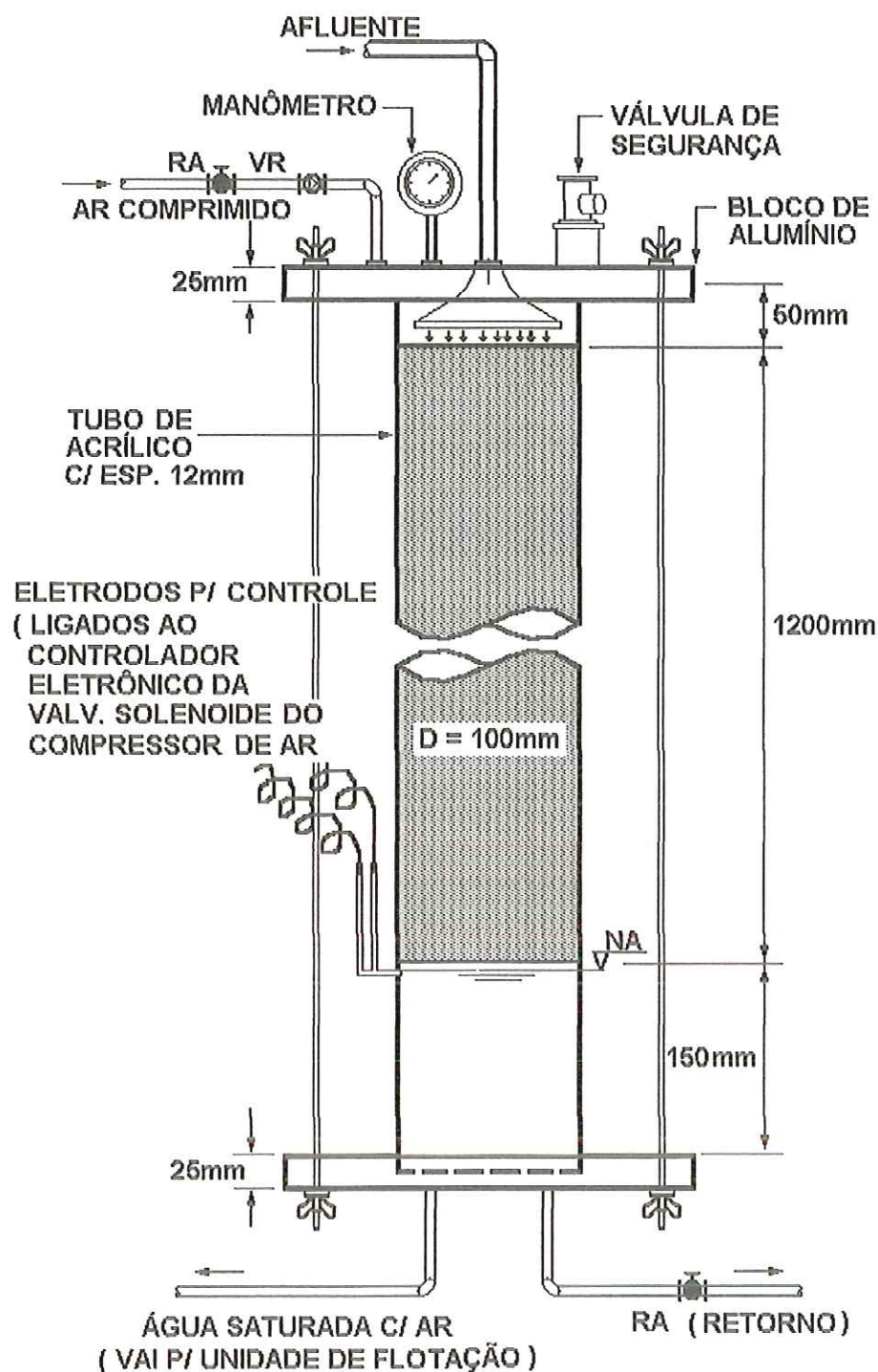


FIGURA 21 - Esquema da câmara de saturação

Fonte: REALI (1991)

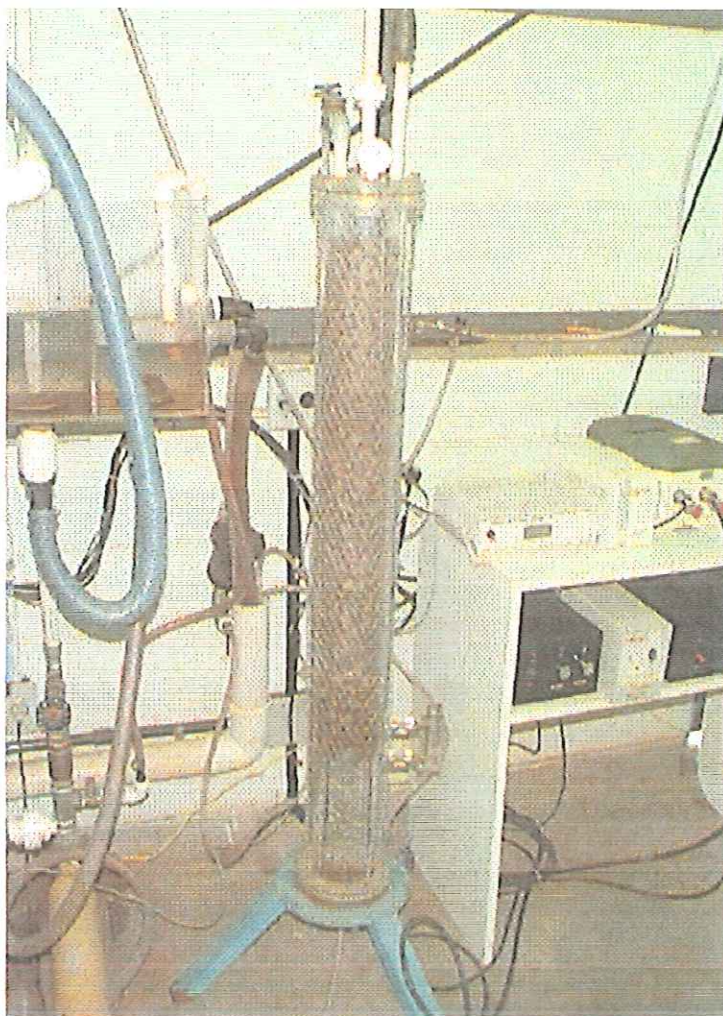


FIGURA 22- Fotografia da câmara de saturação da instalação piloto



FIGURA 23- Fotografia dos reservatórios de preparação e armazenamento da água de estudo



FIGURA 24- Fotografia do conversor eletromagnético da vazão de recirculação e dos medidores eletrônicos de vazão



FIGURA 25 -Fotografia das bombas dosadoras para solução do coagulante e alcalinizante e dos reservatórios para a preparação das soluções

4.2.3- Outros equipamentos e materiais utilizados na pesquisa

- pHmetro, marca Hach, modelo 43800-00 (Figura 26)
- turbidímetro, marca Hach, modelo 2100P (Figura 26)
- espectrofotômetro, marca Bausch & Lomb, modelo 601, comprimento de onda de 400 nm. A curva de cor em função da absorbância (mg Pt-Co/L) para comprimento de onda igual a 400nm para ácido húmico (Aldrich), foi feita por MARCHETTO (1996), e utilizada para este trabalho.
- tacômetro, marca Deumo, capacidade de 16 a 2000 rpm
- cronômetro
- centrífuga, marca Fanem, modelo 43800-00
- condutivímetro marca Horiba modelo DS - 15
- espectrofotômetro Hach DR 4000
- *Jar Test*, onde foi realizada a mistura rápida dos ensaios, pois segundo DOMBROSKI (1996) " verificou-se através de ensaios com traçador que a configuração do agitador do flotateste não promovia mistura rápida adequada". (Fotografia 26)
- béqueres de 2L, que eram utilizados no equipamento de *Jar Test*.
- zetamaster modelo ZEM 5000
- outras vidrarias diversas

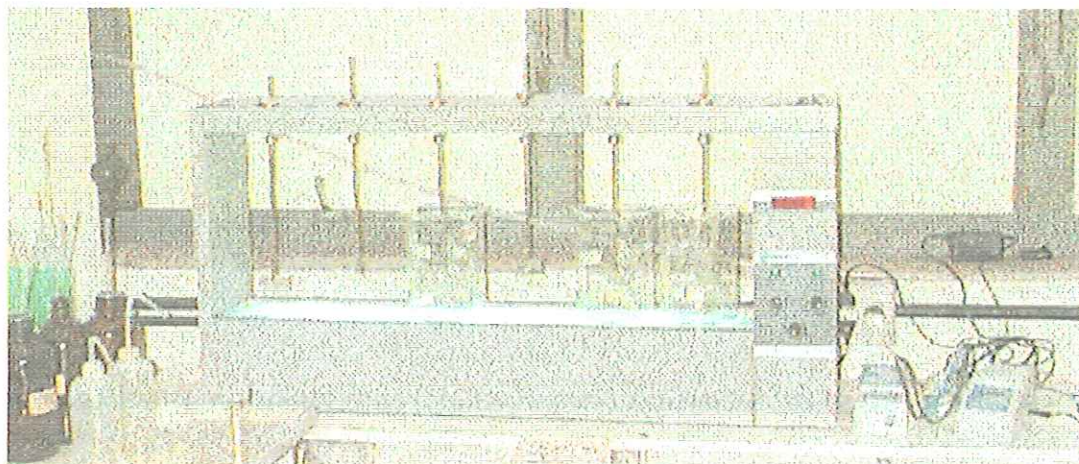


FIGURA 26- Fotografia do *Jar Test*, pHmetro e turbidímetro

4.3- ÁGUA DE ESTUDO

A água bruta estudada foi preparada a partir de água proveniente do poço profundo que abastece o campus da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) - USP.

Essa água foi preparada de forma a se obter água de estudo com características de cor e turbidez semelhantes àquelas apresentadas pela água utilizada no trabalho desenvolvido por DOMBROSKI (1996), ou seja, com cor de 100 ± 10 uC e turbidez próximo de $6 \pm 1,5$ uT

Para que a água apresentasse as características descritas, adicionou-se ácido húmico (marca Aldrich, referência H1, 6675-2) até a obtenção de concentração de 4 mg/L, além de adição de aproximadamente 3,3 mL/L de suspensão mãe de caulinita (marca Fluka, referência 60609).

A suspensão mãe de caulinita foi feita de acordo com CAMPOS (1980), adicionando-se 60g de caulinita em 14 L de água. Após 2 horas de agitação intensa, deixa-se a solução em repouso por aproximadamente 15 horas retirando-se então o sobrenadante e armazenando-o em recipientes.

Todos ensaios foram executados em temperatura entre 23 a 25°C, sendo que, em alguns ensaios com o flotateste, a temperatura da água de estudo era menor que a estabelecida, sendo necessário aquecê-la com uma resistência acoplada a um termostato.

Na instalação piloto, não houve necessidade de aquecer a água de estudo e sim, algumas vezes, resfriá-la com aspersores de água conforme descrito no item 4.2.2., e, algumas vezes, não foi possível trabalhar com temperatura inferior a 26 °C.

Quanto à preparação da água de estudo, esta era feita com 24 horas de antecedência nos ensaios com o flotateste e aproximadamente 14 horas de antecedência nos ensaios com a instalação piloto, sendo que para esta última, para cada ensaio fazia-se nova água de estudo. A caracterização da água de estudo e a do poço eram feitas através de medidas tais como dureza, alcalinidade, pH, turbidez, cor verdadeira, cor aparente e

condutividade. Um resumo das variações destas medidas ao longo de todos os ensaios encontra-se no Quadro 01.

QUADRO 01-Resumo das características da água do poço e água de estudo

Característica	Flotateste		Piloto	
	Poço	Estudo	Poço	Estudo
pH	6,60 - 6,72	6,40 - 6,95	6,07 - 6,13	6,30 - 6,55
Cor aparente (uC)	1,00 - 1,30	91,80 - 109,00	-	86,20 - 104,00
Cor verdadeira (uC)	-	52,00 - 55,00	0,80 - 1,00	46,10 - 57,90
Turbidez (uT)	0,25 - 0,36	5,90 - 7,80	0,31 - 0,62	5,07 - 7,00
Alcalinidade (mg/L) em CaCO ₃	28,00 - 28,17	26,90 - 28,80	21,42 - 30,24	21,30 - 21,80
Dureza (mg/L) em CaCO ₃	10,00 - 14,56	9,80 - 18,73	12,12 - 20,40	13,30 - 22,50
Condutividade (mho/cm)	37,10 - 46,70	39,60 - 48,30	31,00 - 34,50	36,80 - 61,80
SST (mg/L) ¹	-	-	-	1,20 - 4,67
SSF (mg/L) ²	-	-	-	060 - 2,88
SSV (mg/L) ³	-	-	-	0,60 - 2,00

¹ SST - Sólidos Suspensos Totais ² SSF - Sólidos Suspensos Fixos ³ SSV - Sólidos Suspensos Voláteis

4.4- Produtos Químicos utilizados

Na presente pesquisa, foram utilizados: sulfato de alumínio P.A (Al₂(SO₄)₃.14 a 18 H₂O marca Labsynth) como coagulante, carbonato de sódio comercial (Na₂CO₃ marca Labsynth) como alcalinizante, ácido clorídrico P.A (marca. Labsynth) quando se necessitava diminuir o valor do pH e polímeros sintéticos marca ADESOL e NALCO.

Nos ensaios feitos em escala de laboratório (flotateste), as soluções de sulfato de alumínio, carbonato de sódio (barrilha) e ácido clorídrico foram

preparadas com água destilada de forma a obter concentração de 0,5% a cada 48 horas, exceto o ácido clorídrico, que era preparado mensalmente. As soluções de polímeros eram preparadas com água destilada a concentração de 0,1%, semanalmente.

Nos ensaios referentes à instalação piloto, a solução de sulfato de alumínio era preparada a 0,25%, a de barrilha a 0,12%, ácido clorídrico a 0,12% e a de polímero a 0,05% no momento dos ensaios.

4.5- Ensaios realizados com o flotatestes

Os ensaios realizados no flotatestes visaram estudar as condições ótimas da utilização de polímeros sintéticos como auxiliar na floculação, visando a flotação. Na figura 27, apresenta-se um fluxograma ilustrativo das variáveis investigadas nessa primeira etapa de estudo.

4.5.1- Procedimento e monitoramento dos ensaios

Para todos os ensaios realizados com o flotatestes, seguia-se o esquema do item 4.5.2 para a câmara de saturação, e em relação aos ensaios feitos com a água de estudo no flotatestes, todos seguiam o esquema do item 4.5.3.

Para cada amostra coletada, foi considerado o fator de diluição, proveniente da água de diluição.

4.5.2- Para a câmara de saturação

Para todos os ensaios, o procedimento com a câmara de saturação foi o mesmo.

- Permitia-se a entrada de água da torneira, ligava-se o compressor de ar através de registros, controlando a entrada e saída de ar para que a pressão na câmara de saturação fosse em torno de 456 kPa;
- Mantinha-se por 15 minutos a passagem de ar comprimido através da água contida na câmara de saturação;
- Após este período, fechava -se a entrada e saída de ar na câmara de saturação e abriam-se os registros de agulha permitindo a passagem de certo volume de água saturada nos jarros do flotateste, para que as mangueiras destes ficassem com a água saturada, fechando-se logo após;
- A pressão na câmara de saturação mantinha-se o tempo todo próximo a 456 kPa.

4.5.3- Utilização do flotateste

Para todos os ensaios realizados com o flotateste seguiu-se o procedimento.

- A água de estudo era homogeneizada, medindo-se inicialmente o pH, turbidez, temperatura e cor aparente;
- Ajustava-se a temperatura caso fosse necessário, com uma resistência acoplada a um termostato;
- Coletavam-se 2 litros da amostra com uma proveta;
- Colocava-se a amostra no béquer do *Jar Test*, ligando-se o agitador e acertando-se a rotação, de maneira que se obtivesse o gradiente médio de velocidade de mistura rápida desejado (Gmr);
- Adicionava-se determinado volume de solução de ácido clorídrico ou barrilha de maneira que conferisse o pH de coagulação desejado, para a dosagem de sulfato de alumínio (DSA) a ser estudada;
- Media-se o volume do coagulante com uma pipeta, o qual era transferido para um béquer de 50 mL, de modo que este valor correspondesse à DSA desejada;

- Ligava-se o *Jar Test* e adicionava-se o coagulante cronometrando-se o tempo de mistura rápida (Tmr). Após o término do Tmr, desligava-se o aparelho e transferia-se 1800 mL de água coagulada para o jarro do flotateste, ligando-se o agitador de forma que conferisse o gradiente médio de velocidade de floculação (Gf) desejado e cronometrava-se o tempo de floculação (Tf). Do restante da água coagulada no béquer media-se o pH e temperatura;
- Após o término do Tf, desligava-se o agitador que era retirado do jarro. Abria-se o registro de agulha permitindo-se a passagem de um volume pré-fixado da água saturada com o ar, e fechando-se o registro após atingir o volume determinado. Ao abrir o registro, cronometrava-se o tempo de flotação;
- Coletava-se a amostra em uma tomada localizada a 32,5 cm da base do jarro nos tempos de flotação pré fixados;
- Mediam-se, inicialmente, a cor aparente e a turbidez das amostras coletadas.

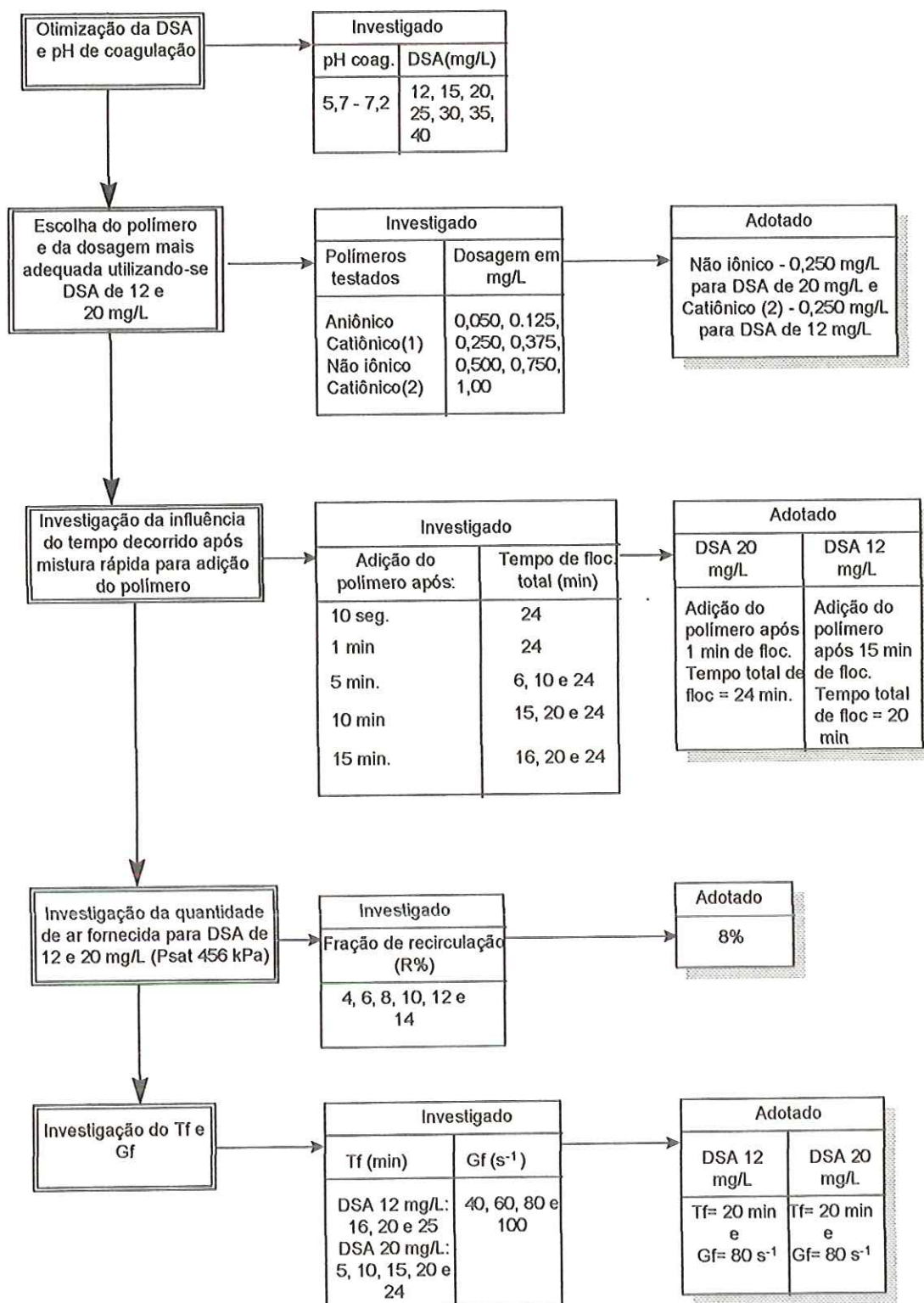


FIGURA 27- Fluxograma ilustrativo das variáveis investigadas com o flotatesto

4.5.4- Ensaios visando a otimização da dosagem de coagulante e pH de coagulação

Apesar dos parâmetros referentes a DSA e pH de coagulação terem sido otimizados por DOMBROSKI (1996), houve necessidade de saber se os mesmos mantinham-se constantes.

Utilizaram-se, então, diferentes dosagens de sulfato de alumínio para diferentes valores de pH

As dosagens de sulfato de alumínio utilizadas foram as seguintes: 12, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 mg/L e os valores de pH estiveram entre 5,70 a 7,15. Os demais parâmetros utilizados foram os mesmos otimizados por DOMBROSKI (1996), ou seja $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$, $T_{mr} = 20 \text{ seg}$, $G_f = 60 \text{ s}^{-1}$, $T_f = 24 \text{ min}$, $R = 8\%$, $VF1 = 31,6 \text{ cm/min}$, $VF2 = 13,3 \text{ cm/min}$, $VF3 = 6,7 \text{ cm/min}$ e $VF4 = 2,9 \text{ cm/min}$, pressão na câmara de saturação de 456 kPa.

Tomaram-se medidas de potencial zeta para os melhores resultados obtidos em cada DSA.

Para a realização destes ensaios, seguiu-se o procedimento descrito em 4.5.3.

4.5.5- Ensaios visando a otimização do polímero e a dosagem mais adequada

Para a realização desses ensaios, tomaram-se duas dosagens de sulfato de alumínio de 12 e 20 mg/L, com seus respectivos valores de pH de coagulação. Os mesmos parâmetros mencionados no item 4.5.4 foram mantidos constantes.

Utilizaram-se as seguintes dosagens de polímeros: 0,050 , 0,125 , 0,250, 0,375 , 0,500 , 0,750 e 1,000 mg/L, sendo que os polímeros testados foram : *ADESOL*: W 302 Polímero Aniônico- Peso molecular: $18 - 25 \times 10^6 \text{ g}$, W 341 Polímero Catiônico(1)- Peso molecular: $15 - 20 \times 10^6 \text{ g}$, W 303

Polímero Não Iônico- Peso molecular: $15 - 20 \times 10^6$ g; NALCO: Optimer 7128 Catiônico (2)- Massa específica $1,005 - 1,040 \text{ g/cm}^3$ e peso molecular alto, conforme mencionado no item 4.1.

Os procedimentos adotados para a realização desses ensaios foram basicamente:

- Após 5 minutos de floculação, adicionava-se a dosagem de polímero fixada com uma pipeta graduada, tendo-se o cuidado de colocar o polímero o mais próximo possível das paletas do jarro do flotateste. Após a adição do polímero, o tempo de floculação era de 19 min., tendo um tempo total de floculação de 24 min.

- Variaram-se as dosagens de polímeros dentre os mencionados acima, e, ao final dos ensaios, definiram-se o polímero e sua dosagem mais adequada, para a água de estudo coagulada com DSA de 12 e 20 mg/L, para os resultados que apresentassem maior remoção de cor e turbidez.

Os procedimentos subsequentes dos ensaios foram análogos aos descritos em 4.5.3.

4.5.6- Construção das curvas de flotação

As curvas de flotação dão idéia da velocidade ascensional dos flocos obtidos em diferentes condições de coagulação-floculação. Assim, quanto maior a velocidade de flotação maior poderá ser a taxa de aplicação superficial (TAS) em uma unidade de flotação com escoamento contínuo.

Para a obtenção das curvas de flotação em laboratório, as amostras foram tomadas ao longo do tempo, sempre na mesma altura (32,5 cm), tendo-se como referencial o fundo do frasco. Para a obtenção destas curvas, foi empregada metodologia proposta por REALI (1991).

4.5.7- Ensaio visando a investigação da influência do tempo decorrido após a mistura rápida (do coagulante primário), para a adição de polímero.

Nesta etapa, foram utilizados os polímeros e dosagens definidos no item 4.5.5. Os parâmetros tais como $G_{mr} = 1000s^{-1}$, $T_{mr} = 20seg$, $G_f = 60s^{-1}$, $R = 8\%$, $VF1 = 31,6\text{ cm/min}$, $VF2 = 13,3\text{ cm/min}$, $VF3 = 6,7\text{ cm/min}$ e $VF4 = 2,9\text{ cm/min}$, DSA 12 e 20 mg/L foram mantidos constantes. Os ensaios foram realizados com diferentes tempos de aplicação do polímero para diferentes tempos de floculação.

Segue-se abaixo a descrição do procedimento de adição do polímero.

- Para este primeiro ensaio, dosava-se o polímero com uma pipeta graduada, após 10 segundos de velocidade da mistura rápida no béquer do *Jar Test*. Deixava-se misturando por mais 10 segundos após a adição do polímero, com um tempo total de mistura rápida de 20 segundos. Após, transferia-se o conteúdo do béquer para o jarro do flotatesto, procedendo à floculação por 24 minutos.

A partir desse ensaio, os polímeros eram adicionados após diferentes intervalos de tempo de floculação, nos jarros do flotatesto. Após, o tempo de mistura rápida de 20 segundos, a água coagulada com sulfato de alumínio no *Jar Test* era transferida para os jarros do flotatesto, e, em tempos de floculação prefixados, adicionavam-se os volumes de polímeros definidos no item anterior, até que se atingisse o tempo total de floculação estabelecido.

Na Tabela 02 seguem os tempos de adição do polímero e o tempo total de floculação que foram utilizados nesta etapa dos ensaios.

Quadro 02- Tempo decorrido após o início da floculação antes da adição do polímero nos jarros do flotateste e tempo total de floculação após a mistura rápida do coagulante primário.

TEMPO DE ADIÇÃO DO POLÍMERO NOS JARROS DO FLOTATESTE	TEMPO DE FLOCULAÇÃO A PARTIR DA ADIÇÃO DO POLÍMERO (MIN.)	TEMPO TOTAL DE FLOCULAÇÃO APÓS A MISTURA RÁPIDA DO COAGULANTE PRIMÁRIO (MIN.)
Após 1 minuto de floculação	23	24
Após 5 minutos de floculação	1	6
Após 5 minutos de floculação	5	10
Após 5 minutos de floculação	19	24
Após 10 minutos de floculação	5	15
Após 10 minutos de floculação	10	20
Após 10 minutos de floculação	14	24
Após 15 minutos de floculação	1	16
Após 15 minutos de floculação	5	20
Após 15 minutos de floculação	9	24

Todos os ensaios realizados seguiram o esquema do item 4.5.3 no que diz respeito ao uso e manejo do flotateste.

4.5.8- Ensaios visando a otimização da dosagem de ar fornecida

Definidos os polímeros, dosagem ideal e tempo para adicioná-los, fizeram-se ensaios visando a quantidade de ar fornecida.

A variação da quantidade de ar fornecida (R) era medida em termos do percentual do volume de água contido no jarro do flotateste (1800 mL).

Os valores da taxa de recirculação usados foram: 4%, 6%, 8%, 10%, 12% e 14%.

Nesses ensaios foram mantidos fixos os seguintes parâmetros: $T_{mr} = 20$ seg, $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$, $G_f = 60 \text{ s}^{-1}$, $T_f = 20$ min, $P_{sat} = 456 \text{ kPa}$, $VF1 = 31,6 \text{ cm/min}$, $VF2 = 13,3 \text{ cm/min}$, $VF3 = 6,7 \text{ cm/min}$ e $VF4 = 2,9 \text{ cm/min}$. Todos os ensaios seguiam o esquema do item 4.5.3.

4.5.9- Ensaios visando a investigação do tempo e do gradiente médio de velocidade de floculação

Nestes ensaios, visaram-se uma adequação entre o tempo de floculação (T_f) e o gradiente médio de velocidade de floculação (G_f).

Os valores do T_f para DSA 20 mg/L foram 5, 10, 15, 20 e 24 minutos, e para DSA 12 mg/L foram 16, 20 e 25 minutos. O G_f foi de 40, 60, 80 e 100 s^{-1} para as duas dosagens de sulfato de alumínio.

Os demais parâmetros definidos e mencionados na etapa anterior foram mantidos constantes.

4.6 - Ensaios realizados com a instalação piloto com escoamento contínuo

A partir dos dados obtidos com a realização dos ensaios com o flotateste, foram programados ensaios com a instalação piloto, onde se estudou a influência do uso de polímeros sintéticos como auxiliar de floculação. Na figura 28, encontra-se um fluxograma ilustrativo dos ensaios realizados nessa etapa de estudo.

Com base nos dados otimizados por MARCHETTO (1996), utilizou-se, na unidade de flotação de alta taxa, o módulo contendo placas assentadas com ângulo de 60° com a horizontal e G_f de 70-50-30 s^{-1} . A referida autora trabalhou com a mesma instalação e tipo de água bruta preparada, utilizada na presente pesquisa.

Em relação às dosagens de sulfato de alumínio de 40 e 20 mg/L, investigaram-se, na instalação piloto com escoamento contínuo, duas TASap (525 e 262 m³/m²d) e a quantidade de ar fornecida para flotação (valores em torno de 6, 4 e 3 g de ar/m³ de água) com Gf de 70-50-30 s⁻¹ nas três câmaras em série, sendo que para DSA de 20 mg/L investigou-se também a influência do polímero sintético como auxiliar de floculação.

Já para DSA de 12 mg/L, além das operações citadas acima, foram investigados dois valores de gradiente médio de velocidade de floculação (Gf) (70-50-30 s⁻¹ e 80 s⁻¹ nas três câmaras de floculação em série respectivamente).

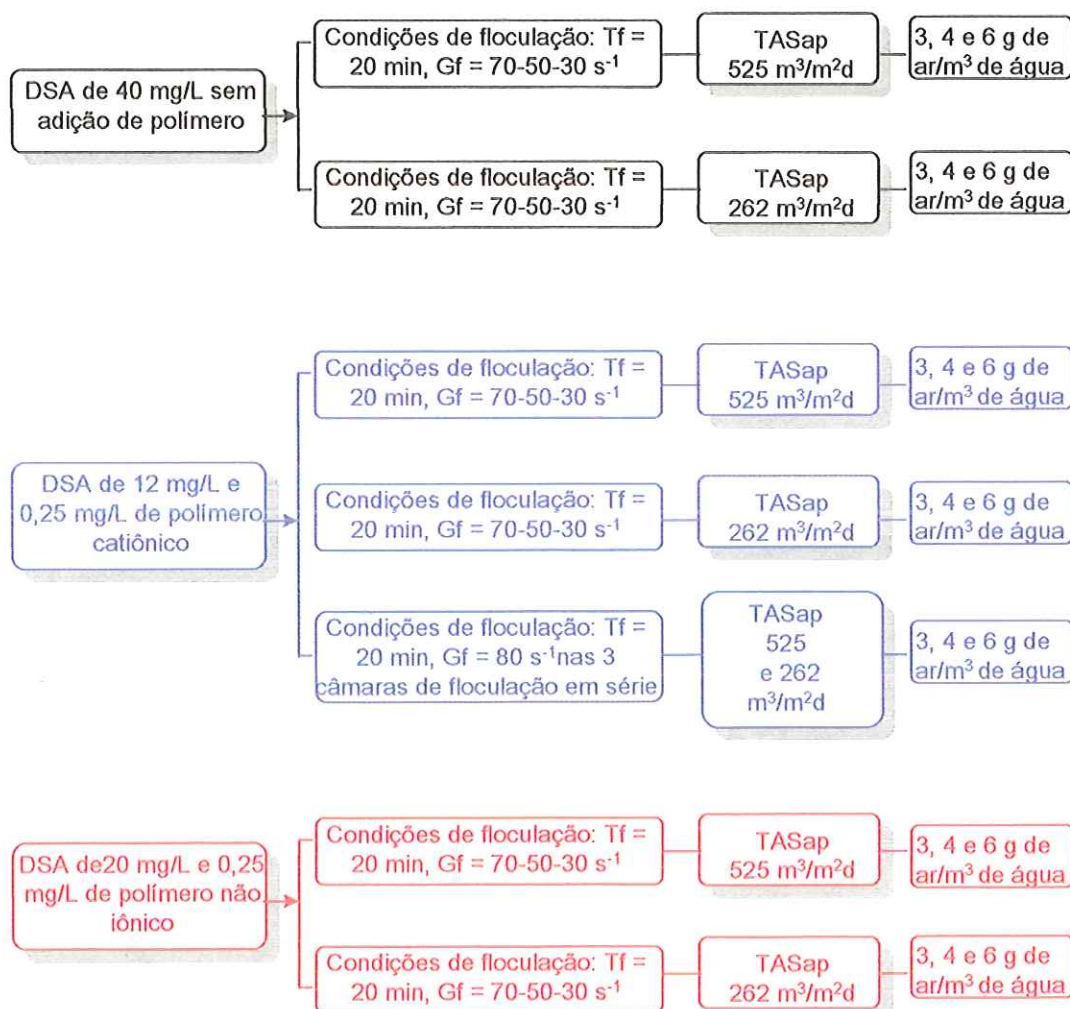


FIGURA 28- Fluxograma ilustrativo dos ensaios realizados com a instalação piloto com escoamento contínuo

Programaram-se, então, os ensaios com a instalação piloto de forma a serem executados com:

- 1- DSA 40 mg/L sem adição de polímero e TASapa 525 e 262 m³/m²d com Gf de 70-50-30s⁻¹
- 2- DSA 20 mg/L com adição de polímero não iônico 0,1% e TASapa 525 e 262 m³/m²d com Gf de 70-50-30 s⁻¹
- 3- DSA 12 mg/L com adição de polímero catiônico 0,1 % e TASapa 525 e 262 m³/m²d com Gf de 70-50-30 s⁻¹ e 80 s⁻¹.

Cada carreira refere-se aos resultados obtidos durante um dia de ensaio.

Para facilitar a visualização, fez-se um resumo dos ensaios programados na instalação piloto, o qual se encontra no Quadro 03 a seguir.

QUADRO 03- Ensaios programados com a unidade em escala piloto

DSA (MG/L)	40	20	12
Tf (min)	20	20	20
TASap (m ³ /m ² d)	525 e 262	525 e 262	525 e 262
Número de câmaras de floculação utilizada	3	3	3
Gf (s ⁻¹)	70-50-30	70-50-30	70-50-30 e 80
Vazão afluyente (L/h) ás câmaras de floculação	≈ 874	≈ 874	≈ 874
Vazão de recirculação (g de ar/ m ³ de água)	6-4-3	6-4-3	6-4-3
Número de espaços abertos no módulo	2	2	2
Dosagem de polímero (mg/L)	-	0,25	0,25

4.6.1- Procedimento da operação na instalação piloto durante os ensaios

Preparava-se, antes de cada ensaio, a água de estudo com aproximadamente 14 horas de antecedência, sendo agitada continuamente durante este período.

O módulo de placas planas paralelas inclinadas foi preparado de forma a apresentar 2 espaçamentos abertos e 3 espaçamentos fechados. Essa configuração permitia a obtenção de dois valores de TASap na instalação de flotação, quais foram: 525 e 262 m³/m²d. Deve-se ressaltar que, durante todos os ensaios, para que fossem mantidas fixas as condições de floculação, aplicava-se a mesma vazão de água no sistema de floculação. Para a obtenção do valor de TASap em torno de 525 m³/m²d no flotor, deixa-se toda a vazão de água floculada entrar na câmara de flotação, enquanto que, nos ensaios com TASapa 262 m³/m²d, promovia-se o desvio de metade da vazão de água floculada através de medidor eletrônico de vazão (uma foto ilustrativa é apresentada na Figura 24) acoplado a um registro de agulha.

Utilizaram-se 3 câmaras de floculação, a qual para DSA 12 mg/L adicionou-se polímero catiônico na parte inferior da segunda câmara de floculação através de um registro de agulha e bomba dosadora. Para DSA 20 mg/L, adicionou-se polímero não iônico na parte inferior da primeira câmara de floculação, também se utilizando registro de agulha e bomba dosadora. Fizeram-se esses ensaios, utilizando-se os resultados otimizados em escala de laboratório (flotateste).

Preparavam-se a cada ensaio as soluções de sulfato de alumínio, barrilha ou ácido clorídrico, nos tanques de preparação conforme se mostra na Figura 25. Caracterizava-se a água bruta com medidas de cor, turbidez, pH, temperatura, dureza, sólidos suspensos (totais, fixos e voláteis) e alcalinidade.

A determinação do pH ideal era feita através de ensaios em escala de laboratório (flotatestes) antes do início de cada ensaio com a instalação piloto.

Ajustavam-se as bombas dosadoras de produtos químicos e após acionavam-se os floculadores com seus respectivos gradientes.

Ajustavam-se a vazão de entrada, a entrada de polímero na câmara de floculação, a pressão da câmara de saturação e a vazão de recirculação desejadas.

Após aproximadamente 40 min de início do funcionamento da instalação piloto, iniciavam-se as coletas de amostras, que eram efetuadas a cada 20 min.

4.7- Monitoramento e análise dos resultados

Efetuaram-se os seguintes ensaios para as amostras referentes à instalação piloto:

- medida de cor aparente, pH, turbidez, alcalinidade, dureza e condutividade para a água do poço;
- Cor verdadeira, temperatura, turbidez, pH, alcalinidade, dureza, SST(F,V) e condutividade da água de estudo;
- Cor verdadeira, temperatura, cor aparente, turbidez, pH, alcalinidade, dureza, SST(F,V), residual de alumínio e condutividade das amostras compostas clarificadas. A amostra de água era coletada em três partes ao longo de uma carreira de operação, configurando-se uma amostra composta;
- SST(F,V) e potencial zeta das amostras de água coagulada;
- pH, turbidez e cor aparente das amostras clarificadas coletadas a cada 20 min.;
- pH, e SST(F,V) da água floculada ao final de cada ensaio.

A análises e determinações efetuadas para avaliação e controle dos ensaios obedecem à padronização descrita no STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (18° edição).

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- Resultados dos ensaios realizados com equipamento de flotateste para utilização de polímero sintético como auxiliar de floculação

Todos os resultados apresentados no item 5.1 sob a forma de gráficos, são apresentados em forma de Tabelas no Apêndice 1.

Como a água de estudo foi preparada de forma a obter cor aparente significativamente alta em relação à turbidez, os valores de remoção de cor serão de maior importância para as análises dos resultados.

5.1.1-Otimização da dosagem de coagulante e pH de coagulação

Nas Figuras 30 a 43, a seguir, são apresentados valores referentes as curvas de eficiência de remoção de cor aparente e de turbidez em função do pH de coagulação para DSA de 12, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 mg/L.

A cada gráfico que compõe as Figuras 30 a 43, corresponde uma dosagem de sulfato de alumínio diferente para diferentes valores de pH. Esses valores de pH foram obtidos adicionando-se barrilha ou ácido clorídrico quando necessário.

As amostras foram coletadas para velocidades de flotação (VF) de 31,6 cm/min (\approx 455m/d), 13,3 cm/min (\approx 191m/d), 6,7 cm/min (\approx 96 m/d) e 2,9 cm/min (\approx 42 m/d).

Os demais parâmetros operacionais utilizados neste ensaio foram: tempo de mistura rápida (Tmr) de 20 seg, gradiente médio de velocidade da mistura rápida (Gmr) de 1000 s^{-1} , tempo de floculação (Tf) de 24 min, gradiente de floculação (Gf) de 60 s^{-1} , pressão de saturação (Psat) = 456 kPa e fração de recirculação (R) de 8%.

A análise de cada um dos gráficos presentes nas Figuras 30 a 43, permite a verificação da faixa mais adequada de pH de coagulação para a DSA investigada e respectivas velocidades de flotação. No Quadro 04, encontram-se apresentados tais faixas, assim como as eficiência de remoção de cor e turbidez referentes à cada situação considerada.

QUADRO 04- Resumo dos resultados obtidos durante os ensaios com o flotateste para os melhores resultados de remoção de cor aparente e turbidez, para diferentes DSA e pH de coagulação.

DSA (mg/L)	Faixa de pH ótimo ou pH ótimo	Faixa de remoção de cor aparente (%)				Faixa de remoção de turbidez (%)				Ref. às fig. núm.
		Velocidade de flotação (cm/min.)				Velocidade de flotação (cm/min.)				
		31,6	13,3	6,7	2,9	31,6	13,3	6,7	2,9	
12	6,20 - 6,49	50 - 75	83 - 87	86 - 88	88 - 89	42 - 76	83 - 88	87 - 89	89 - 90	30-31
15	6,20-6,33	72-73	86-89	88-89	88-89	71-77	88	89-90	89-90	32-33
20	6,20-6,30	74-77	88	89-91	90-92	70-75	85-88	85-91	85-92	34-35
25	6,20-6,30	84-86	92	94	94-95	81-83	92-93	93-94	94	36-37
30	6,22 - 6,42	73 - 83	93	93	93 - 94	73 - 83	89 - 93	93	93 - 94	38-39
35	6,15 - 6,35	84	92 - 93	91 - 93	94 - 95	84	87 - 91	90 - 93	89 - 92	40-41
40	6,24	89	95	96	96	89	94	94	91	42-43

Pela análise dos resultados mostrados no Quadro 04 (a partir das Figuras 30 a 43), observa-se que considerando velocidade de flotação elevada (VF) de 31,6 cm/min ($\approx 455\text{m/d}$), obteve-se remoção de cor

aparente e turbidez acima de 77% para dosagens de sulfato de alumínio acima de 20 mg/L, desde que o pH de coagulação estivesse em torno do valor mais adequado para a dosagem considerada.

Ao considerar VF de 13,3 cm/min (\approx 191 m/d) verifica-se remoção de cor aparente maior que 80% para DSA de 12, 15 e 20 mg/L, e maior que 90% para DSA de 25, 30 e 40 mg/L, com seus respectivos valores de pH de coagulação.

Em relação as VF de 6,7 e 2,9 cm/min, observa-se remoção de cor aparente entre 86 e 96%, e remoção de turbidez entre 85 e 94% para todas as dosagens de sulfato de alumínio estudadas com seus respectivos valores de pH de coagulação.

A partir do Quadro 04, constata-se que a variação do pH ótimo de coagulação esteve entre 6,15 e 6,49 aproximadamente.

Ainda a partir do Quadro 04 observa-se que:

-para DSA de 12 mg/L, o pH de coagulação mais adequado esteve entre 6,20 e 6,49 e verifica-se grande variação da eficiência de remoção nos valores referentes a VF de 31,6 cm/min, tanto para eficiência de remoção de cor aparente (50 a 75%), quanto na eficiência de remoção de turbidez (42 a 76%). Para VF até 13,3 cm/min observa-se remoção tanto de cor aparente quanto de turbidez superior a 80%. Em relação as VF de 6,7 e 2,9 cm/min os valores de remoção de cor aparente foram próximos para os dois valores de pH de coagulação, ou seja, na VF de 6,7 cm/min e pH 6,20 a remoção foi igual a 87%, para pH 6,30 a remoção foi de 88% e, para pH de 6,49 remoção de 86%. O mesmo ocorrendo para VF de 2,9 cm/min que com pH de coagulação de 6,20 obteve-se remoção de cor aparente de 88% e, com valores de pH de 6,30 e 6,49 a remoção foi de 89%. Logo observa-se que para DSA 12 mg/L, a partir da VF de 6,7 cm/min, para qualquer dos valores de pH de coagulação entre 6,18 e 6,49 apresentado no Quadro 04, a remoção de cor aparente foi semelhante, sendo que esta é só bem diferenciada para VF de 31,6 cm/min.

- para DSA de 15 mg/L, o pH de coagulação mais adequado esteve entre 6,20 e 6,33. Verifica-se que para VF até 6,7 cm/min, a remoção de cor aparente esteve entre 88 e 89%, e remoção de turbidez entre 89 e 90%. Para VF de 13,3 cm/min observa-se remoção de turbidez de 88%, tanto para valores de pH de 6,20 quanto 6,33. Ainda em relação a VF de 13,3 cm/min, a eficiência de remoção de cor aparente esteve entre 86 e 89%. Já para VF de 31,6 cm/min observa-se remoção de cor aparente de 72 e 73% e de turbidez de 71 a 77%.

- para DSA de 20mg/L os valores de pH mais adequados estiveram entre 6,20 e 6,30, e verifica-se que para VF até 6,7 cm/min os valores de remoção de cor aparente foram bastante próximos entre si, ligeiramente superior para pH 6,30. Já para VF de 13,3 cm/min, tanto para pH 6,20, quanto para 6,30 obteve mesma eficiência de remoção de cor aparente (88%). Em relação a VF de 31,6 cm/min, constata-se que a remoção de cor aparente, variou de 74 e 77% para valores de pH entre 6,20 e 6,30. Para a turbidez observa-se remoção acima de 84% para VF até 13,3 cm/min para os dois valores de pH apresentados.

- comparando-se as dosagens de sulfato de alumínio de 25, 30 e 35 mg/L observa-se eficiência de remoção de cor e turbidez bastante próximas para as três dosagens (adotando-se valores ótimos de pH para cada dosagem). Verifica-se resultados ligeiramente melhores para a dosagem de 25 mg/L.

- a DSA de 40 mg/L e pH de coagulação de 6,24, foi a que apresentou melhores resultados, principalmente para valores elevados de velocidade de flotação (31,6 cm/min).

Com base nos resultados obtidos nessa etapa de estudo, foi construído o diagrama de coagulação (para flotação), mostrado na Figura 29. Tal diagrama foi obtido considerando-se as curvas de remoção de cor aparente por flotação, referentes à velocidade de flotação de 6,7 cm/min, dados pelos seguintes pares de valores "dosagem de sulfato de alumínio (DSA) x pH de coagulação".

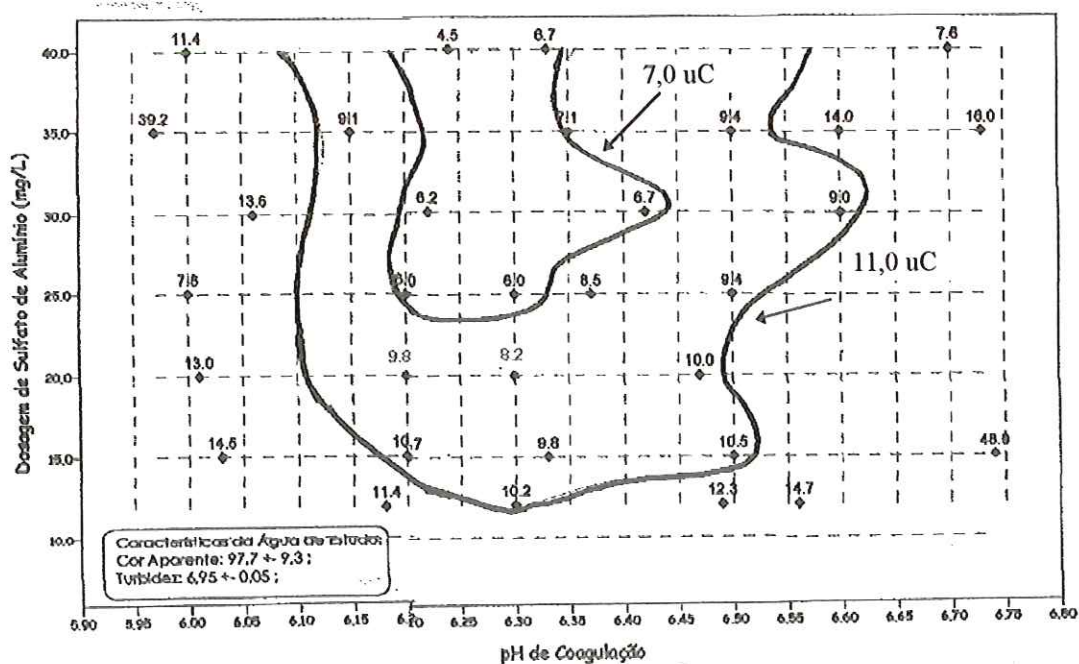


FIGURA 29- Diagrama de coagulação - Cor aparente remanescente em função da dosagem de sulfato de alumínio e do pH de coagulação para VF de 6,7 cm/min. Características da água de estudo: cor aparente de $97,7 \pm 9,3$ uC e turbidez de $6,95 \pm 0,05$ uT. *

Observa-se que as melhores remoções foram obtidas para valores de pH entre 6,20 e 6,50. Para DSA de 20 e 12 mg/L, verifica-se que as melhores remoções também se encontram entre valores de pH de 6,20 e 6,30.

Logo após a mistura rápida, foram feitas medidas de potencial zeta para todas as dosagens de sulfato de alumínio estudadas com seus respectivos valores de pH de coagulação mais adequados. Esses valores encontram-se no Quadro 05 a seguir.

* Comunicação pessoal: DI BERNARDO, A.

QUADRO 05- Valores do potencial zeta para as DSA de 12, 20, 25,30,35 e 40 mg/L e respectivos pH de coagulação ótimos.

DSA (mg/L)	pH de coagulação	Potencial zeta (mV)
12	6,26	-7,9
20	6,31	+ 4,9
25	6,30	+ 9,9
30	6,22	+11,9
35	6,28	+13,1
40	6,25	+ 17,3

Observando-se o Quadro 05 e considerando-se os valores adequados de pH de coagulação para cada dosagem de sulfato de alumínio, verifica-se que os valores de potencial zeta cresceram com o aumento da DSA. Para DSA de 12 mg/L o potencial zeta apresentou-se negativo (- 7,9 mV), sendo que para o valor de DSA investigada imediatamente acima, ou seja, 20 mg/L, o potencial zeta tornou-se positivo (+ 4,9 mV), indicando que o potencial zeta próximo de zero deveria situar-se em condições de dosagem de sulfato de alumínio entre 12 e 20 mg/L.

Deve-se ressaltar que o potencial zeta associado à DSA que forneceu os melhores resultados de flotação (40 mg/L), apresentou valor positivo relativamente elevado (+17,3 mV). De maneira geral, conforme comentado anteriormente, os valores de sulfato de alumínio acima de 20 mg/L forneceram bons resultados, apresentando potencial zeta positivo, na faixa de +4,9 à +17,3 mV.

De maneira geral observou-se que:

Os resultados de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez obtidos para velocidade de flotação de 2,9 cm/min e 6,7 cm/min são bastantes similares.

Para dosagem de coagulante de 40 mg/L foram obtidos os melhores resultados de remoção de cor aparente e turbidez (96%), para valor de pH entre 6,24, considerando-se velocidades de flotação de 2,9 e 6,7 cm/min,

embora as dosagens de 25 a 30 mg/L também tenham apresentado resultados bastante próximos a estes.

Portanto para DSA de 40 mg/L e pH de 6,24, os resultados estão de acordo com o trabalho apresentado por DOMBROSKI (1996), que adotou como resultados ótimos DSA de 40 mg/L com pH de coagulação próximo a 6,30, obtendo remoção de cor aparente de 96,6 % para velocidade de flotação de 6,7 cm/min.

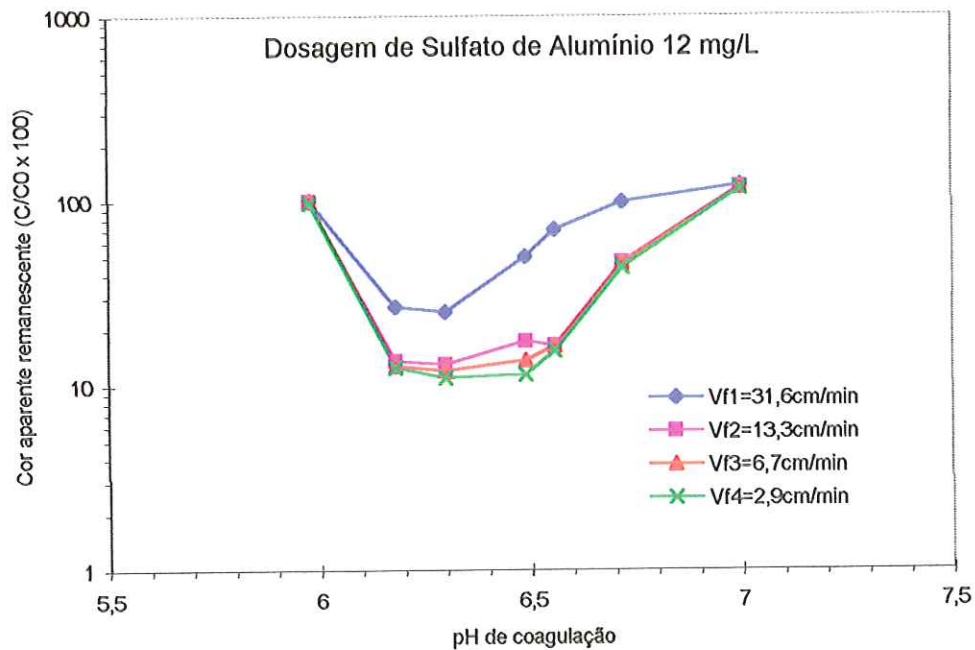


FIGURA 30- Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 12 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O1- Apêndice:1)

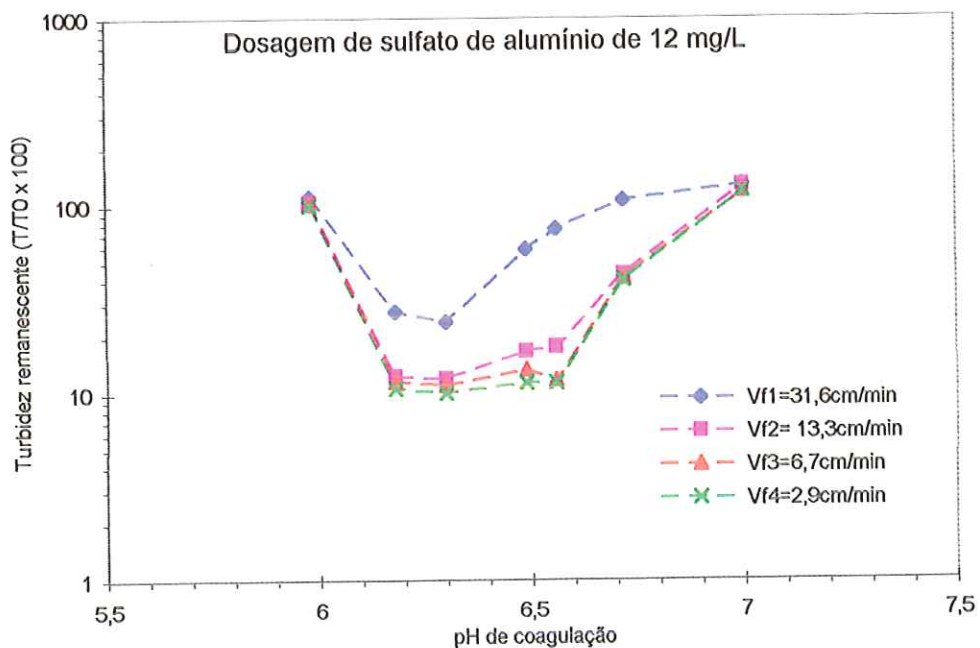


FIGURA 31- Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 12 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O1- Apêndice:1)

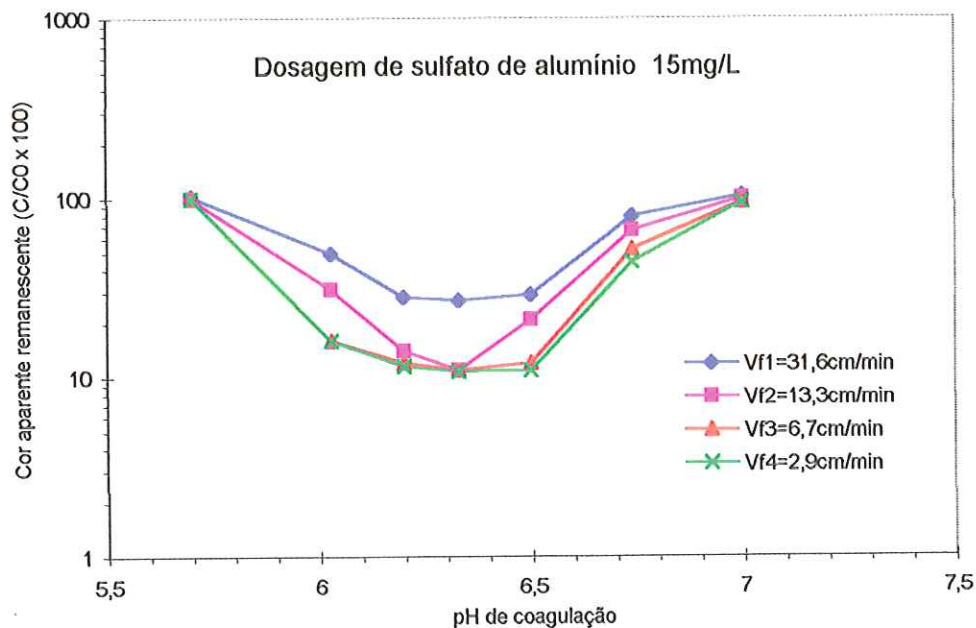


FIGURA 32- Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 12 mg/L. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para a água de estudo com características : cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: Vf1=31,6cm/min., Vf2=13,3 cm/min., Vf3= 6,7 cm/min., Vf4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O1- Apêndice:1)

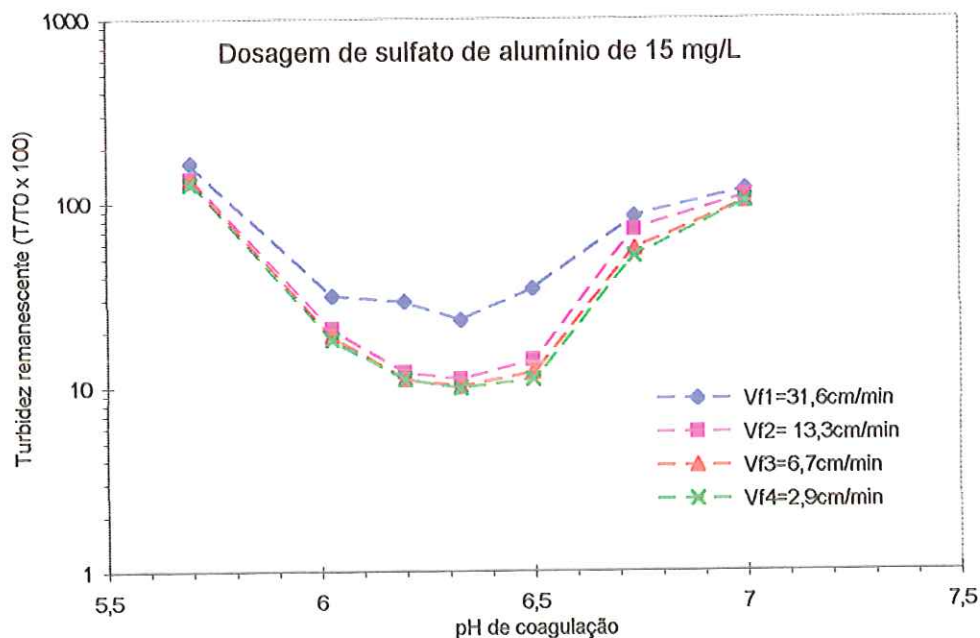


FIGURA 33- Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 12 mg/L. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para a água de estudo com características : cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: Vf1=31,6cm/min., Vf2=13,3 cm/min., Vf3= 6,7 cm/min., Vf4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O1- Apêndice:1)

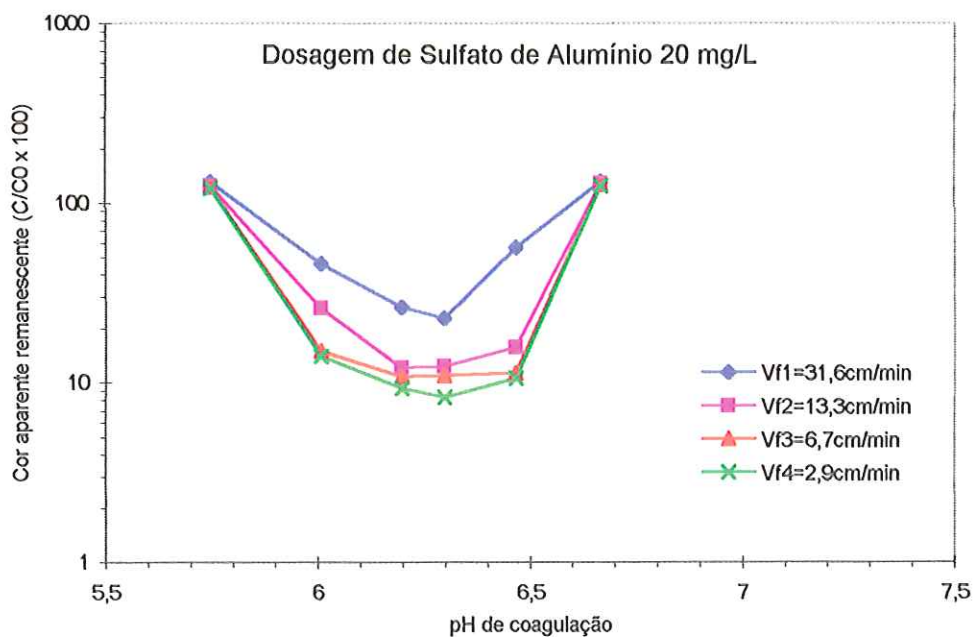


FIGURA 34- Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 20 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O1- Apêndice:1)

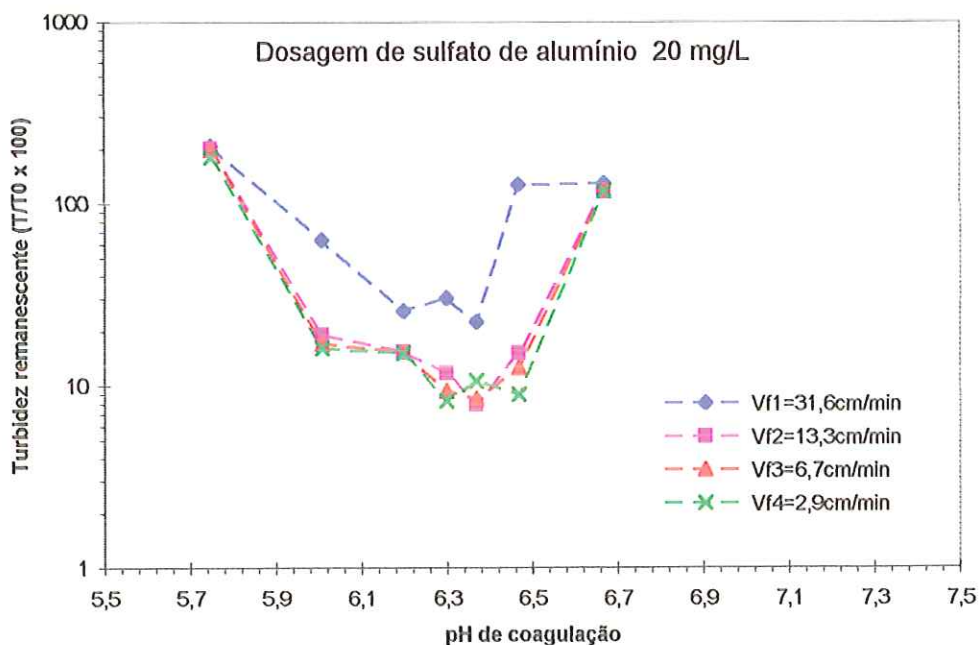


FIGURA 35- Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 20 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O1- Apêndice:1)

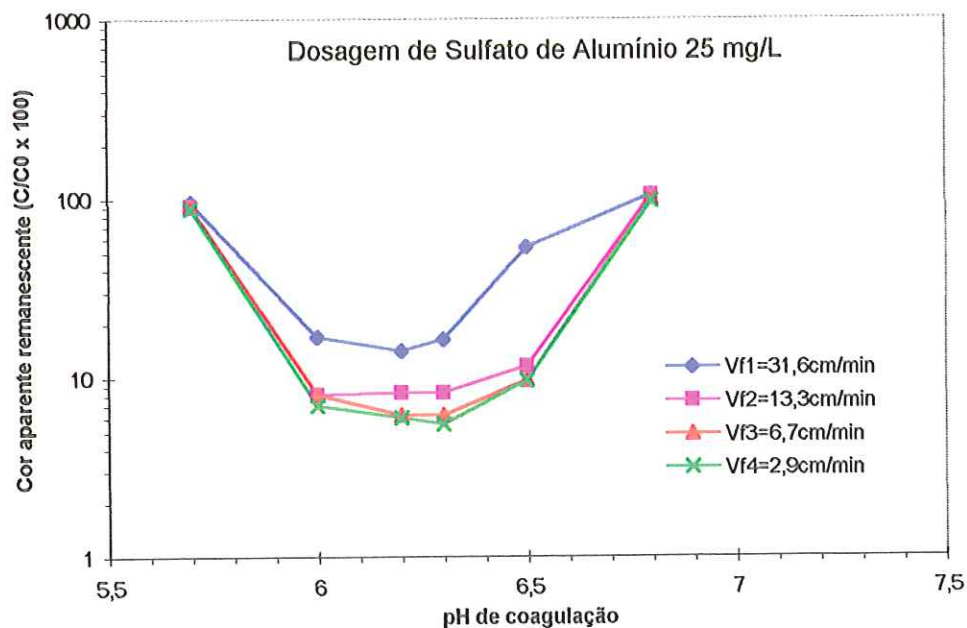


FIGURA 36- Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 25 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O1- Apêndice:1)

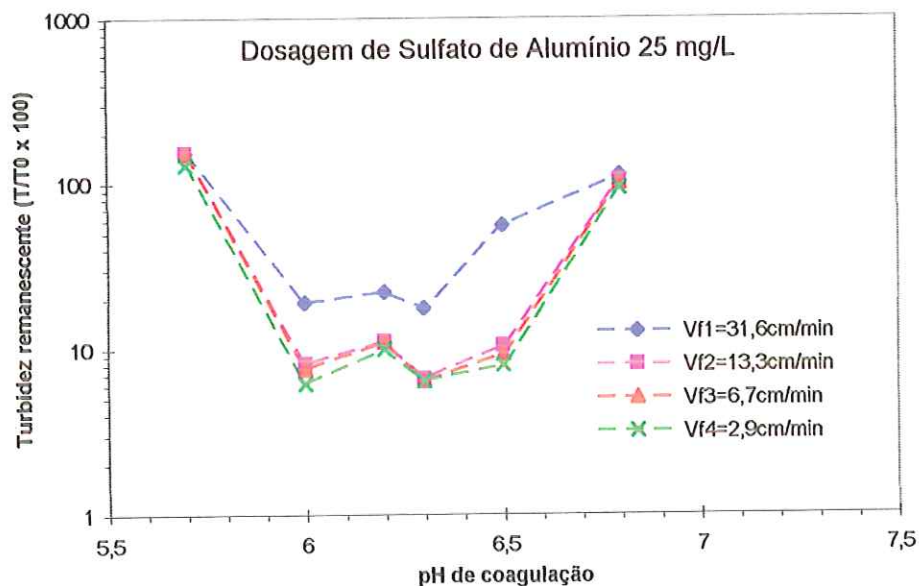


FIGURA 37- Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 25 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O1- Apêndice:1)

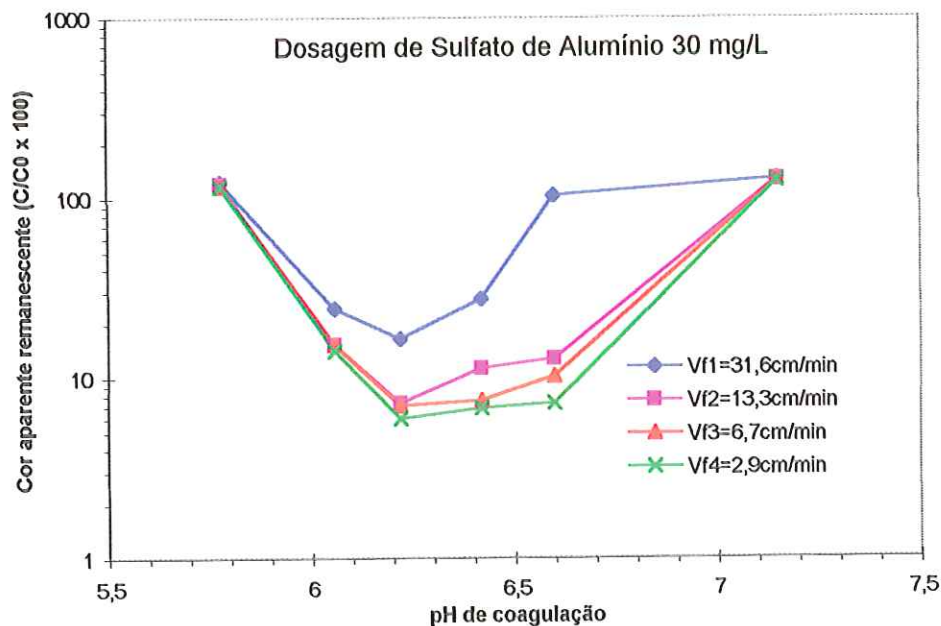


FIGURA 38- Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 30 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 01- Apêndice:1)

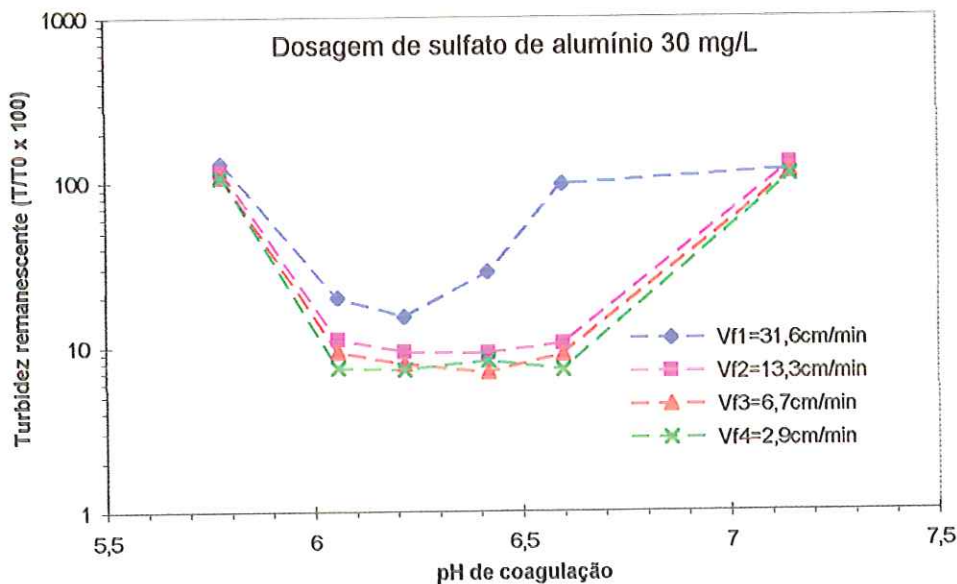


FIGURA 39- Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 30 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 01- Apêndice:1)

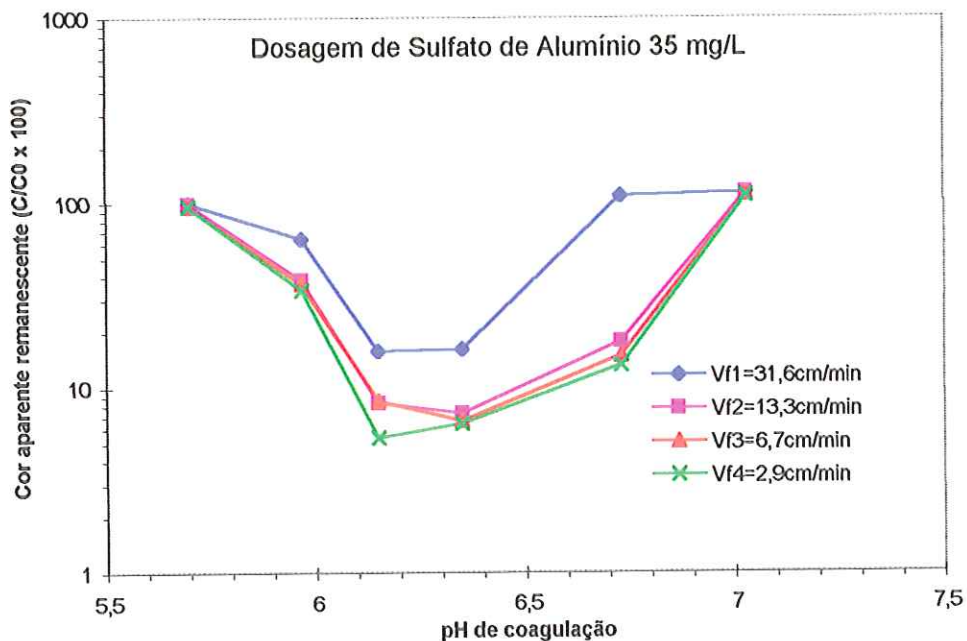


FIGURA 40- Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 35 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O1- Apêndice:1)

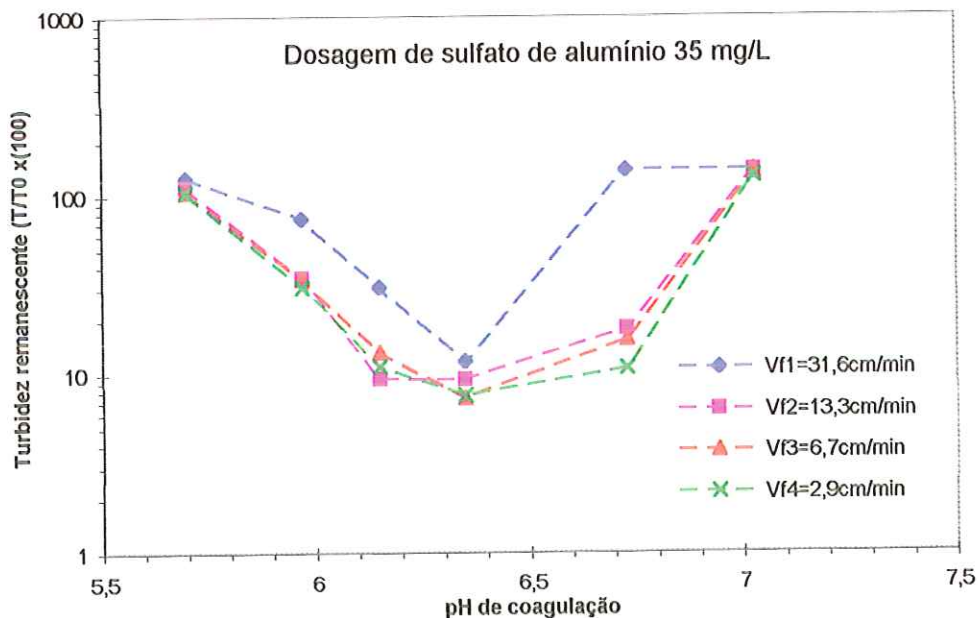


FIGURA 41- Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 35 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O1- Apêndice:1)

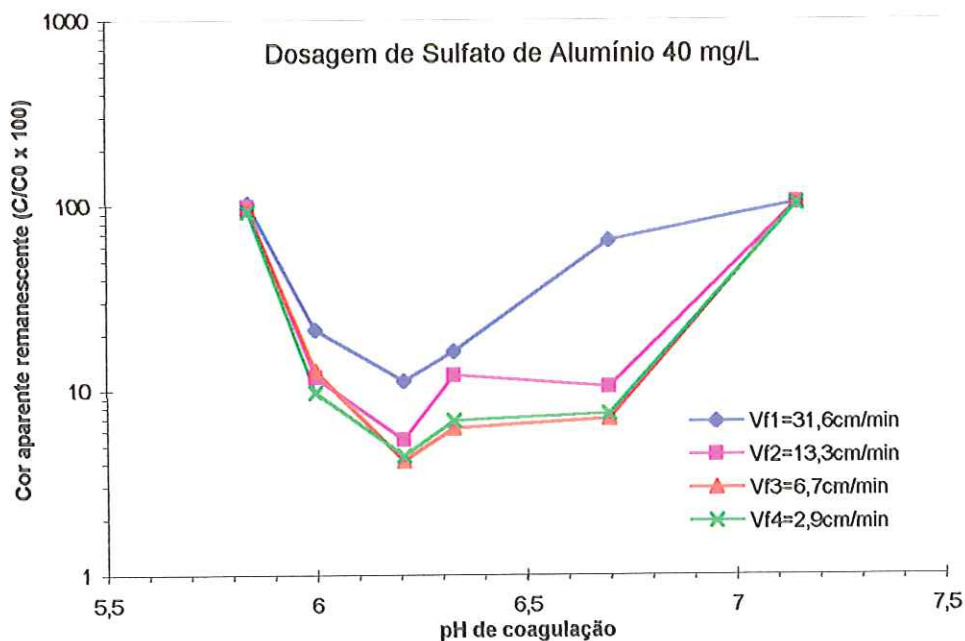


FIGURA 42- Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 40 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 01- Apêndice:1)

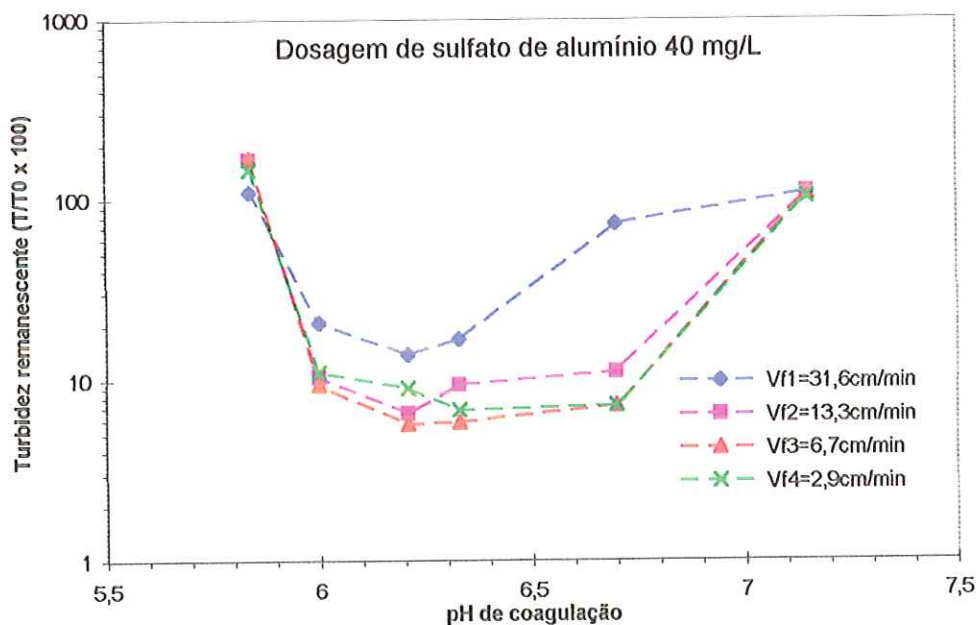


FIGURA 43- Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do pH de coagulação para dosagem de Sulfato de Alumínio de 40 mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para a água de estudo com características: cor aparente $97,7 \pm 9,3$ uC; turbidez: $6,95 \pm 0,05$ uT; temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 01- Apêndice:1)

5.1.2- Investigação do polímero e dosagem mais adequados, em ensaios realizados com o equipamento do flotatete

Os ensaios foram realizados variando-se as dosagens dos seguintes polímeros: catiônico, não iônico, aniônico (Adesol) e catiônico (Nalco).

As dosagens dos polímeros testados foram de 0,050 ; 0,125 ; 0,375 ; 0,500; 0,750 e 1,000 mg/L para DSA de 12 e 20 mg/L. Os parâmetros operacionais, tais como, T_{mr}, G_{mr}, T_f, G_f, R% e VF foram mantidos constantes conforme mencionado no item 5.1.1.

Os polímeros foram adicionados após 5 min do início da floculação, conforme mencionado no item 4.5.5.

Nas Figuras 44 a 59, a seguir são apresentados valores de cor aparente e turbidez remanescentes em função da dosagem de polímero, para DSA de 12 e 20 mg/L, e nas Figuras de 60 a 75 são mostradas as curvas de eficiência de cor aparente e turbidez em função da velocidade de flotação (curvas de flotação).

Nas análises das curvas de flotação (Figuras 60 a 75), considera-se as melhores condições de ensaio aquelas referentes as curvas que resultarem em menores valores de "fração com velocidade menor que a estabelecida".

De acordo com REALI (1991), as curvas flotação permitem avaliar a velocidade ascensional dos flocos formados em diferentes condições de coagulação/flotação.

Para cada uma das curvas obtidas (Figuras 60 a 75), foram calculados os valores teóricos de remoção de cor aparente e turbidez para cada uma das velocidades consideradas (2,9 a 31,6 cm/min). Tais valores encontram-se apresentados no Apêndice 1, Tabelas 3 e 5. Para maior facilidade de análise, foi construído o Quadro 06, em que são mostrados os melhores resultados referentes a cada polímero investigado associados às dosagens de sulfato de alumínio de 12 a 20 mg/L.

QUADRO 06- Resumo dos melhores resultados obtidos durante os ensaios com o flotateste para diferentes dosagens de polímero aniônico, catiônico e não iônico.

Polímero utilizado	Dos. do polímero que apresentou maior remoção	DSA (mg/L)	Eficiência teórica de remoção de cor aparente (%)				Eficiência teórica de remoção de turbidez (%)				Refêrente às figuras números
			Velocidade de flotação(cm/min.)				Velocidade de flotação(cm/min.)				
			31,6	13,3	6,7	2,9	31,6	13,3	6,7	2,9	
Aniônico (Adesol)	0,050	12	73	86	87	88	73	87	88	88	44 e 45 60 e 61
	0,125-0,375	20	86 - 87	89 - 91	89 - 91	88 - 91	88 - 89	92	92 - 93	92 - 93	52 e 53 68 e 69
Não iônico (Adesol)	0,375	12	72	80	81	85	75	85	85	84	46 e 47 62 e 63
	0,250	20	93	96	96	95	91	93	94	94	54 e 55 70 e 71
Catiônico (Adesol)	0,500	12	86	89	90	89	85	88	90	90	48 e 49 64 e 65
	0,050-0,125	20	88 - 90	91 - 92	92	92 - 93	89 - 90	91 - 92	92	91 - 93	56 e 57 72 e 73
Catiônico (Nalco)	0,250	12	88	90	90	90	88	90	91	91	50 e 51 66 e 67
	0,050-0,125	20	89 - 90	92	92	92	90 - 92	94	94	93 - 94	58 e 59 74 e 75

A partir do Quadro 06 verifica-se que as dosagens dos polímeros que apresentaram maior remoção, tanto de cor quanto de turbidez, estiveram entre 0,05 e 0,5 mg/L.

Ainda observando-se o quadro 06 pode-se constatar que:

a) Em relação ao polímero aniônico verifica-se que: para a DSA de 12 mg/L a dosagem de polímero mais adequada foi de 0,050 mg/L, sendo que a VF de 2,9 cm/min apresentou a maior remoção de cor aparente (88%). O mesmo resultado de eficiência foi apresentado para remoção de turbidez com VF de 6,7 e 2,9 cm/min. Para VF de 13,3 cm/min e DSA de 12 mg/L, a mesma apresentou eficiência de remoção de cor aparente de 87% e turbidez de 87%. Já para VF de 31,6 cm/min, tanto cor aparente quanto turbidez apresentaram mesma eficiência de remoção (73%). Considerando-se DSA de 20 mg/L as dosagens de polímero que apresentaram melhores resultados estiveram entre 0,125 e 0,375 mg/L, sendo que os valores de remoção de cor aparente entre as dosagens apresentadas foram bastantes próximos, como exemplo, podemos citar que, para VF de 31,6 cm/min, a

remoção de cor aparente esteve entre 86 e 87%, e que a remoção de turbidez para VF de 13,3 cm/min foi de 92%, para as dosagens de polímeros citadas.

b) Para o polímero não iônico observa-se que: a DSA de 20 mg/L e dosagem de polímero de 0,250 mg/L, foi a que apresentou melhor remoção de cor aparente, em relação aos polímeros e suas dosagens testadas. Para VF de 13,3 e 6,7 cm/min, houve remoção de cor aparente de 96%. O mesmo não ocorreu para a DSA de 12 mg/L e dosagem de polímero de 0,375 mg/L, onde a maior remoção de cor aparente foi de 85% para velocidade de flotação de 2,9 cm/min.

c) Considerando os polímeros catiônicos Nalco e Adesol observa-se que: para a DSA de 12 mg/L, os polímeros catiônicos Nalco e Adesol apresentaram remoção de cor aparente próximas (entre 89 e 90%) para VF até 13,3 cm/min, porém com dosagens de polímeros diferentes (0,5 mg/L para Adesol e 0,25 mg/L para Nalco). Ainda com relação a DSA de 12 mg/L, o polímero catiônico Nalco apresentou eficiência de remoção de cor aparente de 90% para VF até 13,3 cm/min, sendo que para VF de 31,3 cm/min a remoção foi de 88%. Considerando-se DSA de 20 mg/L e utilizando-se os mesmos polímeros catiônicos mencionados acima (Nalco e Adesol), observa-se que estes apresentaram a mesma dosagem de polímero (0,050 a 0,125 mg/L) e igualmente a DSA de 12 mg/L os resultados de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez foram próximos . Com relação ao polímero catiônico Adesol e DSA de 20 mg/L a maior remoção de cor aparente foi de 93% para VF de 2,9 cm/min, e para VF de até 13,3 cm/min a eficiência de remoção de cor aparente esteve entre 91 e 92%. Para VF de 31,3 cm/min a remoção máxima foi de 90%. Em relação ao polímero catiônico Nalco e DSA de 20 mg/L, observa-se que até a VF de 13,3 cm/min, a eficiência de remoção de cor aparente foi de 92%, sendo que para VF de 31,6 cm/min a remoção máxima foi de 90%. Já para remoção de turbidez o polímero catiônico Nalco com DSA de 20 mg/L foi o que

apresentou maior eficiência de remoção (94%) para VF de até 13,3 cm/min, e para a VF de 31,3 cm/min a remoção máxima de turbidez foi de 92%.

Através dos resultados observados nos gráficos das Figuras 42 a 73, e quadro 06 foi possível a escolhas dos polímeros a serem utilizados nas etapas subsequentes da pesquisa, bem como suas dosagens mais adequadas, considerando o que apresentasse maior eficiência de remoção de cor aparente.

Assim, com base na discussão anterior, adotou-se como polímeros e dosagens mais adequadas:

- para DSA de 20 mg/L foi escolhido o polímero não iônico com dosagem de 0,25 mg/L, pois essas condições proporcionaram 96% de remoção de cor aparente para VF de 13,3 e 6,7 cm/min.

- para DSA de 12 mg/L foi escolhido o polímero catiônico Nalco. Apesar deste apresentar remoção de cor aparente semelhante ao catiônico da Adesol (90%), o polímero catiônico Nalco apresentou menor consumo (0,25 mg/L) em relação ao polímero catiônico Adesol (0,50 mg/L), tendo sido por isso, escolhido como o mais adequado para o estudo em questão.

Em relação aos resultados apresentados, WANG, T.K. et al (1992), cita em seu trabalho que há apenas poucos dados sobre o mecanismo de floculação com polímeros especialmente no que se refere a correlação entre as propriedades estruturais dos polímeros em tratamento de água.

Possíveis explicações poderiam ser apresentadas utilizando-se o valores do potencial zeta apresentado no Quadro 05 do item 5.1.1. Para DSA de 20 mg/L os flocos apresentaram-se com carga ligeiramente positiva (Pz de + 4,9 mV), e segundo BOLTO (1996), os polímeros não iônicos contém de 1 a 3% de grupos aniônicos, sendo que estes sítios negativos do polímero iriam interagir com os sítios positivos da superfície dos flocos. O mesmo comportamento talvez possa ter ocorrido para DSA de 12 mg/L, que apresentou valor de potencial zeta de -7,9 mV, em que, sítios positivos do polímero catiônico teriam interagido com os sítios negativos dos flocos formados.

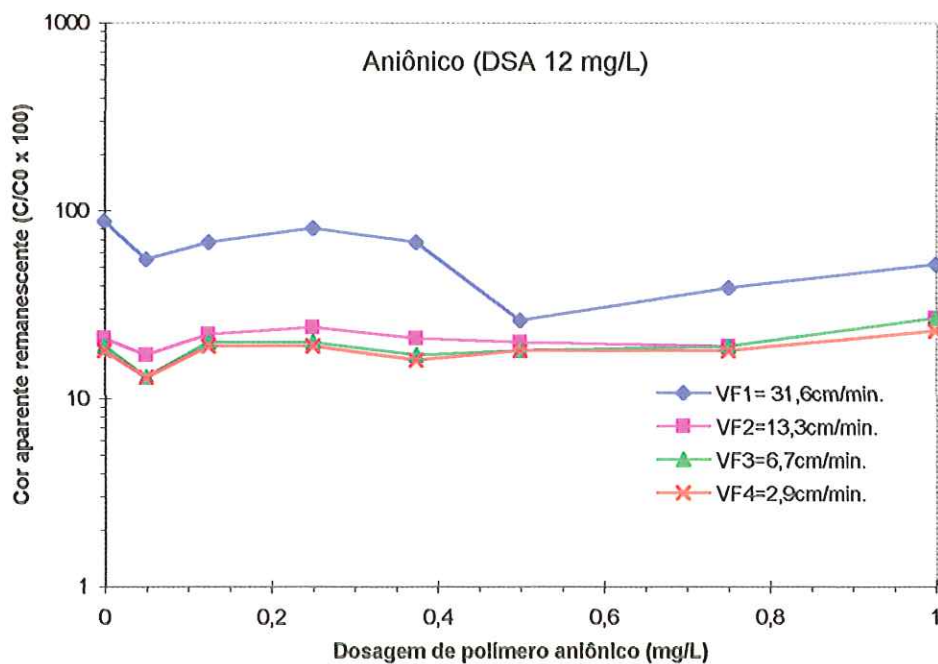


FIGURA 44 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero aniônico Adesol ($PM\ 18\ -25 \times 10^6 g$) para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente $102 \pm 2\ uC$; turbidez: $7,0 \pm 1,0\ uT$; temperatura: $23,5 \pm 0,8\ ^\circ C$. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 02 Apêndice 1).

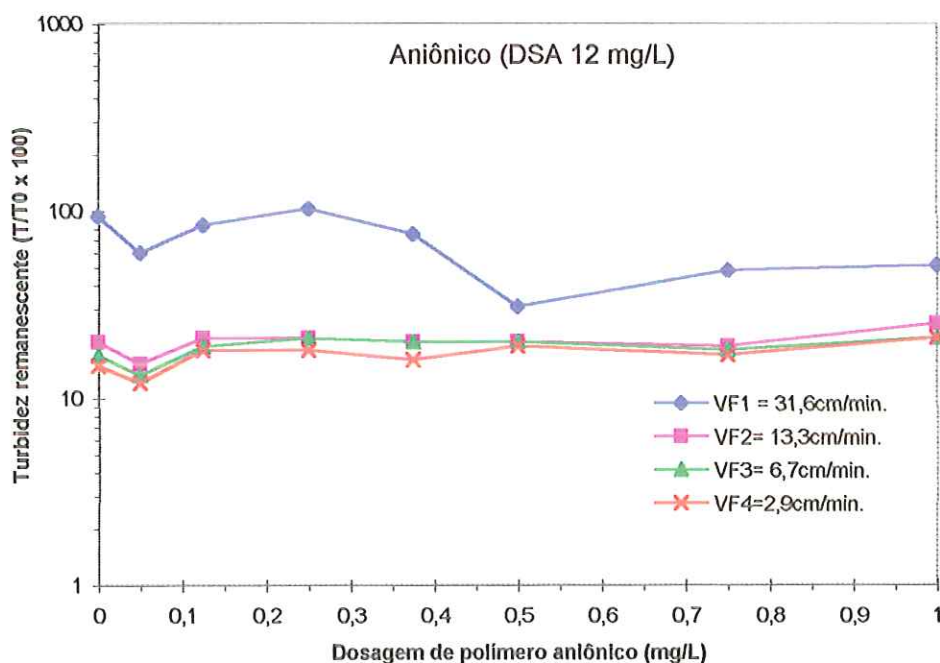


FIGURA 45 Fração remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero aniônico Adesol ($PM\ 18\ -25 \times 10^6 g$) para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente $102 \pm 2\ uC$; turbidez: $7,0 \pm 1,0\ uT$; temperatura: $23,5 \pm 0,8\ ^\circ C$. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 02 Apêndice 1).

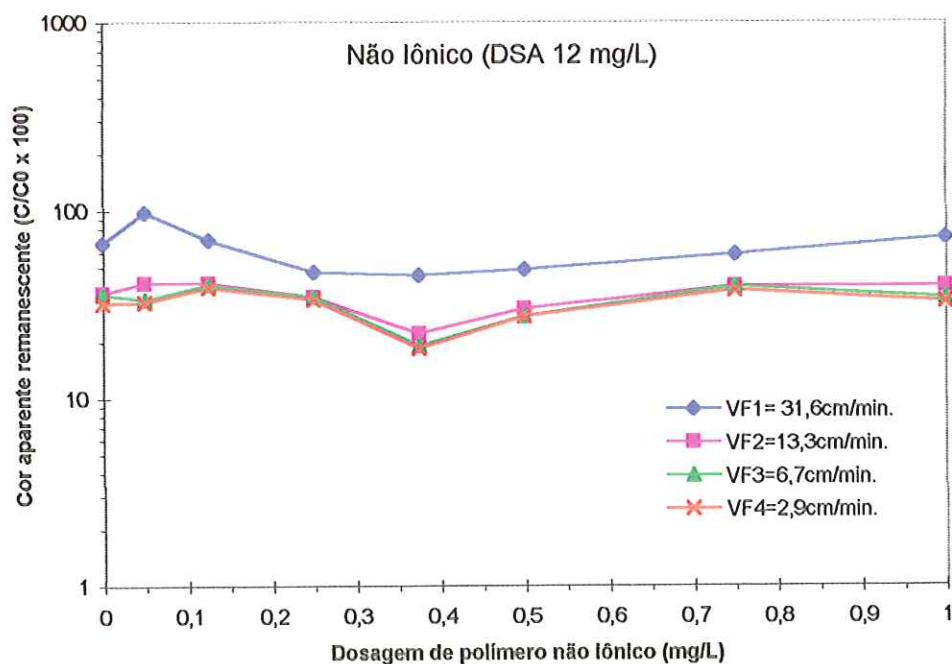


FIGURA 46 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero não iônico Adesol ($PM\ 15\ -20 \times 10^6 g$) para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente $102 \pm 2\ uC$; turbidez: $7,0 \pm 1,0\ uT$; temperatura: $23,5 \pm 0,8\ ^\circ C$. Velocidade de flotação: VF1, VF2, VF3 e VF4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 02 Apêndice 1).

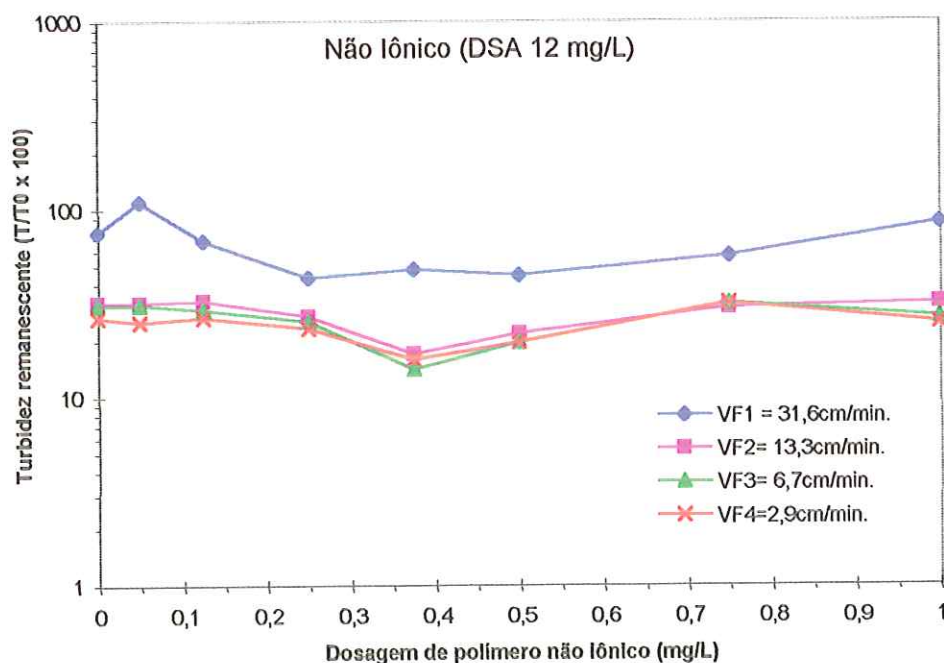


FIGURA 47 Fração remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero não iônico Adesol ($PM\ 15\ -20 \times 10^6 g$) para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente $102 \pm 2\ uC$; turbidez: $7,0 \pm 1,0\ uT$; temperatura: $23,5 \pm 0,8\ ^\circ C$. Velocidade de flotação: VF1, VF2, VF3 e VF4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 02 Apêndice 1).

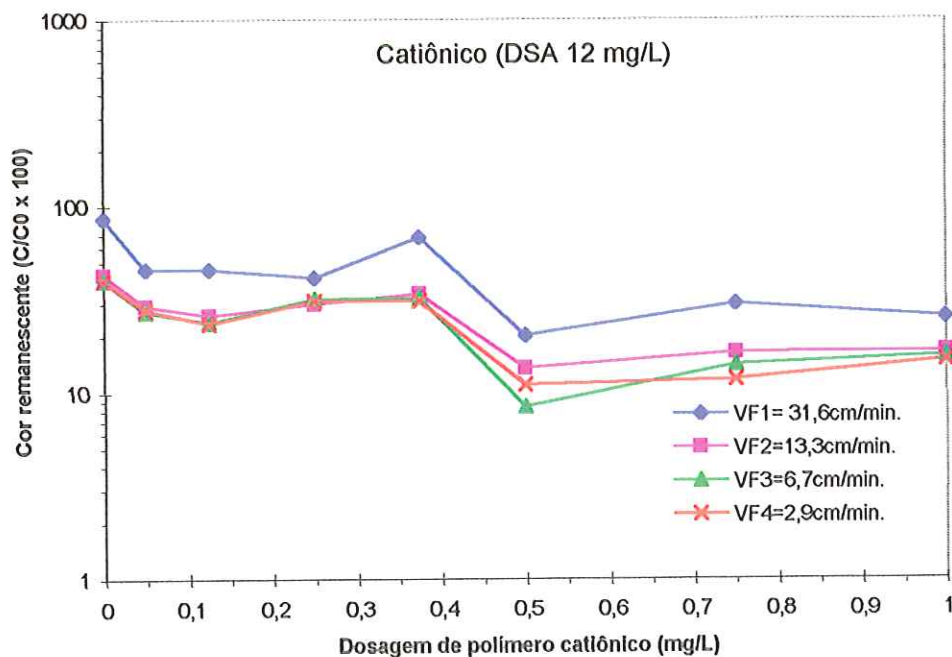


FIGURA 48 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero catiônico Adesol ($PM\ 15\ -20 \times 10^6 g$) para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente $102 \pm 2\ uC$; turbidez: $7,0 \pm 1,0\ uT$; temperatura: $23,5 \pm 0,8\ ^\circ C$. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 02 Apêndice 1).

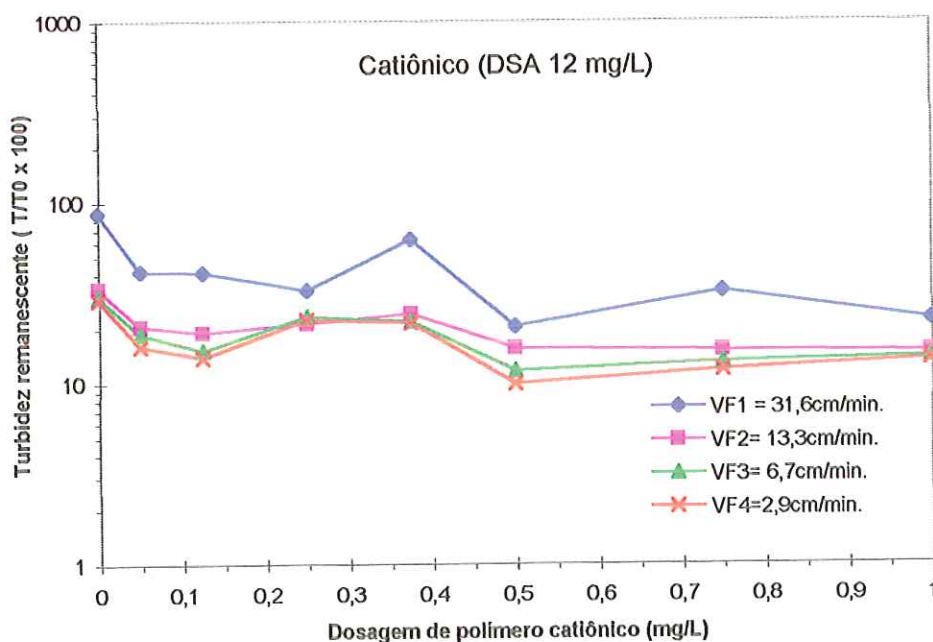


FIGURA 49 Fração remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero catiônico Adesol ($PM\ 15\ -20 \times 10^6 g$) para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente $102 \pm 2\ uC$; turbidez: $7,0 \pm 1,0\ uT$; temperatura: $23,5 \pm 0,8\ ^\circ C$. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 02 Apêndice 1).

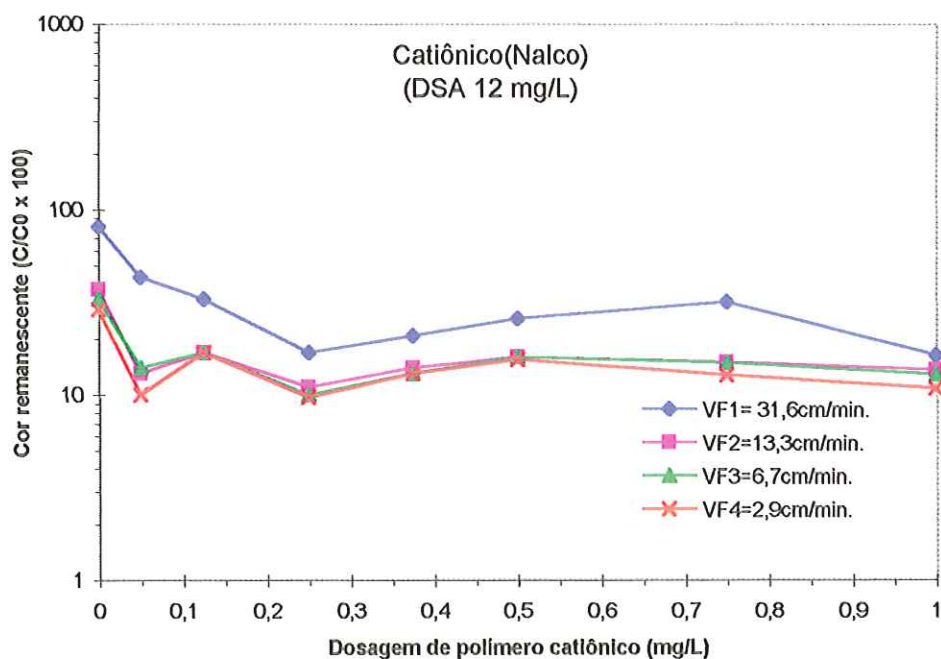


FIGURA 50 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero catiônico Nalco para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para águas de estudo com característica: cor aparente 102 ± 2 uC; turbidez: $7,0 \pm 1,0$ uT; temperatura: $23,5 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1, VF2, VF3 e VF4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 02 Apêndice 1).

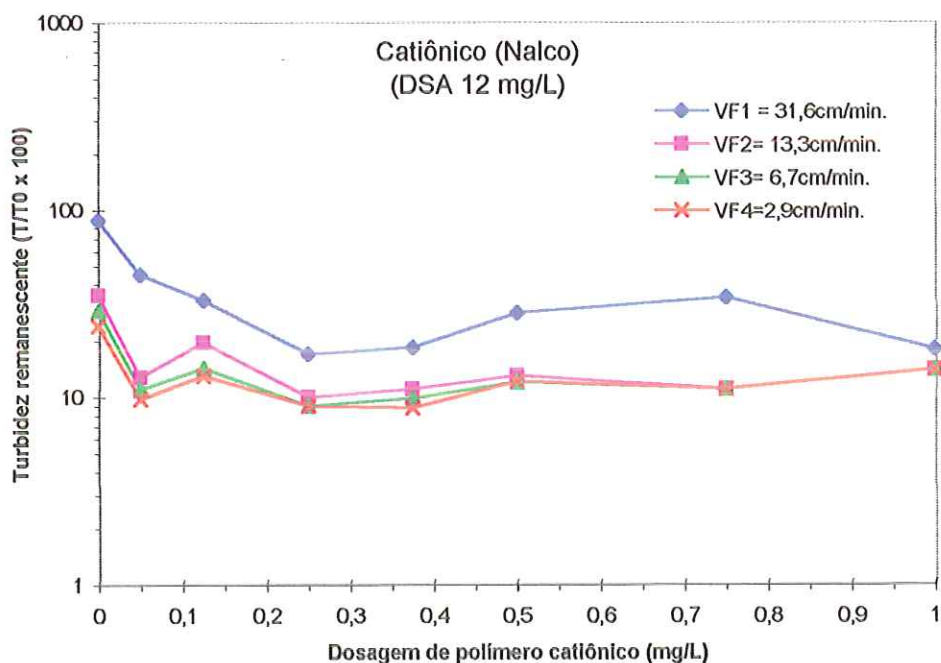


FIGURA 51- Fração remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero catiônico Nalco para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para águas de estudo com característica: cor aparente 102 ± 2 uC; turbidez: $7,0 \pm 1,0$ uT; temperatura: $23,5 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1, VF2, VF3 e VF4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 02 Apêndice 1).

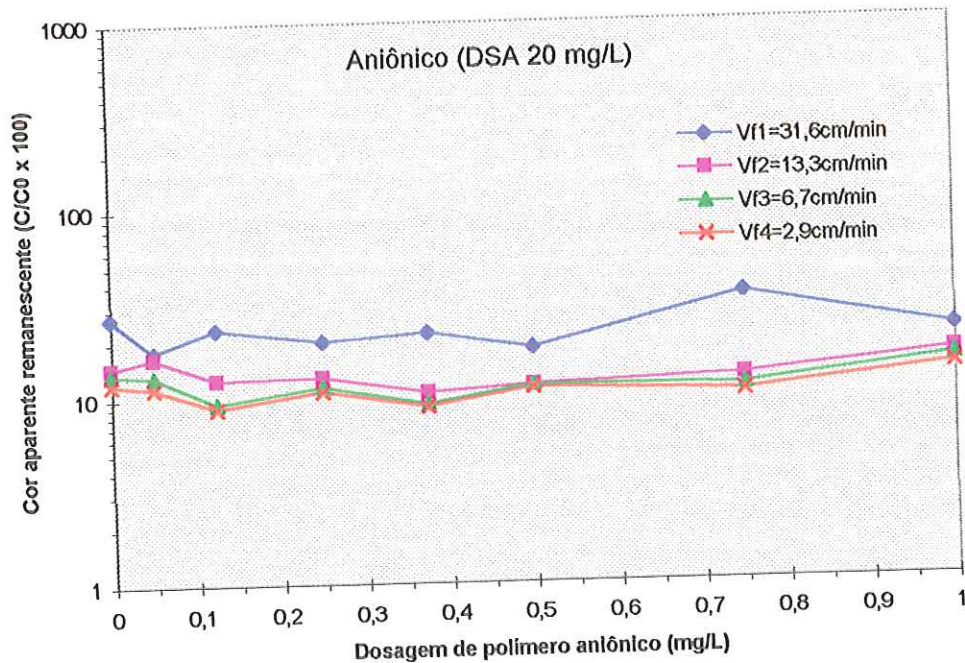


Figura 52- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero aniônico Adesol (PM 18- 25×10^6 g) para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 04. Apêndice 1).

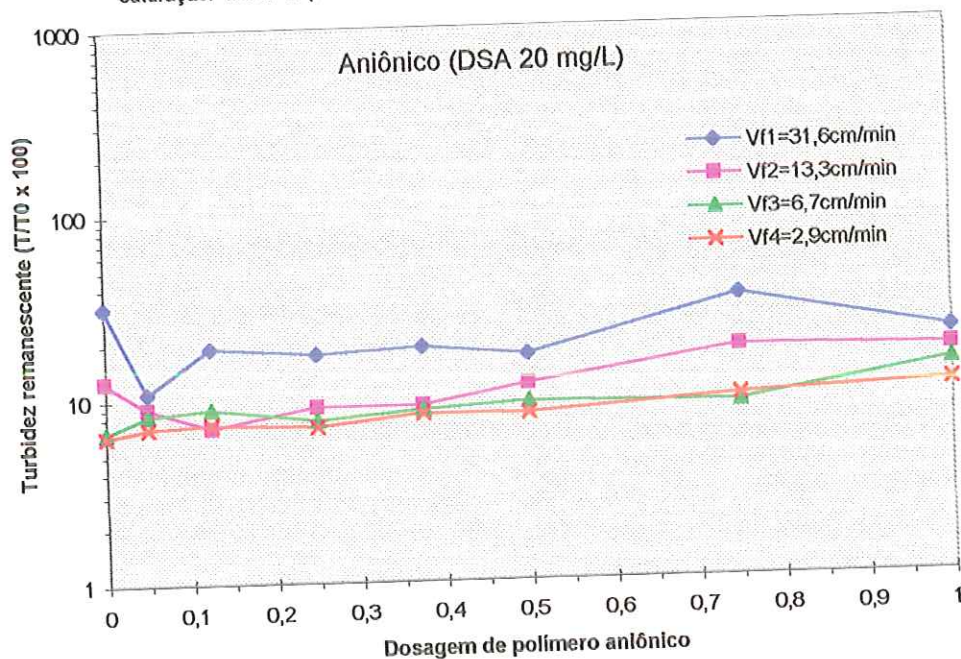


Figura 53- Fração remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero aniônico Adesol (PM 18- 25×10^6 g) para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 04. Apêndice 1).

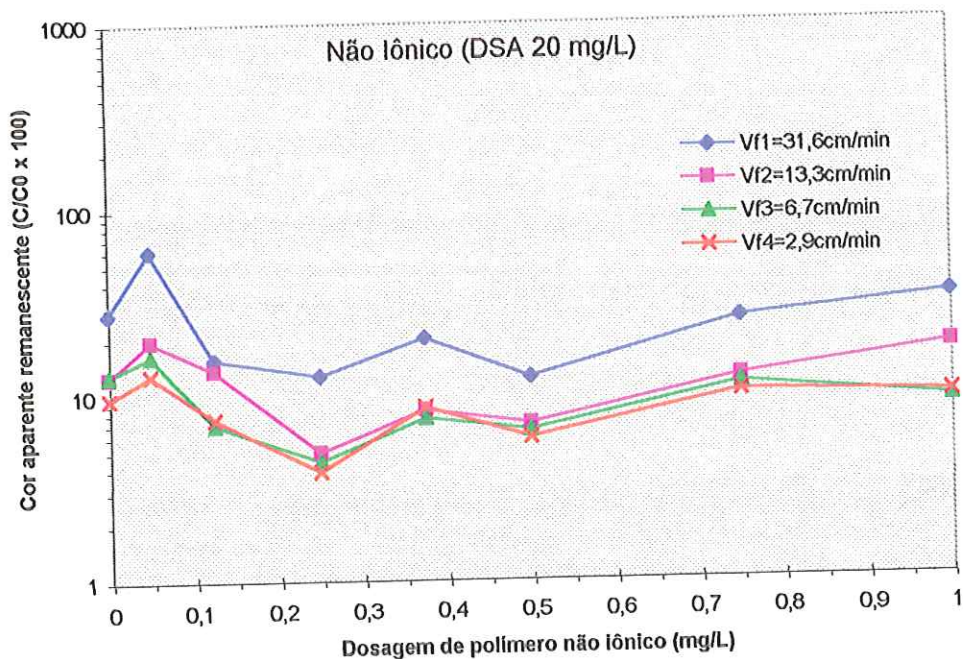


Figura 54-Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero não iônico Adesol (PM 15- 20×10^6 g) para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O4. Apêndice 1).

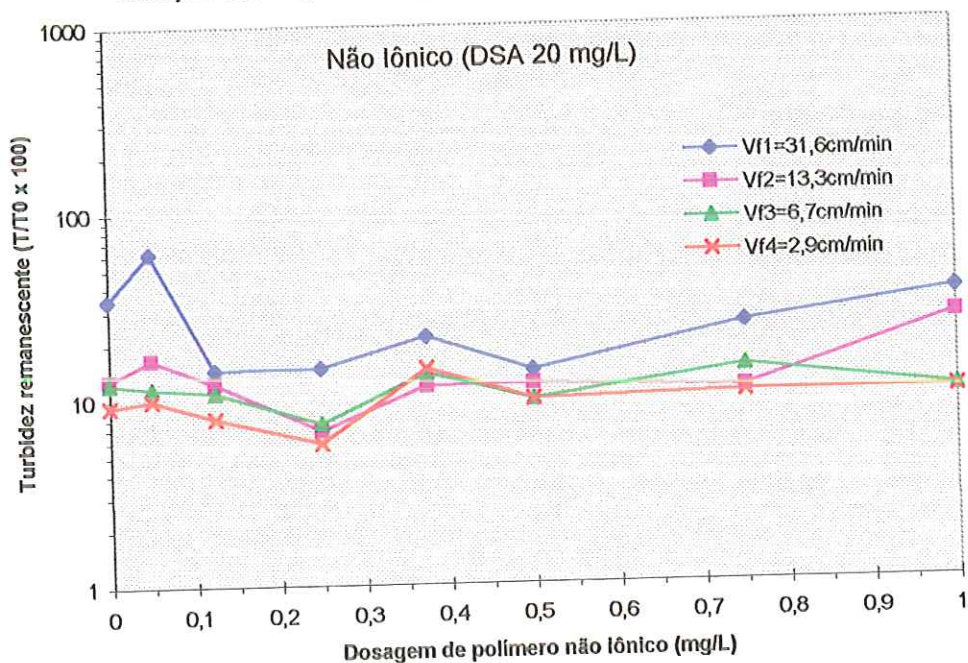


Figura 55-Fração remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero não iônico Adesol (PM 15- 20×10^6 g) para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela O4. Apêndice 1).

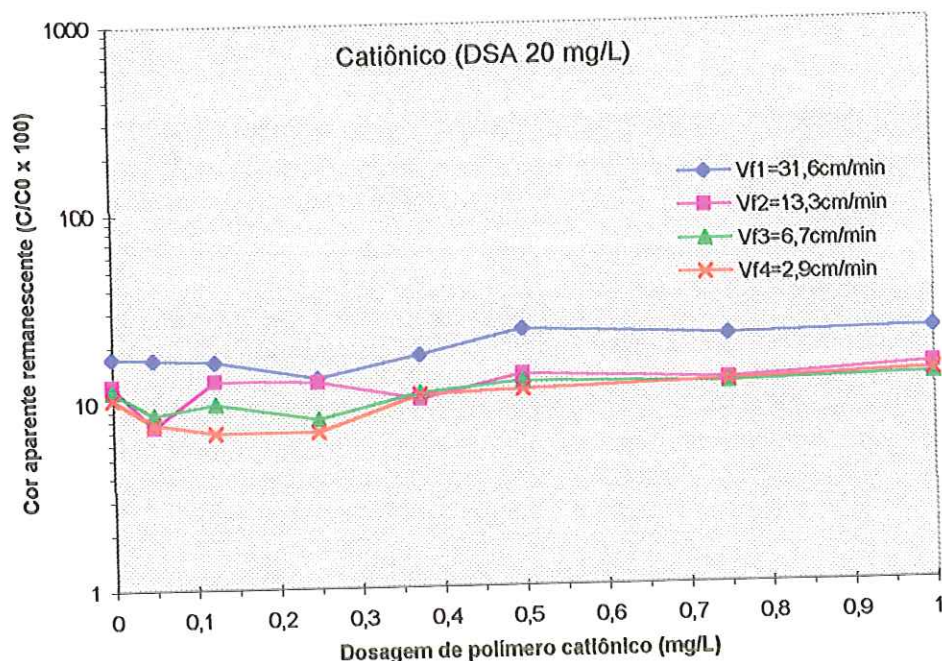


Figura 56-Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero catiônico Adesol (PM 15- 20×10^6 g) para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8^\circ\text{C}$. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 04. Apêndice 1).

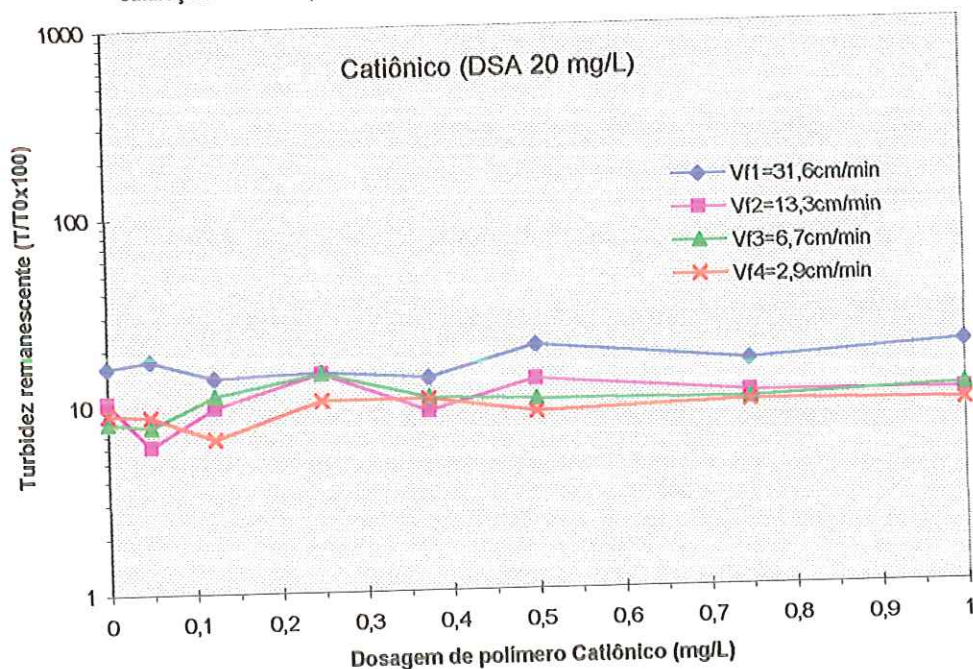


Figura 57-Fração remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero catiônico Adesol (PM 15- 20×10^6 g) para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para águas de estudo com característica: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8^\circ\text{C}$. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 04. Apêndice 1).

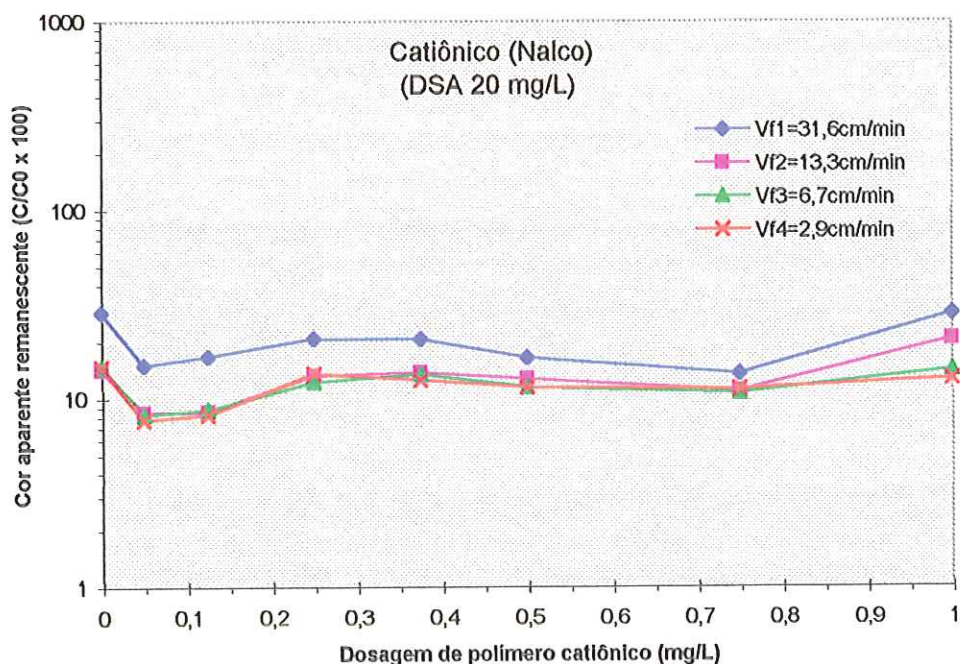


Figura 58-Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero catiônico Nalco para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para águas de estudo com característica: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 04. Apêndice 1).

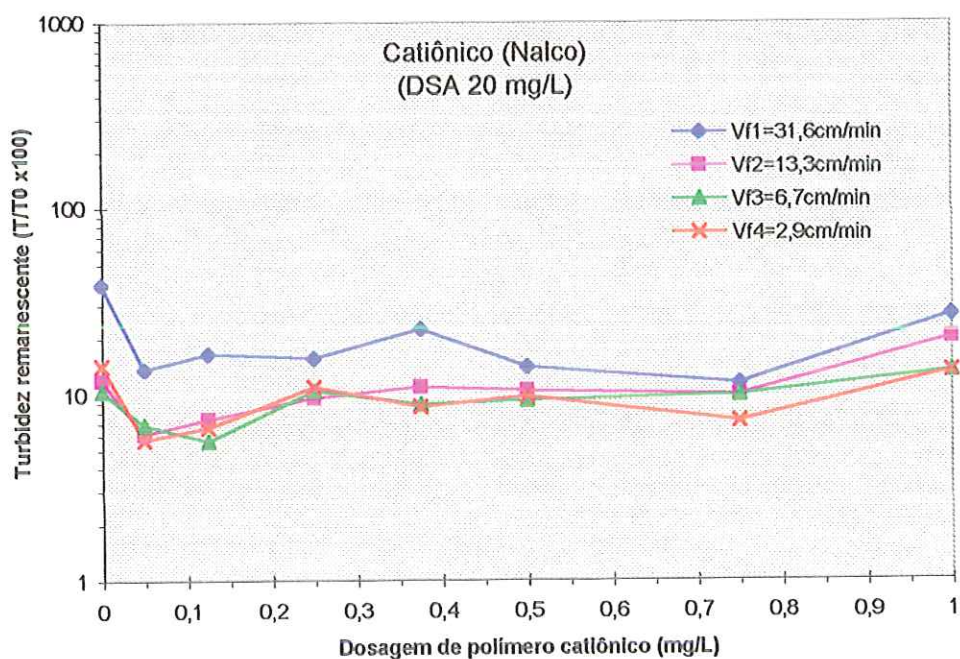


Figura 59- Fração remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da dosagem de polímero catiônico Nalco para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para águas de estudo com característica: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: Vf1, Vf2, Vf3 e Vf4; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 04. Apêndice 1).

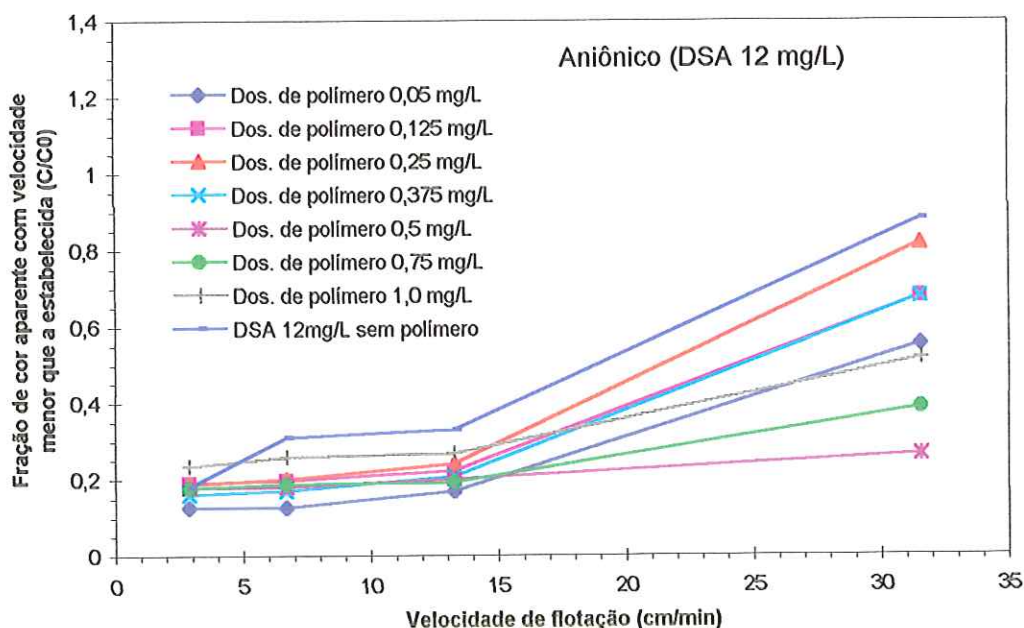


FIGURA 60- Fração remanescente de cor aparente (C/C_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero aniônico Adesol, para água coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para águas de estudo com características: cor aparente: 102 ± 2 uC; turbidez: $7,0 \pm 1,0$ uT; temperatura: $23,5 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6 cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min. e VF4=2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 03 Apêndice 1).

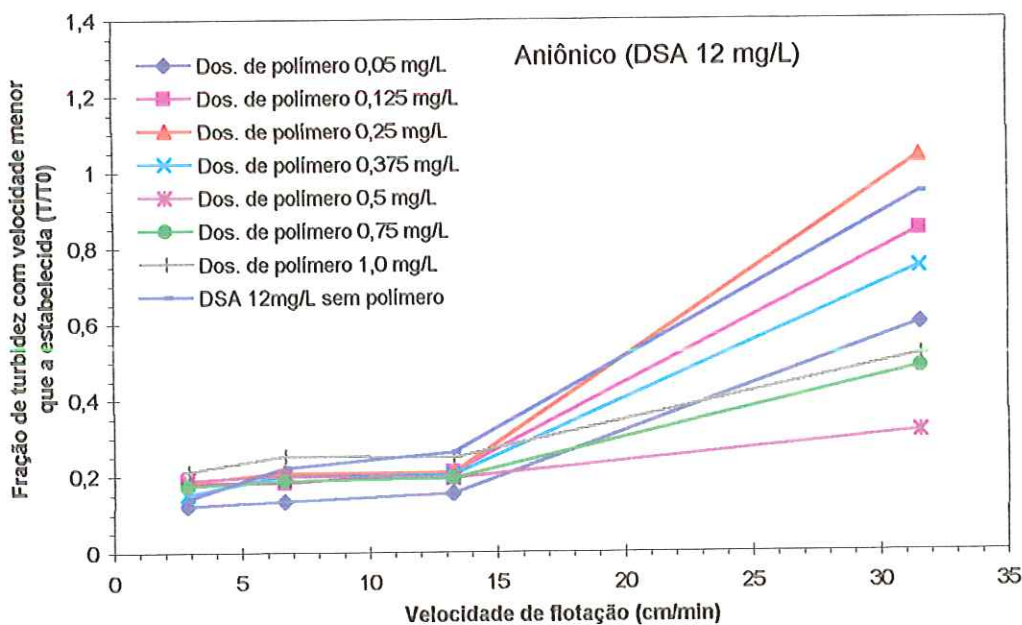


FIGURA 61- Fração remanescente de turbidez (T/T_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero aniônico Adesol, para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para águas de estudo com características: cor aparente: 102 ± 2 uC; turbidez: $7,0 \pm 1,0$ uT; temperatura: $23,5 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6 cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min. e VF4=2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 03 Apêndice 1).



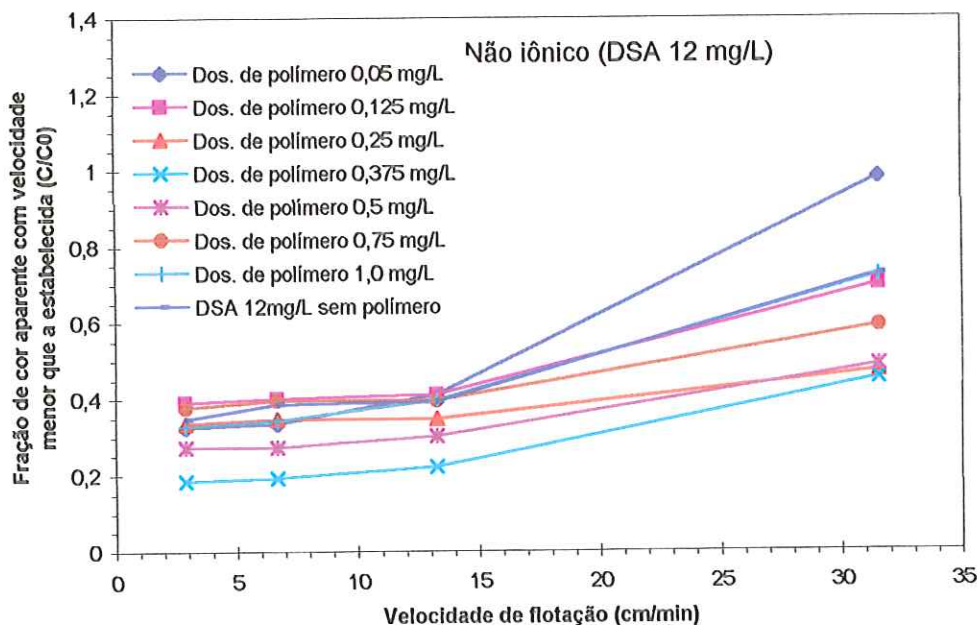


FIGURA 62- Fração remanescente de cor aparente (C/C_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero não iônico Adesol, para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com equipamento de flotateste para águas de estudo com características: cor aparente: 102 ± 2 uC; turbidez: $7,0 \pm 1,0$ uT; temperatura: $23,5 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6 cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min. e VF4=2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 03 Apêndice 1).

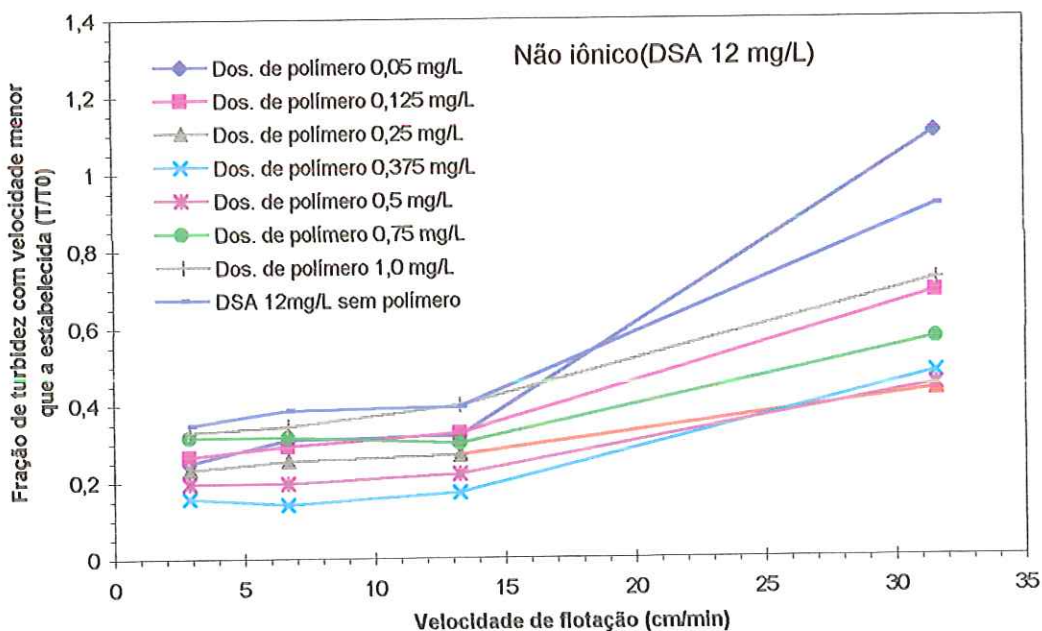


FIGURA 63- Fração remanescente de turbidez (T/T_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero não iônico Adesol, para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com equipamento de flotateste para águas de estudo com características: cor aparente: 102 ± 2 uC; turbidez: $7,0 \pm 1,0$ uT; temperatura: $23,5 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6 cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min. e VF4=2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 03 Apêndice 1).

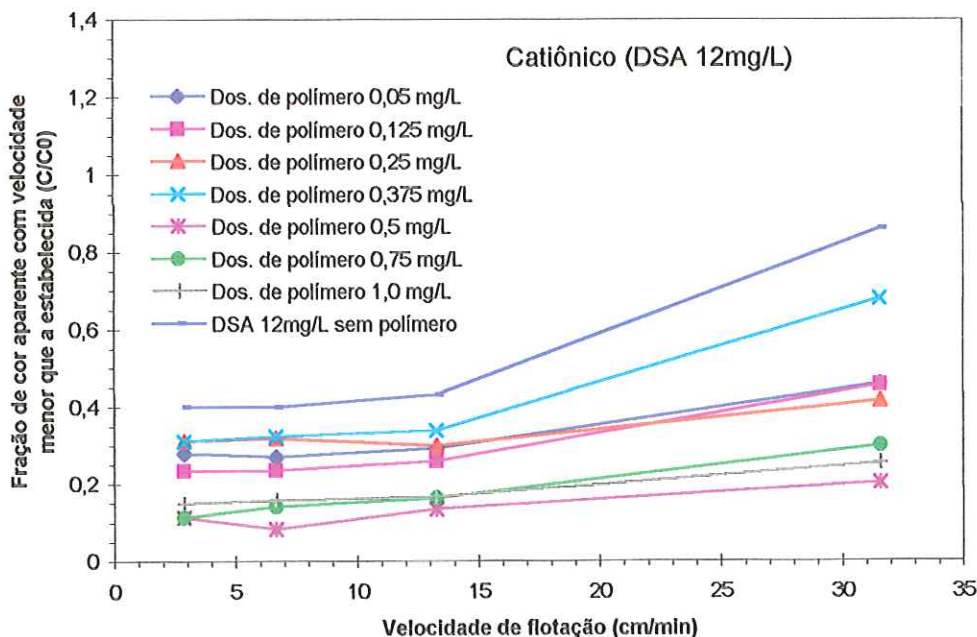


FIGURA 64- Fração remanescente de cor aparente (C/C_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero catiônico Adesol, para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com equipamento de flotatestes para águas de estudo com características: cor aparente: 102 ± 2 uC; turbidez: $7,0 \pm 1,0$ uT; temperatura: $23,5 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6 cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min. e VF4=2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 03 Apêndice 1).

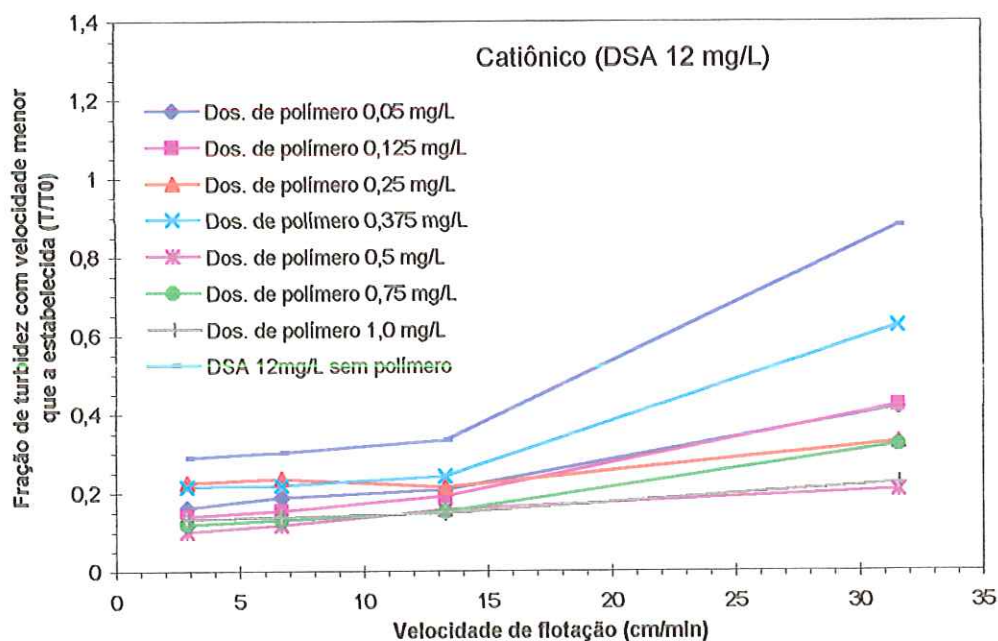


FIGURA 65- Fração remanescente de turbidez (T/T_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero catiônico Adesol, para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com equipamento de flotatestes para águas de estudo com características: cor aparente: 102 ± 2 uC; turbidez: $7,0 \pm 1,0$ uT; temperatura: $23,5 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6 cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min. e VF4=2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 03 Apêndice 1).

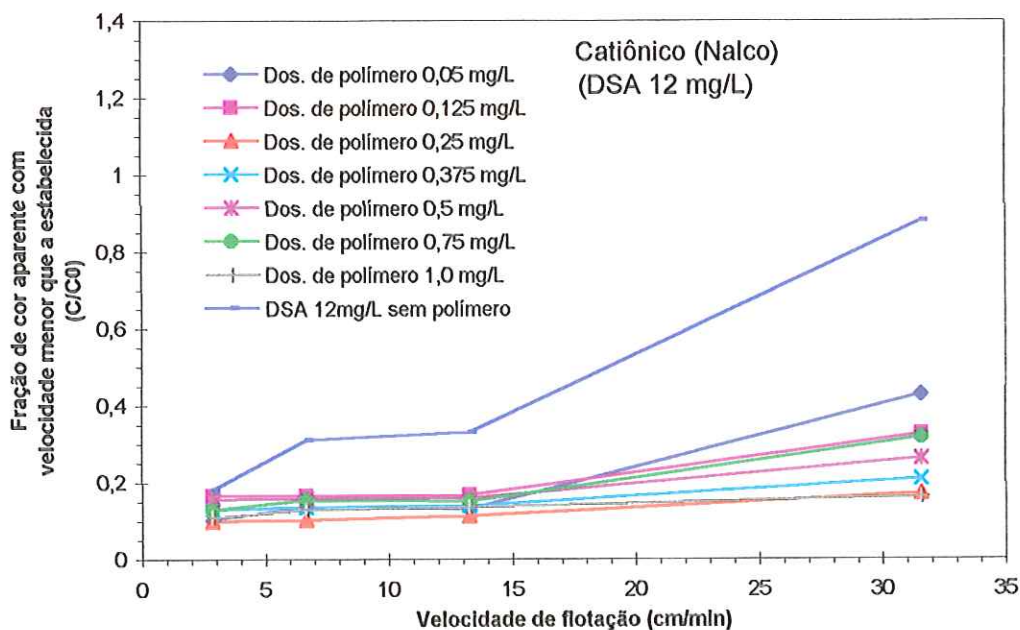


FIGURA 66- Fração remanescente de cor aparente (C/C_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero catiônico Nalco, para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para águas de estudo com características: cor aparente: 102 ± 2 uC; turbidez: $7,0 \pm 1,0$ uT; temperatura: $23,5 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6 cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min. e VF4=2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 03 Apêndice 1).

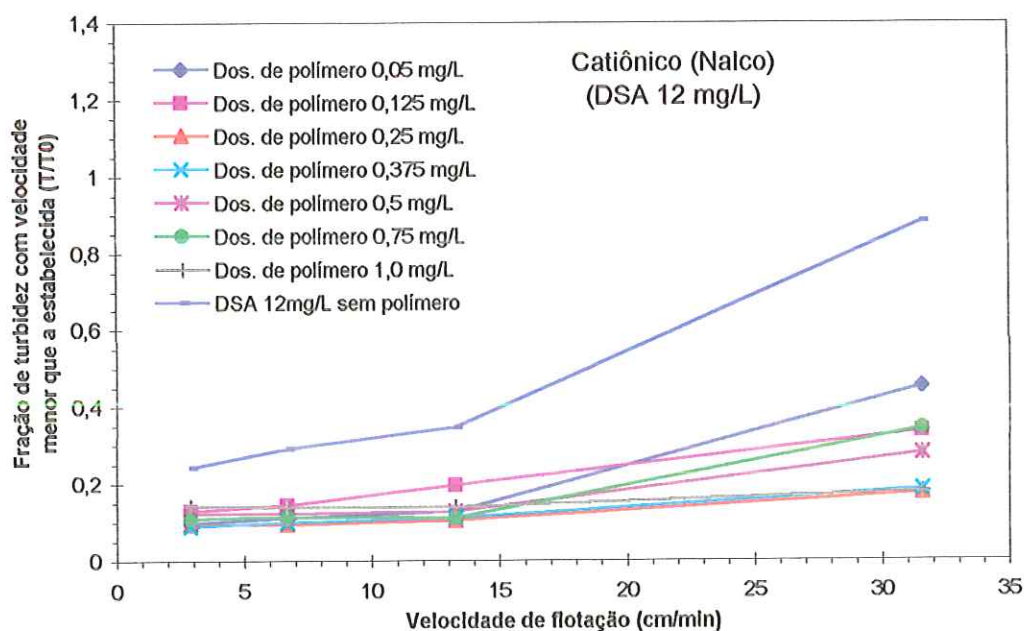


FIGURA 67- Fração remanescente de turbidez (T/T_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero catiônico Nalco, para água bruta coagulada com 12 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para águas de estudo com características: cor aparente: 102 ± 2 uC; turbidez: $7,0 \pm 1,0$ uT; temperatura: $23,5 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6 cm/min., VF2=13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min. e VF4=2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 03 Apêndice 1).

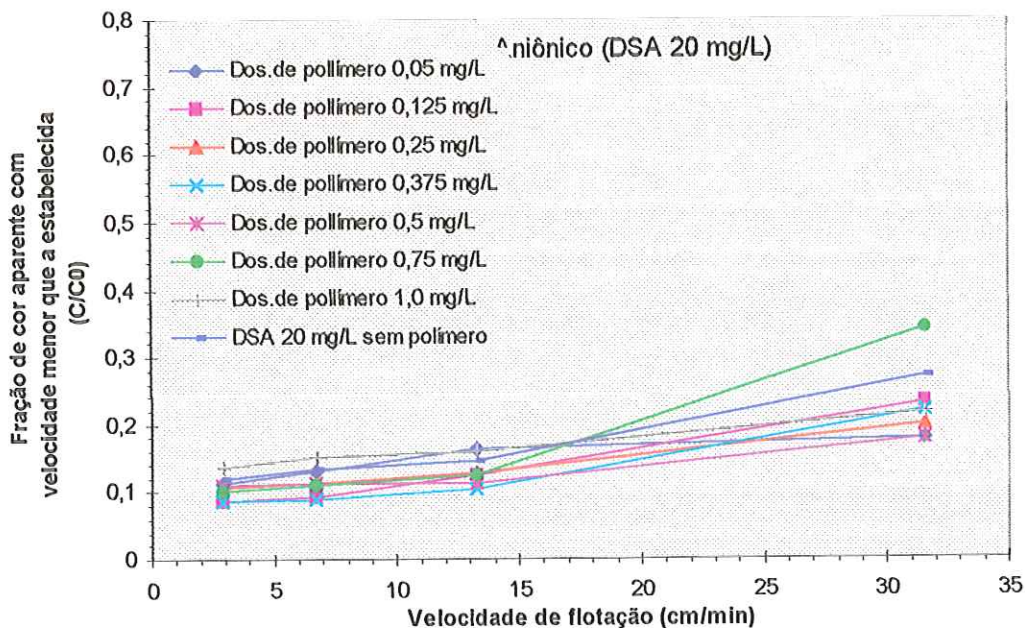


FIGURA 68-Fração remanescente de cor aparente (C/C_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero aniônico Adesol, para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para águas de estudo com características: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8^\circ\text{C}$. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 05 Apêndice 1)

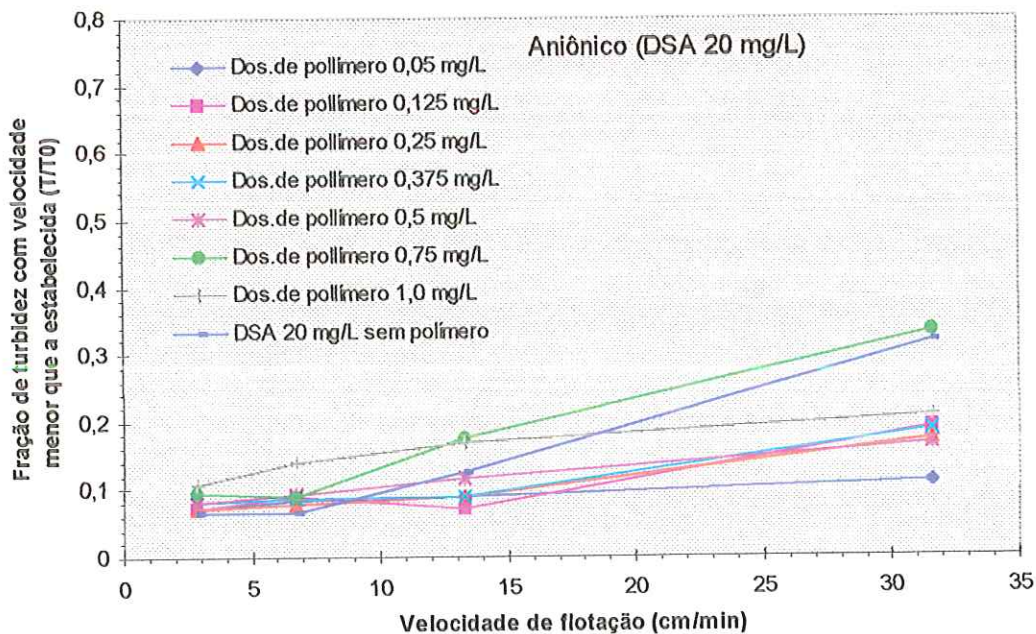


FIGURA 69-Fração remanescente de turbidez (T/T_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero aniônico Adesol, para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para águas de estudo com características: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8^\circ\text{C}$. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 05 Apêndice 1)

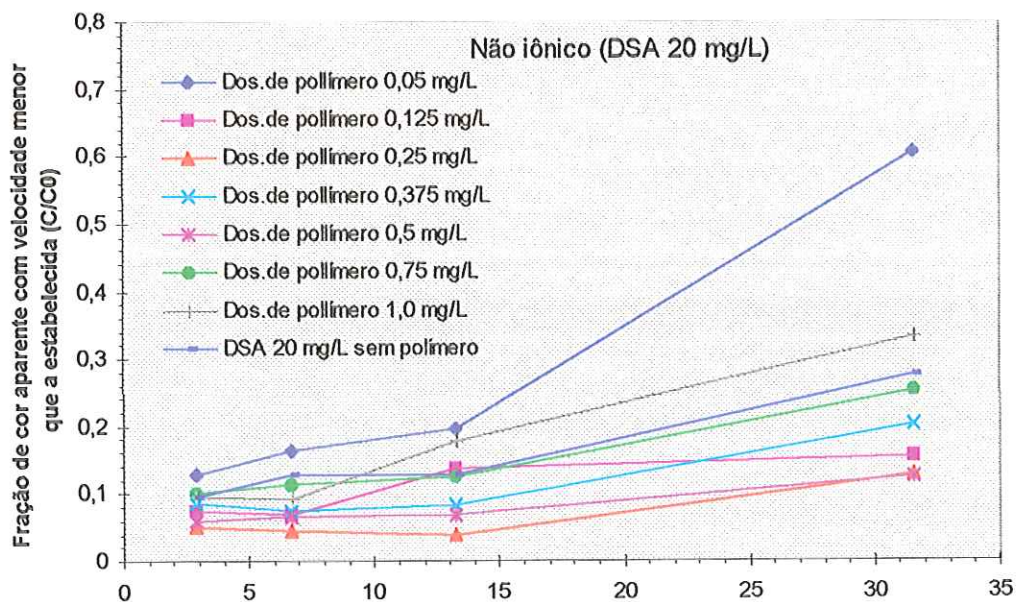


FIGURA 70-Fração remanescente de cor aparente (C/C_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero não iônico Adesol, para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para águas de estudo com características: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 05 Apêndice 1)

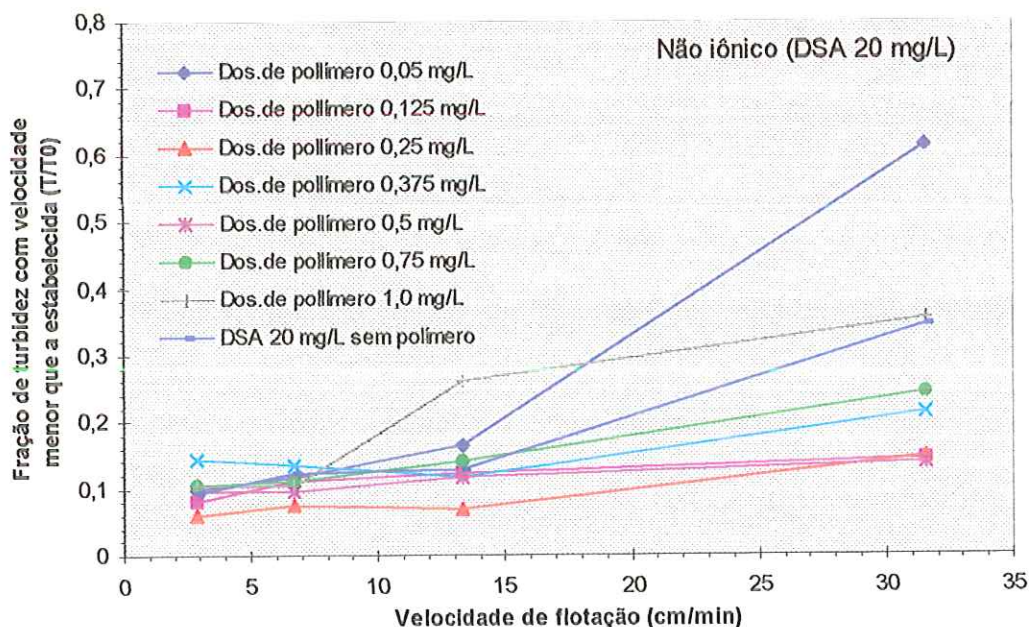


FIGURA 71-Fração remanescente de turbidez (T/T_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero aniônico Adesol, para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para águas de estudo com características: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 05 Apêndice 1)

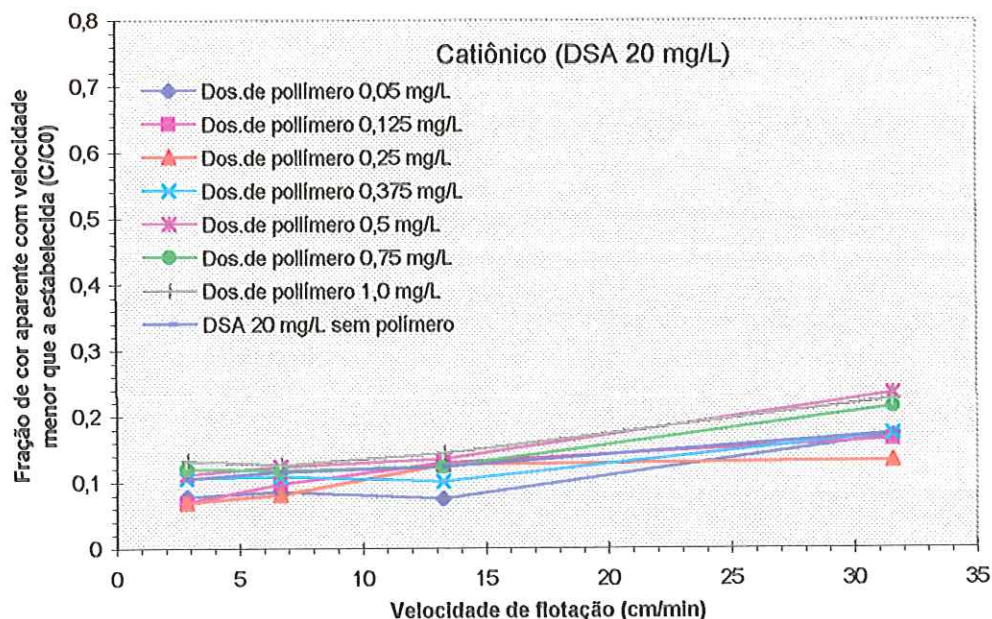


FIGURA 72-Fração remanescente de cor aparente (C/C_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero catiônico Adesol, para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para águas de estudo com características: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 05 Apêndice 1)

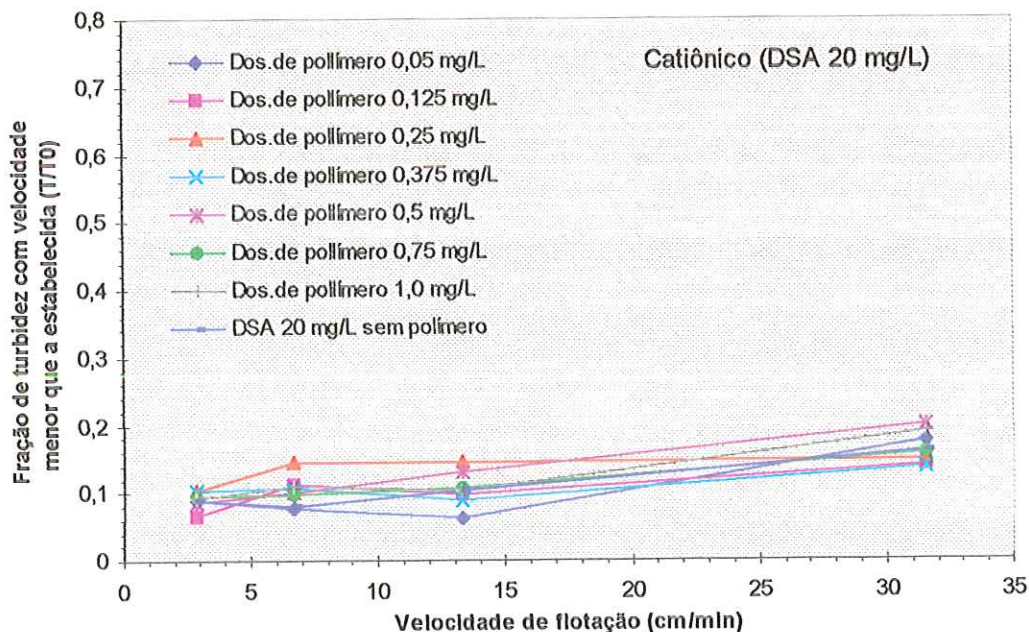


FIGURA 73-Fração remanescente de turbidez (T/T_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero aniónico Adesol, para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para águas de estudo com características: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8$ °C. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 05 Apêndice 1)

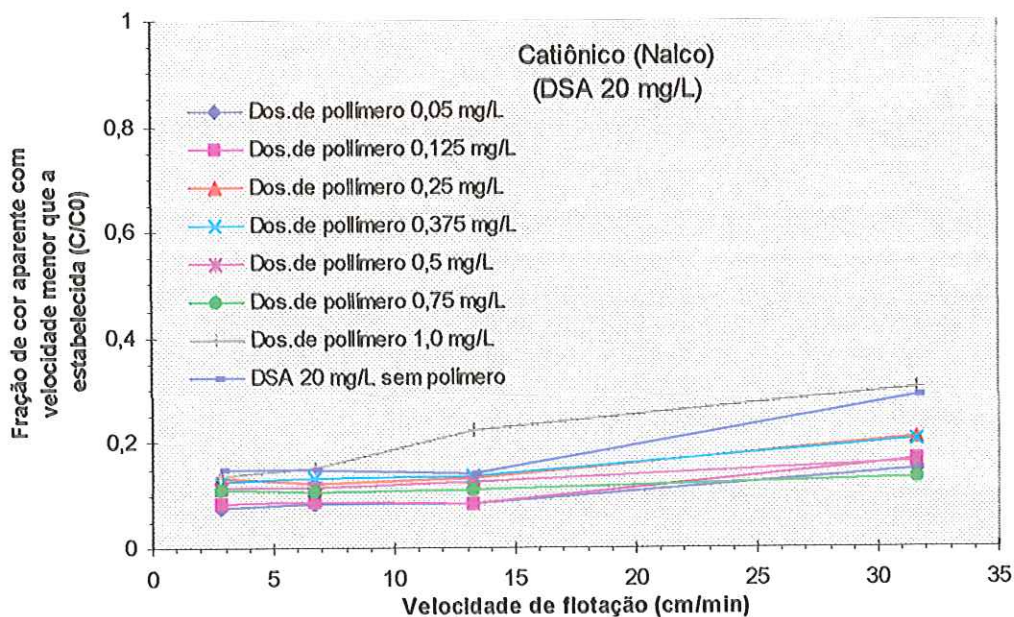


FIGURA 74- Fração remanescente de cor aparente (C/C_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero catiônico Nalco, para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para águas de estudo com características: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8^\circ\text{C}$. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 05 Apêndice 1)

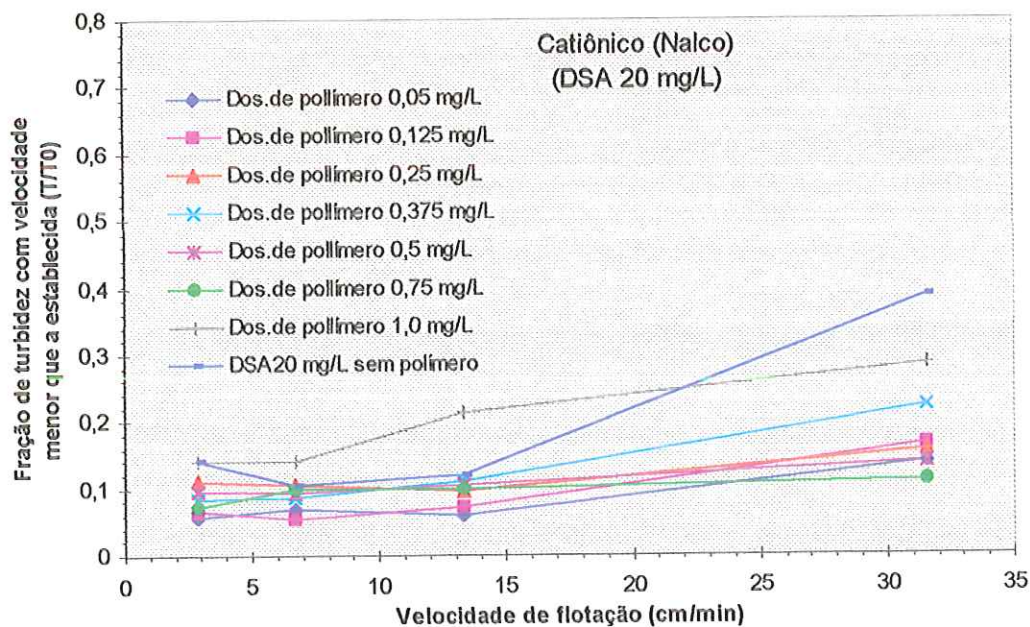


FIGURA 75- Fração remanescente de turbidez (T/T_0) em função da velocidade de flotação para diferentes dosagens de polímero catiônico Nalco, para água bruta coagulada com 20 mg/L de sulfato de alumínio. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para águas de estudo com características: cor aparente: $99,3 \pm 7,5$ uC; turbidez: $7,8 \pm 0,6$ uT; temperatura: $23,4 \pm 0,8^\circ\text{C}$. Velocidade de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; fração de recirculação: 8% (em volume); pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 05 Apêndice 1)

5.1.3- Investigação acerca da influência na flotação do modo de aplicação do polímero (tempo decorrido após mistura rápida do coagulante primário)

Os resultados obtidos nesta etapa da pesquisa são apresentados nas Figuras 76 a 99, as quais mostram a fração remanescente de cor aparente e turbidez em função da velocidade de flotação, para diversos modos de aplicação dos polímeros escolhidos, referentes a tempos decorridos após a mistura rápida do coagulante primário. Os tempos em que os polímeros foram adicionados são mencionados no item 4.5.6.

Nos ensaios foram adotados os polímeros (não iônico para DSA 20 mg/L e catiônico para DSA de 12 mg/L) e suas respectivas dosagens (0,25 mg/L) encontrados na etapa anterior. Os outros parâmetros operacionais, tais como, $T_{mr} = 20$ seg, $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$, $R = 8\%$, $G_f = 60 \text{ s}^{-1}$, $VF1 = 31,6$ cm/min, $VF2 = 13,3$ cm/min, $VF3 = 6,7$ cm/min e $VF4 = 2,9$ cm/min foram mantidos constantes.

Com a finalidade de facilitar a análise das curvas de flotação apresentadas nas Figuras 76 a 99, construiu-se o Quadro 07, em que são mostrados os melhores resultados referentes a cada tempo de aplicação dos polímeros não iônico e catiônico, seguidos do tempo mais adequado de floculação após a adição do polímero. Para cada uma das curvas obtidas (Figuras 76 a 99), foram calculados os valores teóricos de cor aparente e turbidez para cada velocidades de flotação estudadas, sendo que no Apêndice 01 Tabelas 06 e 07 encontram-se todos os resultados obtidos.

QUADRO 07-Resumo dos melhores resultados obtidos durante os ensaios realizados com o equipamento de flotateste para otimização do tempo de adição dos polímeros não iônico e catiônico (a partir dos Quadros 06 e 07 do apêndice 1) .

Tempo de adição do polímero não iônico e catiônico (min.)	Melhor tempo de floculação após adição do polímero	DSA (mg/L)	Tipo de polímero utilizado (0,25 mg/L)	Eficiência teórica de remoção de cor aparente (%)				Eficiência teórica de remoção de turbidez (%)				Refêrente às figuras números
				Velocidade de flotação(cm/min.)				Velocidade de flotação(cm/min.)				
				31,6	13,3	6,7	2,9	31,6	13,3	6,7	2,9	
após 10 seg. de mistura rápida	24	12	Catiônico	86	89	90	90	78	85	87	87	76
		20	Não iônico	87	95	95	95	80	90	91	91	88
após 1 min. de floculação	23	12	Catiônico	81	89	90	90	72	84	86	87	77
		20	Não iônico	90	95	96	96	85	92	92	92	89
após 5 min. de floculação	19	12	Catiônico	87	90	90	91	83	87	88	89	80
		20	Não iônico	89	93	93	93	86	91	92	92	92
após 10 min. de floculação	10 e 14	12	Catiônico	83-88	89-90	90	91	80-84	87-88	87-89	87-90	83 e 84
	10 e 14	20	Não iônico	81-83	89-91	89-92	81-82	88-89	89	89	89-90	95 e 96
após 15 min. de floculação	5	12	Catiônico	86	90	91	91	83	89	91	91	86
	1	20	Não iônico	83	88	89	89	82	88	90	92	97

A partir do Quadro 07 verifica-se que:

- a) Para adição dos polímeros após 10 seg de mistura rápida seguidos de mais 24 min de floculação : o polímero não iônico com DSA 20 mg/L, apresentou remoção de cor aparente de 95% para VF até 13,3 cm/min e 87% para VF de 31,6 cm/min. A remoção máxima de turbidez foi de 91% para VF até 6,7 cm/min. Com a utilização do polímero catiônico e DSA de 12 mg/L os valores de eficiência de remoção foram menores que para DSA de 20 mg/L, sendo que a maior remoção de cor aparente obtida para DSA de 12 mg/L foi de 90% para VF até 6,7 cm/min e 87% para turbidez também com VF até 6,7 cm/min.

b) Considerando-se adição dos polímeros após 1 min de floculação seguidos de mais 23 min. de floculação: neste caso como no mencionado acima, a DSA de 20 mg/L com polímero não iônico apresentou os melhores resultados. Os resultados obtidos para DSA de 20 mg/L, mostram remoção de cor aparente de 96% para VF até 6,7 cm/min e remoção de 95% para VF de 13,3 cm/min. A eficiência de remoção de turbidez apresentada foi de 92% para VF até 13,3 cm/min. Em relação a DSA de 12 mg/L com polímero catiônico, este apresentou resultados similares àqueles demonstrados para adição do polímero após 10 seg. de mistura rápida, ou seja, para VF até 6,7 cm/min ambos apresentaram remoção de cor aparente de 90% e para VF até 13,3 cm/min a eficiência de remoção foi de 89%.

c) Para adição dos polímeros após 5 min de floculação: nesta etapa o tempo de floculação que se seguiu após a adição do polímero que apresentou maior eficiência de remoção foi o de 19 min, tendo tempo de floculação total de 24 min. Para DSA de 20 mg/L obteve-se remoção de cor aparente de 93% para VF até 13,3 cm/min, sendo que para VF de 31,6 cm/min a remoção foi de 89%. Para DSA de 12 mg/L a maior eficiência de remoção de cor aparente observada foi de 91% para VF de 2,9 cm/min, e para VF até 13,3 cm/min a remoção foi de 90%. A remoção máxima de turbidez obtida nesta etapa foi de 92% para VF até 6,7 cm/min e DSA 20 mg/L.

d) Em relação a adição do polímero após 10 min de floculação: neste caso, tanto para DSA de 20 mg/L com adição de 0,25 mg/L de polímero não iônico quanto para DSA de 12 mg/L com aplicação de 0,25 mg/L de polímero catiônico, verifica-se que o tempo de floculação de 10 e 14 min após a adição do polímero, apresentaram resultados próximos, ligeiramente superiores para o tempo de floculação de 14 min, tanto para DSA de 12 mg/L quanto para DSA de 20 mg/L.

e) Considerando-se adição dos polímeros após 15 min de floculação: utilizando-se 12 mg/L de sulfato de alumínio e polímero catiônico, o tempo de floculação após a adição do polímero de 5 min, apresentou 91% de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez para VF até 6,7 cm/min e

90% de eficiência de remoção de cor aparente para VF de 13,3 cm/min. Em relação a DSA de 20 mg/L, polímero não iônico, e tempo de floculação após adição do polímero de 1 min, proporcionou remoção de cor aparente acima de 88% para VF de 13,3 cm/min, sendo que para VF até 6,7 cm/min a remoção foi de 89%. Para turbidez obteve-se remoção de 90% para VF até 6,7 cm/min.

Dessa forma, com base nos gráficos das Figura 88 a 99 e Quadro 07, constata-se que o tempo de adição do polímero não iônico após 1 min do início da floculação seguidos de mais 23 min de floculação, foi assumido como o mais adequado para DSA 20 mg/L, visto que este apresentou maior eficiência de remoção de cor aparente (96%) para VF até 6,7 cm/min e 92% de turbidez para VF até 13,3 cm/min, embora o tempo de adição do polímero após de 5 min do início da floculação seguidos de mais 19 min de floculação, tenha apresentado valores próximos a este.

Em relação a DSA de 12 mg/L com 0,25 mg/L de polímero catiônico e com base nas Figuras 76 a 87 e Quadro 07, observa-se que os tempos de adição do polímero após 10 min de floculação seguidos de mais 14 min (total 24 min de floculação) e após 15 min de floculação seguidos de mais 5 min (total 20 min de floculação), obtiveram a mesma eficiência de remoção de cor aparente para VF 13,3 cm/min (90%) e para VF de 2,9 cm/min (91%). Ao considerar a VF de 31,6 cm/min, a adição do polímero após 10 min de floculação obteve remoção de cor aparente de 88%, ligeiramente superior a adição do polímero após 15 min de floculação. Considerando-se então o menor tempo de floculação (20 min) e também remoção de turbidez de 91% para VF até 6,7 cm/min, adotou-se como o tempo mais adequado para adição do polímero catiônico com 12 mg/L de sulfato de alumínio, o de 15 min após o início da floculação, seguidos de mais de mais 5 min de floculação.

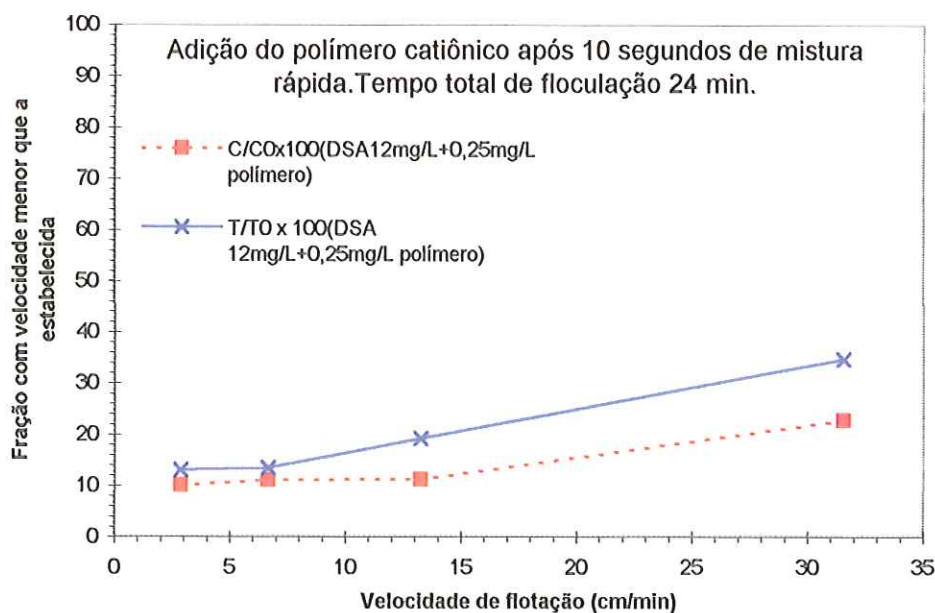


FIGURA 76- Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 20 seg. de mistura rápida, seguido de 24 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C; Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice 1).

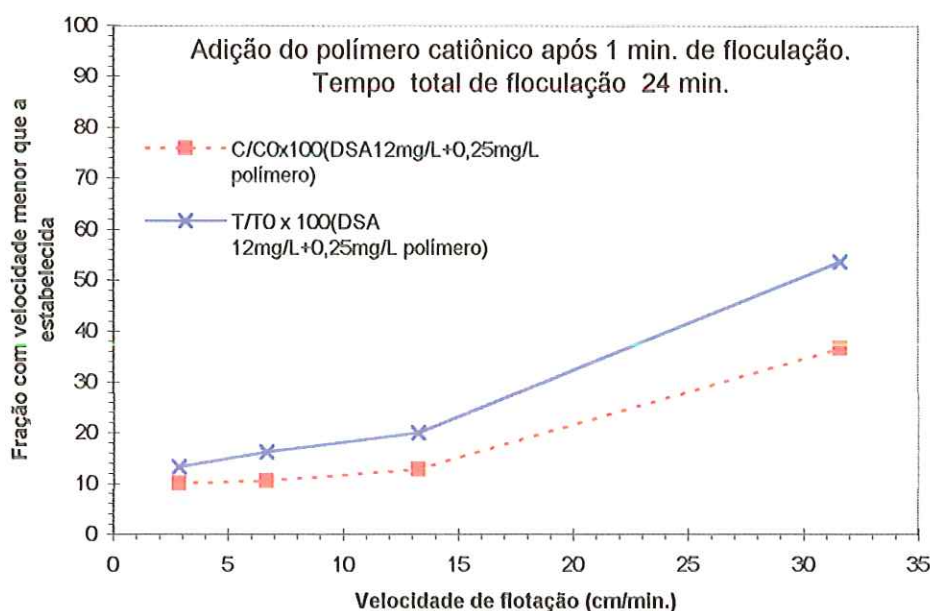


FIGURA 77- Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 1 min. de floculação, seguido de mais 23 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C; Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice 1).

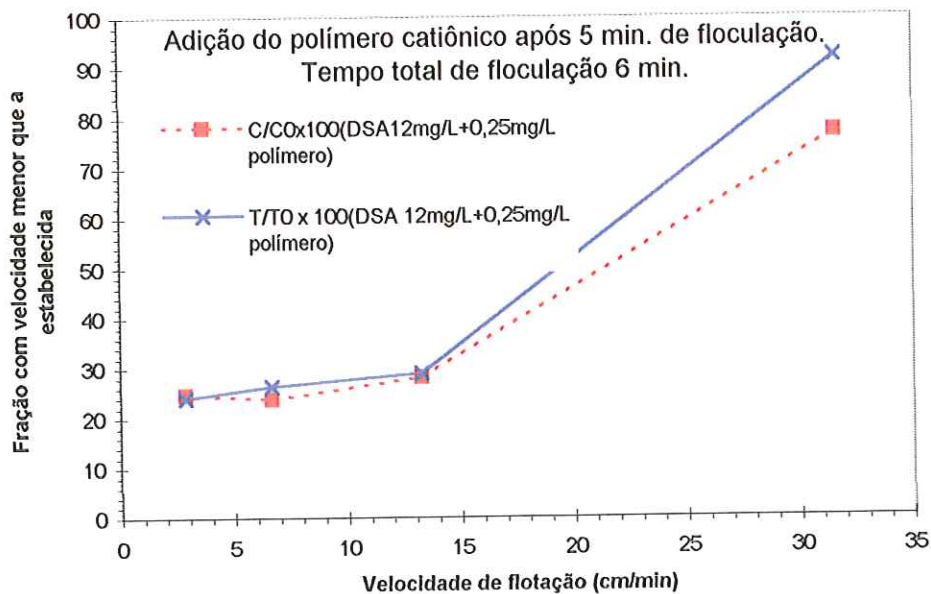


FIGURA 78-Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 5 min. de flocação, seguido de mais 1 min. de flocação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C; Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice 1).

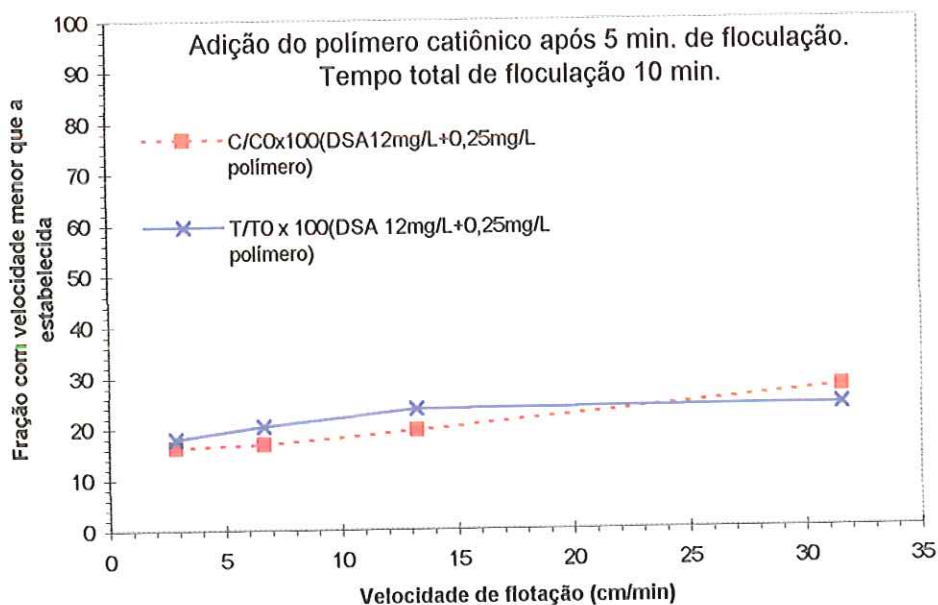


FIGURA 79-Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 5 min. de flocação, seguido de mais 5 min. de flocação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C; Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice 1).

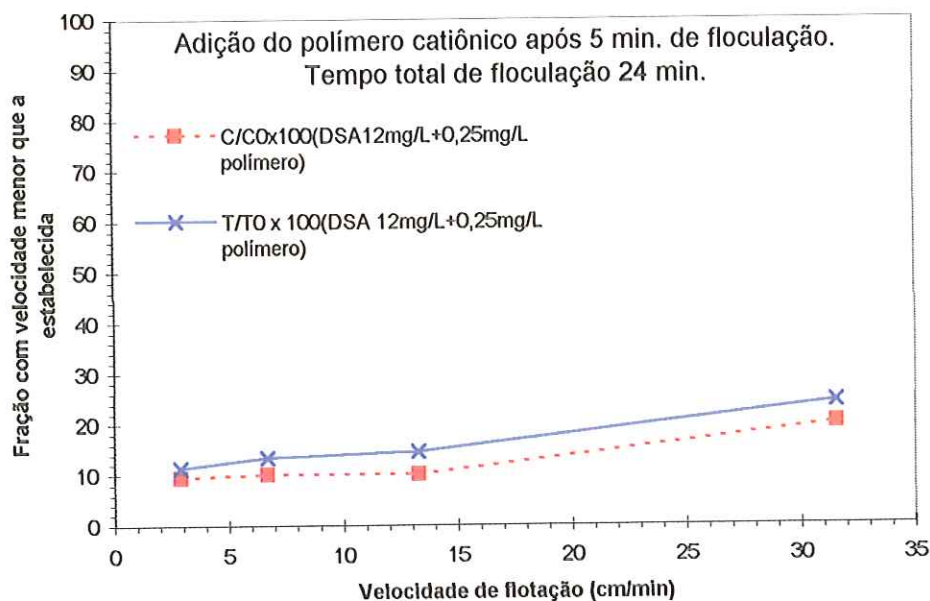


FIGURA 80 Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 5 min. de floculação, seguido de mais 19 min. de floculação. Ensaios realizados com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C;. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice 1).

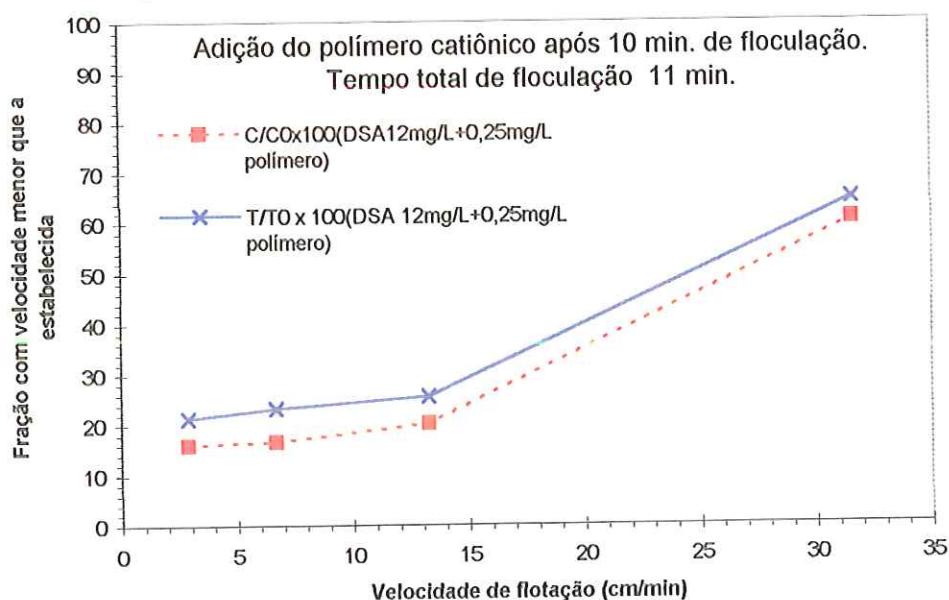


FIGURA 81-Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 10 min. de floculação, seguido de mais 1 min. de floculação. Ensaios realizados com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C;. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice 1).

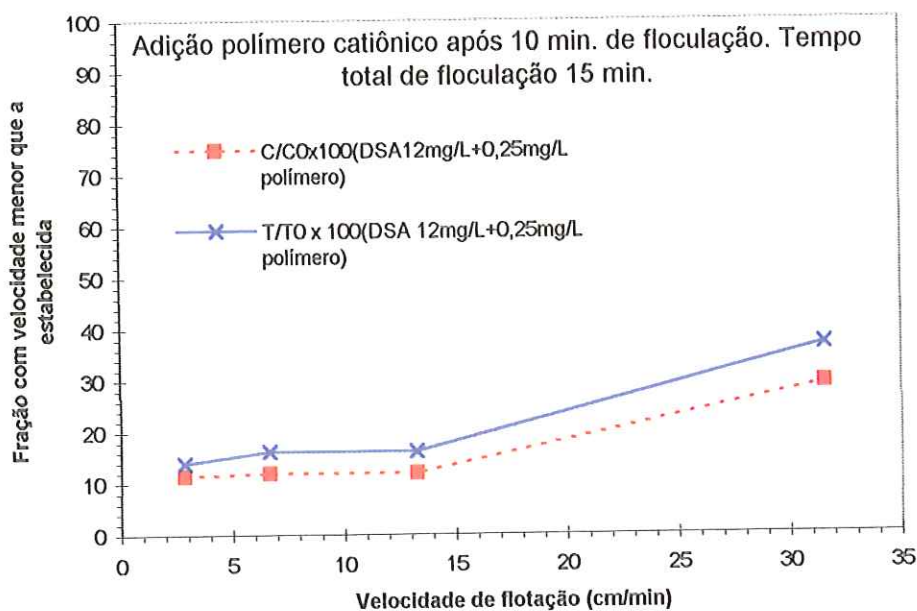


FIGURA 82-Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 10 min. de floculação, seguido de mais 5 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C;. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice 1).

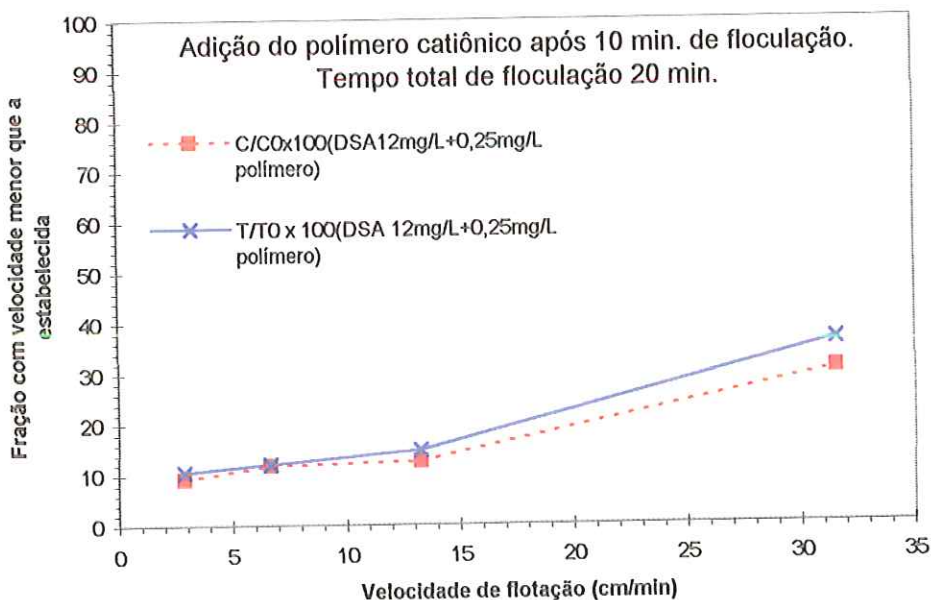


FIGURA 83-Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 10 min. de floculação, seguido de mais 10 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C;. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice 1).

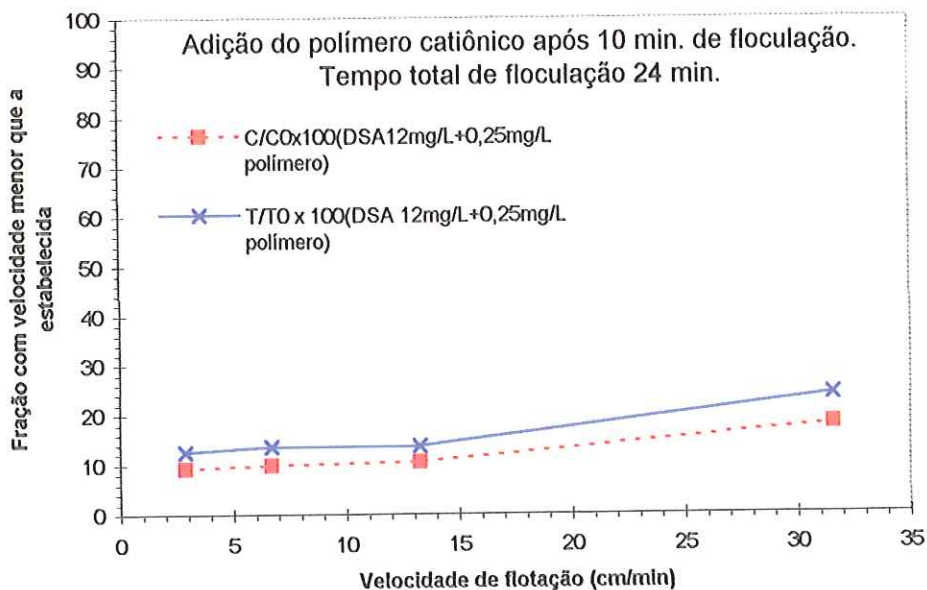


FIGURA 84- Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 10 min. de floculação, seguido de mais 14 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C; Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice 1).

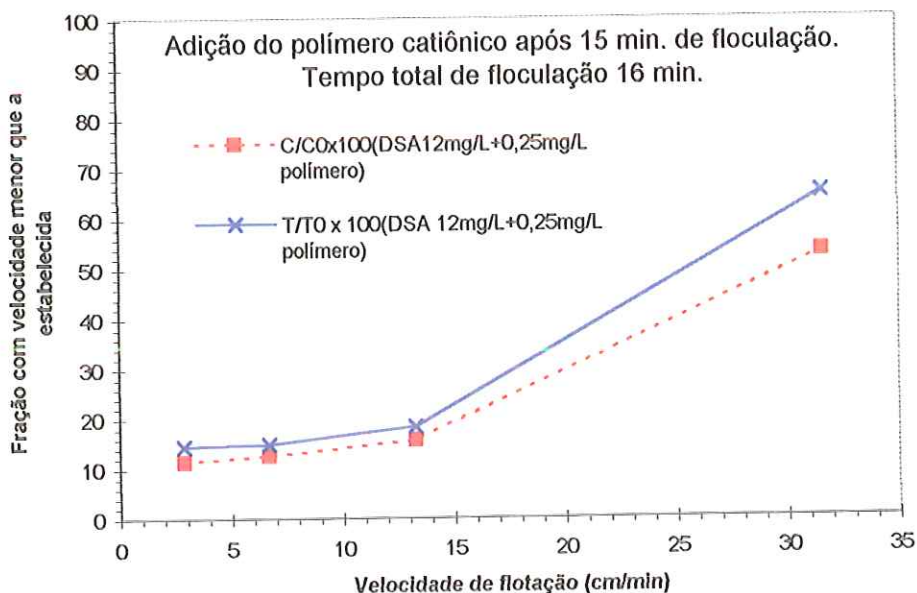


FIGURA 85- Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 15 min. de floculação, seguido de mais 1 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C; Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice 1).

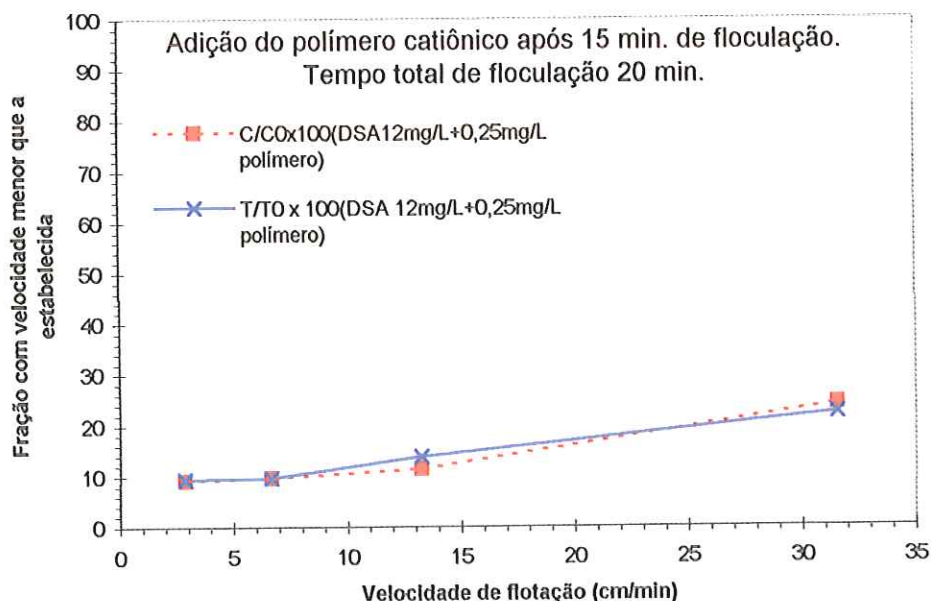


FIGURA 86- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 15 min. de floculação, seguido de mais 5 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C; Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice 1).

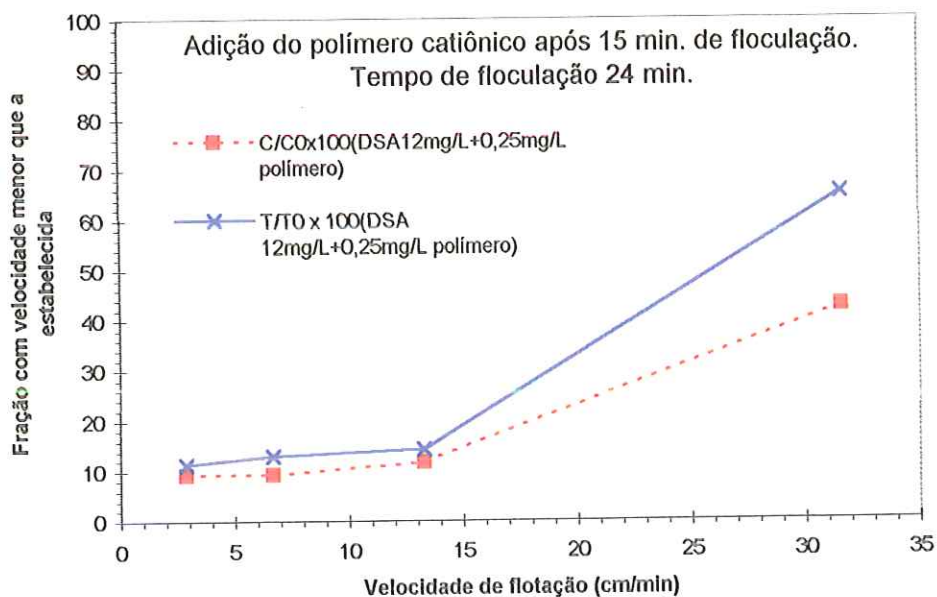


FIGURA 87- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 12 mg/L com adição de polímero catiônico (Nalco) 0,25 mg/L após 15 min. de floculação, seguido de mais 9 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente 107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: $23,4 \pm 0,2$ °C; Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação 8% (em volume). Velocidades de flotação: VF1=31,6cm/min., VF2=13,3cm/min., VF3=6,7cm/min., VF4=2,9cm/min. (Fonte: Tabela 06 Apêndice1)

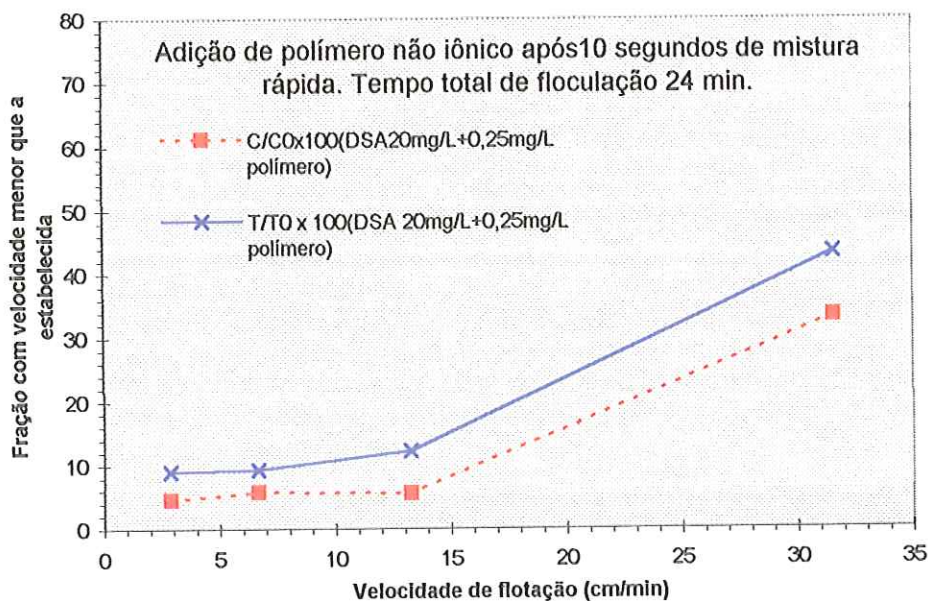


FIGURA 88- Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e de turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 10 seg. de mistura rápida, seguido de 24 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente: 96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura: 24,2 ± 1,0 °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 07 Apêndice 1).

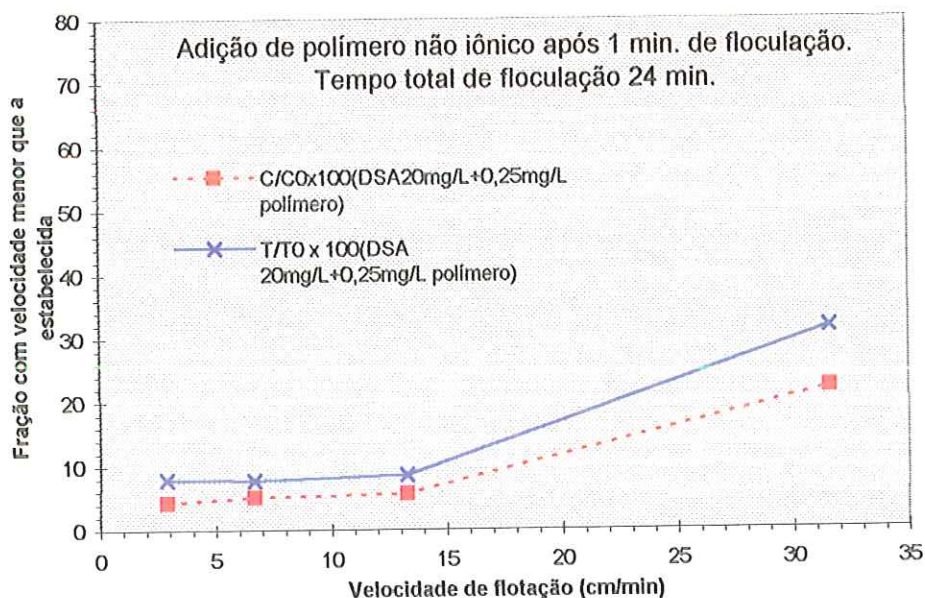


FIGURA 89 Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e de turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 1 min. de floculação, seguido de mais 23 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente: 96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura: 24,2 ± 1,0 °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 07 Apêndice 1)

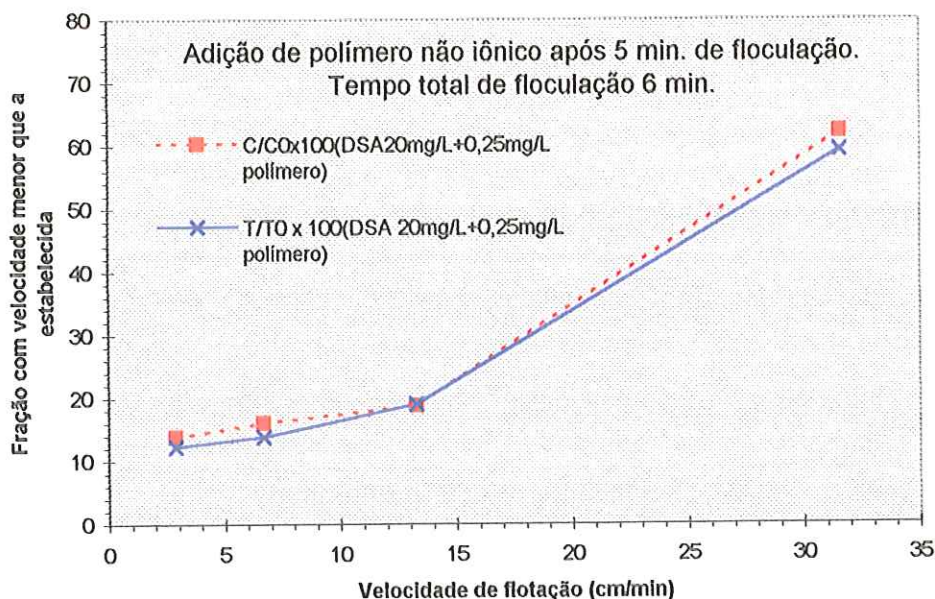


FIGURA 90- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 5 min. de floculação, seguido de mais 1 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para água de estudo com características: cor aparente: 96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura: $24,2 \pm 1,0$ °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 07 Apêndice 1)

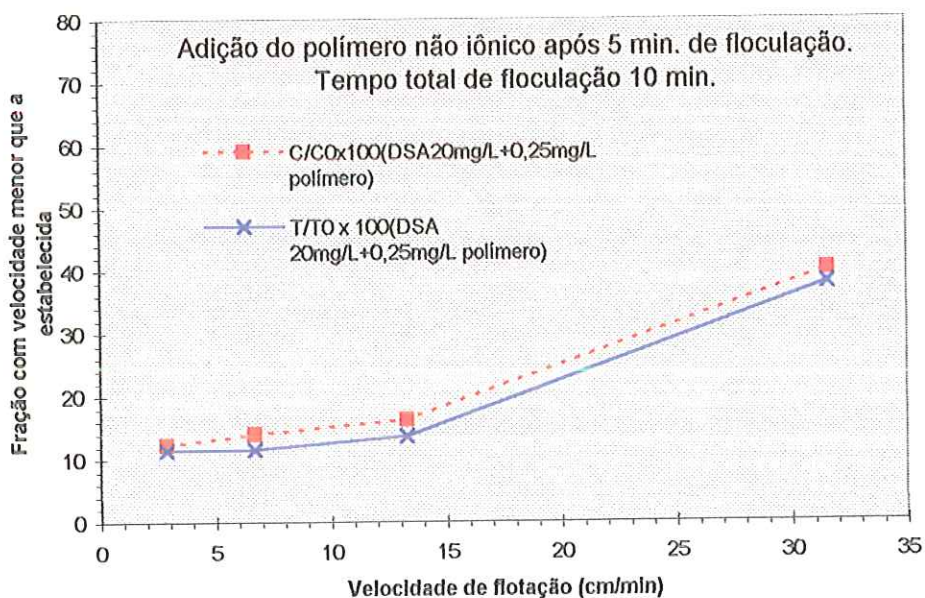


FIGURA 91- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 5 min. de floculação, seguido de mais 5 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para água de estudo com características: cor aparente: 96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura: $24,2 \pm 1,0$ °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 07 Apêndice 1)

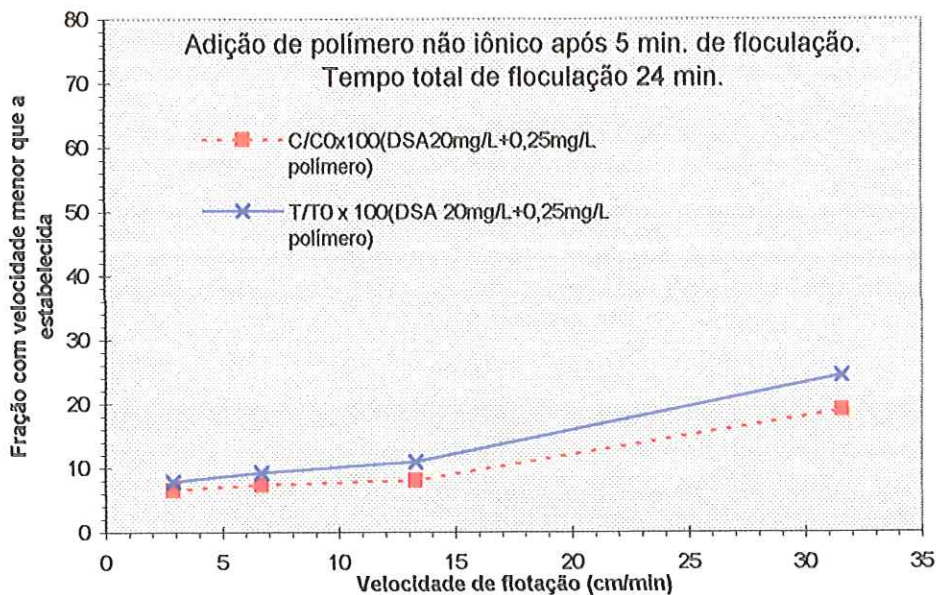


FIGURA 92- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 5 min. de floculação, seguido de mais 19 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para água de estudo com características: cor aparente: 96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura: $24,2 \pm 1,0$ °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 07 Apêndice 1)

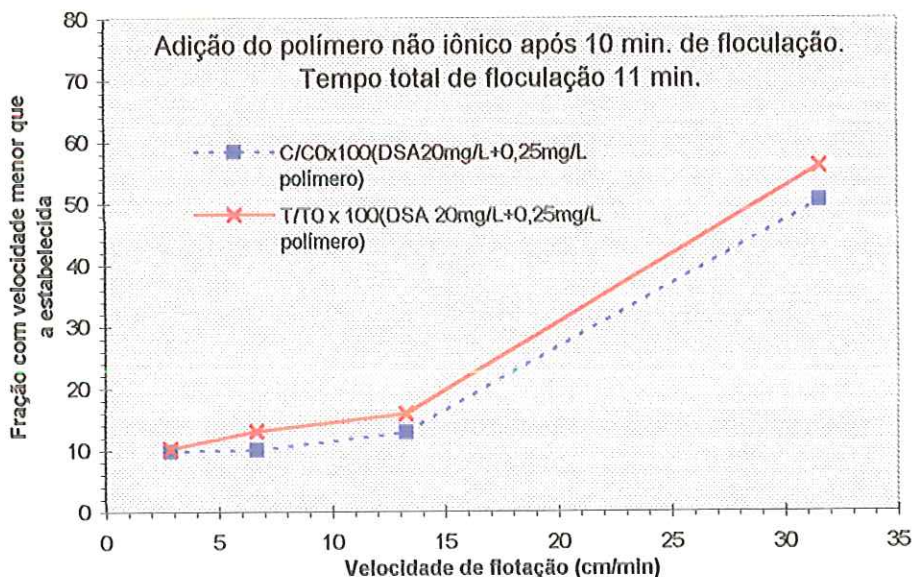


FIGURA 93- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 10 min. de floculação, seguido de mais 1 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para água de estudo com características: cor aparente: 96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura: $24,2 \pm 1,0$ °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 00Apêndice 1)

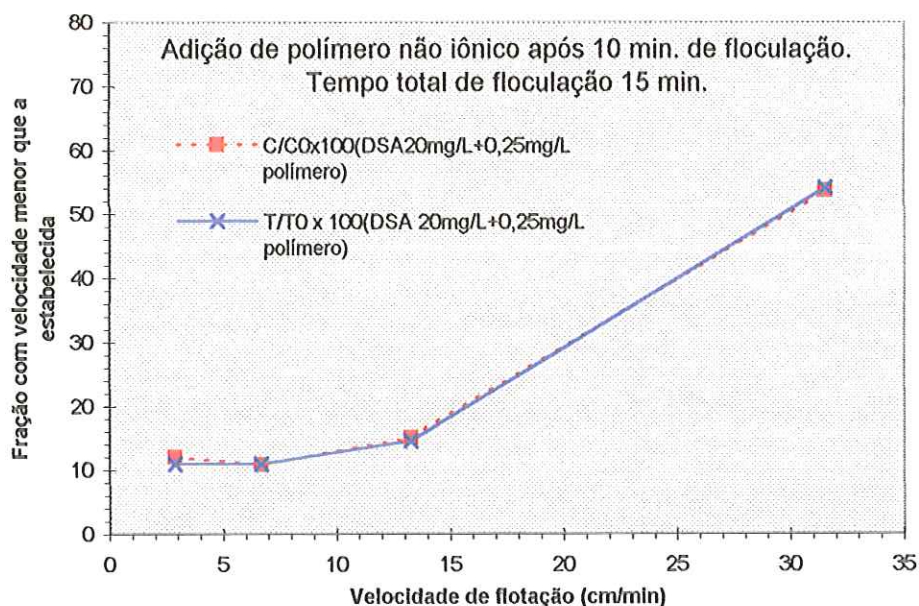


FIGURA 94- Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e de turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 10 min. de floculação, seguido de mais 5 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente:96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura:24,2 ± 1,0 °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 07 Apêndice 1)

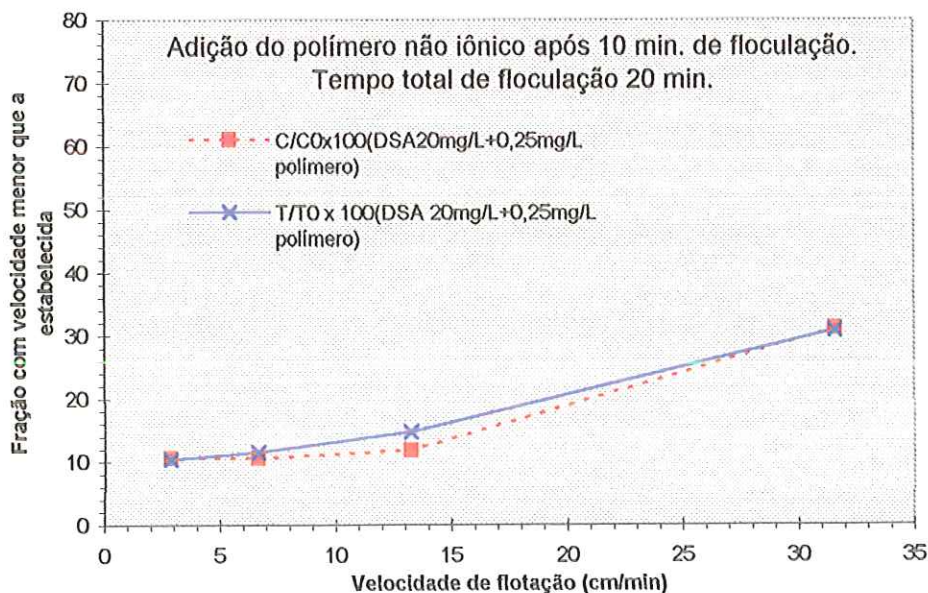


FIGURA 95- Fração remanescente de cor aparente (C/C0x100) e de turbidez (T/T0x100) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 10 min. de floculação, seguido de mais 10 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente:96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura:24,2 ± 1,0 °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 07 Apêndice 1)

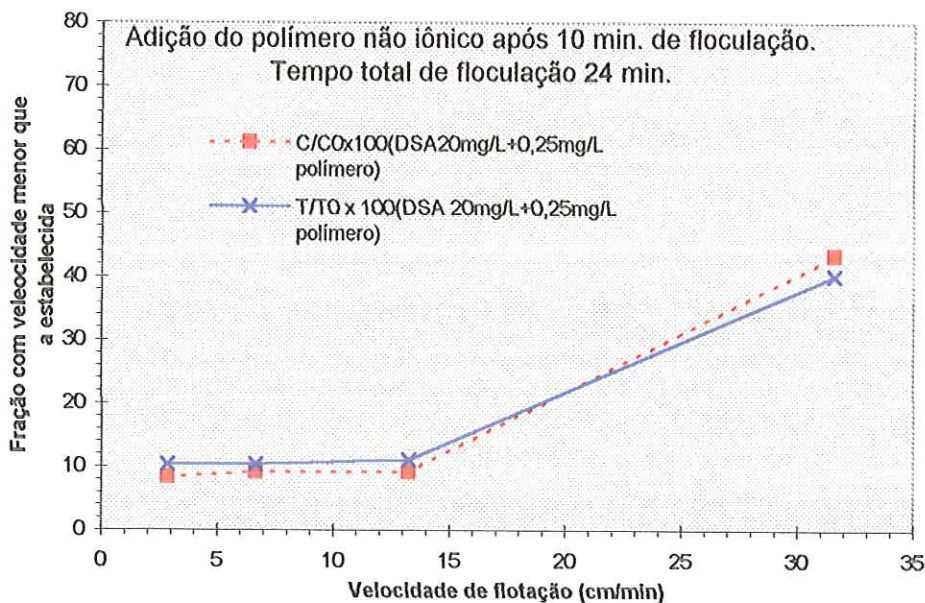


FIGURA 96- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 10 min. de floculação, seguido de mais 14 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente: 96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura: $24,2 \pm 1,0$ °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 07 Apêndice 1)

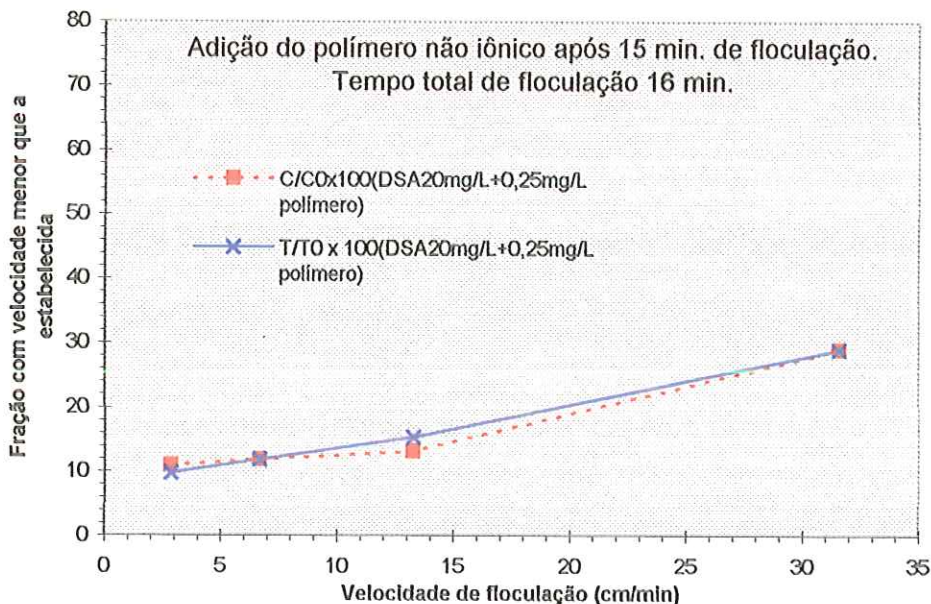


FIGURA 97- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 15 min. de floculação, seguido de mais 1 min. de floculação. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente: 96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura: $24,2 \pm 1,0$ °C. Pressão de saturação: 456 KPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 07 Apêndice 1)

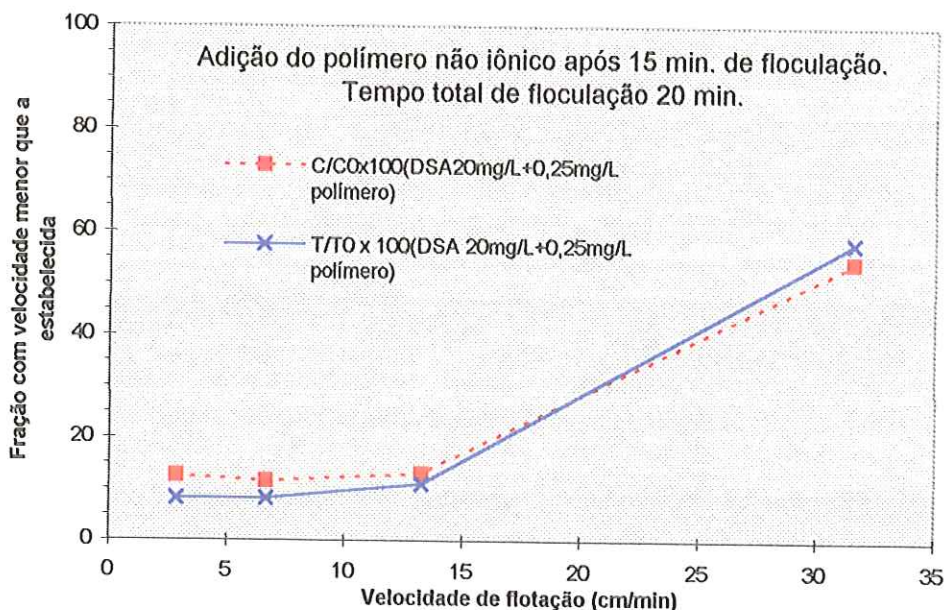


FIGURA 98- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 15 min. de floculação, seguido de mais 5 min. de floculação. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para água de estudo com características: cor aparente: 96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura: $24,2 \pm 1,0$ °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 07 Apêndice 1)

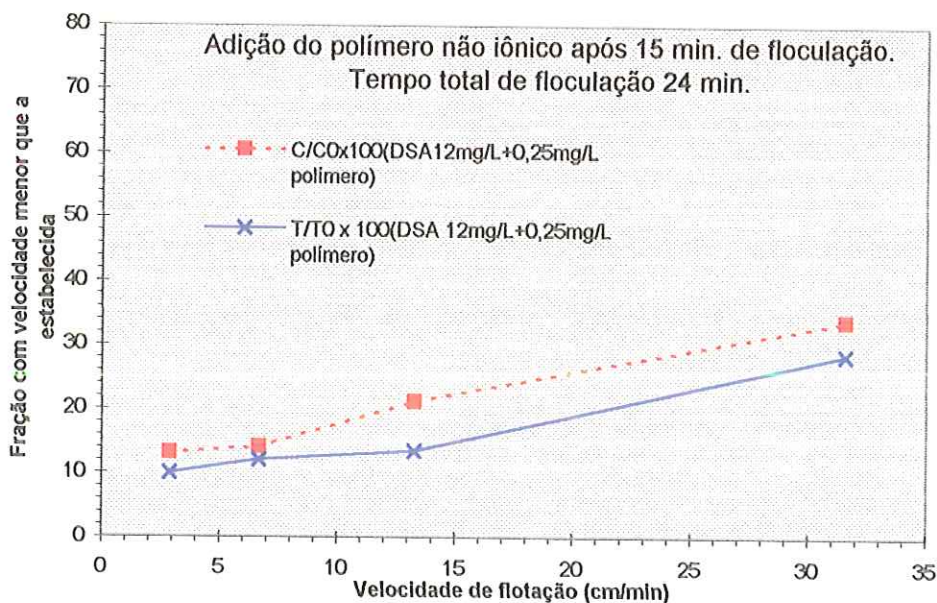


FIGURA 99- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) e de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para DSA de 20 mg/L com adição de polímero não iônico (Adesol) 0,25 mg/L após 15 min. de floculação, seguido de mais 9 min. de floculação. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para água de estudo com características: cor aparente: 96,0 uC; turbidez: 6,90 uT, temperatura: $24,2 \pm 1,0$ °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7cm/min., VF4= 2,9 cm/min. (Fonte: Tabela 07 Apêndice 1)

5.1.4- Otimização da quantidade de ar fornecida para a flotação, para ensaios com o equipamento do flotateste

Após ter deliberado quais polímeros com suas respectivas dosagens ideais e tempo mais adequado para adicioná-los determinou-se a variação da quantidade de ar fornecida para a flotação, que foi obtida variando-se a fração de recirculação (R) e mantendo-se fixa a pressão na câmara de saturação (456 kPa).

As frações de recirculação testadas foram de 4, 6, 8, 10, 12 e 14% em relação ao volume da água coagulada e floculada. No Quadro 08 a seguir encontram-se os parâmetros utilizados neste ensaio para DSA de 12 e 20 mg/L.

QUADRO 08- Parâmetros operacionais utilizados com o equipamento de flotateste para a otimização da quantidade de ar fornecida.

DSA (mg/L)	Polímero determinado	Dosagem do polímero determinado (mg/L)	Tmr (seg.)	Gmr (s ⁻¹)	Tf (min.)	Gf (s ⁻¹)
12	Catiônico Nalco	0,250	20	1000	20	60
20	Não iônico Adesol	0,250	20	1000	20	60

Os resultados obtidos nesta etapa da pesquisa são apresentados nas Figuras 100 a 103, as quais mostram a fração remanescente de cor aparente e turbidez em função da velocidade de flotação (VF1= 31,6 cm/min, VF2= 13,3 cm/min, VF3= 6,7 cm/min, VF4= 2,9 cm/min).

Para facilitar a análise, foi construído o Quadro 09 a seguir, onde são apresentados os resultados obtidos de cor aparente e turbidez, para todas

as frações de recirculação estudadas com pressão de saturação de 456 kPa.

Observando-se o Quadro 09 verifica-se que para a fração de recirculação de 4 e 14% as eficiência de remoção de cor aparente e turbidez apresentaram menor desempenho, comparando-se com as remoções obtidas para as frações de recirculação de 6, 8, 10 e 12%, tanto para DSA de 12 mg/L quanto para DSA de 20 mg/L.

QUADRO 09- Resumo dos resultados obtidos nos ensaios para otimização da quantidade de ar fornecida para DSA de 12 mg/L com 0,250 mg/L de polímero catiônico e DSA de 20 mg/L com 0,250 mg/L de polímero não iônico. (Fonte: Tabelas 8 e 9 apêndice 1)

Fração de recirculação (% em volume)	DSA (mg/L)	Remoção teórica de cor aparente (%)				Remoção teórica de turbidez (%)				Referente às figuras número
		Velocidade de flotação (cm/min.)				Velocidade de flotação (cm/min.)				
		31,6	13,3	6,7	2,9	31,6	13,3	6,7	2,9	
4	12	62,0	82,0	84,0	84,0	56,0	79,0	81,0	81,0	100-101
	20	88,0	90,0	91,0	91,0	77,0	87,0	88,0	88,0	102-103
6	12	80,0	86,0	86,0	87,0	78,0	86,0	87,0	88,0	100-101
	20	89,0	92,0	92,0	92,0	85,0	88,0	89,0	89,0	102-103
8	12	83,0	88,0	89,0	90,0	82,0	88,0	88,0	88,0	100-101
	20	93,0	94,0	95,0	95,0	91,0	93,0	93,0	93,0	102-103
10	12	79,0	87,0	88,0	89,0	78,0	87,0	88,0	88,0	100-101
	20	92,0	94,0	94,0	94,0	87,0	90,0	90,0	91,0	102-103
12	12	78,0	85,0	87,0	88,0	76,0	85,0	86,0	87,0	100-101
	20	91,0	93,0	94,0	94,0	84,0	86,0	88,0	89,0	102-103
14	12	74,0	84,0	84,0	84,0	72,0	83,0	84,0	84,0	100-101
	20	89,0	91,0	91,0	92,0	81,0	84,0	86,0	87,0	102-103

Ainda a partir do Quadro 09, verifica-se que para DSA de 12 mg/L e 0,25 mg/L de polímero catiônico, as frações de recirculação de 6, 10 e 12%, apresentaram eficiência de remoção de cor aparente próximas, ligeiramente superior para fração de recirculação de 10%. Em relação a VF de 31,6 cm/min e DSA de 12 mg/L, a fração de recirculação de 8% apresentou maior eficiência de remoção de cor aparente (93%) e turbidez (90%). Já para a VF de 13,3 cm/min e DSA de 12 mg/L, as frações de recirculação de 8 e 10% apresentaram eficiência de remoção de cor aparente próximas, ou seja, 88% de remoção para fração de recirculação de 8% e 87% de remoção para fração de recirculação de 10%. A fração de recirculação de 8% foi a que apresentou maior eficiência de remoção de cor aparente e de turbidez.

Ainda em relação ao Quadro 9, para DSA de 20 mg/L e 0,25 mg/L de polímero não iônico, verifica-se que para VF de 31,6 cm/min, a fração de recirculação de 8%, obteve remoção máxima de cor aparente de 93% e turbidez de 91%, em relação as frações de recirculação estudadas. Já para VF até 6,7 cm/min, verifica-se que as frações de recirculação de 10 e 12%, apresentaram mesma remoção de cor aparente (94%) e, ligeiramente inferior a fração de recirculação de 8% (95%). Ainda observando-se o Quadro 09 e DSA de 20 mg/L, verifica-se que, a fração de recirculação de 8% foi a que apresentou maior remoção de cor aparente e turbidez.

Com base nos resultados discutidos acima, a fração de recirculação de 8% (7,6 g de ar/m³ de água), foi assumida como adequada, tanto para DSA de 12mg/L quanto para a DSA de 20mg/L, embora fração de recirculação de 10% também tenha apresentado bons resultados.

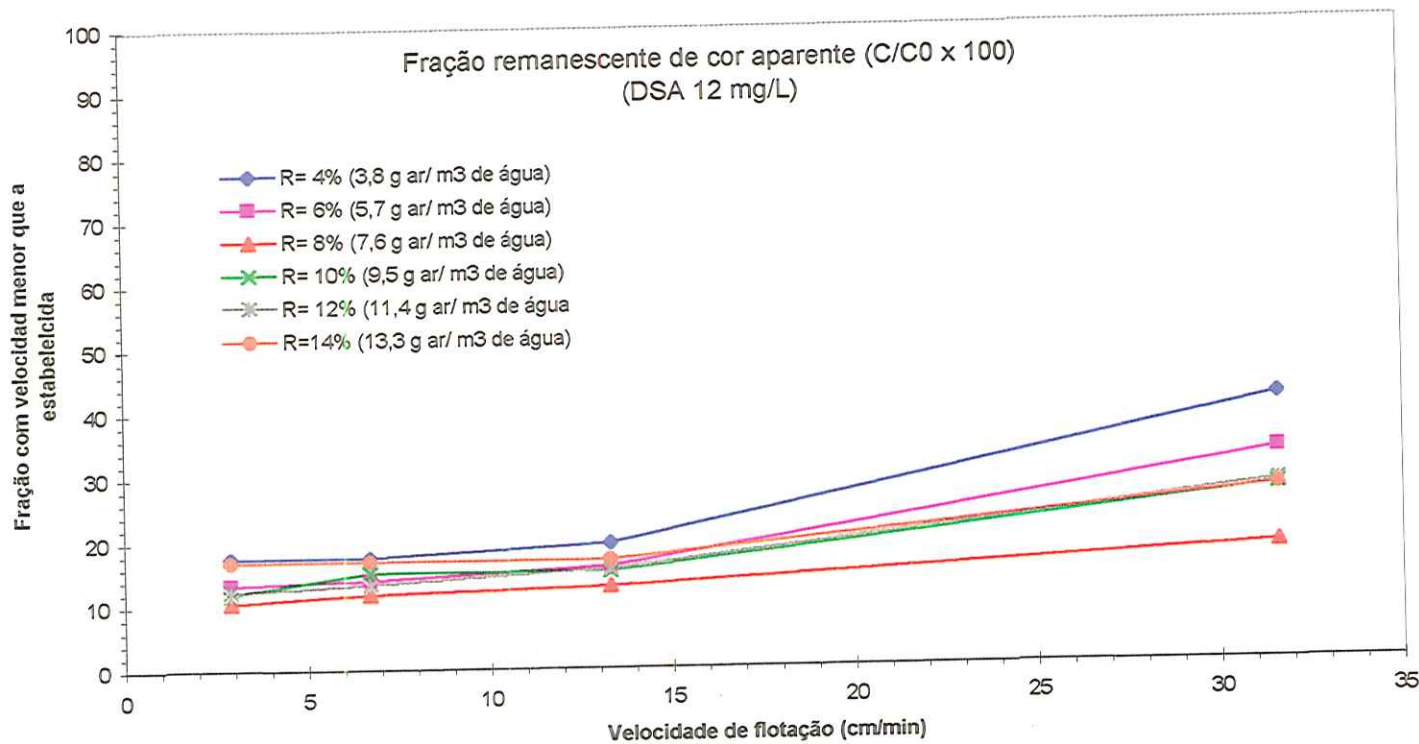


FIGURA 100- Fração remanescente de cor aparente (C/C0 x 100) em função da velocidade de flotação para fração de recirculação (R) de 4%, 6%, 8%, 10%, 12% e 14% (em volume), para DSA de 12 mg/L e 0,25 mg/L de polímero catiônico. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para água com as seguintes características: cor aparente: 105,4 uC, turbidez: 7,60 uT, temperatura: 24,2 °C, pH após mistura rápida: 6,40 ± 0,01. Velocidade de flotação: VF1 = 31,6 cm/min, VF2 = 13,3 cm/min, VF3 = 6,7 cm/min, VF4 = 2,9 cm/min e VF1 = 31,6 cm/min, pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 08 Apêndice 1)

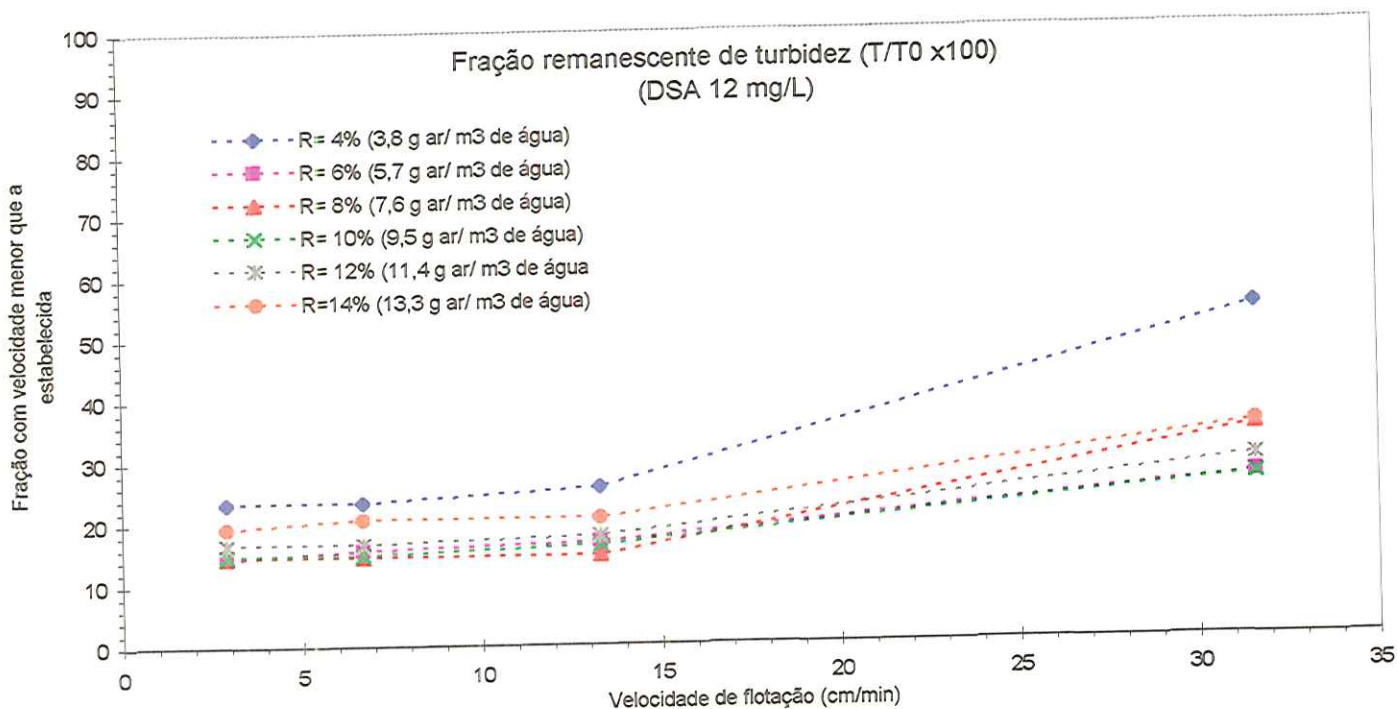


FIGURA 101- Fração remanescente de turbidez (T/T0 x 100) em função da velocidade de flotação para fração de recirculação (R) de 4%, 6%, 8%, 10%, 12% e 14% (em volume), para DSA de 12 mg/L e 0,25 mg/L de polímero catiônico. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para água com as seguintes características: cor aparente: 105,4 uC, turbidez: 7,60 uT, temperatura: 24,2 °C, pH após mistura rápida: 6,40 ± 0,01. Velocidade de flotação: VF1 = 31,6 cm/min, VF2 = 13,3 cm/min, VF3 = 6,7 cm/min, VF4 = 2,9 cm/min e VF5 = 31,6 cm/min, pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 08 Apêndice 1)

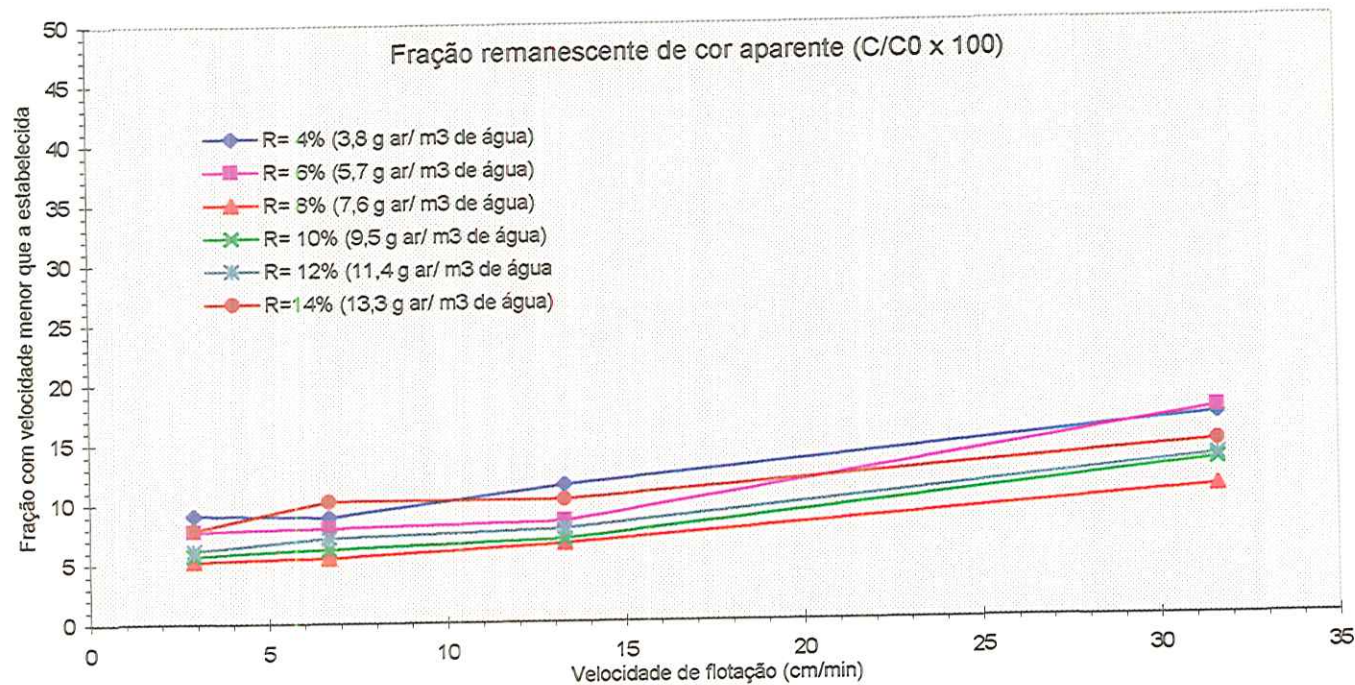


FIGURA 102- Fração remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para fração de recirculação (R) de 4%, 6%, 8%, 10%, 12% e 14% (em volume), para DSA de 20 mg/L e 0,25 mg/L de polímero não iônico. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para água com as seguintes características: cor aparente: 109 uC, turbidez: 5,78 uT, temperatura: $23,9 \pm 0,5$ °C, pH após mistura rápida: $6,36 \pm 0,03$. Velocidade de flotação: VF1 = 31,6 cm/min, VF2 = 13,3 cm/min, VF3 = 6,7 cm/min, VF4 = 2,9 cm/min e VF1 = 31,6 cm/min, pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 09 Apêndice 1)

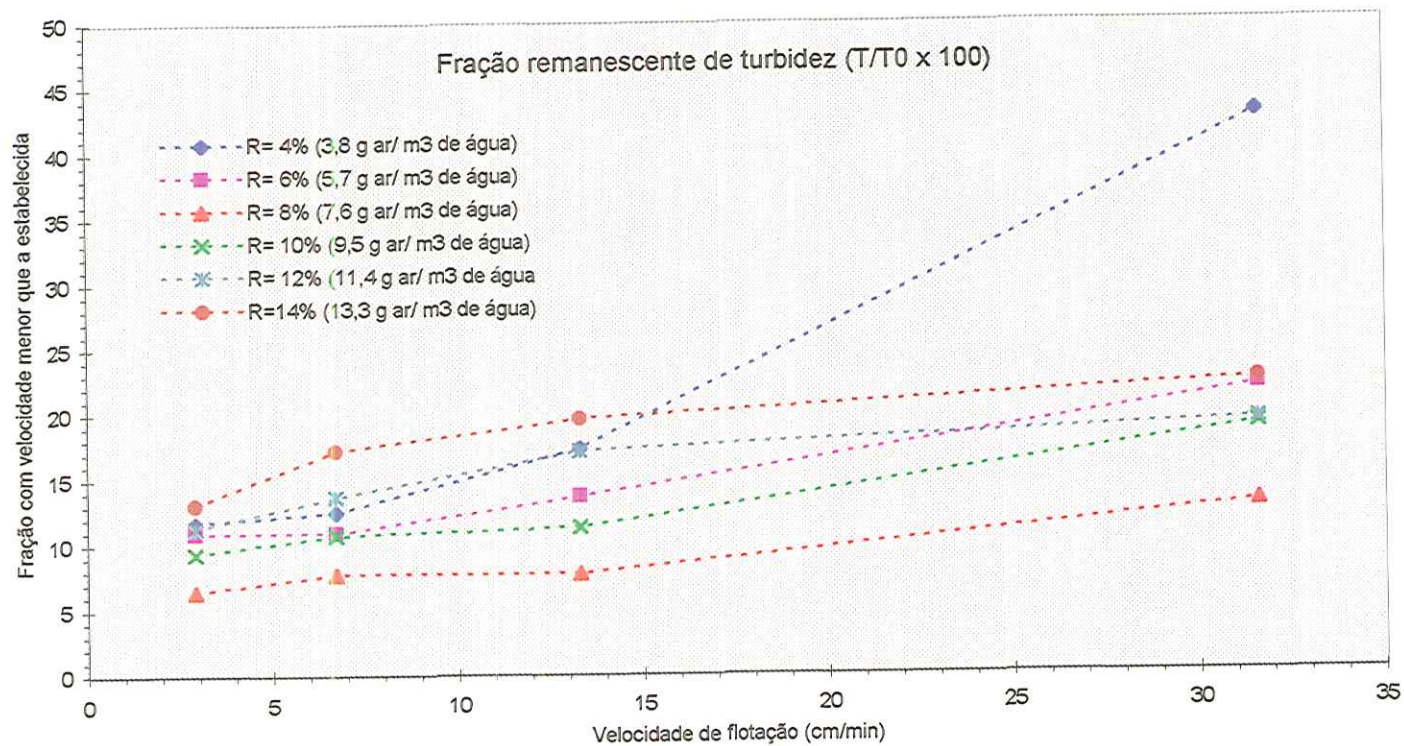


FIGURA 103- Fração remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função da velocidade de flotação para fração de recirculação (R) de 4%, 6%, 8%, 10%, 12% e 14% (em volume), para DSA de 20 mg/L e 0,25 mg/L de polímero não iônico. Ensaio realizado com equipamento de flotatete para água com as seguintes características: cor aparente: 109 uC, turbidez: 5,78 uT, temperatura: $23,9 \pm 0,5$ °C, pH após mistura rápida: $6,36 \pm 0,03$. Velocidade de flotação: VF1 = 31,6 cm/min, VF2 = 13,3 cm/min, VF3 = 6,7 cm/min, VF4 = 2,9 cm/min e VF1 = 31,6 cm/min, pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 09 Apêndice 1)

5.1.5- Influência do tempo e do gradiente médio de velocidade durante a floculação na eficiência da flotação (ensaios com o equipamento de flotateste)

Nas Figuras 104 a 119, a seguir, são apresentados os resultados de cor aparente e turbidez remanescentes obtidos em função do gradiente médio de velocidade de floculação para cada tempo de floculação estudado.

Os valores de tempo de floculação (T_f) foram de 5, 10, 15, 20 e 24 min, para DSA de 20 mg/L com 0,25 mg/L de polímero não iônico. Para DSA de 12 mg/L com 0,25 mg/L de polímero catiônico os valores de tempo de floculação foram de 16, 20 e 25 min.

Para as duas dosagens de sulfato de alumínio testadas o gradiente médio de velocidade de floculação (G_f) foi de 40, 60, 80 e 100 s^{-1} .

Os demais parâmetros operacionais foram os otimizados e apresentados nos itens 5.1.2 a 5.1.4.

Analisando-se os resultados apresentados nas Figuras 104 a 109, considerando-se velocidade de flotação de 31,6 cm/min e 12 mg/L de sulfato de alumínio com 0,25 mg/L de polímero catiônico, observa-se remoção de cor aparente superior a 80% e turbidez superior a 73%, quando se utilizou G_f de 80 e 100 s^{-1} para T_f de 20 min, e G_f de 60 s^{-1} com T_f de 25 min. Em relação a VF de 13,3 cm/min e DSA de 12 mg/L, observa-se remoção de cor aparente e turbidez superior a 81%, para todos os T_f e G_f testados. Em relação a DSA de 20 mg/L e analisando-se as Figuras 110 a 119, para VF de 31,6 cm/min, verifica-se remoção de cor aparente próximo a 76% para T_f de 10, 20 e 24 min, todos com G_f de 60 s^{-1} .

A partir dos resultados apresentados nas Figuras 104 a 119, foram construídos os Quadros 10 e 11, com vista a facilitar a análise dos resultados referentes as DSA de 12 mg/L com 0,25 mg/L de polímero catiônico e DSA de 20 mg/L com 0,25 mg/L de polímero não iônico. Nesses Quadros são apresentados, para cada T_f estudado o valor de G_f que

forneceu os melhores resultados de flotação para as várias velocidades de flotação estudadas.

QUADRO 10- Valor de gradiente médio de velocidade de floculação ótimo ($G_{f_{ót}}$) para cada Tf estudado e respectivos valores de remoção de cor aparente e turbidez para DSA de **12 mg/L** e 0,25 mg/L de polímero catiônico.

Tf (min.)	$G_{f_{ót}}$ (s^{-1})	Eficiência de remoção de cor aparente (%)				Eficiência de remoção de turbidez (%)			
		Velocidade de flotação (cm/min.)				Velocidade de flotação (cm/min.)			
		31,6	13,3	6,7	2,9	31,6	13,3	6,7	2,9
16	80	62,0	88,1	90,8	91,8	85,4	85,9	89,1	90,8
20	80	82,6	93,0	94,8	95,9	75,2	91,5	91,9	92,1
25	60	80,7	92,0	92,8	93,4	73,2	88,5	89,1	90,1

Com relação aos Tf de 16, 20 e 25 min para DSA de 12 mg/L apresentados no Quadro 10, observa-se que para Tf de 16 e 20 min, o Gradiente de floculação ótimo ($G_{f_{ót}}$) foi de $80 s^{-1}$. Já para Tf de 25 min o $G_{f_{ót}}$ encontrado foi de $60 s^{-1}$. Ainda observando-se o Quadro 10, para Tf de 20 min e $G_{f_{ót}}$ de $80 s^{-1}$, verifica-se remoção de cor aparente e turbidez acima de 90% para VF até 13,3 cm/min. Observa-se também que a maior remoção de cor aparente (95,9 para VF de 2,9 cm/min) e turbidez (92,1 para VF de 2,9 cm/min.) foi proporcionada pelo Tf de 20 min e $G_{f_{ót}}$ de $80 s^{-1}$. Ainda em relação ao Quadro 10, observa-se valores próximos de remoção de cor aparente para Tf de 20 min com $G_{f_{ót}}$ de $80 s^{-1}$ e Tf de 25 min e $G_{f_{ót}}$ de $60 s^{-1}$.

A seguir no Quadro 11, são apresentados os resultados referentes Tf e $G_{f_{ót}}$ para DSA de 20 mg/L e 0,25 mg/L de polímero não iônico.

QUADRO 11- Valor de gradiente médio de velocidade de floculação ótimo ($G_{f_{ót}}$) para cada T_f estudado e respectivos valores de remoção de cor aparente e turbidez para DSA de **20 mg/L** e 0,25 mg/L de polímero não iônico

T _f (min.)	G _{f_{ót}} (s ⁻¹)	Eficiência de remoção de cor aparente (%)				Eficiência de remoção de turbidez (%)			
		Velocidade de flotação (cm/min.)				Velocidade de flotação (cm/min.)			
		31,6	13,3	6,7	2,9	31,6	13,3	6,7	2,9
5	80	78,3	89,6	90,2	91,8	74,9	88,1	88,4	89,6
10	60	76,8	89,7	90,1	91,5	77,4	84,3	87,4	88,5
15	60	86,4	90,1	90,8	92,2	77,7	88,5	88,5	91,8
20	60	76,0	92,2	93,2	93,3	74,5	92,4	92,6	93,7
24	60	76,0	91,8	92,2	92,6	68,7	90,0	91,7	92,1

Analisando-se o quadro 11 verifica-se que, a maior remoção obtida de cor aparente para VF de 31,6 cm/min e DSA de 20 mg/L foi para $G_{f_{ót}}$ de 60 s⁻¹ e T_f de 15 min (86,4%) e que, para os T_f de 20 e 24 min a remoção de cor aparente foi a mesma (76%) para VF de 31,6 cm/min. Já para a VF de 13,3 cm/min observa-se que a maior remoção de cor aparente e turbidez obtida foi de 92% para T_f de 20 min e $G_{f_{ót}}$ de 60 s⁻¹. Ao considerar-se os T_f de 5, 10, 15, 20 e 24 min apresentados no Quadro 11, observa-se que somente para T_f de 5 min o $G_{f_{ót}}$ foi de 80 s⁻¹, e que a eficiência de remoção de cor aparente para T_f de 5, 10 e 15 min foram próximas para VF de até 13,3 cm/min, ou seja, eficiência de remoção entre 91,5 a 92,2% para VF de 2,9 cm/min; de 90,1 a 90,8% para VF de 6,7 cm/min e entre 89,6 a 90,1% para VF de 13,3 cm/min.

De maneira geral, a partir dos resultados apresentados nos Quadros 10 e 11, verifica-se que para VF até 6,7 cm/min obteve-se eficiência de remoção de cor aparente maior ou igual a 90% para todos os valores testados de T_f com seus respectivos $G_{f_{ót}}$, tanto para DSA de 12 mg/L quanto para 20 mg/L. Constata-se também que com o aumento do tempo de

floculação (T_f) o gradiente médio de velocidade de floculação (G_f) tende a diminuir .

Assim com base nos resultados apresentados nas Figuras 104 a 119 e Quadros 10 e 11, adotou-se :

- para DSA de 12 mg/L e polímero catiônico T_f de 20 min e $G_{f_{ót}}$ de 80 s^{-1} .
- para DSA de 20 mg/L e polímero não iônico T_f de 20 min e $G_{f_{ót}}$ de 60 s^{-1} .

Uma possível explicação para o maior valor de G_f requerido (80 s^{-1}) pela dosagem de sulfato de alumínio de 12 mg/L associada a 0,25 mg/L de polímero catiônico, comparado àquele exigido quando da aplicação de 20 mg/L de sulfato de alumínio com 0,25 mg/L de polímero aniônico (60 s^{-1}), seja devido ao fato de que na primeira situação existia menor concentração de partículas floculadas, e, conseqüentemente, para que se atingisse valor adequado de taxa de colisões entre as mesmas, foi necessário o aumento do valor da potência média dissipada na água (associado ao valor de G_f).

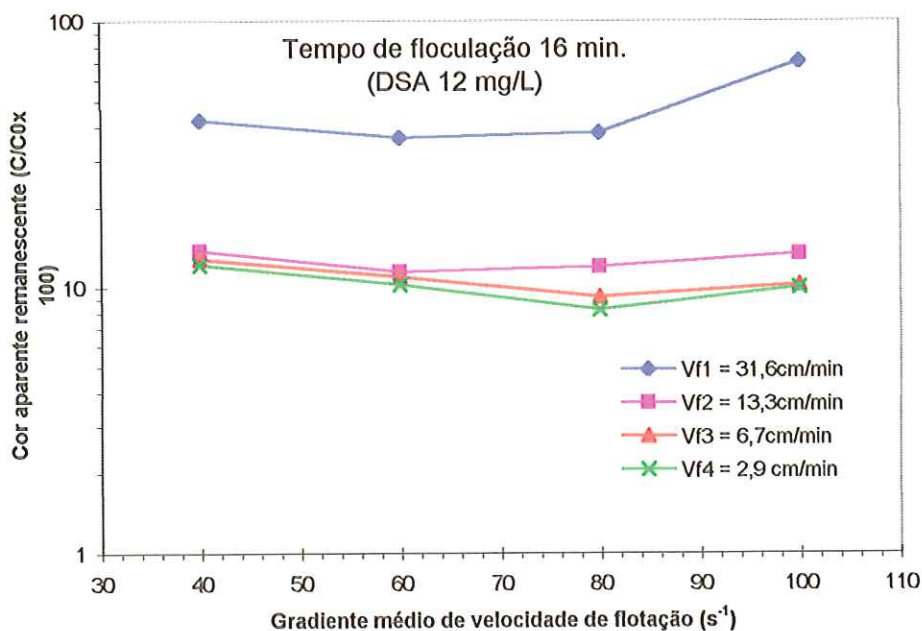


FIGURA 104-Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 16 min, para dosagem de sulfato de alumínio de 12 mg/L e polímero catiónico 0,25mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103,7 uC; turbidez: 6,86 uT; temperatura: $23,3 \pm 0,02^\circ C$. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,38 \pm 0,10$; fração de recirculação 8% (em volume), pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 10 Apêndice:1).

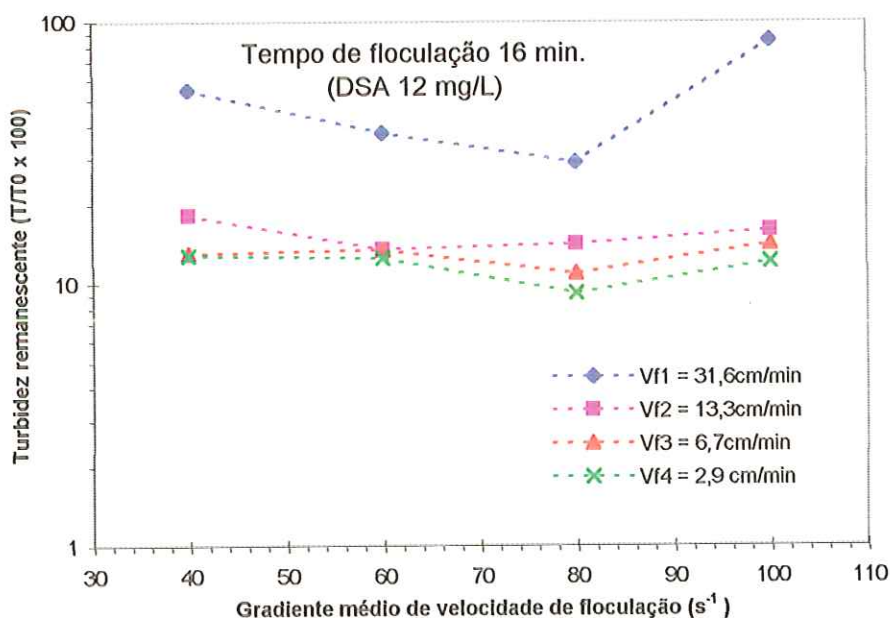


FIGURA 105-Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 16 min, para dosagem de sulfato de alumínio de 12 mg/L e polímero catiónico 0,25mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103,7 uC; turbidez: 6,86 uT; temperatura: $23,3 \pm 0,02^\circ C$. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,38 \pm 0,10$; fração de recirculação 8% (em volume), pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 10 Apêndice:1).

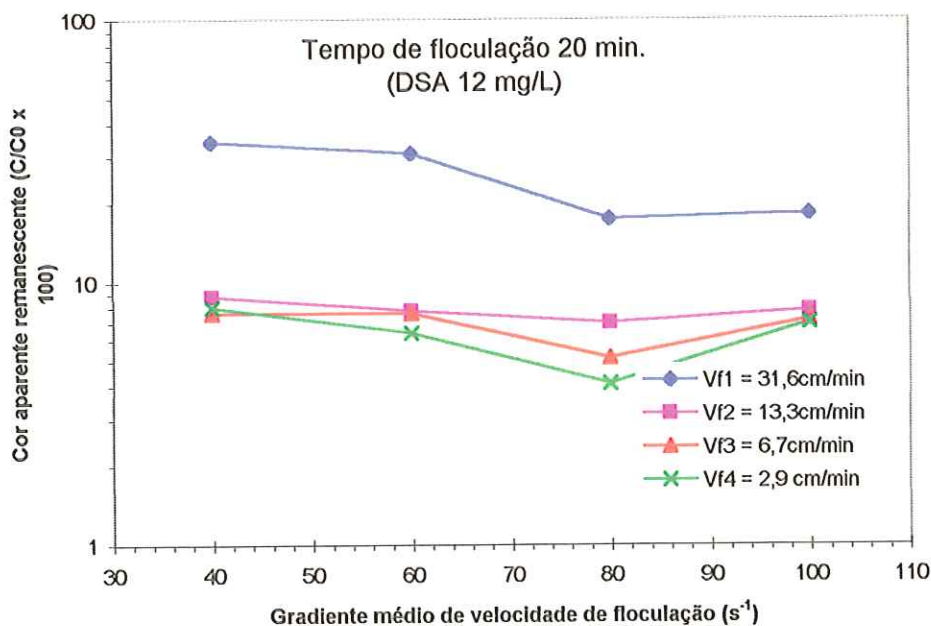


FIGURA 106-Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 20 min, para dosagem de sulfato de alumínio de 12 mg/L e polímero catiônico 0,25mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 108,7 uC; turbidez: 6,86 uT; temperatura: $23,3 \pm 0,02^\circ C$. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,38 \pm 0,10$; fração de recirculação 8% (em volume), pressão de saturação:456 kPa. (Fonte: Tabela 10 Apêndice:1).

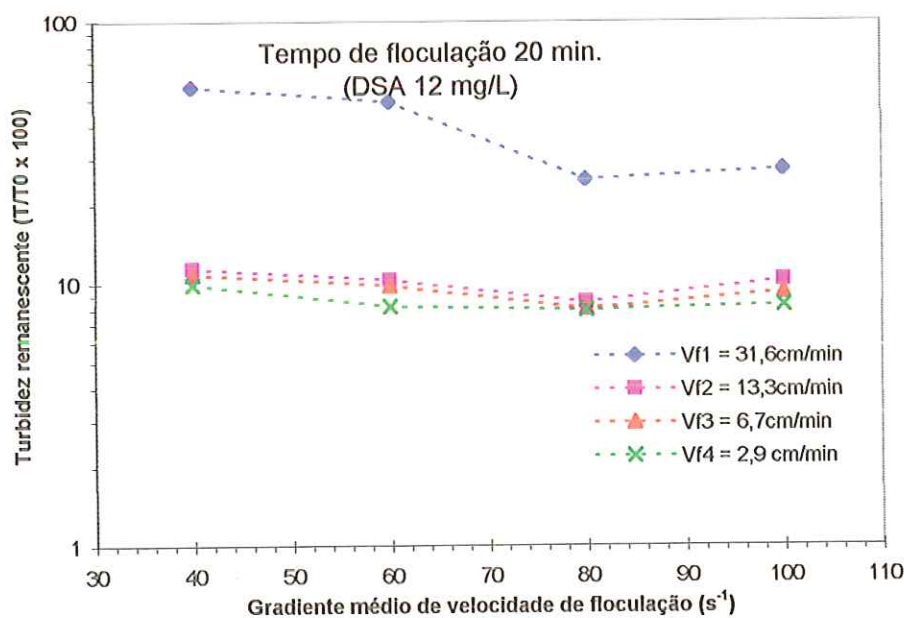


FIGURA 107-Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 20 min, para dosagem de sulfato de alumínio de 12 mg/L e polímero catiônico 0,25mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotatestes para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 108,7 uC; turbidez: 6,86 uT; temperatura: $23,3 \pm 0,02^\circ C$. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,38 \pm 0,10$; fração de recirculação 8% (em volume), pressão de saturação:456 kPa. (Fonte: Tabela 10 Apêndice:1).

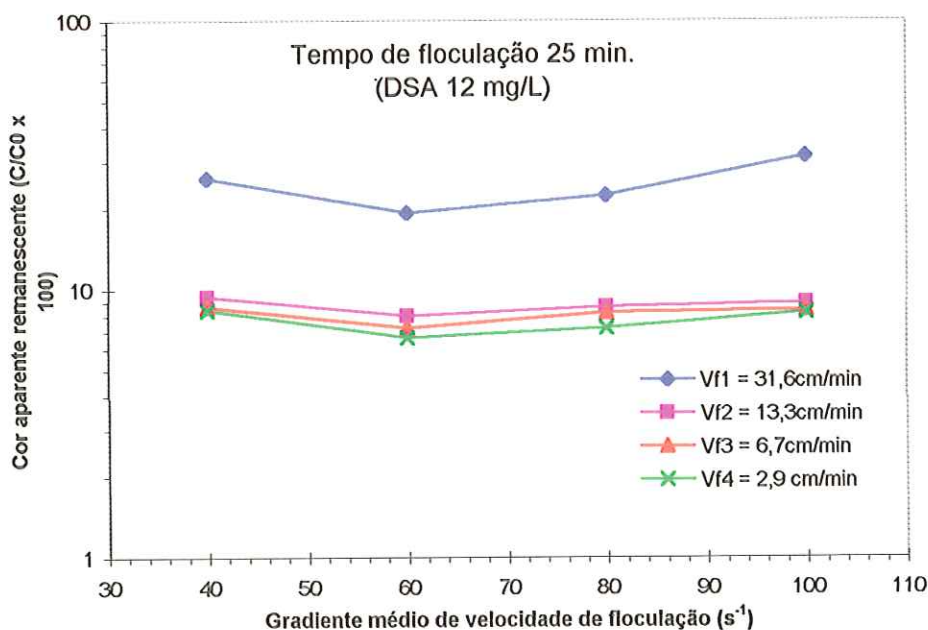


FIGURA 108-Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 24 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 12 mg/L e polímero catiónico 0,25mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 108,7 uC; turbidez: 6,86 uT; temperatura: $23,3 \pm 0,02^\circ C$. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,38 \pm 0,10$; fração de recirculação 8% (em volume), pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 10 Apêndice:1).

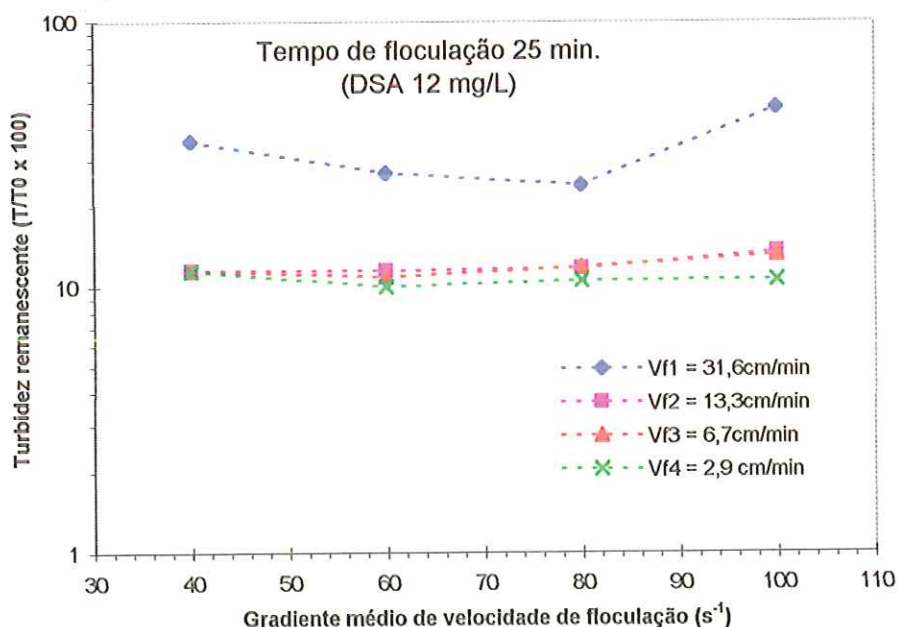


FIGURA 109-Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 24 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 12 mg/L e polímero catiónico 0,25mg/L. Ensaio realizado com o equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 108,7 uC; turbidez: 6,86 uT; temperatura: $23,3 \pm 0,02^\circ C$. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,38 \pm 0,10$; fração de recirculação 8% (em volume), pressão de saturação: 456 kPa. (Fonte: Tabela 10, Apêndice 1).

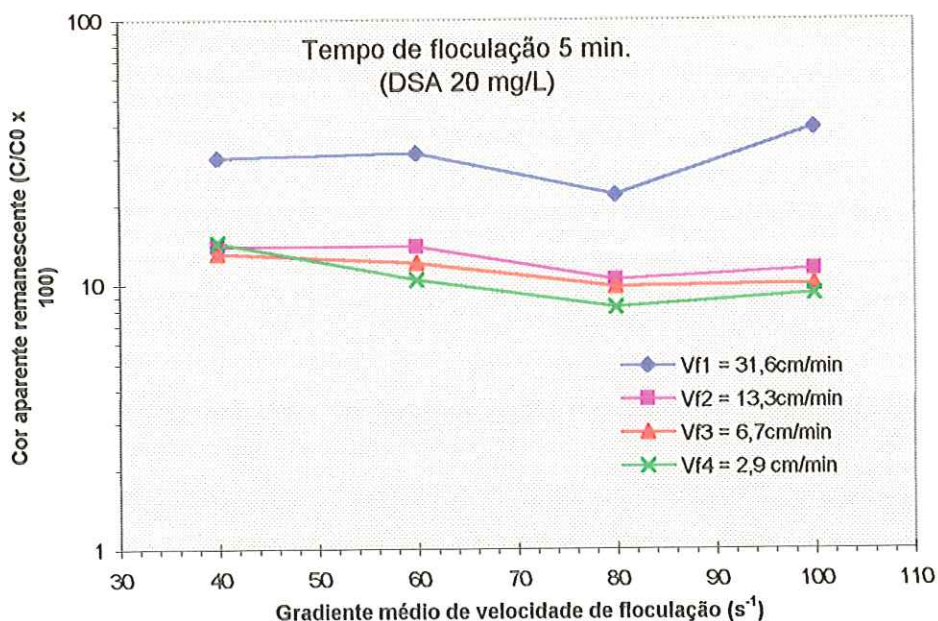


FIGURA 110-Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 5 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L e polímero não iônico 0,25 mg/L. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103 ± 6 uC; turbidez: $5,92 \pm 0,14$ uT, temperatura: $23,4 \pm 1,1$ °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,35 \pm 0,05$; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). (Fonte: Tabela 11 Apêndice:1)

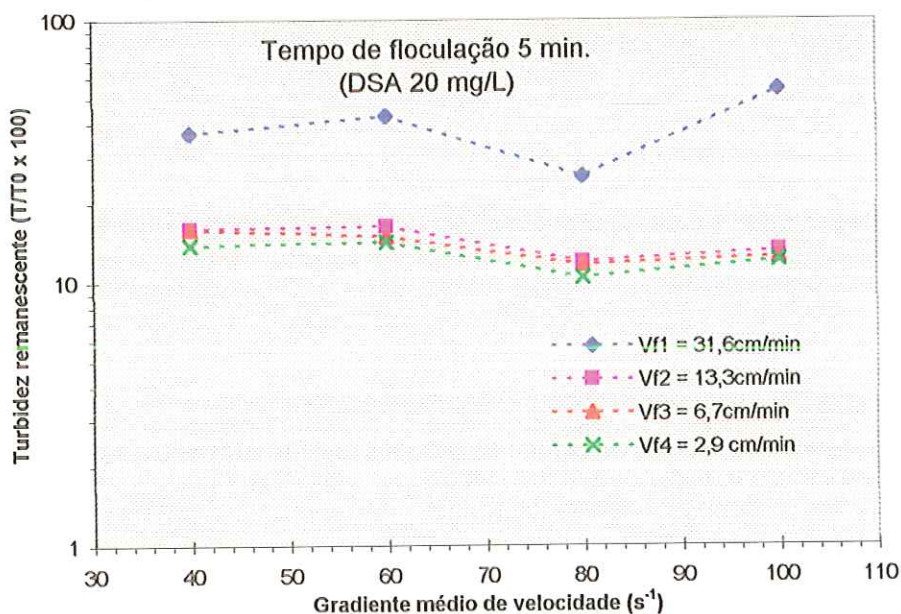


FIGURA 111-Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 5 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L e polímero não iônico 0,25 mg/L. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103 ± 6 uC; turbidez: $5,92 \pm 0,14$ uT, temperatura: $23,4 \pm 1,1$ °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,35 \pm 0,05$; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). (Fonte: Tabela 11 Apêndice:1)

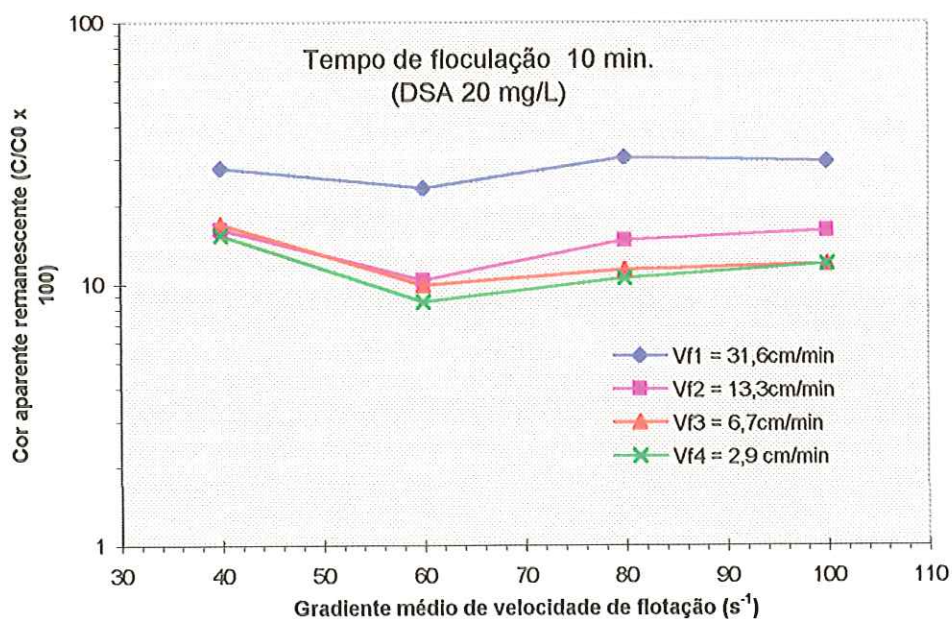


FIGURA 112-Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 10 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L e polímero não iônico 0,25 mg/L. Ensaios realizados com equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103 ± 6 uC; turbidez: $5,92 \pm 0,14$ uT, temperatura: $23,4 \pm 1,1$ °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,35 \pm 0,05$; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). (Fonte: Tabela 11 Apêndice:1)

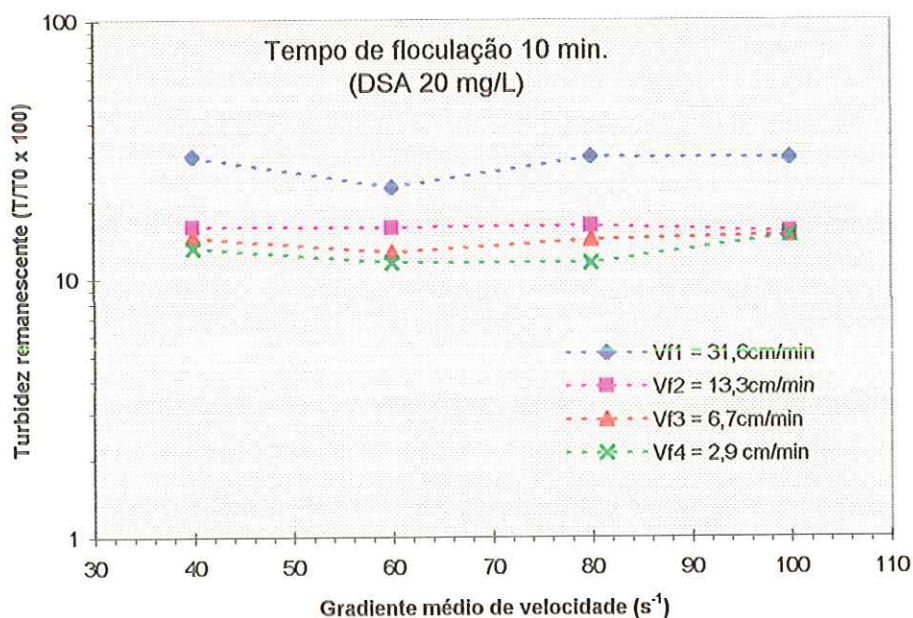


FIGURA 113-Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 10 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L e polímero não iônico 0,25 mg/L. Ensaios realizados com equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103 ± 6 uC; turbidez: $5,92 \pm 0,14$ uT, temperatura: $23,4 \pm 1,1$ °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,35 \pm 0,05$; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). (Fonte: Tabela 11 Apêndice:1)

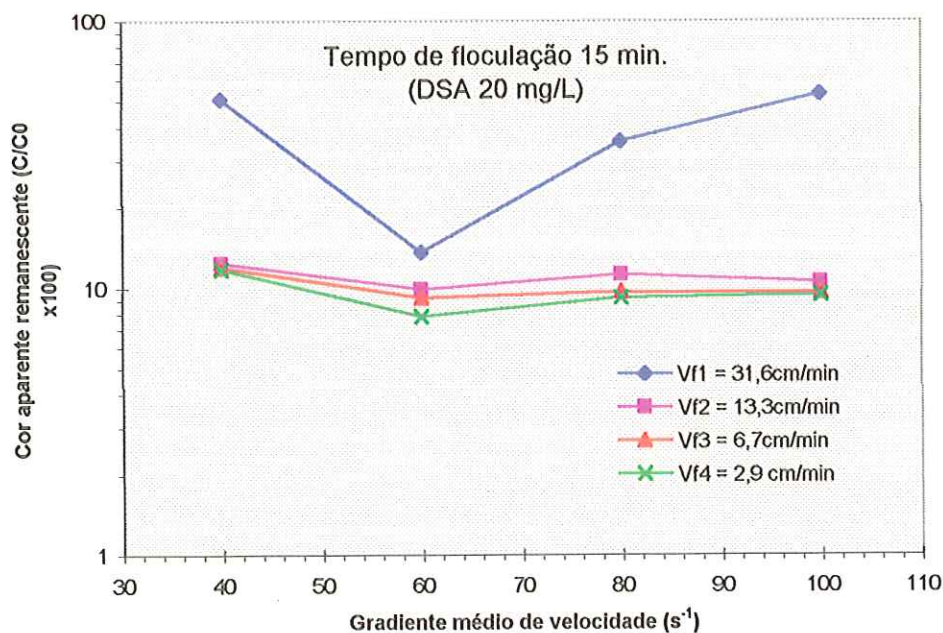


FIGURA 114-Percentual remanescente de cor aparente (C/C0 x 100) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 15 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L e polímero não iônico 0,25 mg/L. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103 ± 6 uC; turbidez: 5,92 ± 0,14 uT, temperatura: 23,4 ± 1,1 °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: 6,35 ± 0,05; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). (Fonte: Tabela 11 Apêndice:1)

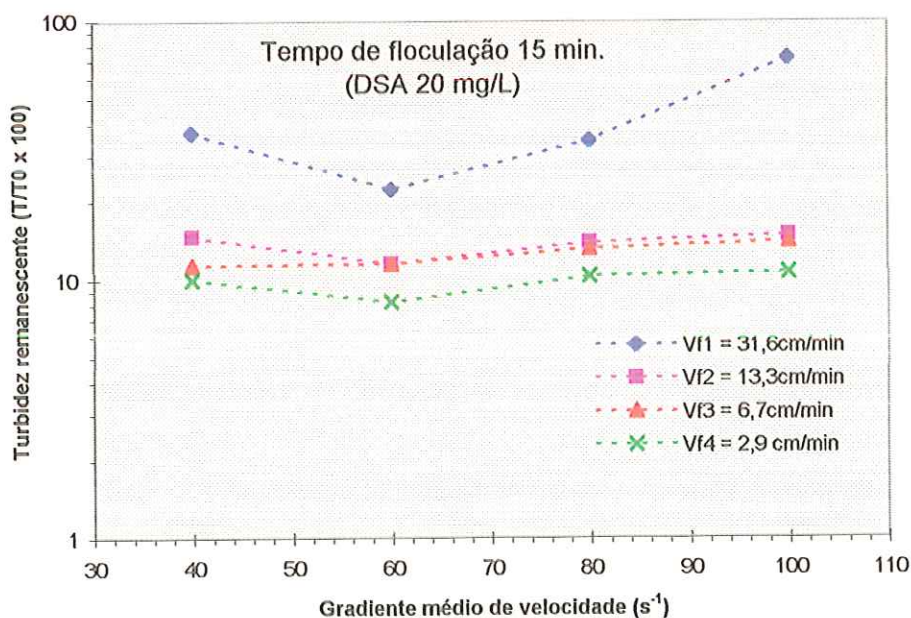


FIGURA 115-Percentual remanescente de turbidez (T/T0 x 100) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 15 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L e polímero não iônico 0,25 mg/L. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103 ± 6 uC; turbidez: 5,92 ± 0,14 uT, temperatura: 23,4 ± 1,1 °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: 6,35 ± 0,05; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). (Fonte: Tabela 11 Apêndice:1)

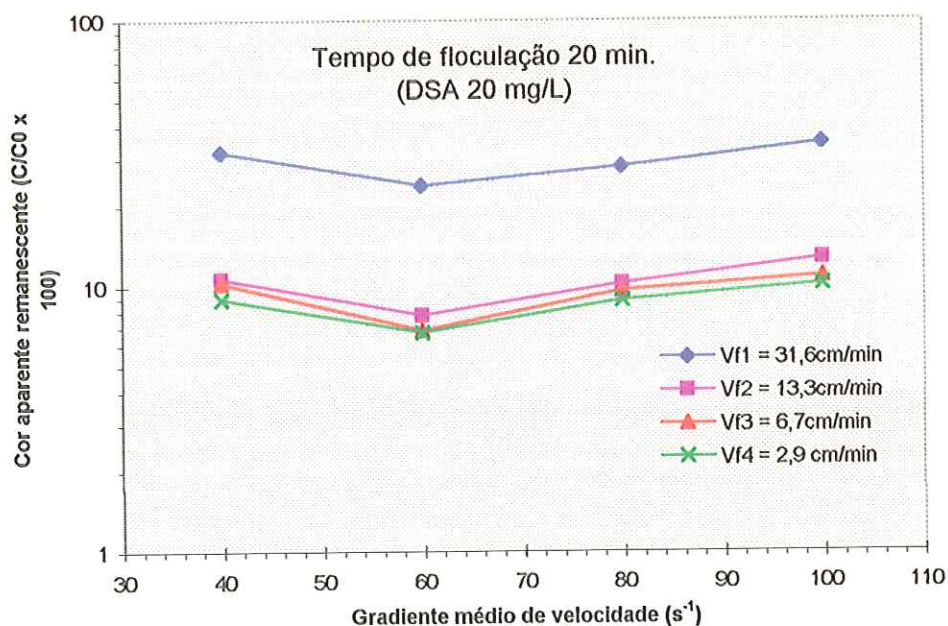


FIGURA 116-Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 20 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L e polímero não iônico 0,25 mg/L. Ensaios realizados com equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103 ± 6 uC; turbidez: $5,92 \pm 0,14$ uT, temperatura: $23,4 \pm 1,1$ °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,35 \pm 0,05$; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). (Fonte: Tabela 11 Apêndice:1)

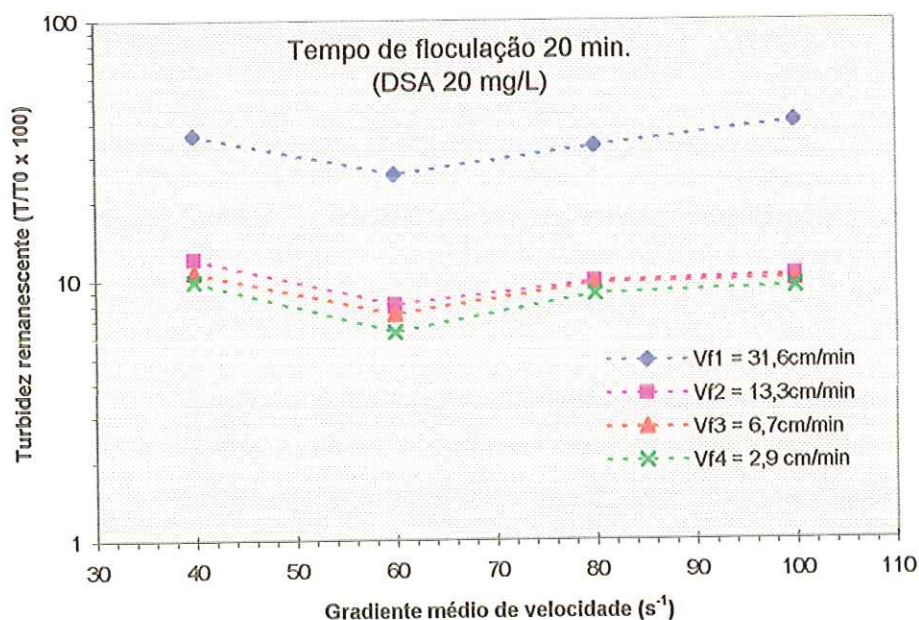


FIGURA 117-Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 20 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L e polímero não iônico 0,25 mg/L. Ensaios realizados com equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103 ± 6 uC; turbidez: $5,92 \pm 0,14$ uT, temperatura: $23,4 \pm 1,1$ °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,35 \pm 0,05$; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). (Fonte: Tabela 11 Apêndice:1)

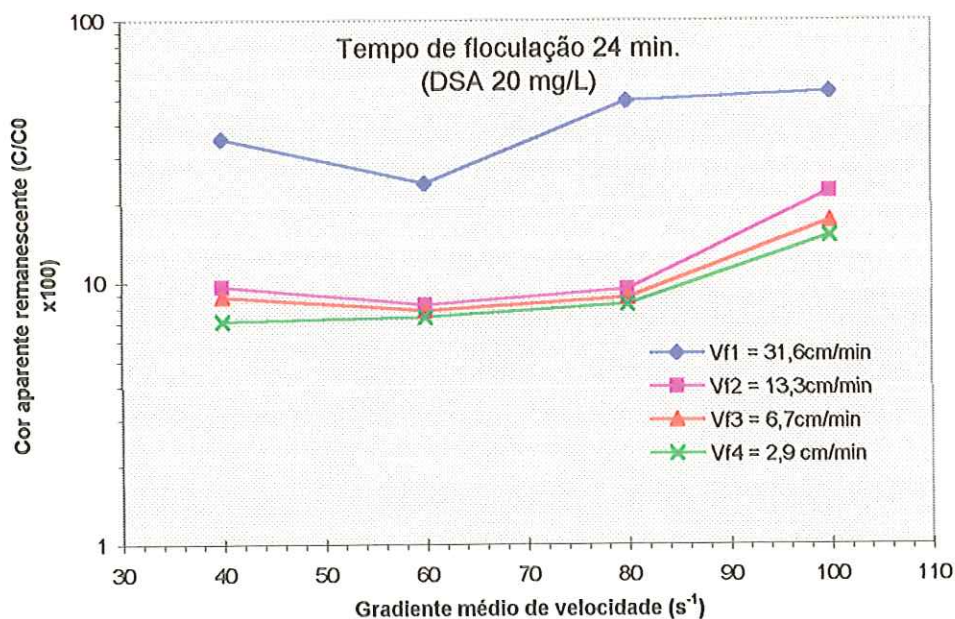


FIGURA 118-Percentual remanescente de cor aparente ($C/C_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 24 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L e polímero não iônico 0,25 mg/L. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103 ± 6 uC; turbidez: $5,92 \pm 0,14$ uT, temperatura: $23,4 \pm 1,1$ °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,35 \pm 0,05$; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). (Fonte: Tabela 11 Apêndice:1)

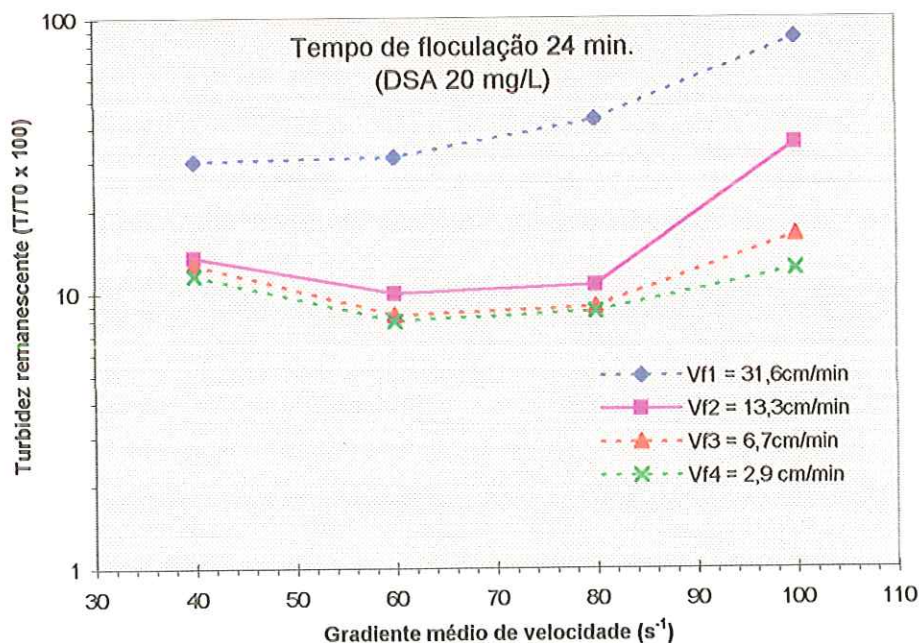


FIGURA 119-Percentual remanescente de turbidez ($T/T_0 \times 100$) em função do gradiente médio de velocidade de floculação para tempo de floculação = 24 min., para dosagem de sulfato de alumínio de 20 mg/L e polímero não iônico 0,25 mg/L. Ensaio realizado com equipamento de flotateste para água bruta com as seguintes características: cor aparente: 103 ± 6 uC; turbidez: $5,92 \pm 0,14$ uT, temperatura: $23,4 \pm 1,1$ °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pH após mistura rápida: $6,35 \pm 0,05$; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume). (Fonte: Tabela 11 Apêndice:1)

5.2- Resultados dos ensaios realizados com a instalação piloto com escoamento contínuo

5.2.1- Considerações iniciais

Com base nos resultados obtidos na primeira etapa de estudo, utilizando-se equipamento de flotateste (alimentação por batelada), foram programados alguns ensaios com a instalação piloto de flotação de alta taxa (com escoamento contínuo). Dessa forma, os ensaios realizados na instalação piloto visaram basicamente constatar a influência na flotação do uso de polímeros sintéticos como auxiliar de floculação para diferentes condições de operação da unidade de flotação de alta taxa, ou seja, diferentes valores de Taxa aplicação superficial aparente (TASap) e diferentes valores de quantidade de ar fornecida ($Sp \cdot p$). As ligeiras variações dos valores de TASap e, conseqüentemente do número de Reynolds, verificados nas diversas carreiras de ensaios, foram devidas às variações na vazão de recirculação pressurizada, impostas com vistas à obtenção de diferentes valores da quantidade de ar fornecida.

Foram realizadas sete carreiras de ensaios com a instalação piloto (de I a VII), cada carreira com três ensaios, onde foi variada a quantidade de ar fornecida, totalizando portanto 21 ensaios.

Os resultados das sete carreiras de ensaios estão apresentados nas Figuras 120 a 126, com valores residuais e de eficiência de remoção (percentual) de cor aparente e turbidez. Nos Quadros 12 a 18, são apresentadas características físico-químicas da água bruta de estudo, da água coagulada, bem como da água após o processo de flotação (amostras compostas). Maiores informações estão contidas no Apêndice 2.

A seguir são apresentados os resultados referentes às diferentes carreiras de ensaio.

5.2.2- Resultados referentes à primeira carreira de operação com a instalação piloto (carreira I)

Nesta etapa, foram mantidos constantes dosagem de sulfato de alumínio (DSA) de 40 mg/L sem aplicação de polímero, TASap de 525 ± 20 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$, Tempo de floculação (T_f) = 20 min, Pressão de saturação (P_{sat}) de 456 ± 10 kPa, variando-se a quantidade de ar fornecida (ensaios 1, 2 e 3). Quanto ao Gradiente médio de velocidade de floculação (G_f), foram testados valores de 70-50-30 s^{-1} (para as 3 câmaras em série respectivamente). Deve-se salientar que os mesmos foram considerados adequados por MARCHETTO (1996). Essa autora realizou trabalho utilizando as mesmas instalações de pesquisa, o mesmo tipo de água bruta preparada, mas com aplicação apenas de coagulante primário (sem aplicação de polímero).

Na Figura 120 a seguir, são apresentados os resultados de cor aparente e turbidez obtidos ao longo desta carreira (carreira I, onde estão contidos os ensaios 1, 2 e 3 realizados com DSA de 40 mg/L e TASap em torno de $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$), e, no Quadro 13, as características físico-químicas da água de estudo e coagulada bem como para as amostras compostas clarificadas.

Observando-se os resultados do ensaio 1 mostrados na Figura 120, referentes à Rey associados ao escoamento entre as placas do flotor de 438 ± 1 e quantidade de ar fornecida de $6,17 \pm 0,14$ g de ar/ m^3 de água, verifica-se que a remoção de cor aparente esteve entre 75 e 80% (residuais entre 17 e 21 uC) e que a remoção de turbidez apresenta-se na faixa de 65 e 73% (residuais entre 1,53 e 2,0 uT). Ainda referente ao ensaio I, no Quadro 12 são apresentados os valores das características físico-químicas da amostra composta clarificada (efluente do flotor). Verifica-se que, para o ensaio I, obtiveram-se 76% de remoção de SST (70,5 de remoção de SSF e 89% de SSV) e residual de alumínio de 0,26 mg/L de Al^{3+} .

Carreira de ensaio I (sem aplicação de polímero)

Variáveis investigadas: Quantidade de ar fornecida (g de ar/ m³ de água)

Variáveis mantidas fixas: DSA= 40 mg/L; Gf (s⁻¹)= 70-50-30; TASapa= 525 m³/m²d; Tf=20 min.

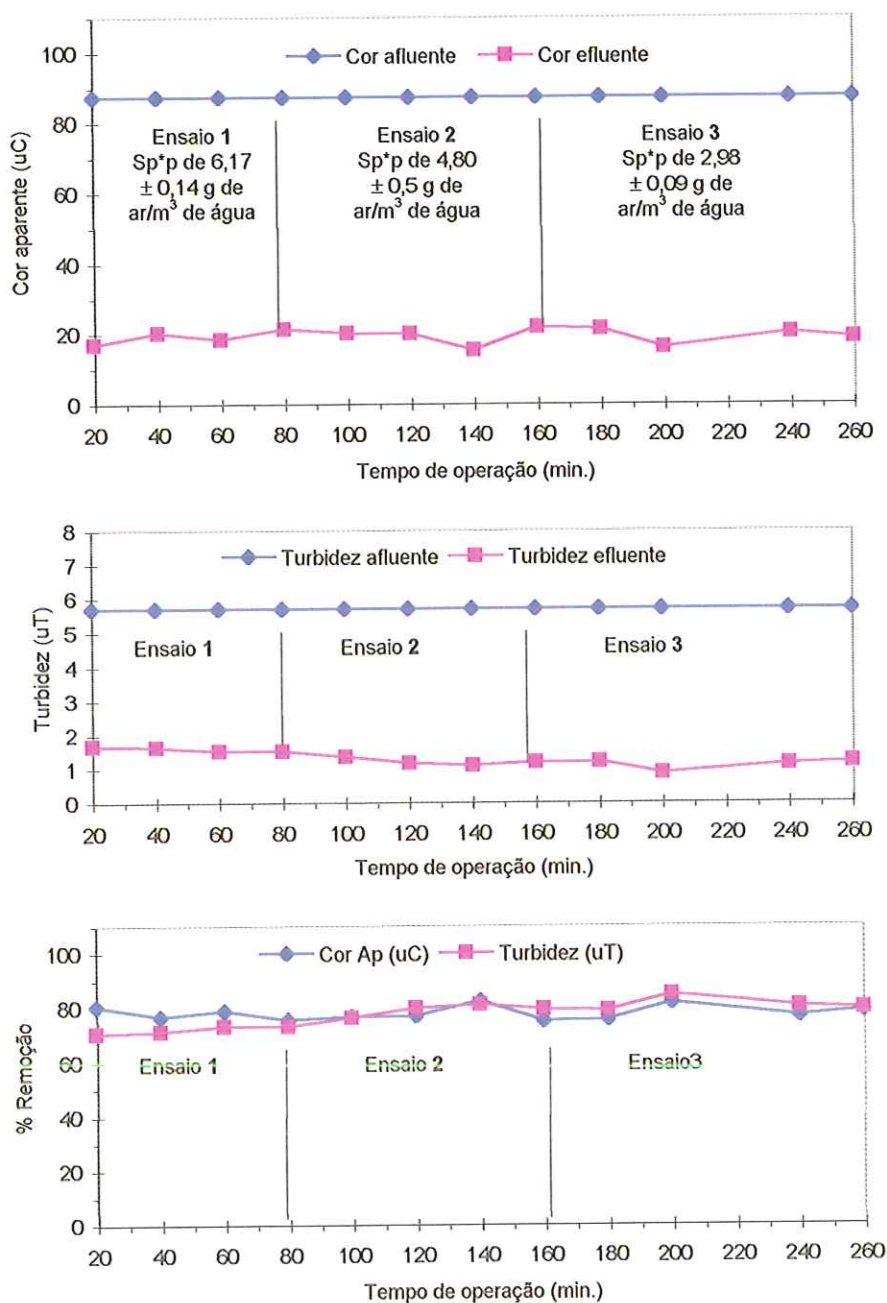


FIGURA 120- Resultados obtidos durante a carreira de ensaio I com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 40 mg/L sem adição de polímero. Características da água de estudo: cor aparente: 87,3 uC e turbidez: 5,67 uT. (Fonte: Tabela 1 Apêndice 2)

QUADRO 12- Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio I, utilizando-se DSA de 40 mg/L, TASapa de 525 m³/m²d, Gf de 70-50-30s⁻¹

a) Característica da água de estudo:

pH = 6,58
 Turbidez (uT) = 5,70
 Cor verdadeira (uC) = 50,30 uC
 Cor aparente (uC) = 87,30 uC
 Alcalinidade (mg/L de CaCO₃) = 8,90

Dureza (mg de CaCO₃) = 17,17
 Condutividade = 52,60 µs/cm

b) Característica da água coagulada:

SST = 27,60 mg/L
 SSF = 19,00 mg/L
 SSV = 8,6 mg/L
 Pz (mV) = +15,00

c) Resultados obtidos para as amostras compostas clarificadas

Propriedades	Ensaio 1 (Sp*p de 6,17 ±0,14 g de ar/m ³ de água)		Ensaio 2 (Sp*p de 4,80 ±0,5 g de ar/m ³ de água)		Ensaio 3 (Sp*p de 2,98 ±0,09 g de ar/m ³ de água)	
	Valor	% remoção	Valor	% remoção	Valor	% remoção
pH	6,38	-	6,40	-	6,28	-
Turbidez (uT)	1,40	75	1,17	79	1,00	82
Cor verdadeira (uC)	10,3	79	8,90	82	10,7	79
Cor aparente (uC)	21,8	75	16,0	82	17,8	80
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	18,2	4	17,5	7	19,0	-
Condutividade	66,0	-	63,5	-	63,0	-
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	18,0	-	15,1	12	16,8	3
Residual de Alumínio (mg/L de Al ³⁺)	0,26	-	0,21	-	0,29	-
SST (mg/L)	6,50	76	6,40	77	6,60	76
SSF (mg/L)	5,60	70	5,30	72	4,60	76
SSV (mg/L)	0,90	89	1,10	87	2,00	77

Em relação aos resultados do ensaio 2, apresentados na Figura 120, referentes a Reynolds de 432 ± 1 e quantidade de ar fornecida de 4,80 ± 0,5 g de ar/ m³ de água, observa-se a remoção de cor aparente entre 75 e 82%

(residuais entre 15 e 22 uC) e a remoção de turbidez na faixa de 76 e 81% (residuais entre 1,09 e 1,35 uT).

Observando-se o Quadro 12, onde estão contidos os resultados das características físico-químicas da água composta clarificada, verifica-se que para o ensaio 2 obtiveram-se 77% de remoção de SST (72% de remoção de SSF e 87% de remoção de SSV) e residual de alumínio de 0,21 mg/L de Al^{3+} .

Quanto aos resultados do ensaio 3, apresentados na Figura 120, referentes à Rey de 422 ± 1 e à quantidade de ar fornecida de $2,98 \pm 0,09$ g de ar/ m^3 de água, verifica-se que a remoção de cor aparente esteve entre 75 e 82% (residuais entre 16 e 21 uC) e a remoção de turbidez esteve na faixa de 79 a 85% (residuais entre 0,87 e 1,21 uT). Ao observar-se o Quadro 12, nota-se que no ensaio 3 as remoções de SST e SSF foram de 76% e a remoção de SSV foi de 77%. O valor de residual de alumínio encontrado foi de 0,29 mg/L de Al^{3+} .

Comparando-se os três ensaios da carreira I (ensaios 1, 2 e 3), realizados com DSA de 40 mg/L e TASap de $525 m^3/m^2d$, e analisando-se Quadro 13, verifica-se que, no que se refere à remoção de sólidos suspensos os três ensaios, apresentaram eficiência bastante próximas entre si (de 76,1 a 76,8%). Em relação à remoção de cor aparente, vê-se que os ensaios 2 e 3 (Sp^*p de $4,80 \pm 0,5$ g de ar/ m^3 de água e Sp^*p de $2,98 \pm 0,09$ g de ar/ m^3 de água respectivamente) apresentaram resultados parecidos (entre 80 e 82%) melhores que o ensaio 1 (75% e Sp^*p de $6,17 \pm 0,14$ g de ar/ m^3 de água). Quanto à remoção de turbidez, os ensaios 2 e 3 apresentaram resultados próximos (79 e 82%) e ligeiramente superiores ao ensaio 1 (75%). Os valores de residuais de alumínio situaram-se na faixa de 0,21 a 0,29 mg/L de Al^{3+} , e o ensaio 2 apresentou o menor valor (0,21 mg/L de Al^{3+}). Ainda comparando-se os três ensaios e analisando-se a Figura 120, observa-se que, ao diminuir a quantidade de ar fornecida de $6,17 \pm 0,4$ g de ar/ m^3 de água para $2,98 \pm 0,09$ g de ar/ m^3 de água, a remoção média de cor aparente permaneceu constante (78%). Já para a , turbidez à medida

que diminuiu a quantidade de ar fornecida, a eficiência média de remoção de turbidez aumentou (de 70 para 81%).

Portanto, para a primeira carreira de ensaios, verifica-se que o valor de quantidade de ar (Sp^*p) de $4,80 \pm 0,05$ g de ar/ m^3 de água (ensaio 2), apresentou-se como mais adequado para a TASap em torno de $525 m^3/m^2d$ aplicado no flotador, embora os valores de Sp^*p de $2,98 \pm 0,09$ g de ar/ m^3 de água e de $6,17 \pm 0,14$ g de ar/ m^3 de água tenham apresentado resultados bastante próximos aos do ensaio 2.

5.2.3- Resultados referentes à segunda carreira de operação com a instalação piloto (carreira 2)

Na segunda carreira de ensaios, foram mantidos fixos os mesmos parâmetros mencionados no item 5.2.2, com exceção da TASap, cujo valor diminuiu para $262 m^3/m^2d$, variando-se a quantidade de ar fornecida (ensaios 4, 5 e 6).

Na Figura 121 são apresentados os resultados de cor aparente e turbidez obtidos ao longo desta carreira (carreira II, referentes aos ensaios 4, 5 e 6), e no Quadro 13 são apresentados as características físico-químicas das amostras compostas clarificadas bem como da água bruta e água coagulada .

Observando-se os resultados do ensaio 4 apresentados na Figura 121, referentes à quantidade de ar fornecida de $6,60 \pm 0,04$ g de ar/ m^3 de água e Rey de 219 ± 1 , verifica-se que a remoção de cor aparente esteve entre 79 e 82% (residuais entre 16 e 18,7 uC) e a remoção de turbidez, na faixa de 82 e 84% (residuais entre 0,93 e 1,0 uT). No Quadro 13, onde são apresentados os valores das características físico-químicas da amostra composta clarificada, verifica-se que, para o ensaio 4, as remoções de SST e SSF foram de 83% para ambos os casos e 82% para SSV. O valor obtido para o residual de alumínio foi de 0,24 mg/L de Al^{3+} .

Carreira de ensaio II (sem aplicação de polímero)

Variáveis investigadas: Quantidade de ar fornecida (g de ar/ m³ de água)

Variáveis mantidas fixas: DSA= 40 mg/L; Gf (s⁻¹)= 70-50-30; TASapa= 262 m³/m²d; Tf=20 min.

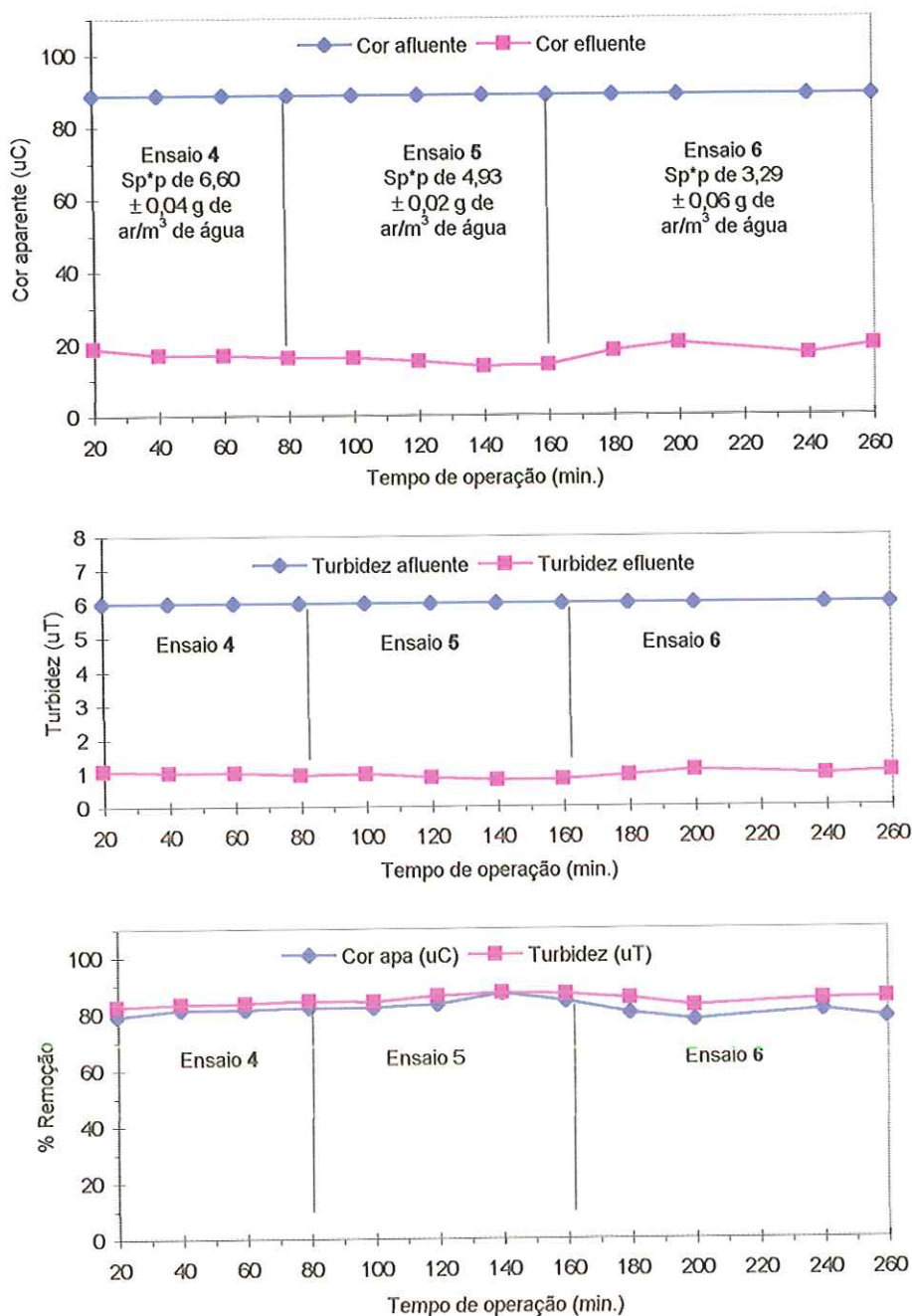


FIGURA 121- Resultados obtidos durante a carreira de ensaio II com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 40 mg/L sem adição de polímero. Característica da água bruta: cor aparente: 88,7 uC e turbidez: 6,0 uT. (Fonte: Tabela 2 Apêndice 2)

QUADRO 13- Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio II, utilizando-se DSA de 40 mg/l, TASapa de 262 m³/m²d e Gf de 70-50-30s⁻¹

a) Característica da água de estudo:

pH = 6,50	Condutividade = 48,30
Turbidez (uT) = 6,00	SST (mg/L) = 3,10
Cor verdadeira (uC) = 50,40	SSF (mg/L) = 2,60
Cor aparente (uC) = 88,70	SSV (mg/L) = 0,5 0
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃) = 21,80	
Dureza (mg/L CaCO ₃) = 15,15	

b) Característica da água coagulada:

SST (mg/L) = 31,60
SSF (mg/L) = 23,60
SSV (mg/L) = 8,00
Pz (mV) = +14,30

c) Resultados obtidos para as amostras compostas clarificadas:

Propriedades	Ensaio 4 (Sp*p de 6,60 ±0,04 g de ar/m ³ de água		Ensaio 5 (Sp*p de 4,93 ±0,02 g de ar/m ³ de água		Ensaio 6 (Sp*p de 3,29 ±0,06 g de ar/m ³ de água	
	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção
pH	6,50	-	6,51	-	6,50	-
Turbidez (uT)	0,87	85	0,80	87	0,90	85
Cor verdadeira (uC)	8,57	72	7,80	74	8,31	73
Cor aparente (uC)	15,1	83	14,2	84	15,1	83
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	18,9	13	16,8	23	14,7	33
Condutividade	74,7	-	70,8	-	67,9	-
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	21,0	-	20,2	-	20,4	-
Residual de Alumínio (mg/L de Al ³⁺)	0,24	-	0,18	-	0,23	-
SST (mg/L)	5,40	83	5,60	82	5,82	82
SSF (mg/L)	4,00	83	4,20	82	3,94	83
SSV (mg/L)	1,40	82	1,40	82	1,88	76

Quanto aos resultados do ensaio 5 apresentados na Figura 120, concernentes à quantidade de ar fornecida de 4,93 ± 0,02 g de ar/ m³ de



água e Rey em torno de 219, observa-se remoção de cor aparente na faixa de 82 e 87% (residuais entre 11,6 e 16 uC) e a remoção de turbidez entre 84 e 87% (residuais entre 0,77 e 0,96 uT). Observando-se o Quadro 13, verifica-se que, para o ensaio 5, houve remoção de 82% de sólidos suspensos (SST,SSF e SSV) e residual de alumínio de 0,18 mg/L de Al^{3+} .

Com relação ao ensaio 6 apresentado na Figura 121, referentes à quantidade de ar fornecida de $3,29 \pm 0,06$ g de ar/ m^3 de água e Rey em torno de 211, verifica-se remoção de cor aparente entre 77 e 81% (residuais entre 17 e 20 uC) e a remoção de turbidez na faixa de 82 e 85% (residuais entre 0,90 e 1,06 uT). Ainda referente ao ensaio 6 e observando-se o Quadro 13, nota-se a remoção de 82% de SST (83% de remoção de SSF e 76% de SSV) e valor de residual de alumínio de 0,23 mg/L de Al^{3+} .

Em geral, comparando-se os três ensaios (ensaios 4, 5 e 6) da segunda carreira com TASap de $262 m^3/m^2d$ (Quadro 13), verifica-se que, no que se refere a remoção de SST, os três ensaios apresentaram remoções bastante próximas (82% para os ensaios 5 e 6, e 83% para o ensaio 4). Quanto à remoção de cor aparente, observa-se que os ensaios 4 e 6 (Sp*p de $6,60 \pm 0,04$ g de ar/ m^3 de água e Sp*p de $3,29 \pm 0,06$ g de ar/ m^3 de água) apresentaram a mesma eficiência de remoção (83%), e que o ensaio 5 (Sp*p de $4,93 \pm 0,02$ g de ar/ m^3 de água) apresentou eficiência de remoção apenas ligeiramente superior (84%). Quanto a remoção de turbidez, os ensaio 4 e 6 apresentaram eficiências de remoção de 85%, enquanto o ensaio 5 apresentou remoção de 87%. Os valores de residuais de alumínio situaram-se entre 0,18 e 0,24 mg/L de Al^{3+} , ficando o ensaio 5 com o menor valor (0,18 mg/L de Al^{3+}).

Portanto, para a segunda carreira de ensaios, constata-se que a quantidade de ar fornecida de $4,93 \pm 0,02$ g de ar/ m^3 de água apresentou-se como mais adequada para TASap em torno de $262 m^3/m^2d$ utilizando-se DSA de 40 mg/L.

5.2.4- Comparação entre os resultados obtidos nas carreiras I e II (DSA de 40 mg/L sem adição de polímero)

Comparando-se a carreira de ensaio I e TASap de $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ com a carreira de ensaio II e TASap de $262 \pm 10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (Quadros 12 e 13), verifica-se que, a quantidade de ar fornecida, esteve em torno de 4,80 g de ar/ m^3 de água para as duas carreiras de ensaio estudadas. A carreira de ensaio II apresentou eficiência de remoção de cor aparente, turbidez, SST (84, 87,82% respectivamente) superior à carreira de ensaio I com TASap em torno de $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (82, 79 e 77% respectivamente). Em relação ao valor de residual de alumínio, a carreira de ensaio II apresentou menor valor (0,18 mg/L de Al^{3+}) em relação à carreira de ensaio I (0,21 mg/L de Al^{3+}).

Portanto, para DSA de 40 mg/L sem adição de polímeros, constata-se que a TASap em torno de $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e quantidade de ar fornecida em torno de 4,80 g de ar/ m^3 de água apresentou melhores resultados, embora a aplicação de valor elevado de TASap ($525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) também tenha resultado em desempenho bastante próximo àquele do ensaio efetuado com taxa de $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. Estes valores estão de acordo com aqueles apresentados no trabalho de MARCHETTO (1996), em que a autora comenta que o melhor desempenho obtido na unidade de flotação contendo placas inclinadas a 60° foi para TASap de $268 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e quantidade de ar requerida em torno de 4,0 g de ar/ m^3 de água, para o mesmo tipo de água bruta preparada e mesmas instalações de pesquisa.

5.2.5- Resultados referentes à terceira carreira de operação com a instalação piloto (carreira III)

Nesta carreira de ensaio, foram mantidos fixos DSA de 20 mg/L, $T_f = 20 \text{ min}$, $G_f = 70-50-30 \text{ s}^{-1}$ (nas três câmaras em série), $P_{\text{sat}} = 456 \pm 10 \text{ kPa}$, 0,25 mg/L de polímero não iônico (0,05%), TASapa de $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, variando-se a quantidade de ar fornecida (ensaios 7, 8 e 9).

Na Figura 122, encontram-se os resultados referentes à cor aparente e turbidez obtidos ao longo da terceira carreira (onde se apresentam os ensaios 7, 8 e 9) e no Quadro 14 estão apresentados as características físico-químicas das amostras compostas clarificadas, da água bruta e água coagulada.

Observando-se os resultados do ensaio 7 mostrados na Figura 122, concernentes à quantidade de ar fornecida de $6,76 \pm 0,06$ g de ar/ m³ de água e Rey de 440 ± 1 , verifica-se que a remoção de cor aparente esteve entre 61 e 65% (residuais entre 30,3 e 33,4 uC) e que a remoção de turbidez esteve entre 54 e 57% (residuais entre 2,20 e 2,35 uT). Observando-se o Quadro 14, vê-se que para o ensaio 7 obtiveram-se 77% de remoção de SST (75% de remoção de SSF e 80% de SSV) e residual de alumínio de 0,24 mg/L de Al³⁺.

Com relação aos resultados obtidos para o ensaio 8 apresentado na Figura 122 (quantidade de ar fornecida de $5,00 \pm 0,16$ g de ar/ m³ de água e Rey de 431 ± 1), nota-se que a remoção de cor aparente esteve entre 65 e 73% (residuais entre 23,4 e 30,0 uC) e, a remoção de turbidez entre 58 e 72% (residuais entre 1,41 e 2,10 uT). Observando-se o Quadro 14, verifica-se que, para o ensaio 8, a remoção de sólidos suspensos foi de 78% (remoção de SST, SSF e SSV) e o residual de alumínio de 0,23 mg/L de Al³⁺.

Para os resultados do ensaio 9 apresentados na Figura 122, referentes à quantidade de ar fornecida de $3,29 \pm 0,08$ g de ar/ m³ de água, verifica-se que a remoção de cor aparente esteve entre 72 e 76% (residuais entre 20,7 e 24,5 uC) e a remoção de turbidez esteve, faixa de 63 e 78% (residuais entre 1,37 e 1,90 uT).

Carreira de ensaio III (com aplicação de polímero não iônico)

Variáveis investigadas: Quantidade de ar fornecida (g de ar/ m³ de água)

Variáveis mantidas fixas: DSA= 20 mg/L; Gf (s⁻¹)= 70-50-30; TASapa= 525 m³/m²d; Tf=20 min.; 0,25 mg/L de polímero não iônico

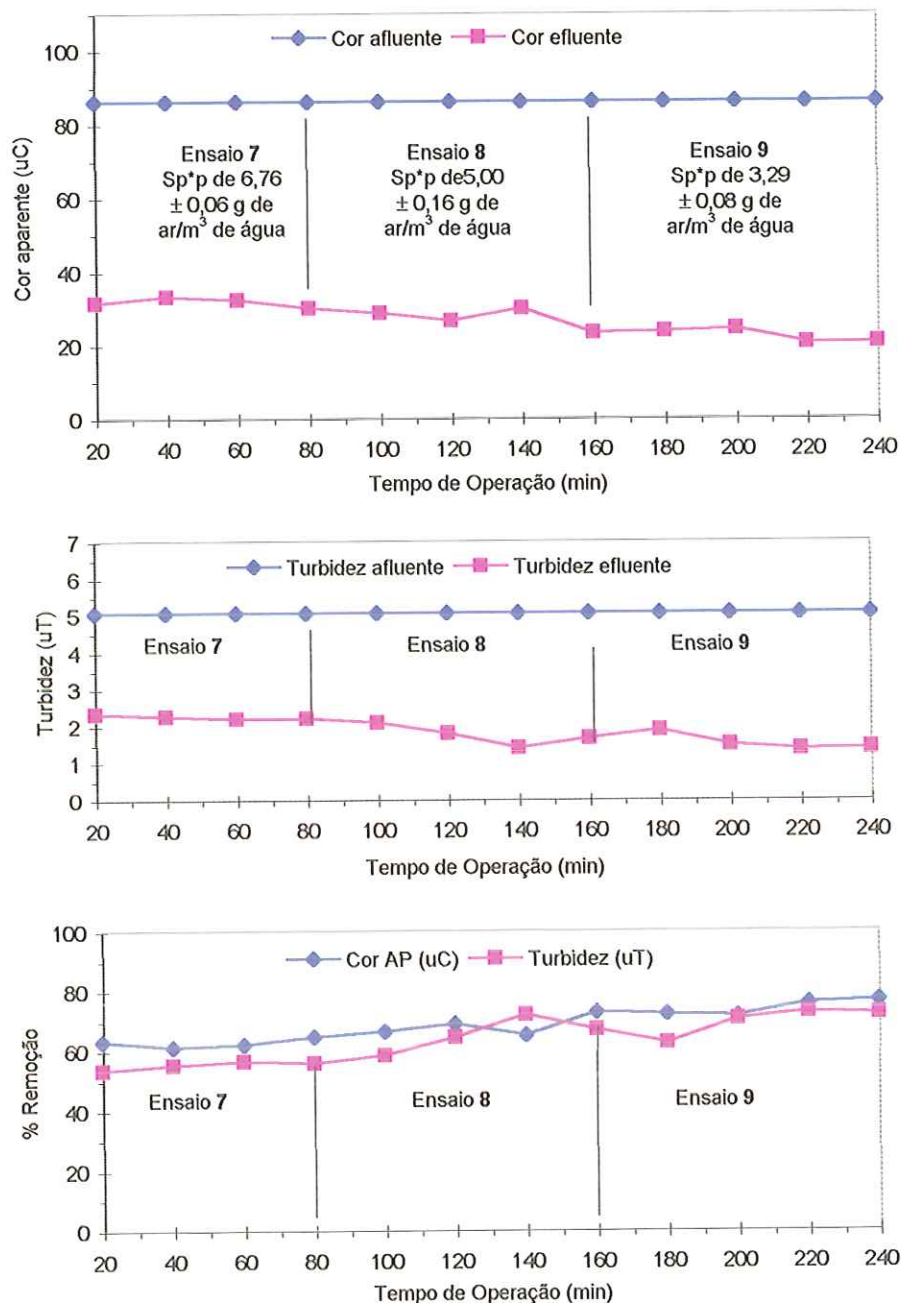


FIGURA 122- Resultados obtidos durante a carreira de ensaio III da instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 20 mg/L com 0,25mg/L de polímero não iônico Característica da água bruta: cor aparente: 86,2 uC e turbidez: 5,7 uT. (Fonte: Tabela 3 Apêndice 2)

QUADRO 14- Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio III, utilizando-se DSA de 20 mg/l, TASapa de 525 m³/m²d e Gf de 70-50-30s⁻¹

a) Característica da água de estudo:

pH = 6,34	Dureza (mg/L CaCO ₃) = 13,13
Turbidez (uT) = 5,07	Condutividade = 43,40
Cor verdadeira (uC) = 50,00	SST (mg/L) = 1,20
Cor aparente (uC) = 86,21.	SSF (mg/L) = 0,60
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃) = 21,42	SSV (mg/L) = 0,60

b) Característica da água coagulada:

SST (mg/L) = 17,55
 SSF (mg/L) = 9,14
 SSV (mg/L) = 8,41
 Pz (mV) = + 3,7 (antes da adição do polímero não iônico)

c) Resultados obtidos para as amostras compostas clarificadas:

Propriedades	Ensaio 7 (Sp*p de 6,76 ±0,06 g de ar/m ³ de água		Ensaio 8 (Sp*p de 5,0 ±0,16 g de ar/m ³ de água		Ensaio 9 (Sp*p de 3,29 ±0,08 g de ar/m ³ de água	
	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção
pH	6,33	-	6,41	-	6,40	-
Turbidez (uT)	2,20	57	1,76	65	1,40	72
Cor verdadeira (uC)	14,3	71	12,6	75	11,3	77
Cor aparente (uC)	32,1	63	26,7	69	20,7	76
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	16,8	21	15,7	26	12,6	41
Condutividade	56,8	-	54,8	-	54,9	-
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	11,1	15	10,1	23	12,1	8
Residual de Alumínio (mg/L de Al ³⁺)	0,24	-	0,23	-	0,21	-
SST (mg/L)	4,00	77	3,86	78	2,86	84
SSF (mg/L)	2,30	75	2,00	78	1,43	92
SSV (mg/L)	1,70	80	1,86	78	1,43	83

Ainda em relação ao ensaio 9, observando-se o Quadro 14, verifica-se que a remoção de SST foi de 84% (92% de remoção de SSF e 83% de SSV) e o residual de alumínio, de 0,21 mg/L de Al^{3+} .

Ao comparar os três ensaios da terceira carreira (ensaios 7, 8 e 9), realizados com 0,25 mg/L de polímero não iônico e TASap em torno de 525 m^3/m^2d (quadro 15), verifica-se que, as remoções de SST, nos ensaios 7 e 8 (Sp*p de $6,76 \pm 0,06$ g de ar/ m^3 de água e Sp*p de $5,00 \pm 0,16$ g de ar/ m^3 de água respectivamente) foram bem próximas (77 e 78%) e superior no ensaio 9 (Sp*p de $3,29 \pm 0,08$ g de ar/ m^3 de água), que proporcionou remoção de 84% de SST. Quanto à remoção de cor aparente, observa-se que no ensaio 9 ela foi superior (76%) em relação aos ensaios 7 e 8 (63 e 69%). Em relação à turbidez, os valores de eficiência de remoção estiveram na faixa de 57 e 72%, sendo o ensaio 9 o que apresentou a maior remoção (72%). Os valores de residuais de alumínio para os três ensaios estiveram em torno de 0,23 mg/L de Al^{3+} . Ainda comparando-se os três ensaios, verifica-se que, ao diminuir a quantidade de ar fornecida de $6,76 \pm 0,06$ g de ar/ m^3 de água, para $3,29 \pm 0,08$ g de ar/ m^3 de água, houve melhora na eficiência de remoção de cor aparente, turbidez e SST.

Portanto, para a terceira carreira de ensaios, nota-se que a quantidade de ar fornecida de $3,29 \pm 0,08$ g de ar/ m^3 de água (ensaio 9), apresentou-se como a mais adequada para a TASapa de 525 m^3/m^2d com DSA de 20 mg/L e 0,25 mg/L de polímero não iônico.

5.2.6- Resultados referentes à quarta carreira de ensaios com a instalação piloto (carreira IV)

Com exceção da TASap de 262 m^3/m^2d , os mesmos parâmetros fixos mencionados no item 6.1.4, foram mantidos constantes, variando-se a quantidade de ar fornecida (ensaios 10, 11 e 12). Na Figura 123, encontram-se os resultados de cor aparente e turbidez obtidos ao longo desta carreira de ensaios (ensaios 10, 11 e 12) e, no Quadro 15, os

resultados físico-químicos das amostras compostas clarificadas, da água de estudo e água coagulada. Observando-se os resultados do ensaio 10 apresentados na Figura 122, referentes à quantidade de ar fornecida de $6,42 \pm 0,05$ g de ar/ m³ de água e Rey em torno de 217, verifica-se que a remoção de cor aparente esteve entre 71 e 81% (residuais entre 20 e 30 uC) e que a remoção de turbidez apresentou-se na faixa entre 77 e 81% (residuais entre 1,29 e 1,60 uT). Ao analisar-se o Quadro 15, onde estão apresentadas as principais características físico-químicas da amostra composta clarificada, verifica-se que para o ensaio 10, a remoção de SST foi de 74% (88% de remoção de SSF e 43% de SSV), tendo apresentado residual de alumínio de 0,21 mg/L de Al³⁺.

Em relação aos resultados do ensaio 11, apresentados na Figura 123, referentes à quantidade de ar fornecida de $4,90 \pm 0,09$ g de ar/ m³ de água e Rey de 213 ± 1 , vê-se que a remoção de cor aparente esteve na faixa de 74 e 78% (residuais entre 22,9 e 26,7 uC) e a remoção de turbidez entre 71 e 80% (residuais entre 1,40 e 2,00 uT). Analisando-se o Quadro 15, observa-se que, para o ensaio 11, a remoção de SST foi de 76% (79% de remoção de SSF e 67% de SSV) e o valor de residual de alumínio encontrado foi de 0,20 mg/L de Al³⁺.

Quanto ao ensaio 12, apresentado na Figura 123, concernentes à quantidade de ar fornecida de $3,20 \pm 0,15$ g de ar/ m³ de água e Rey de 209 ± 1 , verifica-se que a remoção de cor aparente esteve entre 73 e 82% (residuais entre 18,5 e 26,5 uC) e que a remoção de turbidez esteve na faixa de 73 e 80% (residuais entre 1,40 e 1,90 uT). Ainda para o ensaio 12 e observando-se o Quadro 15, nota-se que foram obtidos 78% de remoção de SST (81% de remoção de SSF e 74% de SSV), com residual de alumínio de 0,18 mg/L de Al³⁺.

Carreira de ensaio IV (com aplicação de polímero não iônico)

Variáveis investigadas: Quantidade de ar fornecida (g de ar/ m³ de água)

Variáveis mantidas fixas: DSA= 20 mg/L; Gf (s⁻¹)= 70-50-30; TASapa= 262 m³/m²d; Tf=20 min.; 0,25 mg/L de polímero não iônico

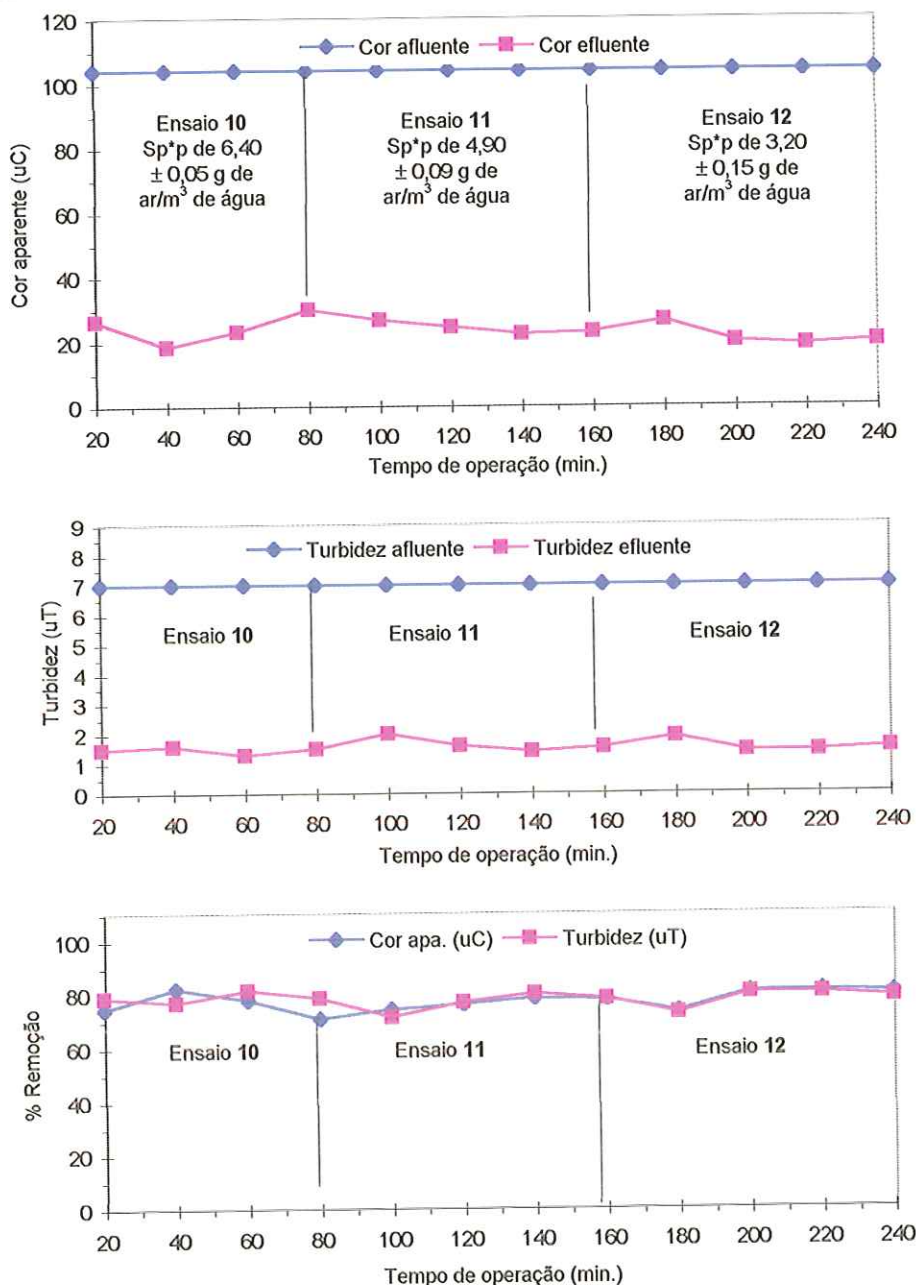


FIGURA 123- Resultados obtidos durante a carreira de ensaio IV com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 20 mg/L com 0,25mg/L de polímero não iônico Característica da água bruta: cor aparente: 104,0 uC e turbidez: 7,0 uT. (Fonte: Tabela 4 Apêndice 2)

QUADRO 15- Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio IV, utilizando-se DSA de 20 mg/l, TASapa de 262 m³/m²d e Gf de 70-50-30s⁻¹

a) Característica da água de estudo:

pH = 6,37	Dureza (mg/L CaCO ₃) = 25,25
Turbidez (uT) = 7,00	Condutividade = 36,80
Cor verdadeira (uC) = 48,63	SST (mg/L) = 3,00
Cor aparente (uC) = 104,00	SSF (mg/L) = 1,80
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃) = 21,34	SSV (mg/L) = 1,20

b) Característica da água coagulada:

SST (mg/L) = 14,00
SSF (mg/L) = 9,70
SSV (mg/L) = 4,30
Pz (mV) = + 5,40

c) Resultados obtidos para as amostras compostas clarificadas:

Propriedades	Ensaio 10 (Sp*p de 6,40 ±0,05 g de ar/m ³ de água		Ensaio 11 (Sp*p de 4,90 ±0,09 g de ar/m ³ de água		Ensaio 12 (Sp*p de 3,20 ±0,15 g de ar/m ³ de água	
	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção
pH	6,48	-	6,51	-	6,50	-
Turbidez (uT)	2,00	71	1,75	75	1,23	82
Cor verdadeira (uC)						
Cor aparente (uC)	20,5	80	19,9	81	18,6	82
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	20,2	5	14,7	30	15,5	27
Condutividade	55,9	-	55,7	-	55,3	-
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	18,2	28	17,2	32	15,1	59
Residual de Alumínio (mg/L de Al ³⁺)	0,21	-	0,20	-	0,18	-
SST (mg/L)	3,60	74	3,40	76	3,00	79
SSF (mg/L)	1,14	88	2,00	79	1,87	81
SSV (mg/L)	2,46	43	1,40	67	1,13	74

Comparando-se os três ensaios da quarta carreira (ensaios 10, 11 e 12), que foram realizados com TASapa de $262 \pm 10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e adicionando-se $0,25 \text{ mg/L}$ de polímero não iônico (Quadro 15), observa-se que, considerando-se a remoção de SST, os três ensaios apresentaram eficiências próximas entre si (de 74 e 78%), e o ensaio 12 obteve melhor eficiência de remoção (78%). Quanto à remoção de cor aparente o ensaio 12 (Sp^*p de $3,20 \pm 0,15 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$) apresentou remoção ligeiramente superior (82%) em relação aos ensaios 10 e 11 (Sp^*p de $6,40 \pm 0,05 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$ e Sp^*p de $4,90 \pm 0,09 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$ respectivamente) que apresentaram remoções de 80 e 81%. Em relação à remoção de turbidez os ensaios 10 e 11 apresentaram resultados próximos entre si (71 e 75% respectivamente) e o ensaio 12 foi o que apresentou maior eficiência de remoção (82%). Os valores de residuais de alumínio situaram-se entre $0,18$ e $0,21 \text{ mg/L de Al}^{3+}$, sendo o ensaio 12 o que apresentou o menor valor ($0,18 \text{ mg/L de Al}^{3+}$). Ainda comparando os três ensaios e observando-se a Figura 123, verifica-se que com a diminuição da quantidade de ar fornecida de $6,40 \pm 0,05 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$ para $3,20 \pm 0,15 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$, houve aumento no valor médio de eficiência de remoção de cor aparente (de 76 para 79%).

Portanto, para a quarta carreira de ensaios, utilizando-se TASapa em torno de $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e DSA de 20 mg/L com $0,25 \text{ mg/L}$ de polímero não iônico, verificou-se que a quantidade de ar de $3,20 \pm 0,15 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$ apresentou-se como a mais adequada.

5.2.7- Comparação entre os resultados obtidos nas etapas III e IV (DSA de 20 mg/L com adição de $0,25 \text{ mg/L}$ de polímero não iônico)

Comparando-se as carreiras de ensaios III e IV (Quadros 14 e 15), verifica-se que o valor da quantidade de ar fornecida mais adequada esteve em torno de $3,20 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$, tanto para DSA de 20 mg/L com TASap de $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (carreira III), quanto para DSA de 20 mg/L com

TASap em torno de $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. Em relação às eficiências de remoção de cor aparente e turbidez, a carreira IV (ensaio 12) apresentou resultados superiores (82%). Já para a remoção de SST a carreira III com TASap em torno de $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (ensaio 9) obteve resultados de 84% superior à carreira IV com TASap em torno de $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (78%). Ao considerar-se o valor de residual de alumínio, a carreira IV obteve valor de $0,18 \text{ mg/L}$ de Al^{3+} , menor que o valor da carreira III ($0,21 \text{ mg/L}$ de Al^{3+}).

Portanto, de maneira geral, para DSA de 20 mg/L com $0,25 \text{ mg/L}$ de polímero não iônico, os valores de TASap entre $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ com quantidade de ar fornecida em torno de $3,20 \text{ g}$ de ar/ m^3 de água (ensaios 9 e 12), apresentaram resultados bastante próximos entre si.

5.2.8- Resultados referentes à quinta carreira de ensaio com a instalação piloto (carreira V)

Nesta carreira de ensaios mantiveram-se fixa a DSA de 12 mg/L , TASap de $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, $Gf = 70-50-30 \text{ s}^{-1}$ (nas três câmaras de floculação em série), $Psat = 456 \pm 10 \text{ kPa}$, $Tf = 20 \text{ min}$ e $0,25 \text{ mg/L}$ de polímero catiônico (0,05%), variando-se a quantidade de ar fornecida (ensaios 13, 14 e 15). Na Figura 124 encontram-se os resultados de cor aparente e turbidez obtidos ao longo da carreira V (estão contidos nesta carreira os ensaios 13, 14 e 15) e, no Quadro 16, são apresentados os resultados físico-químicos obtidos para as amostras compostas clarificadas, bem como para a água bruta e água coagulada.

Observando-se os resultados do ensaio 13 apresentado na Figura 124, referentes à quantidade de ar fornecida de $6,54 \pm 0,10 \text{ g}$ de ar/ m^3 de água e Rey de 440 ± 1 , verifica-se que a remoção de cor aparente esteve entre 44 e 59% (residuais entre 35,4 e 48,3 uC) e que a turbidez esteve na faixa de 22 a 51% (residuais entre 2,65 e 4,20 uT). No Quadro 16, onde estão apresentadas as características físico-químicas da amostra composta clarificada, nota-se que, para o ensaio 13, a remoção de SST foi de 55%

(61% de remoção de SSF e 45% de SSV), e o valor de residual de alumínio foi de 0,19 mg/L de Al^{3+} .

Quanto aos resultados do ensaio 14, apresentados na Figura 124, referentes à quantidade de ar fornecida de $4,17 \pm 0,30$ g de ar/ m^3 de água e Rey de 431 ± 1 , observa-se que a remoção de cor aparente esteve entre 58 a 74% (residuais entre 22,3 e 31,6 uC) e a remoção de turbidez entre 53 e 68% (residuais entre 1,73 e 2,53 uT). Ainda para o ensaio 14, e observando-se o Quadro 16, verifica-se remoção de SST de 64% (61% de remoção de SSF e 67% de SSV) e residual de alumínio de 0,18 mg/L de Al^{3+} .

Com relação aos resultados do ensaio 15, apresentados na Figura 124 e referentes à quantidade de ar fornecida de $3,12 \pm 0,05$ g de ar/ m^3 de água e Rey de 422 ± 1 , verifica-se que a remoção de cor aparente esteve entre 54 e 67% (residuais entre 28,3 e 40,1 uC) e que a remoção de turbidez esteve na faixa de 45 a 67% (residuais entre 1,82 e 2,95 uT). Ao analisar o Quadro 16, nota-se que para o ensaio 15, obteve-se remoção de 66% de SST (58% de remoção de SSF e 61% de SSV), e residual de alumínio de 0,20mg/L de Al^{3+} .

Comparando-se os três ensaios (13, 14 e 15) referentes à quinta carreira, que foram realizados com TASapa de $525 m^3/m^2d$ (Quadro 16), observa-se que, em relação aos SST, o ensaio 14 (Sp*p de $4,17 \pm 0,30$ g de ar/ m^3 de água) apresentou remoção superior (64%), em relação aos ensaios 13 e 15 (Sp*p de $6,54 \pm 0,10$ g de ar/ m^3 de água e $3,12 \pm 0,05$ g de ar/ m^3 de água respectivamente), que apresentaram remoções de 55 e 60%.

Carreira de ensaio V (com aplicação de polímero catiônico)

Variáveis investigadas: Quantidade de ar fornecida (g de ar/ m³ de água)

Variáveis mantidas fixas: DSA= 12 mg/L; Gf (s⁻¹)= 70-50-30; TASapa= 525 m³/m²d; Tf=20 min.; 0,25 mg/L de polímero catiônico

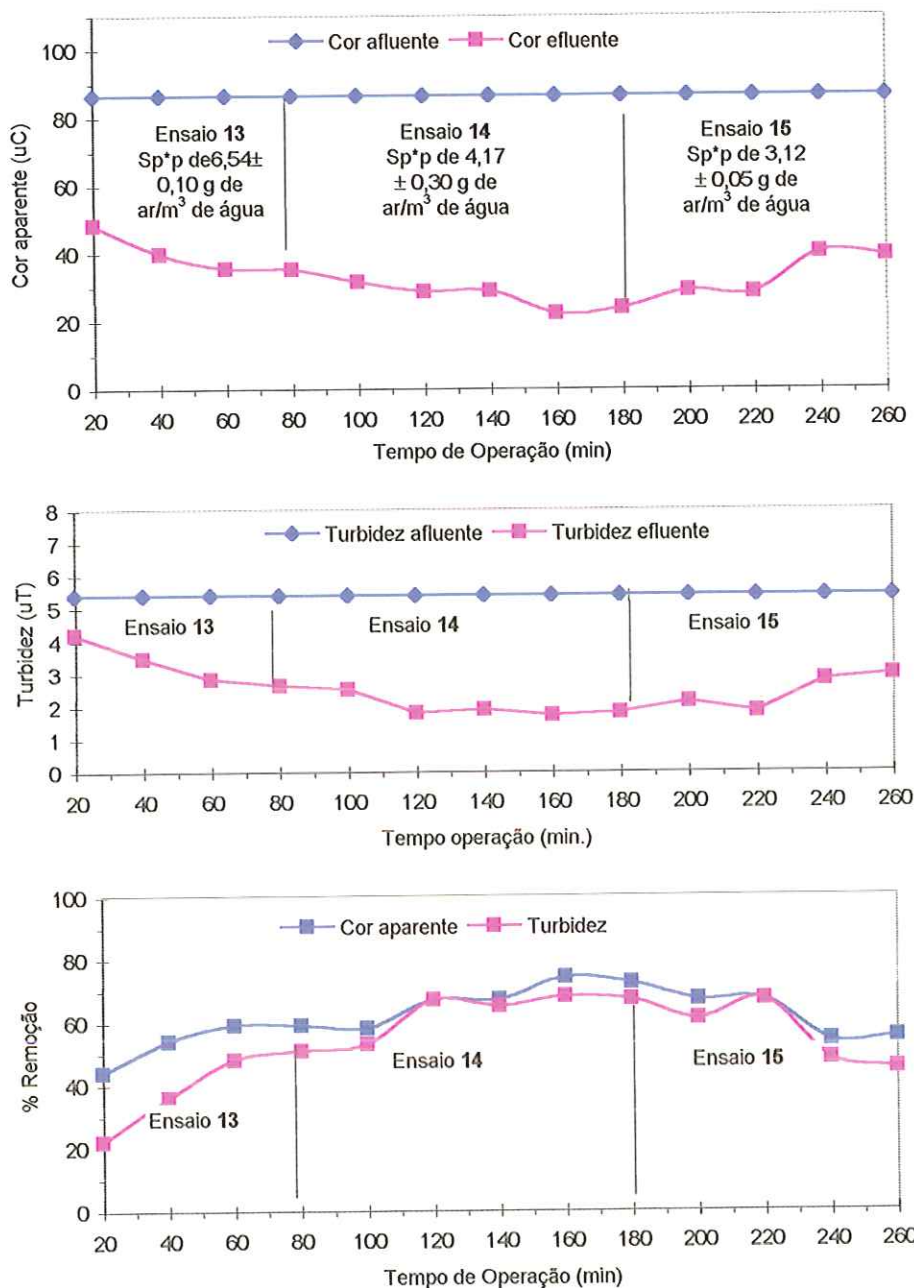


FIGURA 124- Resultados obtidos durante a carreira de ensaio V com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 12 mg/L com 0,25mg/L de polímero catiônico. Característica da água bruta: cor aparente: 86,3 uC e turbidez: 5,2 uT. (Fonte: Tabela 5 Apêndice 2)

QUADRO 16- Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio V, utilizando-se DSA de 12 mg/L, TASapa de 525 m³/m²d e Gf de 70-50-30s⁻¹

a) Característica da água de estudo:

pH = 6,30
 Turbidez (uT) = 5,22
 Cor verdadeira (uC) = 46,10 uC
 Cor aparente (uC) = 86,30 uC
 Alcalinidade (mg/L de CaCO₃) = 21,42
 Dureza (mg de CaCO₃) = 16,16

Condutividade (μS/cm) = 48,90
 SST (mg/L) = 4,67
 SSF (mg/L) = 2,88
 SSV (mg/L) = 1,79

b) Característica da água coagulada:

SST(mg/L) = 8,20
 SSF (mg/L) = 5,20
 SSV(mg/L) = 3,00
 Pz (mV) = - 7,80

c) Resultados obtidos para as amostras compostas clarificadas

Propriedades	Ensaio 13 (Sp*p de 6,54 ±0,10 g de ar/m ³ de água		Ensaio 14 (Sp*p de 4,17 ±0,30 g de ar/m ³ de água		Ensaio 15 (Sp*p de 3,12 ±0,05 g de ar/m ³ de água	
	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção
pH	6,43	-	6,45	-	6,43	-
Turbidez (uT)	2,56	51	1,90	64	2,22	57
Cor Verdadeira (uC)	10,6	77	8,3	82	8,90	81
Cor aparente (uC)	27,0	68	21,0	76	35,2	59
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	21,4	-	21,2	-	21,2	-
Condutividade (μS/cm)	66,9	-	71,0	-	70,3	-
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	15,1	6	13,1	19	16,2	-
Residual de Alumínio (mg/L Al ³⁺)	0,19	-	0,18	-	0,20	-
SST (mg/L)	3,66	55	3,00	64	3,33	60
SSF (mg/L)	2,00	61	2,00	61	2,16	58
SSV (mg/L)	1,66	45	1,00	67	1,17	61

Em relação a cor aparente, observa-se que o ensaio 14 apresentou maior eficiência de remoção (76%), enquanto os ensaios 13 e 15 apresentaram remoções de 68 e 59% respectivamente. Os valores de residuais de alumínio situaram-se na faixa de 0,18 a 0,20 mg/L de Al^{3+} , sendo que o ensaio 14 apresentou a menor remoção (0,18 mg/L de Al^{3+}). Quanto à remoção de turbidez, os ensaios 13 e 15 apresentaram resultados próximos (51 e 57% respectivamente) e o ensaio 14 apresentou remoção superior (64%).

Portanto, para a quinta carreira de ensaio, verifica-se que o valor da quantidade de ar fornecida de $4,17 \pm 0,30$ g de ar/ m^3 de água (ensaio 14), apresentou-se como o mais adequado para TASap em torno de $525 m^3/m^2d$ com DSA de 12 mg/L e 0,25 mg/L de polímero catiônico.

5.2.9- Resultados referentes à sexta carreira de ensaio com a instalação piloto (carreira VI)

Para esta carreira de ensaios, utilizou-se TASap de $262 \pm 10 m^3/m^2d$, mantendo-se constantes os mesmos parâmetros fixos do item 5.2.8, variando-se a quantidade de ar fornecida (ensaios **16**, **17** e **18**).

Na Figura 125, encontram-se os resultados referentes à cor aparente e turbidez, obtidos ao longo da carreira VI (estão contidos nesta carreira os ensaios 16, 17 e 18) e no Quadro 17 os resultados referentes às características físico-químicas das amostras compostas clarificadas, bem como da água bruta e água coagulada.

Observando-se os resultados do ensaio 16 apresentados na Figura 125, referentes à quantidade de ar fornecida de $6,68 \pm 0,14$ g de ar/ m^3 de água e Rey de 219 ± 1 , verifica-se que a remoção de cor aparente esteve na faixa de 74 e 79% (residuais entre 18,5 e 23,4 uC) e remoção de turbidez entre 70 e 79% (residuais entre 1,04 e 1,48 uT).

Carreira de ensaio VI (com aplicação de polímero catiônico)

Variáveis investigadas: Quantidade de ar fornecida (g de ar/ m³ de água)

Variáveis mantidas fixas: DSA= 12 mg/L; Gf (s⁻¹)= 70-50-30; TASapa= 262 m³/m²d; Tf=20 min.; 0,25 mg/L de polímero catiônico

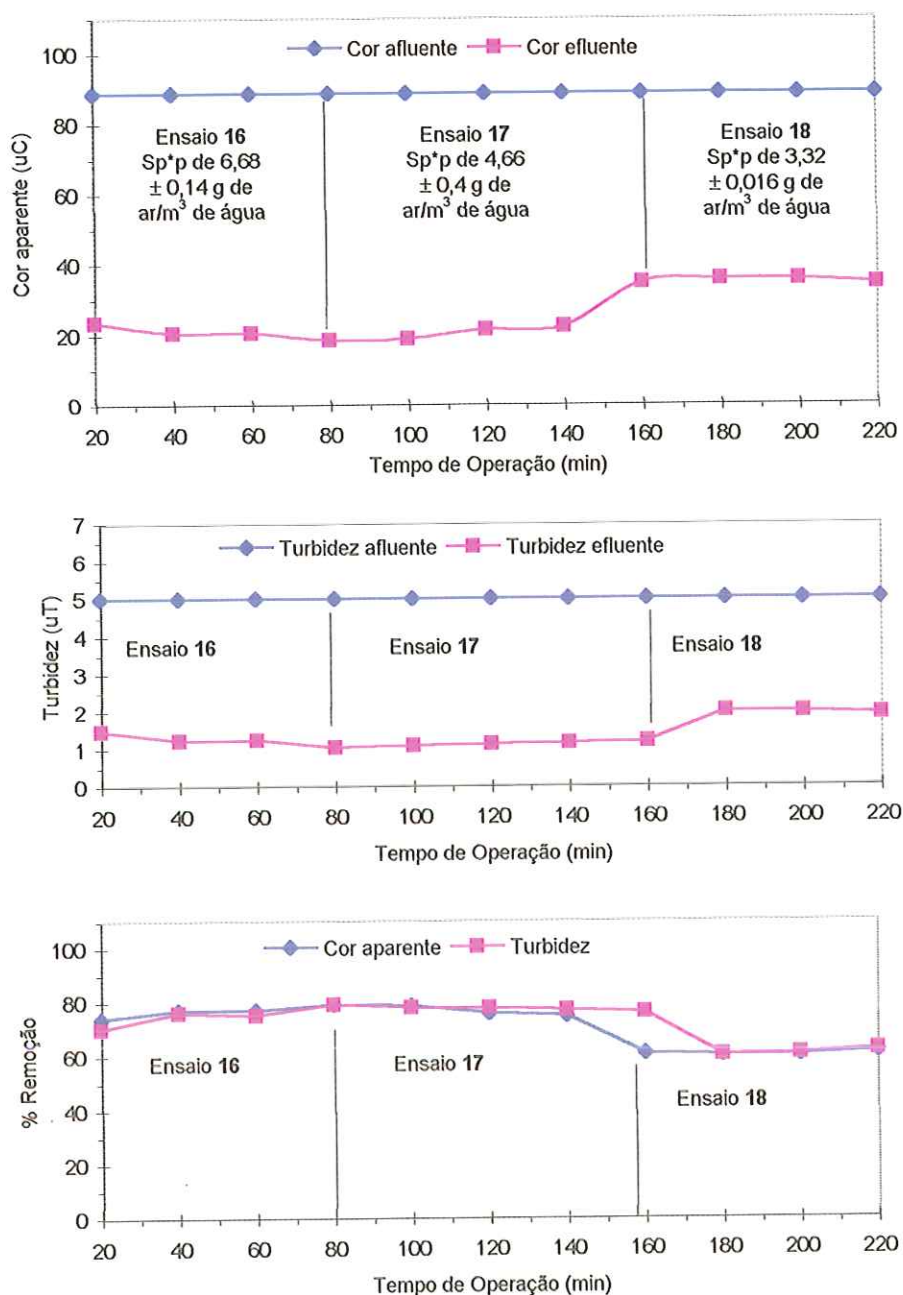


FIGURA 125- Resultados obtidos durante o ensaio VI com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 12 mg/L com 0,25mg/L de polímero catiônico. Característica da água bruta: cor aparente: 88,7 uC e turbidez: 6,0 uT. (Fonte: Tabela 6 Apêndice 2)

QUADRO 17- Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio VI, utilizando-se DSA de 12 mg/L, TASapa de 262 m³/m²d e Gf de 70-50-30s⁻¹

a) Característica da água de estudo:

pH = 6,55	Condutividade (μS/cm) = 61,80
Turbidez (uT) = 5,00	SST (mg/L) = 3,33
Cor verdadeira (uC) = 57,92	SSF (mg/L) = 2,00
Cor aparente (uC) = 88,70	SSV (mg/L) = 1,33
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃) = 21,84	
Dureza (mg/L CaCO ₃) = 30,33	

b) Característica da água coagulada:

SST (mg/L) = 9,40
SSF (mg/L) = 6,20
SSV (mg/L) = 3,20
Pz (mV) = - 7,90

c) Resultados obtidos para as amostras compostas clarificadas:

Propriedades	Ensaio 16 (Sp*p de 6,68 ±0,14 g de ar/m ³ de água)		Ensaio 17 (Sp*p de 4,66 ±0,4 g de ar/m ³ de água)		Ensaio 18 (Sp*p de 3,32 ±0,016 g de ar/m ³ de água)	
	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção
pH	6,45	-	6,42	-	6,50	-
Turbidez (uT)	1,20	76	1,15	77	2,12	58
Cor verdadeira (uC)	6,45	89	7,12	88	8,46	85
Cor aparente (uC)	19,0	78	19,7	78	23,4	74
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	21,2	-	18,9	13	21,6	-
Condutividade	50,8	18	52,7	15	50,3	19
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	17,2	43	17,2	43	15,1	50
Residual de Alumínio (mg/L de Al ³⁺)	0,13	-	0,10	-	0,13	-
SST (mg/L)	1,87	80	2,40	74	3,50	63
SSF (mg/L)	1,00	84	1,34	78	1,80	71
SSV (mg/L)	0,87	73	1,06	67	0,70	78

Ao analisar-se o Quadro 17, onde estão apresentadas as principais características da amostra composta clarificada, nota-se que, para o ensaio 16, a remoção de SST foi 80% (84% de remoção de SSF e 73% de SSV), e residual de alumínio de 0,13 mg/L de Al^{3+} .

Quanto aos resultados do ensaio 17 apresentados na Figura 125, concernentes à quantidade de ar fornecida de $4,66 \pm 0,4$ g de ar/ m^3 de água e Rey de 214 ± 1 , verifica-se que a remoção de cor aparente situou-se entre 61 e 79% (residuais entre 18,9 e 34,7 uC) e que a remoção de turbidez apresentou-se entre 76 e 78% (residuais entre 1,09 e 1,20 uT). Ao observar-se o Quadro 17, nota-se que para o ensaio 17 a eficiência de remoção de SST foi de 74% (78% de remoção de SSF e 67% de SSV) e, residual de alumínio de 0,10 mg/L de Al^{3+} .

Em relação aos resultados do ensaio 18 apresentados na Figura 125, referentes à quantidade de ar fornecida de $3,32 \pm 0,016$ g de ar/ m^3 de água e Rey de 214 ± 1 , observam-se remoção de cor aparente entre 60 e 61% (residuais entre 34,3 e 35,6 uC) e remoção de turbidez entre 60 e 62% (residuais entre 1,90 e 2,00 uT). Observando-se o Quadro 17, onde são apresentados os resultados das características físico-químicas da amostra composta clarificada, verifica-se que, para o ensaio 18, obtiveram-se 63% de eficiência de remoção de SST (71% de remoção de SSF e 78% de SSV) e, valor de residual de alumínio de 0,13 mg/L de Al^{3+} .

Comparando-se os três ensaios referentes à sexta carreira de ensaio (ensaios 16, 17 e 18), realizados com TASap em torno de $262 m^3/m^2d$ (Quadro 17), evidencia-se que, no que se refere à remoção de SST, o ensaio 16 (Sp*p de $6,68 \pm 0,14$ g de ar/ m^3 de água apresentou eficiência de remoção de 80%, superior aos ensaios 17 e 18 (Sp*p de $4,66 \pm 0,4$ g de ar/ m^3 de água e Sp*p de $3,32 \pm 0,016$ g de ar/ m^3 de água), que apresentaram remoções de 74 e 63%, respectivamente. Em relação à remoção de cor aparente, os ensaios 16 e 17 apresentaram mesma eficiência de remoção (78%), ligeiramente superior ao ensaio 18 (74%). Quanto à turbidez, os ensaios 16 e 17 apresentaram remoções bastante próximas entre si (76%

de remoção para o ensaio 16 e 77% para o ensaio 17), superiores ao ensaio 18, que apresentou remoção de 58%. Os valores de residuais de alumínio foram os mesmos para os ensaios 16 e 18 (0,13 mg/L de Al^{3+}), sendo o ensaio 17 o que apresentou o menor valor (0,10 mg/L de Al^{3+}). Ainda comparando-se os resultados dos três ensaios (Figura 125), verifica-se que, ao diminuir a quantidade de ar fornecida de $6,68 \pm 0,14$ g de ar/ m^3 de água (ensaio 16) para $4,66 \pm 0,4$ g de ar/ m^3 de água (ensaio 17), ocorreu pequena diminuição na eficiência de remoção de cor aparente (valor médio de 77% para 73%).

Portanto, para a sexta carreira de ensaios, verifica-se que a quantidade de ar fornecida de $4,66 \pm 0,4$ g de ar/ m^3 de água (ensaio 16) apresentou-se como mais adequada para TASap em torno de $262 m^3/m^2d$, com DSA de 12 mg/L e 0,25 mg/L de polímero catiônico, embora o valor da quantidade de ar fornecida de $6,68 \pm 0,14$ g de ar/ m^3 de água (ensaio 16), tenha apresentado resultados bastante próximos ao ensaio 17.

5.2.10- Comparação entre os resultados obtidos nas carreiras de ensaios V e VI (DSA de 12 mg/L com adição de 0,25 mg/L de polímero catiônico)

Comparando-se os resultados da carreira de ensaio V (TASap em torno de $525 m^3/m^2d$ e DSA de 12 mg/L com 0,25 mg/L de polímero) com a carreira de ensaio VI (TASap em torno de $262 m^3/m^2d$ e 0,25 mg/L de polímero), evidencia-se que, para as duas carreiras, a quantidade de ar fornecida em torno de 4,0 g de ar/ m^3 de água apresentou-se como a mais adequada. Quanto às eficiências de remoção de cor aparente, turbidez e SST (ensaio 17), a carreira VI (TASap em torno de $262 m^3/m^2d$) proporcionou remoções (78, 77 e 74% respectivamente) superiores às verificadas no ensaio com TASap em torno de $525 m^3/m^2d$ (76, 64 e 64% respectivamente). O mesmo ocorreu em relação ao valor de residual de

alumínio, apresentando a carreira de ensaio VI o menor valor (0,10 mg/L de Al^{3+}).

Portanto, para as condições de ensaio das carreiras V e VI, a TASap em torno de $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e quantidade de ar fornecida em torno de 4,0 g de ar/ m^3 de água, apresentou-se como mais adequada para DSA de 12 mg/L e 0,25 mg/L de polímero catiônico.

5.2.11- Resultados referentes à sétima carreira de ensaio com a instalação piloto (carreira VII)

Esta carreira de ensaios foi realizada com os mesmos parâmetros investigados na etapa anterior, com exceção apenas do valor do Gf aplicado nas câmaras de floculação, o qual passou para 80 s^{-1} nas três câmaras. Portanto, nesta carreira de ensaio, foram mantidos fixos DSA de 12 mg/L, Tf = 20 min, Psat = $456 \pm 10 \text{ KPa}$, 0,25 mg/L de polímero catiônico (0,05%) e Gf = 80 s^{-1} (para as três câmaras de floculação em série), variando-se a TASapa de 525 e $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e a quantidade de ar fornecida (ensaio 19, 20 e 21). O valor de Gf adotado para esta carreira (80 s^{-1}), foi otimizado na primeira etapa de estudos utilizando-se o equipamento de flotateste, conforme mencionado no item 5.1.5.

Na Figura 126, são apresentados os resultados referentes à cor aparente e turbidez para TASapa de $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (ensaio 19 e 20) e TASapa de $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (ensaio 21), obtidos ao longo desta carreira de ensaios. No Quadro 18, são apresentados os resultados referentes às características físico-químicas das amostras compostas clarificadas (efluente do flotador), bem como da água bruta e água coagulada.

Observando-se os resultados do ensaio 19, mostrados na Figura 126, referentes a TASap de $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, Rey de 437 ± 1 e quantidade de ar fornecida de $6,03 \pm 0,43 \text{ g}$ de ar/ m^3 de água, verifica-se que a remoção de cor aparente esteve entre 78 e 81% (residuais entre 15,5 e 17,6 uC) e a remoção de turbidez, na faixa de 64 e 67% (residuais 1,75 e 1,94 uT).

Analisando-se o Quadro 18, referente às características físico-químicas da amostra composta clarificada, verifica-se que, para o ensaio 19, houve remoção de 73% de SST (69% de remoção de SSF e 77% de SSV) e residual de alumínio de 0,14 mg/L de Al^{3+} .

Em relação aos resultados do ensaio 20 apresentados na Figura 126, referentes à TASap de $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d} \pm 20$, Rey de 432 ± 1 e quantidade de ar fornecida de $4,90 \pm 0,02 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$, nota-se que a remoção de cor aparente esteve na faixa de 81 e 82% (residuais entre 14,5 e 15,0 uC) e que a remoção de turbidez esteve na faixa de 69 e 72% (residuais entre 1,49 e 1,64 uT). Observando-se o Quadro 18, verifica-se que, para o ensaio 20, a remoção de SST foi de 73% (71% de remoção de SSF e 83% de SSV), com residual de alumínio de 0,10 mg/L de Al^{3+} .

Quanto aos resultados do ensaio 21, apresentados na Figura 126, referentes à TASap de $262 \pm 10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, Rey de 216 ± 1 e quantidade de ar fornecida de $6,44 \pm 0,06 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$, verifica-se que a remoção de cor aparente esteve entre 72 e 77% (residuais entre 18,0 e 22,3 uC) e que a remoção de turbidez esteve na faixa de 73 e 74% (residuais entre 1,40 e 1,44 uT). Ainda referente ao ensaio 21, e analisando-se o Quadro 18, observa-se remoção de 73% de SST (69% de remoção de SSF e 75% de SSV), e residual de alumínio de 0,10 mg/L de Al^{3+} .

Carreira de ensaio VII (com adição de polímero catiônico)

Variáveis investigadas: TASapa de 525 e 262 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e quantidade de ar fornecida (g de ar/ m^3 de água)

Variáveis mantidas fixas: DSA= 12 mg/L; G_f (s^{-1})= 80; TASapa= 525 e 262 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$; T_f =20 min.; 0,25 mg/L de polímero catiônico

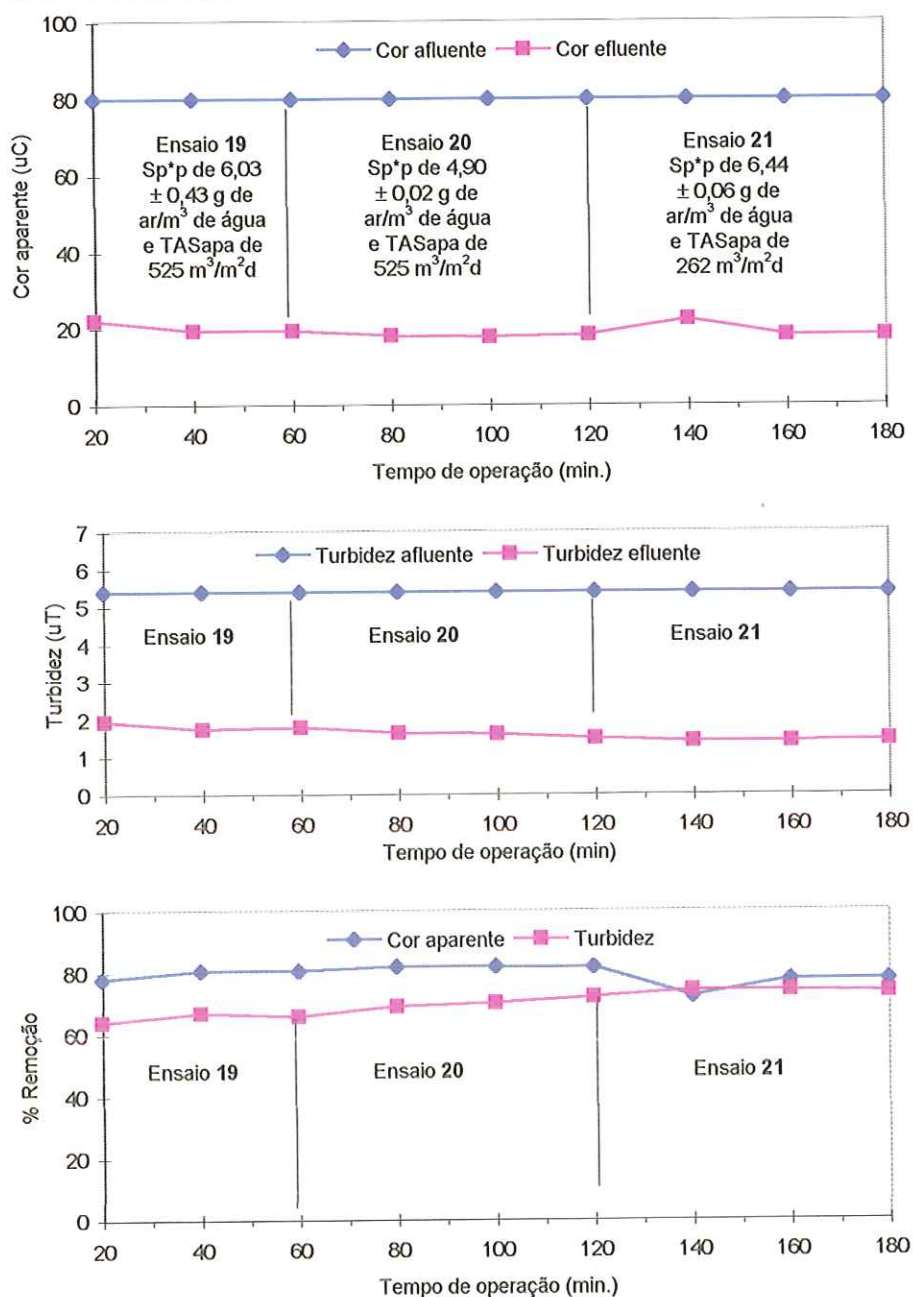


FIGURA 126- Resultados obtidos durante a carreira de ensaio VII com a instalação piloto com escoamento contínuo, em termos de cor aparente e turbidez, utilizando-se DSA 12 mg/L com 0,25mg/L de polímero catiônico. Característica da água bruta: cor aparente: 80,0 uC e turbidez: 5,4 uT. (Fonte: Tabela 7 Apêndice 2)

QUADRO 18- Características físico-químicas da água bruta e água coagulada bem como das amostras compostas clarificadas da carreira de ensaio VII, utilizando-se DSA de 12 mg/L, TASapa de 525 e 262 m³/m²d e Gf de 80s⁻¹

a) Característica da água de estudo:

pH = 6,60

Turbidez (uT) = 5,40

Cor verdadeira (uC) = 42,10

Cor aparente (uC) = 80,00

Alcalinidade (mg/L CaCO₃) = 21,46

Dureza (mg/L CaCO₃) = 12,12

Condutividade (μS/cm) = 43,40

SST (mg/L) = 4,20

SSF (mg/L) =

SSV (mg/L) =

b) Característica da água coagulada:

SST (mg/L) = 7,33

SSF (mg/L) = 4,13

SSV (mg/L) = 3,20

c) Resultados obtidos para as amostras compostas clarificadas:

Propriedades	Ensaio 19 (Sp*p de 6,03 ±0,43 g de ar/m ³ de água e TASapa de 525 m ³ /m ² d		Ensaio 20 (Sp*p de 4,90 ±0,02 g de ar/m ³ de água e TASapa de 525 m ³ /m ² d		Ensaio 21 (Sp*p de 6,44 ±0,06 g de ar/m ³ de água e TASapa de 262 m ³ /m ² d	
	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção	Valor	% remo ção
pH	6,60	-	6,52	-	6,60	-
Turbidez (uT)	1,15	79	1,13	79	1,50	72
Cor verdadeira (uC)	10,0	76	10,4	75	13,0	69
Cor aparente (uC)	18,7	77	16,0	80	17,3	78
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	15,5	27	16,0	25	13,0	40
Condutividade	54,9	-	59,6	-	58,5	-
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	11,1	8	12,1	-	12,1	-
Residual de Alumínio (mg/L de Al ³⁺)	0,14	-	0,10	-	0,11	-
SST (mg/L)	2,00	73	2,00	73	2,00	73
SSF (mg/L)	1,28	69	1,20	71	1,26	69
SSV (mg/L)	0,72	77	0,70	83	0,79	75

Comparando-se os três ensaios (ensaios 19 e 20 com TASap de $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e ensaio 21 com TASap de $262 \pm 10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$) da sétima carreira, constata-se que, no que se refere à remoção de SST, os três ensaios 19, 20 e 21 (Sp^*p de $6,03 \pm 0,43 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$, Sp^*p de $4,90 \pm 0,02 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$ e Sp^*p de $6,44 \pm 0,06 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$ respectivamente) apresentaram mesmas eficiências de remoção (73%). Em relação à eficiência de cor aparente, os ensaios 19 e 21 apresentaram remoções bem próximas (de 77 a 78%), sendo o ensaio 20 o que apresentou maior remoção (80%). Quanto à remoção de turbidez, os ensaios 19 e 20 apresentaram as mesmas eficiências de remoção (79%), enquanto o ensaio 21 apresentou remoção de 72%. Os valores de residuais de alumínio situaram-se na faixa de 0,10 a 0,14 mg/L de Al^{3+} , sendo o ensaio 20 o que apresentou menor valor (0,10 mg/L de Al^{3+}).

Portanto, para a sétima carreira a quantidade de ar fornecida de $4,90 \pm 0,02 \text{ g de ar/ m}^3 \text{ de água}$ e TASap de $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (ensaio 20) apresentou-se como mais adequada para DSA de 12 mg/L e Gf de 80 s^{-1} , embora os outros dois ensaios tenham apresentado bons resultados.

5.2.12- Influência do Gf na eficiência da flotação para os ensaios com DSA de 12 mg/L e aplicação de 0,25 mg/L de polímero catiônico

Ao variar o valor do Gf de 70-50-30 s^{-1} nas três câmaras de floculação em série para 80 s^{-1} , no ensaio com 12 mg/L de sulfato de alumínio e TASap de $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (carreira VII ensaio 20), verifica-se, pela análise da Figura 126 e Quadro 18, que os resultados obtidos de remoção de cor aparente e turbidez (80 e 79% respectivamente) foram ligeiramente superiores ao ensaio 17 (carreira VI), que também utilizou 12 mg/L de sulfato de alumínio, porém com TASap de $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e Gf de 70-50-30 s^{-1} , e apresentou 78% de eficiência de remoção de cor aparente e 77% de remoção de turbidez. Quanto à remoção de SST, as carreiras VII e VI apresentaram valores bastante próximos entre si (entre 73 e 74%), e os

valores de residuais de alumínio foram os mesmos para as duas carreiras (0,10 mg/L de Al^{3+}).

Já ao comparar-se as carreiras VII e V (ensaios 20 na Figura 126 e ensaio 14 na Figura 124), onde foi aplicado 12 mg/L de sulfato de alumínio e 0,25 mg/L de polímero catiônico, TASap de $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, mas Gf com valores diferentes (80 s^{-1} para carreira VII e $70-50-30 \text{ s}^{-1}$ para carreira V), verificou-se que, para a carreira que utilizou Gf de 80 s^{-1} (carreira VII), os valores de cor aparente, turbidez e SST (80, 79 e 73% respectivamente), foram superiores à carreira de ensaio V, a qual utilizou Gf de $70-50-30 \text{ s}^{-1}$ nas três câmaras de floculação em série, ou seja, eficiência de 76% de cor aparente e 64% de remoção de turbidez e SST. O valor de residual de alumínio obtido foi menor na carreira VII (0,10 mg/L de Al^{3+}) do que na carreira V (0,18 mg/L de Al^{3+}).

Para todos os ensaios mencionados acima (ensaios 14, 17 e 20), a quantidade de ar fornecida mais adequada esteve entre 4,20 e 4,90 g de ar/ m^3 de água.

Com base nos resultados dos ensaios 14, 17 e 20 apresentados nas Figuras 124, 125 e 126 respectivamente, verifica-se que, na flotação, valores de Gf mais elevados proporcionaram melhor desempenho da flotação. O que está relativamente de acordo com trabalhos apresentados na literatura, como por exemplo ZABEL (1984), que menciona o valor de Gf ótimo de 70 s^{-1} e que este valor independe do tipo de água; ØDEGAARD, H. (1994), que reporta um Gf ótimo de 60 a 80 s^{-1} e DOMBROSKI (1996), que utilizou em seu trabalho o mesmo tipo de água bruta e as mesmas instalações dessa pesquisa, e comenta que nos ensaios com três câmaras de floculação, $TASap \approx 360 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e $Tf = 24 \text{ min}$, o escalonamento do gradiente médio de velocidade de floculação (Gf) que apresentou melhor desempenho da flotação na instalação piloto foi o Gf de $80-60-60 \text{ s}^{-1}$.

Portanto, constata-se que, para o tipo de água estudado (cor elevada e baixa turbidez) e menores dosagens de coagulante primário, associado a

pequenas dosagens de polímero, o valor do gradiente médio de velocidade de floculação (Gf) apresentou influência na flotação.

5.2.13- Comparação dos melhores resultados obtidos nas 7 carreiras de ensaio com a instalação piloto de flotação com alta taxa.

A seguir, no Quadro 19, é apresentado um resumo dos melhores resultados obtidos nos ensaios com a instalação piloto com escoamento contínuo, referentes a cada aplicação de polímero para diferentes combinações de coagulantes e polímeros das amostras compostas clarificadas.

Comparando-se os melhores resultados obtidos em cada etapa, verifica-se que a quantidade de ar adequada situou-se sempre na faixa de 3,1 a 5,0 g de ar/ m^3 de água.

Essa faixa de valores demonstrou que a unidade de flotação de alta taxa requer quantidades de ar bem menores que aquelas exigidas pelos modelos convencionais de flotação, usualmente entre 8 a 11 g de ar/ m^3 de água.

Ainda observando-se o Quadro 19, verifica-se também que em todas as etapas, considerando-se cor e turbidez, quando se aumentou o valor da TASap de 262 para 525 m^3/m^2d , o desempenho da unidade de flotação diminuiu ligeiramente, e que para o ensaio 20 e 21 (Figura 126) não foi verificada queda na eficiência da flotação quando a TASap foi aumentada, visto que, neste caso, o valor da quantidade de ar fornecida foi diferente ($4,90 \pm 0,02$ g de ar/ m^3 de água no ensaio 20 e $6,44 \pm 0,06$ g de ar/ m^3 de água no ensaio 21).

QUADRO 19-Resumo dos melhores resultados apresentados nos ensaios com a instalação piloto com escoamento contínuo, referentes a cada dosagem de sulfato de alumínio e cada TASap utilizados para as amostras compostas clarificadas

DSA (mg/L)	Número do ensaio	Dosagens e polímeros utilizados	TASap. (m ³ /m ² d)	Escalonamento Gf (s ⁻¹)	Sp* _p (em torno de) g de ar/m ³ água	Água bruta		Cor aparente efluente		Turbidez efluente		SST da água coagulada (mg/L)	SST efl. (mg/L)	Residual de Al ³⁺ (mg/l de Al ³⁺)	Massa de lodo produzido (g) por m ³ de água tratada
						Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Remoção (%)	Turbidez (uT)	Remoção (%)				
40	2	*	525	70-50-30	4,80	87,3	5,67	16,0	82	1,17	79	27,6	6,40	0,21	21,2
40	5	*	262		4,93	88,7	6,00	14,2	84	0,80	87	31,6	5,60	0,18	26,0
20	9	0,25 mg/L de polímero não iônico	525	70-50-30	3,29	86,2	5,07	20,7	76	1,40	72	17,6	2,86	0,21	14,7
20	12		262		3,20	104,0	7,00	18,6	82	1,23	82	14,0	3,00	0,18	11,0
12	14	0,25 mg/L de polímero catiônico	525	70-50-30	4,17	86,3	5,22	21,0	76	1,90	64	9,4	3,00	0,11	5,2
12	17		262		4,66	88,7	5,00	19,7	78	1,15	77	6,2	2,40	0,10	3,8
12	20		525	80	4,90	80,0	5,40	16,0	80	1,13	79	7,3	2,00	0,10	5,3
12	21		262	80	6,44	80,0	5,40	17,3	78	1,50	72	7,3	2,00	0,11	5,3

*Não foi aplicado nenhum tipo de polímero

Constata-se que a aplicação de 0,25 mg/L de polímero não iônico, permitiu a diminuição da DSA de 40 mg/L para 20 mg/L, mantendo-se a eficiência de remoção de cor e a de turbidez bastante próximas (de 84% para 82% de remoção de cor e 87% para 82% de remoção de turbidez), com sensíveis vantagens em relação aos valores de residuais de SST.

Por sua vez, os resultados mostrados no Quadro 19 demonstram que a aplicação de 0,25 mg/L de polímero catiônico possibilitou a diminuição da DSA de 40 mg/L para apenas 12 mg/L, com ligeira queda na eficiência de remoção de cor aparente e turbidez (de 84% para 80% de remoção de cor e de 87% para 79% de remoção de turbidez). Nessa situação, ou seja, diminuição da dosagem de sulfato de alumínio para 12 mg/L, observa-se vantagem marcante em relação aos residuais de SST e alumínio, com valores bem abaixo da situação em que foi empregado 40 mg/L de sulfato de alumínio, ou seja, valores em torno de 6,0 mg/L de SST para 2,3 mg/L, respectivamente, e residual de alumínio em torno de 0,20 mg de Al^{3+} para 0,10 mg de Al^3 , respectivamente.

A respeito da produção de lodo durante o processo de coagulação /floculação/ flotação, destaca-se a grande vantagem da aplicação de polímeros associados a menores dosagens de sulfato de alumínio. No Quadro 19, onde se apresenta a quantidade de lodo (massa seca) gerado em cada uma das situações estudadas, verifica-se que, com a diminuição da dosagem de sulfato de alumínio de 40 mg/L para 20 mg/L (ensaios 5 e 12), ocorreu redução de 26,0 g de lodo produzido/ m^3 de água tratada para 11,0 g de lodo produzido/ m^3 de água tratada (58% de redução na massa de lodo gerada). Ao considerar-se a diminuição da dosagem de sulfato de alumínio de 40 mg/L para 12 mg/L (ensaios 5 e 20), observa-se redução da massa de lodo gerada de 26,0 g de lodo produzido/ m^3 de água tratada para 5,33 g de lodo produzido/ m^3 de água tratada (redução de 79% na massa de lodo gerada).

Tais vantagens adquirem relevância quando são consideradas as restrições cada vez maiores em relação ao tratamento e disposição final do lodo gerado nas estações de tratamento de água para abastecimento.

6- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos com a realização dos ensaios experimentais utilizando o equipamento de flotação em escala de laboratório (flotateste) permitem as seguintes conclusões:

- ✓ As condições de coagulação que forneceram os melhores resultados nos ensaios sem a aplicação de polímeros foram: dosagem de sulfato de alumínio de 40 mg/L, e pH de coagulação em torno de 6,30, obtendo eficiência de remoção de cor aparente e turbidez de 96% para VF até 6,7 cm/min. Para VF de 13,3 cm/min a remoção de cor aparente foi de 95% e a de turbidez de 94%.
- ✓ Para o tipo de água estudada, a aplicação de polímeros sintéticos possibilitou a redução de até 70% na dosagem de coagulante primário (sulfato de alumínio), sem que houvesse queda significativa no desempenho da unidade de flotação.
- ✓ Dentre os tipos de polímeros investigados, quando se reduziu a dosagem de sulfato de alumínio em 50% (20 mg/L), o polímero não iônico, na dosagem de 0,25 mg/L, forneceu os melhores resultados de remoção de cor e turbidez por flotação, ou seja, 93% para VF até 13,3 cm/min.
- ✓ Nos ensaios realizados com redução de 70% na dosagem de coagulante primário (12mg/L), o polímero catiônico, na dosagem de 0,25 mg/L, resultou no melhor desempenho da flotação, com eficiência de remoção de cor e turbidez de 90% para VF até 13,3 cm/min.
- ✓ As condições de floculação (gradiente médio de velocidade e tempo de floculação), assim como o modo de aplicação do polímero (tempo após a

mistura rápida do coagulante primário), influenciaram significativamente o desempenho da flotação. Para dosagem de 20 mg/L de sulfato de alumínio com Gf de 60 s^{-1} , a aplicação de 0,25 mg/L de polímero não iônico após 1 minuto de floculação (seguidos de mais 19 minutos de floculação), apresentaram os melhores resultados dentre os diversas condições estudadas (92% de remoção de cor e turbidez para VF de 13,3 cm/min). Para dosagem de 12 mg/L de sulfato de alumínio a aplicação de 0,25 mg/L de polímero catiônico após 15 minutos de floculação, seguidos de mais 5 minutos de floculação - sempre com Gf de 80 s^{-1} - apresentou-se como a melhor condição de floculação para flotação (remoção de 93% de cor aparente e 91% de turbidez)

- ✓ Em todas as condições de coagulação-floculação investigadas, o fornecimento de 7,6 g de ar/ m^3 de água bruta mostrou-se suficiente para o bom desempenho da flotação.

Os resultados obtidos com a realização dos ensaios efetuados na unidade de instalação piloto permitem as seguintes conclusões:

- ✓ Nos ensaios realizados com dosagem de 40 mg/L de sulfato de alumínio (sem aplicação de polímero), a unidade de flotação de alta taxa apresentou eficiência de remoção de cor aparente e turbidez de 87% (11,6 uC e 0,77 uT respectivamente) e 82% de eficiência de remoção de SST (5,60 mg/L no efluente) para TASap de $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e quantidade de ar fornecida de 4,88 g de ar/ m^3 de água.
- ✓ Em relação aos ensaios realizados com a instalação piloto utilizando DSA de 20 mg/L e 0,25 mg/L de polímero não iônico, esta apresentou eficiência de remoção de cor aparente entre 76 a 82%, turbidez de 73 a 80% e SST entre 79 a 84%, para valores de TASap de 525 e $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. A TASap de $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ (Rey em torno de 210), apresentou a maior eficiência de remoção de cor aparente (82% e residual de 18,5 uC), e de remoção de turbidez (80% e residual de 1,40 uT). A eficiência de remoção de SST foi de 76% (residual de 3,00 mg/L), e a quantidade de ar requerida para a flotação situou-se em torno de 3,20 g de ar/ m^3 de água

- ✓ Para a DSA de 12 mg/L com 0,25 mg/L de polímero catiônico foi possível concluir que o valor de Gf de $80s^{-1}$ aplicado nas três câmaras de floculação em série, proporcionou melhor desempenho na flotação. Para a TASap de $525 m^3/m^2d$ e quantidade de ar de aproximadamente 4,90 g de ar/ m^3 de água, obteve-se 82% de remoção de cor aparente (residual de 14,5 uC), 70% de remoção de turbidez (residual de 1,60 uT) e 73% de remoção de SST (residual de 2,0 mg/L).
- ✓ De forma geral, pode-se concluir que, a diminuição da DSA de 40 mg/L para 20 mg/L com aplicação de 0,25 mg/L de polímero não iônico, acarretou ligeira queda na eficiência de remoção de cor e turbidez (queda de 87% para 82% de remoção de cor e 87% para 80% de remoção de turbidez). A redução na dosagem de coagulante redundou em diminuição na massa de lodo gerada na faixa de 31 a 58% na unidade de flotação .
- ✓ A redução da DSA de 40 mg/L para 12 mg/L com aplicação de 0,25 mg/L de polímero catiônico, observa-se ligeira queda na eficiência de remoção de cor aparente e turbidez (de 87% para 80% de remoção de cor e de 87% para 79% de remoção de turbidez). Contudo, nessa situação verifica-se vantagem marcante em relação à quantidade de sólidos gerada, possibilitando a redução entre 67 a 79% na massa de lodo gerado, e residual de alumínio em torno de 0,10 mg/L de Al^{3+} .

RECOMENDAÇÕES

As recomendações sugeridas são:

- ✓ Que sejam realizadas novas pesquisas utilizando-se polímeros naturais como auxiliares de floculação visando a flotação.
- ✓ Que ao se trabalhar com polímeros sintéticos seja feita análise dos residuais de polímeros que poderiam estar presentes na água clarificada.

- ✓ Que sejam realizadas novas pesquisas empregando-se polímeros como auxiliares de floculação, utilizando água de estudo com características diferentes da utilizada na presente pesquisa.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAM WATER WORK ASSOCIATION (1964). Água tratamento e Qualidade. Rj: ao livro técnico, p.130.

AMIRTHARAJAH,A. (1989). The mechanisms of coagulation. In:SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE COAGULAÇÃO E FILTRAÇÃO DIRETA. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

AMIRTHARAJAH,A.; MILLS,K.M. (1982). Rapid- Mix design for Mechanisms of alum coagulation. Research and Technology, Journal AWWA, p. 210 - 216.

AMIRTHARAJAH,A.; TRUSLER,S.L. (1986). Desestabilization of particles by turbulent rapid mixing. *J. ENVIRONMENTAL ENGINEERING, ASCE*, 122(6): 1085 - 108, Dec.

AWWA Committee Report: Coagulation as an Integrated Water Treatment Process. Proc. 1989. AWWA Ann. conf. p. 72 - 78, Oct.

BENETTI,A.; BIDONE,F. (1993). O meio ambiente e os Recursos Hídricos. In: TUCCI,C.E.M., org. *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre, Coleção ABRH de Recursos Hídricos. ed Universidade (UFRGS). v.4,.

BAJPAI, A .K. (1997). Interface behaviour of Ionic Polymers. *Progress in Polymer Science*, v. 22, p.523-564.

BOLTO, B. A (1995). Soluble polymer in Water purification. *Progress in Polymer Science*. V. 20, p.987-1041.

BUNKER,D.Q, EDZALD,J.K, DAHLQUIST,J., GILLBERG,L. (1995). Pretreatment considerations for dissolved air flotation: Water type, coagulants and flocculation. In: IVES,K.J., BERNNHARDT,H.J., eds. *Flotation processes in water and sludge treatment. Water Science and Technology*, Great Britain, v.31, n.3-4, p.63-71.

- CAMPOS, J. R. (1972). *Ensaio sobre a Aplicação de Polieletrólitos na Floculação de Águas de Abastecimento*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CAMPOS, J. R. (1980). *Emprego do amido de batata como auxiliar de floculação de águas para abastecimento*. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- COELHO, E. R. C., REALI, M.A . P., CAMPOS, J. R. (1991). Emprego da flotação por ar dissolvido na clarificação de águas para abastecimento: influência da taxa de aplicação superficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 16., Goiânia, 1991. *Anais*. Goiânia, ABES.
- COSTA, E.R.H. (1992). *Estudo do Uso de Polímeros Naturais como Auxiliares de Floculação com Base no Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CULP, G.L.; WESNER, G.M; CULP, R.L.(1986). *Handbook of Public Water Systems*. In: ROBERT CULP/ WESNER/ CULP. EdVan Nostrand Reinhold Company. New York, 185 - 188.
- Di BERNARDO, L. (1993). *Métodos e técnicas de tratamento de água*. Rio de Janeiro, ABES, v.1.
- Di BERNARDO, L.; PAIXÃO, G.C. (1996). Proposição de Metodologia para Emprego de Polímeros sintéticos como Auxiliares de Floculação. Resultados. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, AIDIS 96, 03 a 08 de nov. de 1996, Cidade do México. *Anais Magnéticos*, Cidade do México: AIDIS, 1996
- DOMBROSKI, S. A . G. (1996). *Influência das condições de floculação na eficiência da flotação por ar dissolvido de alta taxa aplicada ao tratamento de água de abastecimento*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DOMBROSKI, S. A . G., REALI, M. A . P., MARCHETTO, M. (1996). Método eficiente para o tratamento de água com cor elevada e baixa turbidez: flotação por ar dissolvido. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 3., Gramado, 1996. *Anais*. Gramado, ABES/ANDIS.

- DOS SANTOS, S. P. (1997). *Estudo de uma unidade de flotação por ar dissolvido com escoamento vertical entre placas, aplicada à remoção de algas em águas de Abastecimento*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- EDZWALD, J.K., WALSH, J.P., KAMINSKI, G.S., DUNN, H. (1992). Flocculation and air requirements for dissolved air flotation. *Research and Technology, Journal AWWA*, p. 92 - 100, Mar.
- EL-SHALL, H., MOUDGIL, B.M., FORBES, D. (1996). Solid-grade polymers for clarification and flocculation processes. *Minerals and Metallurgical processing*, v.94, n.11, p.161-164.
- EDZWALD, J.K. (1995). Principles and applications of dissolved air flotation In: IVES, K.J., BERNNHARDT, H.J., eds. *Flotation processes in water and sludge treatment. Water Science and Technology*, Great Britain, v.31, n.3-4, p.1-23.
- FRITSCHER, C. (1994). Degradable Polymers, *Int. J. of Material and Product Technology*, v. 9, nº 4/5/6, p. 482 - 495.
- HAARHOFF, J., VAN VUUREN, L.R.J. (1995). Designin parameters for dissolved air flotation in South Africa. In: IVES, K.J., BERNNHARDT, H.J., eds. *Flotation processes in water and sludge treatment. Water Science and Technology*, Great Britain, v.31, n.3-4, p.203-212.
- HAHN, H. H., (1984). Wastewater treatment. In; IVES, K.J. ed. *The scientific basis of flotation*. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on The Scientific Basis of Flotation, Cambridge, England, 1982, Jul, Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, p. 379- 414.
- HAMMER, M.J. (1979). *Sistemas de Abastecimento de Água e Esgoto*; Trad. Sergio A.S. Almeida. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, p. 563.
- HAMILTON, J.D., REINERT, K.H., FREEMAN, M.B. (1994) Aquatic risk assessment of polymers. *Environmental Science technology*, v. 28, n.4, p.187 A - 191 A.
- HEINANEN, J., JOKEL, A .P., ALA-PEIJART, T. (1995). Use of dissolved air flotation in potable water treatment in Finland. In: IVES, K.J., BERNNHARDT, H.J., eds. *Flotation processes in water and sludge treatment. Water Science and Technology*, Great Britain, v.31, n.3-4, p.225-238.

- HESPANOL, I. (1997). Mistura- grades e reatores tubulares; floculação - o uso de polieletrólitos. *Revista DAE*, n.112, p.83-92.
- HILSON, M. A ., RICHARDS,W.N. (1980). Polymeric Flocculantes .LEWIS, W.M. ed. *Developments in Water Treatment*. London, Applied Science, v.1, p.93-117.
- JOHNSON,P.N.; AMIRTHARAJAH,A. (1983). Ferric chloride and alum as single and dual coagulants. Research and Technology, *Journal AWWA*, p. 232 - 239, May.
- KITCHENER,J.A. (1984). The froth flotation process: past, present and future in brief. In: NATO ADVANCED STUDY INSTITUTE ON THE SCIENTIFIC BASIS OF FLOTATION, Cambridge, England, 1982. *Proceedings*. Edited By Kenneth J. Ives The Hague, Martinus Nijhoff p. 3 -51.
- KITCHENER,J.A ., GOCHIN,R.J. (1981). The Mechanism of Dissolved air Flotation for Potable Water, Basic Analysis and a Proposal, *Wat. Res.*, 15, p.585-590
- KLUTE,R., LANGER,S., PFEIFER,R. (1995). Optimization of coagulation processes prior to DAF. In: IVES,K.J., BERNNHARDT,H.J., eds. *Flotation processes in water and sludge treatment. Water Science and Technology*, Great Britain, v.31, n.3-4, p.59-62.
- LETTERMAN,R.D., PERO,R.W. (1990) Contaminants in Polyelectrolytes Used in Water Treatment, *Journal AWWA- Research and Technology*, p.87-98, nov.
- LOBATO,S.J.M., REALI,M.A .P., FAITANIN,L. (1995). O sucesso do emprego da flotação por ar dissolvido no pré-tratamento da água bruta da E.T.A Meaípe - ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18., Salvador, 1995. *Anais. Disco 5/9*. Salvador, ABES.
- LONGHURST,S.J.; GRAHAM,N.J.D. (1987). Dissolved air flotation potable water treatment: a survey of operational units in Great Britain. *The Public Health engineer*, p. 71 - 76, Apr.
- LUTTINGER,L.B. (1981). The Use of Polyelectrolytes in Filtration Processes. In: Schowoyer, W.L.K, ed. *Polyelectrolytes for water and wastewater treatment*. CRC Press, Boca Raton, FL, p.211-240.

- MALLEY, J.P.; EDZWALD, J.K. (1991-a). Concepts for dissolved air flotation treatment of drinking waters. *Aqua*, v.40, n.1, p.7 - 17.
- MALLEY, J.P.; EDZWALD, J.K. (1991-b). Laboratory comparison of DAF conventional treatment. Research and Technology, *Journal AWWA*, p.56 - 61, Sept.
- MALLEY, J.P. (1995). The use selective and direct DAF for removal of particulate contaminants in drinking water treatment. In: IVES, K.J., BERNNHARDT, H.J., eds. *Flotation processes in water and sludge treatment. Water Science and Technology*, Great Britain, v.31, n.3-4, p.49-57.
- MANFRINI, C. (1976). Técnicas de Abastecimento e tratamento de água, 2ed. São Paulo - CETESB.
- MARCHETTO, M. (1996). Estudo de uma unidade de flotação por ar dissolvido com escoamento horizontal entre placas aplicada ao tratamento de água de abastecimento. São Carlos. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MENDES, C.G.DA N. (1989). Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis. São Carlos. 244p. Tese (Doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos.
- NICKOLS, D. MOERSHELL, G.C., BODER, M.V. (1995). The first DAF water treatment plant in the United States. In: IVES, K.J., BERNNHARDT, H.J., eds. *Flotation processes in water and sludge treatment. Water Science and Technology*, Great Britain, v.31, n.3-4, p.239-246
- O'MELIA, C.R. (1972). Coagulation and flocculation. In: WEBER JR., W.J. ed. *Physicochemical processes for water quality*. New York, Wiley Interscience, v.2, p.61-107..
- OFFRINGA, G. (1995). Dissolved air flotation in Southern Africa. In: IVES, K.J., BERNNHARDT, H.J., eds. *Flotation processes in water and sludge treatment. Water Science and Technology*, Great Britain, v.31, n.3-4, p.159-172.
- OLIVEIRA, W.E. (1973). Importância do Abastecimento. A água na transmissão de doenças. In: *Técnica de Abastecimento e tratamento de água*. 2. ed. São Paulo, CETESB/ASCETESB. v. 2, p.1 - 28.

- PAIXÃO,G.C. (1996). *Estudo da Coagulação- Floculação- Sedimentação de uma água com turbidez ou cor elevada, utilizando polímero sintético como auxiliar de coagulação*. São Carlos. p.185.,v.1, - Dissertação (Mestrado)Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- REALI,M.A.P. (1984). *Aplicação da flotação por ar dissolvido ao tratamento de águas de abastecimento*. São Carlos. 186p., Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos.
- REALI,M.A.P. (1991). *Concepção e avaliação de um sistema compacto para tratamento de águas de abastecimento utilizando o processo de flotação por ar dissolvido e filtração com taxa declinante* São Carlos. 203p., v.1. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- REALI,M.A.P., CAMPOS,J.R. (1984). Emprego da Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento de Águas para Abastecimento. XIX CONGRESSO INTERAMERICANO DE Engenharia Sanitária e Ambiental- Santiago, Chile, 11 a 16 nov. de 1984 .*Anais*
- REALI,M.A.P., CAMPOS,J.R. (1992) Projeto de câmaras de saturação de sistemas de flotação por ar dissolvido, com recheio de pvc. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 23., La Habana, Cuba, 1992. *Anais*. v.2, parte 1, La Habana, Cuba, AIDIS. p. 283-296.
- REALI,M.A.P., CAMPOS,J.R. (1995). Optimization of color removal using a batch flotation test. In: WORLDWIDE SYMPOSIUM: POLLUTION IN LARGE CITIES- science and technology for planning environmental quality. OMS/OPS, Venice, 1995. *Poceedings*. SIBESA, 2., Venice, ABES/ANDIS, p. 199-210.
- REALI,M.A.P., DOMBROSKI, A .S .G.(1996). Influência da floculação sobre a flotação por ar dissolvido. In: XXV CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL - *AIDIS 96*, 03 a 08 de nov. de 1996, Cidade do México. *Anais Magnéticos*, Cidade do México: AIDIS, 1996.
- REALI,M.A.P.,GIANOTTI,E.P. (1993). Remoção de Algas por Flotação: Testes de Laboratório. In: 17^o CONGRESSO BRASILEIRO DE Engenharia SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19 a 23 de set de 1993, Natal-RN. *Anais*, Rio de Janeiro :ABES, 1993, v.2 - T.II, p.229-242.
- REALI,M.A.P., MARCHETTO,M. (1996). Unidade de flotação por Ar Dissolvido Com Escoamento Horizontal Entre Placas Aplicada ao

- Tratamento de Água. In: XXV CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS 96, 03 a 08 de nov. de 1996, Cidade do México. Anais Magnéticos, Cidade do México: AIDIS, 1996.
- REALI, M.A.P., MARCHIORETTO, M.M. (1997). Estudo das condições ótimas de coagulação/floculação com sulfato de alumínio visando a flotação de água para abastecimento contendo turbidez elevada e cor moderada. In: 49ª. Reunião Anual da SBPC, 13 a 18 de jul de 1997, Belo Horizonte - MG.
- REALI, M.A.P., SANTOS, S.P. (1996). Flotação por Ar Dissolvido em Escala Piloto Com Escoamento Vertical Entre Placas para Remoção de Algas em Águas de Abastecimento. In: XXV CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS 96, 03 a 08 de nov. de 1996, Cidade do México. Anais Magnéticos, Cidade do México: AIDIS, 1996.
- SANTOS, S.P. (1997). Estudo de uma unidade de flotação por ar dissolvido com escoamento vertical entre placas, aplicada à remoção de algas em águas de abastecimento. São Carlos. 111p., Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos.
- SAWYER, C.N., McCARTY, P.L. (1994). Chemistry for Environmental Engineering, *Mc Grow - Hill Book Company*, 3^{ed}, p.331.
- STUMM, W., O'MELIA, C.R. (1968). Stoichiometry of coagulation. *Journal AWWA*, p.514-539, May.
- VALADE, M.T., EDZWALD, J.K., TOBIASON, J.E., DAHLQUIST, J., HEDBERG, T., AMATO, T. (1996). Particle removal by flotation and filtration: pretreatment effects- *Journal AWWA - Research and technology*, p. 35-47. Dec.
- VAN PUFFELEN, J., BUIJS, P.J., NUHN, N.A .M., HIJNEN, W.A M. (1995) Dissolved air flotation in potable water treatment: The Dutch experience. In: IVES, K.J., BERNNHARDT, H.J., eds. *Flotation processes in water and sludge treatment. Water Science and Technology*, Great Britain, v.31, n.3-4, p.149-158.
- VORCHHEIMER, N. (1981). Synthetic Polyelectrolytes, In: Schowoyer, W.L.K, ed. *Polyeletrolytes for water and wastewater treatment. CRC Press, Boca Raton, FL*, p.1-45
- WANG, K.T., DURAND, G., LAFUMA, F., AUDEBERT, R. (1992). Drinking Water Treatment by Hydrosoluble Polymers: Mechanisms of coagulation

and Efficiency. In: MALLEVILLE,J., SUFFET,I.H., CHAN,U.S. eds. *Influence and Removal of Organics in Drinking Water*. Lewis Publishers: Boca Raton, p. 115-135.

YOUNG,R.J., LOVELL, P.A .(1981). *Introduction to Polymers*, Chapman e Hall, 2 ed, p.433.

ZABEL,T. (1984). Flotation in Water Treatment. In NATO ADVANCED STUDY INSTITUTE ON THE SCIENTIFIC BASIC OF FLOTATION, Cambridge, England, 1982. *Proceedings*. Edited By Kenneth J. Ives The Hague, Martinus Nijhoff p. 349 - 377.

ZABEL,T.F.; MELBOURNE,J.D. (1980). Flotation. In: LEWIS,W.M., ed. *Developments in Water Treatment* London, Applied Science. v.1, p.139 - 191.

Apêndice 1

Tabelas referentes aos ensaios realizados com o equipamento de flotateste utilizando-se polímero como auxiliar de floculação

TABELA 01-Resultados obtidos em ensaios de coagulação- floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação de Sulfato de Alumínio e pH de coagulação. Dosagens de Sulfato de Alumínio testados - DSA - 12, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 mg/L; pH de coagulação entre 5,70 e 7,15; Velocidades de flotação: VF1 = 31,6 cm/min., VF2 = 13,3 cm/min., VF3 = 6,7 cm/min., VF4 = 2,9 cm/min.; Pressão de saturação: 456 kPa; Fração de recirculação: 8% (em volume); Característica da água de estudo: cor aparente: $97,7 \pm 9,3$, turbidez: $6,95 \pm 0,05$, temperatura: $24,0 \pm 0,7$ °C.

DSA (mg/L)	pH	Dosagem de HCl (mL/L)	Dosagem de barrilha (mg/L)	Temperatura °C	Vf1 = 31,6 cm/min				Vf2 = 13,3 cm/min				Vf3 = 6,7 cm/min.				Vf4 = 2,9 cm/min.			
					Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção	
					Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente(%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
12	5,98	2	-	23,7	90,2	6,57	-1,0	-11,0	89,6	6,57	0,0	-4,0	89,1	6,04	1,0	-2,0	88,4	5,91	2,0	0,0
12	6,18	1	-	23,7	23,8	1,61	73,0	73,0	12,0	0,72	86,0	88,0	11,4	0,68	87,0	89,0	11,1	0,62	88,0	90,0
12	6,30	0,5	-	24,0	22,0	1,42	75,0	76,0	11,5	0,70	87,0	88,0	10,2	0,62	88,0	89,0	9,7	0,59	89,0	90,0
12	6,49	-	-	24,5	44,6	3,45	50,0	42,0	15,6	0,99	83,0	83,0	12,3	0,78	86,0	87,0	10,3	0,67	89,0	89,0
12	6,56	-	5	24,1	62,6	4,42	30,0	25,0	14,7	1,04	84,0	82,0	14,7	0,69	84,0	88,0	13,8	0,67	85,0	89,0
12	6,72	-	10	24,1	87,8	6,29	2,0	-6,0	41,4	2,54	54,0	57,0	41,0	2,38	54,0	60,0	39,0	2,35	56,0	60,0
12	7,00	-	20	24,5	108,0	7,55	-21,0	-28,0	106,0	7,50	-18,0	-27,0	105,0	6,96	-17,0	-18,0	104,0	7,0	-16,0	-18,0
15	5,70	1,25	-	24,0	91,3	9,9	-2,0	-65,0	90,0	8,0	0,0	-35,0	89,0	7,8	0,0	-32,0	89,0	7,5	0,0	-26,0
15	6,03	1	-	24,0	44,0	1,83	50,7	69,0	28	1,22	69,0	79,0	14,5	1,13	84,0	81,0	14,5	1,1	84,0	82,0
15	6,20	0,75	-	24,3	25,0	1,7	72,0	71,0	12,1	0,69	86,0	88,0	10,7	0,67	88,0	89,0	10,3	0,65	88,0	89,0
15	6,33	-	-	24,5	24,0	1,35	73,0	77,0	10,0	0,64	89,0	88,0	9,8	0,6	89,0	90,0	9,71	0,58	89,0	90,0
15	6,5	-	5	24,5	26,0	2,0	71,0	66,0	18,3	0,82	79,0	86,0	10,5	0,71	88,0	88,0	9,45	0,66	89,0	89,0
15	6,74	-	10	24,7	70,0	2,03	21,0	66,0	59,0	4,17	34,0	29,0	48,0	3,29	46,0	56,0	39,0	3,0	56,0	51,0
20	5,75	2	-	24,6	116,0	6,74	-31,0	-107	111,0	13,9	-25,0	-101	109,0	13,6	-23,0	-97,0	107,0	12,4	-21,0	-79,0
20	6,01	1,5	-	25	41,0	2,0	54,0	37,0	24	1,3	74,0	81,0	13,0	1,2	85,0	83,0	12,0	1,1	86,0	84,0
20	6,20	1	-	25,1	23,2	2,09	74,0	70,0	10,9	1,05	88,0	85,0	9,8	1,06	89,0	85,0	9,6	1,04	90,0	85,0
20	6,30	-	-	25,0	20,3	1,77	77,0	75,0	10,7	0,81	88,0	88,0	8,2	0,64	91,0	91,0	7,4	0,57	92,0	92,0
20	6,47	-	10	24,7	49,9	8,75	44,0	-27,0	14,0	1,04	84,0	85,0	10,0	0,86	89,0	88,0	9,4	0,62	90,0	91,0
20	6,67	-	30	23,8	115,0	8,96	-30,0	-29,0	114,0	8,19	-29,0	-18,0	112,0	8,14	-27,0	-17,0	111,0	8,12	-25,0	-17,0
25	5,70	1,5	-	24,0	92,2	10,80	4,0	-54,0	88,0	10,8	9,0	-54,0	87,1	10,70	10,0	-53,0	85,3	9,10	12,0	-30,0
25	6,00	-	-	24,0	16,3	1,55	83,0	78,0	7,80	0,78	92,0	89,0	7,8	0,77	92,0	89,0	6,7	0,70	93,0	90,0
25	6,20	-	10	23,8	13,6	1,34	86,0	81,0	8,02	0,57	92,0	92,0	6,0	0,53	94,0	93,0	5,8	0,43	94,0	94,0
25	6,30	-	15	23,8	15,8	1,23	84,0	83,0	8,33	0,46	92,0	93,0	6,0	0,45	94,0	94,0	5,4	0,45	95,0	94,0
25	6,37	-	20	23,8	17,0	1,48	82,0	75,0	9,8	0,56	90,0	91,0	8,5	0,53	91,0	91,0	8,0	0,5	92,0	92,0
25	6,50	-	30	23,8	51,2	3,91	47,0	44,0	11,14	0,73	88,0	90,0	9,4	0,65	90,0	91,0	9,4	0,56	90,0	92,0
25	6,80	-	50	23,4	100,0	7,81	-5,0	-12,0	100,0	7,30	-4,0	-4,0	96,2	7,03	0,0	0,0	93,3	6,53	3,0	7,0

(Continuação da Tabela 01)

DSA (mg/L)	pH	Dosagem de HCl (mL/L)	Dosagem de barrilha (mg/L)	Temperatura °C	Vf1 = 31,6 cm/min				Vf2 = 13,3 cm/min				Vf3 = 6,7 cm/min.				Vf4 = 2,9 cm/min.			
					Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção	
					Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
30	5,78	1	-	23,2	108,0	9,00	-22,0	-30,0	106,0	8,00	-19,0	-16,0	103,0	7,50	-16,0	-8,0	103,0	7,40	-16,0	-7,0
30	6,06	-	-	23,2	21,6	1,37	76,0	80,0	13,6	0,77	85,0	89,0	13,6	0,64	85,0	91,0	12,5	0,51	86,0	93,0
30	6,22	-	10	23,0	14,7	1,05	83,0	85,0	6,5	0,64	93,0	91,0	6,2	0,54	93,0	92,0	5,1	0,50	94,0	93,0
30	6,42	-	20	23,0	24,3	1,97	73,0	72,0	10,0	0,63	89,0	91,0	6,7	0,48	93,0	93,0	6,0	0,57	93,0	92,0
30	6,60	-	30	23,4	90,9	6,71	-3,0	3,0	11,4	0,72	87,0	90,0	9,1	0,62	90,0	91,0	6,5	0,50	93,0	93,0
30	7,15	-	50	23,8	114,0	8,88	-28,0	-28,0	113,0	8,19	-27,0	-18,0	112,0	7,90	-26,0	-14,0	110,0	7,65	-24,0	-10,0
35	5,70	1,5	-	24,3	108,0	9,00	0,0	-27,0	106,0	8,00	1,4	-13,0	103,0	7,50	4,1	-6,0	105,0	7,40	4,1	-5,0
35	5,97	-	-	24,4	68,6	5,26	36,1	25,4	41,2	2,44	61,6	65,4	39,2	2,42	63,5	65,7	36,3	2,18	66,2	69,1
35	6,15	-	10	24,1	16,9	2,18	84,2	69,1	8,9	0,94	91,7	86,7	9,1	0,67	91,5	90,5	5,8	0,78	94,6	88,9
35	6,35	-	20	24,0	17,4	1,25	83,8	88,2	7,8	0,66	92,7	90,6	7,1	0,52	93,4	92,6	6,9	0,54	93,6	92,3
35	6,50	-	35	24,5	21,0	1,4	80,0	80,0	10,8	0,9	90,0	87,0	9,4	0,83	91,0	88,0	9,0	0,71	92,0	90,0
35	6,6	-	30	24,5	30,0	2,54	72,0	64,0	15,3	1,15	86,0	84,0	14,0	1,0	87,0	86,0	13,7	0,74	87,0	89,0
35	6,73	-	50	23,2	117,0	9,80	-9,0	-39,0	19,2	1,27	82,2	82,0	16,0	1,11	85,1	84,3	14,3	0,76	86,7	89,2
35	7,03	-	100	23,3	122,0	9,84	-13,0	-39,0	122,0	9,73	-13,0	-38,0	120,0	9,35	-11,0	-33,0	117,0	9,02	-9,0	-28,0
40	5,84	-	-	24,8	109,8	12,20	-2,0	-73,0	105,1	11,7	2,0	-66,0	102,9	11,9	4,0	-69,0	98,9	10,30	8,0	-46,0
40	6,00	-	10	24,0	22,8	1,45	79,0	79,0	12,7	0,73	88,0	90,0	11,4	0,66	87,0	91,0	10,5	0,78	90,0	89,0
40	6,24	-	20	24,0	12,0	0,97	89,0	86,0	5,8	0,46	95,0	94,0	4,5	0,40	96,0	94,0	4,7	0,63	96,0	91,0
40	6,33	-	30	24,3	17,4	1,18	84,0	83,0	12,9	0,66	88,0	91,0	6,7	0,41	94,0	93,0	7,4	0,48	93,0	94,0
40	6,70	-	50	24,3	68,8	5,15	36,0	27,0	11,1	0,78	90,0	89,0	7,6	51,00	93,0	93,0	8,0	0,51	93,0	93,0
40	7,15	-	100	24,0	104,0	7,75	3,0	-9,0	103,0	7,69	4,0	-9,0	103,0	7,47	4,0	-6,0	102,0	7,20	6,0	-2,0

TABELA 02-Resultados obtidos em ensaios de coagulação- floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação da dosagem de polímero, para diferentes valores de velocidade de flotação - Polímeros utilizados : Aniônico (PM= 18- 25 x10⁶ Adesol), Não iônico (PM= 15- 20x10⁶ Adesol), Catiônico (PM= 15- 20x10⁶ Adesol), Catiônico (Nalco) - para água bruta coagulada com **12 mg/L** de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para água de estudo com características:cas da água bruta: cor aparente 102± 2 uC, turbidez: 7,0 ± 1,0 uT, temperatura: 23,5 ± 0,8 °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min., pressão de saturação: 456 KPa, fração de recirculação: 8% (em volume).

Polímero utilizado	Dosagem de Polímero (mg/L)	HCl (m/L)	pH após mistura rápida	Temperatura	Vf1 = 31,6 cm/min				Vf2 = 13,3 cm/min				Vf3 = 6,7 cm/min.				Vf4 = 2,9 cm/min.			
					Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção	
					Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
Polímero aniônico (Adesol)	0,050	1,5	6,37	23,7	60,3	4,95	44,7	40,3	18,3	1,98	83,3	84,6	13,7	1,70	87,4	86,7	13,7	1,62	87,4	87,9
	0,125	1,5	6,36	22,9	73,8	7,00	32,3	15,7	24,1	1,75	78,9	78,9	21,4	1,50	80,3	82,0	20,7	1,41	81,1	81,6
	0,250	1,5	6,38	23,0	89,0	8,60	18,4	-3,0	26,2	1,72	75,9	79,3	21,7	1,73	80,0	79,2	20,4	1,53	81,3	81,6
	0,375	1,5	6,38	22,9	73,8	6,19	32,3	25,4	22,5	1,67	79,4	79,8	18,5	1,66	83,0	80,0	17,5	1,25	84,0	84,9
	0,500	1,5	6,38	23,0	28,8	2,59	73,5	68,8	21,7	1,61	80,0	80,6	19,6	1,66	82,0	80,0	19,3	1,57	82,3	81,1
	0,750	1,5	6,38	23,0	42,2	4,00	61,3	51,9	20,9	1,61	80,8	80,6	20,4	1,54	81,3	81,4	19,3	1,44	82,3	82,7
	1,000	1,5	6,39	23,0	56,3	4,27	48,4	48,5	29,2	2,05	73,3	75,3	28,1	2,09	74,2	74,8	25,4	1,76	76,7	78,8
-	-	1,5	6,38	23,0	80,5	6,83	11,3	11,0	32,8	2,13	66,5	74,2	31,2	1,83	68,2	77,9	30,5	1,75	69,0	78,9
Polímero não iônico (Adesol)	0,050	1,5	6,40	24,2	100,0	7,49	2,10	-2,0	41,9	2,16	58,9	68,3	34,2	2,09	66,5	69,2	33,1	1,68	67,5	75,2
	0,125	1,5	6,38	24,2	71,2	4,70	30,2	31,4	41,9	2,20	58,9	67,6	40,8	2,00	60,0	70,9	39,7	1,80	60,9	73,5
	0,250	1,5	6,38	23,9	48,0	2,94	52,9	56,8	35,3	1,82	64,4	73,2	35,5	1,72	65,4	74,7	34,2	1,58	66,5	76,8
	0,375	1,5	6,38	23,9	46,2	3,26	54,7	52,2	22,4	1,16	77,9	83,0	19,6	0,95	80,8	86,0	18,8	1,07	81,6	84,3
	0,500	1,5	6,38	24,0	46,6	3,04	51,4	55,4	30,8	1,50	69,8	78,2	27,9	1,33	72,7	80,5	27,9	1,33	72,7	80,5
	0,750	1,5	6,38	23,8	60,0	3,85	41,2	43,5	40,3	2,03	60,5	70,1	40,3	2,14	60,5	68,5	38,5	2,14	62,3	68,5
	1,000	1,5	6,37	23,8	73,5	5,77	27,9	15,2	40,3	2,14	60,5	68,5	35,0	2,80	65,7	73,5	33,4	1,67	67,2	75,4
-	-	1,5	6,37	24,3	78,5	6,83	27,5	9,0	40,0	2,16	60,7	68,2	39,3	2,08	61,5	69,4	35,3	1,80	65,4	73,5

(Continuação da Tabela 02)

Polímero utilizado	Dosagem de Polímero (mg/L)	HCl (ml/L)	pH após mistura rápida	Temperatura	Vf1 = 31,6 cm/min				Vf2 = 13,3 cm/min				Vf3 = 6,7 cm/min.				Vf4 = 2,9 cm/min.			
					Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção	
					Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
Polímero catiônico (Adesol)	0,050	1,5	6,38	24,3	43,2	2,78	54,2	58,6	27,6	1,38	70,8	79,5	25,4	1,25	73,0	81,4	26,4	1,08	72,2	84,0
	0,125	1,5	6,39	24,3	43,2	2,73	60,2	59,2	24,5	1,27	74,2	81,0	22,2	1,00	76,4	84,8	22,0	0,93	76,7	86,1
	0,250	1,5	6,38	24,0	40,0	2,18	58,7	67,4	28,1	1,42	70,2	78,7	30,0	1,60	68,2	76,6	29,2	1,50	69,0	78,0
	0,375	1,5	6,38	24,0	64,2	4,16	32,2	37,9	31,8	1,61	66,3	76,0	30,5	1,44	67,7	78,2	29,2	1,46	69,1	78,6
	0,500	1,5	6,38	23,7	19,1	1,37	79,8	79,5	12,7	1,04	86,6	84,5	7,9	0,78	91,6	88,4	10,5	0,67	89,0	90,0
	0,750	1,5	6,38	23,7	28,0	2,14	70,0	68,1	15,4	1,00	83,7	85,0	13,2	0,86	86,0	87,1	10,5	0,79	89,0	88,2
	1,000	1,5	6,4	23,7	13,8	1,49	74,7	77,8	15,6	0,98	83,5	85,3	14,8	0,92	84,3	86,3	14,0	0,88	85,2	86,8
-	-	1,5	6,4	23,5	75,2	5,43	14,0	12,5	37,6	2,06	57,0	66,8	34,9	1,86	60,0	70,0	37,7	1,92	60,0	71,0
Polímero catiônico (Nalco)	0,050	1,5	6,37	23,5	46,7	3,74	57,2	55,0	14,3	1,06	86,9	87,3	14,8	0,92	86,4	88,9	11,4	0,81	89,6	90,3
	0,125	1,5	6,37	23,5	35,5	2,76	67,4	66,7	18,4	1,62	83,3	80,5	17,9	1,20	83,5	85,7	17,9	1,07	83,5	87,0
	0,250	1,5	6,38	23,2	18,5	1,43	83,0	82,7	12,1	0,86	88,9	89,6	11,0	0,78	89,8	90,6	10,6	0,78	90,3	90,6
	0,375	1,5	6,37	23,2	22,8	1,52	79,1	81,6	15,1	0,92	86,1	89,0	14,8	0,82	86,4	90,1	14,0	0,73	87,2	91,2
	0,500	1,5	6,37	23,1	28,6	2,30	73,7	72,3	17,2	1,06	84,2	87,3	17,2	1,00	84,2	87,9	16,9	1,00	84,5	87,9
	0,750	1,5	6,37	23,1	34,5	2,82	68,4	66,1	16,4	0,92	85,0	88,9	16,7	0,94	84,7	88,7	14,0	0,90	87,2	90,0
	1,000	1,5	6,37	23,2	17,7	1,47	83,7	82,3	14,8	1,14	86,4	86,2	14,0	1,14	87,2	86,2	11,9	1,18	89,1	85,8
	-	-	1,5	6,37	23,5	82,0	6,80	19,0	12,0	37,6	2,90	63,0	65,5	33,2	2,41	67,0	71,0	31,9	2,00	71,0

TABELA 03- Resultados obtidos em ensaios de coagulação- floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação de dosagem de polímero, para diferentes valores de velocidade de flotação - Polímero utilizado: Aniônico (PM= 18 -25x10⁶ Adesol), Não iônico (PM=15 -20x10⁶ Adesol), Catiônico (PM= 15 -20x10⁶ Adesol) e Catiônico (Nalco)- para dosagem de sulfato de alumínio de **12 mg/L**. Característica da água de estudo: cor aparente: 102± 2,0 uC; turbidez: 7,0± 0,3ut; temperatura: 23,5 ± 0,8 °C. Pressão de saturação: 456 KPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; dosagens de polímeros utilizados 0,05, 0,125, 0,250, 0,375, 0,500, 0,750 e 1,000 mg/L.

Polímero utilizado	de Dosagem Polímero (mg/L)	HCl (ml/L)	mistura pH após rápida	Temperatura °C	VF1=31,6 cm/min		VF2= 13,3cm/min		VF3= 6,7 cm/min		VF4= 2,9 cm/min	
					Remoção estimada		Remoção estimada		Remoção estimada		Remoção estimada	
					Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
Polímero Aniônico (Adesol)	0,050	1,5	6,37	23,7	73,0	73,0	86,0	87,0	87,0	88,0	87,0	88,0
	0,125	1,5	6,36	22,9	66,0	62,0	80,0	81,0	81,0	82,0	81,0	82,0
	0,250	1,5	6,38	23,0	61,0	56,0	79,0	80,0	81,0	81,0	84,0	82,0
	0,375	1,5	6,38	22,9	67,0	65,0	82,0	82,0	84,0	84,0	84,0	85,0
	0,500	1,5	6,38	23,0	79,0	77,0	82,0	81,0	82,0	81,0	82,0	81,0
	0,750	1,5	6,38	23,0	75,0	73,0	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0	83,0
	1,000	1,5	6,39	23,0	67,0	68,0	75,0	76,0	76,0	78,0	77,0	79,0
-	-	1,5	6,38	23,0	61,0	57,0	68,0	77,0	69,0	79,0	69,0	79,0
Polímero não iônico (Adesol)	0,050	1,5	6,40	24,2	45,0	47,0	65,0	71,0	67,0	74,0	68,0	75,0
	0,125	1,5	6,38	24,2	51,0	59,0	60,0	71,0	61,0	73,0	61,0	73,0
	0,250	1,5	6,38	23,9	62,0	69,0	66,0	75,0	66,0	76,0	66,0	77,0
	0,375	1,5	6,38	23,9	72,0	75,0	80,0	85,0	81,0	85,0	82,0	84,0
	0,500	1,5	6,38	24,0	65,0	72,0	72,0	80,0	73,0	80,0	73,0	80,0
	0,750	1,5	6,38	23,8	55,0	62,0	61,0	69,0	62,0	69,0	62,0	69,0
	1,000	1,5	6,37	23,8	53,0	55,0	65,0	73,0	67,0	75,0	67,0	75,0
-	-	1,5	6,37	24,3	52,0	57,0	63,0	71,0	64,0	72,0	65,0	73,0
Polímero catiônico (Adesol)	0,050	1,5	6,38	24,3	67,0	74,0	72,0	82,0	72,0	83,0	72,0	84,0
	0,125	1,5	6,39	24,3	69,0	76,0	76,0	84,0	77,0	86,0	77,0	86,0
	0,250	1,5	6,38	24,0	66,0	75,0	69,0	77,0	69,0	77,0	69,0	78,0
	0,375	1,5	6,38	24,0	57,0	66,0	68,0	78,0	69,0	78,0	69,0	79,0
	0,500	1,5	6,38	23,7	86,0	85,0	89,0	88,0	90,0	90,0	89,0	90,0
	0,750	1,5	6,38	23,7	81,0	81,0	86,0	87,0	88,0	88,0	89,0	88,0
	1,000	1,5	6,40	23,7	81,0	84,0	84,0	86,0	85,0	87,0	85,0	87,0
-	-	1,5	6,40	23,5	45,0	52,0	59,0	70,0	60,0	71,0	60,0	71,0
Polímero catiônico (Nalco)	0,050	1,5	6,37	23,5	79,0	79,0	88,0	89,0	89,0	90,0	90,0	90,0
	0,125	1,5	6,37	23,5	79,0	78,0	83,0	85,0	84,0	87,0	84,0	87,0
	0,250	1,5	6,38	23,2	88,0	88,0	90,0	90,0	90,0	91,0	90,0	91,0
	0,375	1,5	6,37	23,2	84,0	87,0	87,0	90,0	87,0	91,0	87,0	91,0
	0,500	1,5	6,37	23,1	81,0	83,0	84,0	88,0	84,0	88,0	84,0	88,0
	0,750	1,5	6,37	23,1	80,0	82,0	86,0	89,0	86,0	89,0	87,0	89,0
	1,000	1,5	6,37	23,2	86,0	85,0	88,0	86,0	89,0	86,0	89,0	86,0
-	-	1,5	6,37	23,5	45,0	52,0	59,0	71,0	60,0	74,0	60,0	76,0



TABELA 04- Resultados obtidos em ensaios de coagulação- floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação da dosagem de polímero, para diferentes valores de velocidade de flotação - Polímeros utilizados: Aniônico (PM= 18 -25x10⁶g Adesol), Não iônico (PM=15 -20x10⁶g Adesol), Catiônico (PM= 15 -20x10⁶g Adesol) e Catiônico (Nalco) - para água bruta coagulada com **20 mg/L** de sulfato de alumínio. Ensaios realizados com o equipamento de flotatestes para água de estudo com características: cor aparente: 99,3± 7,5 uC; turbidez: 7,8± 0,6 uT; temperatura: 23,4 ± 0,8 °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min. e VF4= 2,9 cm/min., fração de recirculação: 8% (em volume), pressão de saturação: 456 kPa.

Polímero utilizado	Dosagem de Polímero (mg/L)	Dosagem de barrilha (mg/L)	pH após mistura rápida	Temperatura	Vf1 = 31.6 cm/min				Vf2 = 13,3 cm/min				Vf3 = 6,7 cm/min.				Vf4 = 2,9 cm/min.			
					Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção	
					Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
Polímero aniônico	0,050	5,0	6,38	24,0	16,6	0,97	82,2	89,1	15,4	0,80	83,5	91,0	12,1	0,73	87,0	92,0	9,7	0,63	88,7	93,0
	0,125	5,0	6,38	24,0	21,7	1,68	76,7	81,1	11,6	0,63	87,5	93,0	8,7	0,80	90,7	91,0	8,2	0,65	91,2	93,0
	0,250	5,0	6,30	23,6	18,5	1,54	80,1	82,6	11,9	0,80	87,2	91,2	10,5	0,68	88,7	92,4	10,0	0,63	89,2	93,0
	0,375	5,0	6,30	23,6	20,4	1,66	78,1	81,3	9,8	0,80	89,5	91,0	8,4	0,76	91,0	91,5	8,2	0,72	91,2	91,9
Polímero (Adesol)	0,500	5,0	6,30	23,5	16,7	1,48	82,1	83,3	10,5	1,03	88,7	88,5	10,5	0,82	88,7	90,8	10,3	0,72	89,0	92,0
	0,750	5,0	6,30	23,5	31,8	2,75	65,8	66,6	11,6	1,57	87,5	82,4	10,3	0,80	88,9	91,1	9,5	0,85	89,8	90,4
	1,000	5,0	6,36	23,4	20,1	1,85	78,4	79,1	15,1	1,50	83,8	83,1	14,0	1,25	84,9	85,9	12,7	0,96	86,4	89,2
-	-	5,0	6,30	24,2	25,2	2,83	73,0	68,2	13,5	1,13	85,5	87,4	12,6	0,57	86,5	93,3	11,1	0,57	88,0	93,6
Polímero não iônico (Adesol)	0,050	7,5	6,26	23,5	59,5	4,30	39,5	78,6	19,3	1,15	80,3	83,5	16,1	0,81	83,6	88,5	12,7	0,70	87,1	90,0
	0,125	10,0	6,37	23,5	15,3	1,01	84,4	85,6	13,5	0,85	86,3	87,8	6,8	0,77	93,0	89,1	7,4	0,56	92,5	92,0
	0,250	10,0	6,37	23,5	12,7	1,03	87,1	85,3	5,0	0,47	94,9	93,2	4,4	0,52	95,5	92,6	3,9	0,41	96,0	94,1
	0,375	10,0	6,33	23,8	19,9	1,49	79,8	78,7	8,2	0,81	91,7	88,4	7,4	0,95	92,5	86,4	8,4	1,00	91,4	85,6
	0,500	10,0	6,33	23,8	12,1	0,97	87,6	86,1	6,8	0,82	93,0	88,3	6,3	0,68	93,6	90,3	5,8	0,68	94,0	90,3
	0,750	10,0	6,29	22,8	24,9	1,7	74,6	75,6	12,1	0,99	87,6	85,8	11,1	0,77	88,7	89,0	10,0	0,72	90,0	89,7
	1,000	10,0	6,29	22,8	32,6	2,47	66,8	64,7	17,5	1,81	82,2	74,1	9,0	0,73	90,9	89,5	9,5	0,72	90,3	89,7
-	-	7,5	6,26	23,5	27,3	2,42	72,2	65,4	12,4	0,89	87,4	87,2	12,7	0,86	87,1	87,7	9,5	0,65	90,3	90,7

(Continuação da Tabela 04)

Polímero utilizado	Dosagem de polímero (mg/L)	Dosagem de barrilha (mg/L)	pH após mistura rápida	Temperatura	Vf1 = 31,6 cm/min				Vf2 = 13,3 cm/min				Vf3 = 6,7 cm/min.				Vf4 = 2,9 cm/min.			
					Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção		Remanescente		Remoção	
					Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
Polímero catiônico (Adesol)	0,050	7,5	6,30	22,5	15,6	1,26	83,0	82,6	6,8	0,44	92,6	93,9	7,8	0,56	91,4	92,2	7,1	0,64	92,3	91,2
	0,125	7,5	6,34	22,9	15,1	1,01	83,6	86,1	11,9	0,71	87,1	90,2	9,0	0,82	90,2	88,8	6,2	0,49	93,1	93,3
	0,250	7,5	6,34	22,9	12,1	1,08	86,8	85,2	11,6	1,05	87,3	85,5	7,4	1,06	92,0	85,5	6,3	0,76	93,1	89,6
	0,375	7,5	6,30	23,3	15,9	0,98	85,7	86,4	9,2	0,65	90,0	91,0	10,0	0,77	89,1	89,4	9,8	0,76	89,4	89,5
	0,500	7,5	6,30	23,3	21,4	1,45	76,6	80,2	12,4	0,95	86,5	87,0	11,4	0,74	87,6	89,8	10,3	0,65	88,8	91,3
	0,750	7,5	6,32	23,3	19,5	1,15	78,6	84,2	11,3	0,78	87,6	90,1	10,8	0,72	88,2	90,4	11,0	0,70	87,9	89,4
	1,000	7,5	6,32	23,3	20,6	1,38	77,5	81,1	13,2	0,76	85,6	89,6	11,6	0,81	87,3	88,9	12,0	0,67	86,8	90,8
-	-	7,5	6,30	22,5	15,8	1,18	82,7	83,9	11,3	0,77	87,6	89,5	10,6	0,60	88,5	91,9	9,6	0,66	89,5	91,0
Polímero catiônico (Nalco)	0,050	7,5	6,38	23,8	15,9	1,04	85,0	86,4	9,0	0,46	91,5	93,9	8,7	0,52	91,8	93,2	8,2	0,43	92,3	94,3
	0,125	7,5	6,38	23,8	17,7	1,25	83,3	83,5	9,0	0,55	91,5	92,7	9,2	0,42	91,3	94,5	8,7	0,55	91,8	93,5
	0,250	7,5	6,35	23,5	22,0	1,18	79,3	84,5	14,0	0,72	86,8	90,5	12,9	0,79	87,8	89,6	14,3	0,83	86,5	89,0
	0,375	7,0	6,35	23,5	21,9	1,68	79,3	77,8	14,5	0,83	86,3	89,1	14,2	0,67	86,6	91,2	13,2	0,65	87,5	91,5
	0,500	7,0	6,32	23,6	17,5	1,06	83,5	86,1	13,5	0,79	87,3	89,6	12,1	0,70	88,5	90,8	12,1	0,73	88,5	90,3
	0,750	7,0	6,32	23,6	14,3	0,85	86,5	88,8	11,6	0,74	89,0	90,2	11,3	0,74	89,3	90,2	11,8	0,54	88,8	92,9
	1,000	7,0	6,33	23,4	30,0	2,00	69,4	21,0	22,0	1,50	77,6	78,7	15,0	1,00	84,7	85,7	13,5	1,00	86,2	85,8
-	-	7,5	6,30	23,5	30,5	2,93	71,2	61,3	15,1	0,91	85,8	88,0	15,6	0,79	85,3	89,6	15,6	1,08	85,3	85,8

TABELA 05- Resultados obtidos em ensaios de coagulação- floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação de dosagem de polímero, para diferentes valores de velocidade de flotação - Polímeros utilizados: Aniônico (PM= 18 -25x10⁶ Adesol), Não iônico (PM=15 -20x10⁶ Adesol), Catiônico (PM= 15 -20x10⁶ Adesol), Catiônico (Nalco)- para dosagem de sulfato de alumínio de **20mg/L**. Característica da água de estudo: cor aparente: 99,3± 7,5 uC; turbidez: 7,8 ± 0,6 ut; temperatura:23,4 ± 0,8 °C. Pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume); velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; dosagens de polímeros utilizadas: 0,05, 0,125, 0,250, 0,375, 0,500, 0,750, 1,000 (mg/L).

Polímero utilizado	de Dosagem Polímero (mg/L)	Dosagem de barrilha (mg/L)	pH após mistura rápida	Temperatura °C	VF1=31,6 cm/min		VF2=13,3 cm/min		VF3= 6,7 cm/min		VF4= 2,9 cm/min	
					Remoção estimada		Remoção estimada		Remoção estimada		Remoção estimada	
					Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
Polímero Aniônico (Adesol)	0,050	5,0	6,38	24,0	84,0	91,0	86,0	92,0	88,0	93,0	89,0	93,0
	0,125	5,0	6,38	24,0	86,0	89,0	90,0	92,0	89,0	92,0	88,0	93,0
	0,250	5,0	6,30	23,6	86,0	89,0	89,0	92,0	89,0	93,0	89,0	93,0
	0,375	5,0	6,30	23,3	87,0	88,0	91,0	92,0	91,0	92,0	91,0	92,0
	0,500	5,0	6,30	23,5	87,0	88,0	89,0	91,0	89,0	92,0	89,0	92,0
	0,750	5,0	6,30	23,5	82,0	80,0	89,0	89,0	90,0	91,0	90,0	90,0
	1,000	5,0	6,36	23,4	83,0	83,0	85,0	86,0	86,0	88,0	86,0	89,0
	-	-	5,0	6,30	24,2	82,0	84,0	87,0	92,0	88,0	93,0	88,0
Polímero não iônico (Adesol)	0,050	7,5	6,26	23,5	70,0	72,0	84,0	88,0	86,0	90,0	87,0	90,0
	0,125	10,0	6,37	23,5	88,0	88,0	91,0	90,0	93,0	91,0	93,0	92,0
	0,250	10,0	6,37	23,5	93,0	91,0	96,0	93,0	96,0	94,0	95,0	96,0
	0,375	10,0	6,33	23,8	88,0	85,0	92,0	87,0	92,0	86,0	91,0	86,0
	0,500	10,0	6,33	23,8	92,0	88,0	94,0	90,0	94,0	90,0	94,0	90,0
	0,750	10,0	6,29	22,8	84,0	84,0	89,0	88,0	89,0	89,0	90,0	90,0
	1,000	10,0	6,29	22,8	80,0	76,0	89,0	86,0	90,0	90,0	90,0	90,0
	-	-	7,5	6,26	23,5	83,0	82,0	88,0	89,0	89,0	90,0	90,0
Polímero Catiônico (Adesol)	0,050	7,5	6,30	22,5	90,0	90,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	91,0
	0,125	7,5	6,34	22,9	88,0	89,0	91,0	91,0	92,0	92,0	93,0	93,0
	0,250	7,5	6,34	22,9	89,0	86,0	91,0	87,0	93,0	88,0	93,0	90,0
	0,375	7,5	6,30	23,3	88,0	89,0	89,0	90,0	89,0	90,0	89,0	90,0
	0,500	7,5	6,30	23,3	84,0	86,0	88,0	90,0	88,0	91,0	89,0	91,0
	0,750	7,5	6,32	23,3	85,0	88,0	88,0	90,0	88,0	90,0	88,0	89,0
	1,000	7,5	6,32	23,3	84,0	87,0	87,0	90,0	87,0	90,0	87,0	91,0
	-	-	7,5	6,30	22,5	90,0	88,0	89,0	91,0	89,0	91,0	90,0
Polímero Catiônico (Nalco)	0,050	7,5	6,38	23,8	90,0	92,0	92,0	94,0	92,0	94,0	92,0	94,0
	0,125	7,5	6,38	23,8	89,0	90,0	92,0	94,0	92,0	94,0	92,0	93,0
	0,250	7,5	6,35	23,5	85,0	88,0	87,0	90,0	87,0	89,0	87,0	89,0
	0,375	7,0	6,35	23,5	85,0	87,0	87,0	91,0	87,0	91,0	88,0	91,0
	0,500	7,0	6,32	23,6	87,0	89,0	88,0	90,0	89,0	90,0	89,0	90,0
	0,750	7,0	6,32	23,6	88,0	89,0	89,0	90,0	89,0	90,0	89,0	91,0
	1,000	7,0	6,33	23,4	78,0	79,0	83,0	84,0	86,0	86,0	86,0	86,0
	-	-	7,5	6,30	23,5	81,0	80,0	85,0	88,0	85,0	87,0	85,0

TABELA 06- Resultados obtidos em ensaios de coagulação- floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação do tempo de aplicação do polímero catiônico Nalco (0.25 mg/L) e velocidade de flotação, para dosagem de sulfato de alumínio de **12 mg/L**. Características da água de estudo: cor aparente:107,6 uC; turbidez: 6,70 uT; temperatura: 23,4± 0,2 °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume).

Tempo de adição do polímero catiônico(Nalco)	Tempo de floculação após adição do polímero (min.)	Dosagem de HCl (mL/L)	pH após mistura rápida	Temperatura	VF1= 31,6 cm/min.				VF2= 13,3 cm/min.				VF3= 6,7 cm/min.				VF4= 2,9 cm/min.			
					Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada	
					Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
após 20 seg. de mistura rápida	24	1,5	6,36	22,6	15,1	1,50	86,0	78,0	11,8	1,00	89,0	85,0	10,8	0,87	90,0	87,0	10,8	0,87	90,0	87,0
após 1 min. de floculação	23	1,5	6,36	22,8	20,4	1,88	81,0	72,0	11,8	1,07	89,0	84,0	10,8	0,94	90,0	86,0	10,8	0,87	90,0	87,0
após 5 min. de floculação	1	1,5	6,35	23	44,1	3,08	59,0	54,0	26,9	1,74	75,0	74,0	25,9	1,68	76,0	75,0	25,9	1,61	76,0	76,0
após 5 min. de floculação	5	1,5	6,34	22,4	22,6	1,47	79,0	78,0	18,3	1,34	83,0	80,0	17,3	12,7	84,0	81,0	17,3	1,21	84,0	82,0
após 5 min. de floculação	19	1,5	6,38	23,2	14,0	1,14	87,0	83,0	10,7	0,87	90,0	87,0	10,8	0,80	90,0	88,0	9,7	0,74	91,0	89,0
após 10 min. de floculação	1	1,5	6,35	24,4	33,5	2,42	69,0	64,0	17,7	1,54	83,0	77,0	17,3	1,47	84,0	78,0	17,3	1,41	84,0	79,0

(Continuação da Tabela 06)

Tempo de adição do polímero catiónico(Nalco)	Tempo de floculação após adição do polímero (min.)	Dosagem de HCl (mL/L)	pH após mistura rápida	Temperatura	VF1= 31,6 cm/min.				VF2= 13,3 cm/min.				VF3= 6,7 cm/min.				VF4= 2,9 cm/min.			
					Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada	
					Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
após 10 min. de floculação	5	1,5	6,35	24,4	17,7	1,54	83,0	77,0	12,9	1,00	88,0	85,0	12,9	1,00	88,0	85,0	11,9	0,98	89,0	86,0
após 10 min. de floculação	10	1,5	6,37	23,9	21,6	1,34	83,0	80,0	11,9	0,80	89,0	88,0	10,8	0,74	90,0	89,0	9,7	0,67	91,0	90,0
após 10 min. de floculação	14	1,5	6,36	23,5	12,9	1,07	88,0	84,0	10,8	0,87	90,0	87,0	9,7	0,87	91,0	87,0	9,7	0,87	91,0	87,0
após 15 min. de floculação	1	1,5	6,37	23,7	27,0	2,08	75,0	69,0	14,4	1,07	87,0	84,0	12,9	1,00	88,0	85,0	11,9	1,00	89,0	85,0
após 15 min. de floculação	5	1,5	6,33	24	15,1	1,00	86,0	85,0	10,8	0,74	90,0	89,0	9,7	0,60	91,0	91,0	9,7	0,60	91,0	91,0
após 15 min. de floculação	9	1,5	6,33	23,2	21,6	1,88	80,0	72,0	10,8	0,87	90,0	87,0	9,7	0,80	91,0	88,0	9,7	0,74	91,0	89,0

TABELA 07 Resultados obtidos em ensaios de coagulação- floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação do tempo de aplicação do polímero não iônico Adesol (0.25 mg/L) e velocidade de flotação, para dosagem de sulfato de alumínio de **20 mg/L**. Características da água de estudo: cor aparente:96,0 uC; turbidez: 6,90 uT; temperatura: 24,2± 1,0 °C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pressão de saturação: 456 kPa; fração de recirculação: 8% (em volume).

Tempo de adição do polímero não iônico (Adesol)	Tempo de floculação após adição do polímero (min.)	Dosagem de Barrilha (mg/L)	pH após mistura rápida	Temperatura	VF1= 31,6 cm/min.				VF2= 13,3 cm/min.				VF3= 6,7 cm/min.				VF4= 2,9 cm/min.			
					Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada	
					Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
após 20 seg. de mistura rápida	24	5,0	6,32	23,8	12,5	1,38	87,0	80,0	4,8	0,69	95,0	90,0	4,8	0,62	95,0	91,0	4,8	0,62	95,0	91,0
após 1 min. de floculação	23	5,0	6,35	24,0	9,6	1,0	90,0	85,0	4,8	0,55	95,0	92,0	3,8	0,55	96,0	92,0	3,8	0,55	96,0	92,0
após 5 min. de floculação	1	5,0	6,40	23,2	28,2	2,0	70,0	71,0	15,4	0,97	84,0	86,0	13,4	0,90	86,0	87,0	13,4	0,83	86,0	88,0
após 5 min. de floculação	5	5,0	6,40	24,4	21,1	1,38	78,0	80,0	13,4	0,83	86,0	88,0	12,5	0,76	87,0	89,0	11,5	0,76	88,0	89,0
após 5 min. de floculação	19	5,0	6,34	23,7	9,8	0,97	89,0	86,0	6,7	0,62	93,0	91,0	6,7	0,55	93,0	92,0	6,7	0,55	93,0	92,0
após 10 min. de floculação	1	5,0	6,35	24,4	22,1	1,74	77,0	74,0	10,6	0,90	89,0	87,0	9,6	0,76	90,0	89,0	9,6	0,69	90,0	90,0

(Continuação da Tabela 07)

Tempo de adição do polímero não iônico (Adesol)	Tempo de floculação após adição do polímero (min.)	Dosagem de HCl (mL/L)	pH após mistura rápida	Temperatura	VF1= 31,6 cm/min.				VF2= 13,3 cm/min.				VF3= 6,7 cm/min.				VF4= 2,9 cm/min.			
					Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada		Remanescente estimada		Remoção estimada	
					Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente (%)	Turbidez (%)
após 10 min. de floculação	5	5,0	6,40	24,0	24,0	1,73	75,0	75,0	11,5	0,83	88,0	88,0	11,5	0,76	88,0	89,0	11,5	0,76	88,0	89,0
após 10 min. de floculação	10	5,0	6,35	24,6	16,3	1,24	83,0	82,0	10,6	0,83	89,0	88,0	10,6	0,76	89,0	89,0	10,6	0,69	89,0	90,0
após 10 min. de floculação	14	5,0	6,37	23,9	18,2	1,31	81,0	81,0	8,6	0,76	91,0	89,0	7,7	0,76	92,0	89,0	7,7	0,76	92,0	89,0
após 15 min. de floculação	1	5,0	6,36	25,0	16,3	1,24	83,0	82,0	11,5	0,76	88,0	88,0	10,6	0,62	89,0	90,0	10,6	0,69	89,0	90,0
após 15 min. de floculação	5	5,0	6,34	25,1	21,1	1,66	78,0	76,0	11,5	0,62	88,0	91,0	11,5	0,55	88,0	92,0	12,5	0,55	87,0	92,0
após 15 min. de floculação	9	5,0	6,39	24,4	21,1	1,17	78,0	83,0	14,4	0,83	85,0	88,0	12,5	0,69	87,0	90,0	12,5	0,55	87,0	90,0

TABELA 08- Resultados obtidos em ensaios de coagulação- floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação da fração de recirculação - R- 4, 6, 8, 10, 12, e 14%- e velocidade de flotação, para água bruta coagulada com **12 mg/L** de sulfato de alumínio e 0,25 mg/L de polímero catiônico (Nalco). Ensaio realizado com o equipamento de flotatete para água com as seguintes características: cor aparente: 105,4 uC; turbidez: 7,6 uT; temperatura: 24,2°C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pressão de saturação: 456 kPa; pH após mistura rápida: 6,40 ± 0,01.

Fração de recirculação (%)	DSA (mg/L)	Dosagem de HCl (mL/L)	pH após mistura rápida	Temperatura (°C)	Velocidade de flotação (cm/min)	Remanescente estimada (%)		Remoção estimada (%)	
						Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez
4	12	1,5	6,42	24,2	31,6	40,0	1,54	62,0	56,0
					13,3	19,0	0,87	82,0	79,0
					6,7	16,9	0,8	84,0	81,0
					2,9	16,9	0,8	84,0	81,0
6	12	1,5	6,42	24,2	31,6	21,1	1,00	80,0	78,0
					13,3	14,8	0,80	86,0	86,0
					6,7	14,8	0,74	86,0	87,0
					2,9	13,7	0,74	87,0	88,0
8	12	1,5	6,39	24,2	31,6	17,9	0,60	83,0	82,0
					13,3	12,6	0,47	88,0	88,0
					6,7	11,6	0,47	89,0	88,0
					2,9	10,5	0,47	90,0	88,0
10	12	1,5	6,41	24,2	31,6	22,1	0,87	79,0	78,0
					13,3	13,7	0,67	87,0	87,0
					6,7	13,7	0,67	88,0	88,0
					2,9	11,6	0,60	89,0	88,0
12	12	1,5	6,40	24,1	31,6	23,2	1,07	78,0	76,0
					13,3	15,81	0,94	85,0	85,0
					6,7	13,7	0,80	87,0	86,0
					2,9	12,6	0,74	88,0	87,0
14	12	1,5	6,39	24,1	31,6	27,1	1,27	74,0	72,0
					13,3	16,9	1,07	84,0	83,0
					6,7	16,9	0,94	84,0	84,0
					2,9	16,9	0,87	84,0	84,0

TABELA 09- Resultados obtidos em ensaios de coagulação- floculação- flotação em escala de laboratório em função da variação da fração de recirculação - R- 4, 6, 8, 10, 12, e 14%- e velocidade de flotação, para água coagulada com **20 mg/L** de sulfato de alumínio e 0,25 mg/L de polímero não iônico (Adesol). Ensaios realizados com o equipamento de flotateste para água com as seguintes características: cor aparente: 109 uC; turbidez: 5,78 uT; temperatura: 23,9± 0,5°C. Velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min.; pressão de saturação: 456 kPa; pH após mistura rápida: 6,36 ± 0,03.

Fração de recirculação (%)	DSA (mg/L)	Dosagem de barrilha (mg/L)	pH após mistura rápida	Temperatura (°C)	Velocidade de flotação (cm/min)	Remanescente estimada (%)		Remoção estimada (%)	
						Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez
4	20	5	6,40	24,3	31,6	13,1	1,33	88,0	77,0
					13,3	10,9	0,75	90,0	87,0
					6,7	9,8	0,70	91,0	88,0
					2,9	9,8	0,70	91,0	88,0
6	20	5	6,36	24,4	31,6	12,0	0,87	89,0	85,0
					13,3	8,7	0,70	92,0	88,0
					6,7	8,7	0,64	92,0	89,0
					2,9	8,7	0,64	92,0	89,0
8	20	5	6,33	23,9	31,6	7,6	0,52	93,0	91,0
					13,3	6,5	0,41	94,0	93,0
					6,7	5,5	0,41	95,0	93,0
					2,9	5,5	0,41	95,0	93,0
10	20	5	6,34	24,1	31,6	8,7	0,75	92,0	87,0
					13,3	6,5	0,58	94,0	90,0
					6,7	6,5	0,58	94,0	90,0
					2,9	6,5	0,52	94,0	91,0
12	20	5	6,35	23,4	31,6	9,8	0,93	91,0	84,0
					13,3	7,6	0,81	93,0	86,0
					6,7	6,5	0,70	94,0	88,0
					2,9	6,5	0,64	94,0	89,0
14	20	5	6,35	23,3	31,6	12,0	1,10	89,0	81,0
					13,3	9,8	0,93	91,0	84,0
					6,7	9,8	0,81	91,0	86,0
					2,9	8,7	0,75	92,0	87,0

TABELA 10- Resultados obtidos em ensaios de coagulação- floculação- flotação realizados em escala de laboratório em função da variação do tempo de floculação e gradiente médio de velocidade de floculação, para as seguintes variáveis: Tf- 16, 20 e 25 min. e Gf- 40, 60, 80 e 100 s⁻¹. Dosagem de sulfato de alumínio utilizada - **DSA - 12 mg/L**, dosagem de polímero catiônico (Nalco): 0,25 mg/L, pH de coagulação: 6,38 ± 0,03, velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min., pressão de saturação: 456 KPa, fração de recirculação: 8% (em volume). Características da água bruta: cor aparente: 108,7 uC, turbidez: 6,86 uT, temperatura: 23,5 ± 0,3°C.

Tf (min)	Gf (s ⁻¹)	DSA mg/L	Dosagem de polímero catiônico (mg/L)	HCl (mL/L)	Temperatura °C	pH após mistura rápida	VF1=31,6cm/min				VF2=13,3cm/min				VF3=6,7cm/min				VF4=2,9cm/min			
							Remanescente		Remoção (%)		Remanescente		Remoção (%)		Remanescente		Remoção (%)		Remanescente		Remoção (%)	
							Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez
16	40	12	0,25	1,0	23,5	6,42	45,9	3,75	57,8	45,3	14,9	1,25	86,3	81,8	13,8	0,89	87,3	87,0	13,1	0,88	87,9	87,2
16	60	12	0,25	2	23,5	6,35	39,4	2,57	63,7	62,5	12,0	0,93	88,6	86,5	11,8	0,92	89,1	86,6	11,1	0,86	89,8	87,5
16	80	12	0,25	2	23,4	6,35	41,4	2,00	62,0	70,9	12,9	1,0	88,1	85,9	10,0	0,75	90,8	89,1	8,9	0,63	91,8	90,8
16	100	12	0,25	2	23,5	6,36	76,4	5,81	29,7	15,3	14,5	1,09	86,7	84,1	11,1	1,0	89,8	85,9	10,9	0,83	90,0	87,9
20	40	12	0,25	1,0	23,3	6,40	37,2	3,84	65,8	44,0	9,6	0,78	91,2	88,6	8,2	0,74	92,4	89,2	8,7	0,68	92,0	90,1
20	60	12	0,25	1,0	23,3	6,40	33,6	3,37	69,1	51,0	8,5	0,71	92,2	89,7	8,2	0,67	92,4	90,2	6,9	0,56	93,6	91,8
20	80	12	0,25	1,0	23,6	6,40	18,9	1,70	82,6	75,2	7,6	0,58	93,0	91,5	5,6	0,55	94,8	91,9	4,5	0,54	95,9	92,1
20	100	12	0,25	1,0	23,5	6,40	19,8	1,66	81,8	75,8	8,5	0,70	92,2	89,8	7,8	0,63	92,8	90,8	7,6	0,56	93,0	91,8
25	40	12	0,25	1,0	23,5	6,40	28,3	2,42	74,0	64,7	10,3	0,79	90,6	88,5	9,4	0,79	91,4	88,5	9,1	0,78	91,6	88,6
25	60	12	0,25	1,0	23,4	6,38	20,9	1,84	80,7	73,2	8,7	0,79	92,0	88,5	7,8	0,75	92,8	89,1	7,1	0,68	93,4	90,1
25	80	12	0,25	1,0	23,8	6,38	24,3	2,23	77,7	67,5	9,4	0,80	91,4	88,3	8,9	0,81	91,8	89,0	7,8	0,73	92,8	89,4
25	100	12	0,25	1,0	23,9	6,38	34,1	3,23	68,7	52,9	9,6	0,93	91,2	86,5	9,0	0,90	91,6	86,9	8,8	0,73	91,8	89,4

TABELA 11- Resultados obtidos em ensaios de coagulação- floculação- flotação realizados em escala de laboratório em função da variação do tempo de floculação e gradiente médio de velocidade de floculação, para as seguintes variáveis: Tf- 5, 10, 15, 20 e 24 min. e Gf- 40, 60, 80 e 100 s⁻¹. Dosagem de sulfato de alumínio utilizada - **DSA - 20 mg/L**, dosagem de polímero não iônico (Adesol): 0,25 mg/L, pH de coagulação: 6,35 ± 0,05, velocidade de flotação: VF1= 31,6 cm/min., VF2= 13,3 cm/min., VF3= 6,7 cm/min., VF4= 2,9 cm/min., pressão de saturação: 456 KPa, fração de recirculação: 8% (em volume). Características da água bruta: cor aparente: 103± 6 uC, turbidez: 5,92 ± 0,14uT, temperatura: 23,4 ± 1,1°C.

Tf (min)	Gf (s ⁻¹)	DSA mg/L	Dosagem de polímero não iônico (mg/L)	Dosagem de Barrilha (mg/L)	Temperatura °C.	pH após mistura realizada	VF1=31,6cm/min				VF2=13,3cm/min				VF3=6,7cm/min				VF4=2,9cm/min			
							Remanescente		Remoção (%)		Remanescente		Remoção (%)		Remanescente		Remoção (%)		Remanescente		Remoção (%)	
							Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez
5	40	20	0,25	5,0	24,0	6,37	32,8	2,13	70,0	63,2	15,2	0,93	86,1	84,0	14,3	0,92	86,9	84,0	12,5	0,80	85,6	86,2
5	60	20	0,25	5,0	24,0	6,37	34,1	2,48	68,7	57,1	15,2	0,94	86,1	83,7	13,1	0,86	88,0	85,0	11,4	0,82	89,6	85,8
5	80	20	0,25	5,0	24,3	6,36	23,6	1,45	78,3	74,9	11,4	0,69	89,6	88,1	10,7	0,67	90,2	88,4	8,9	0,60	91,8	89,6
5	100	20	0,25	5,0	24,3	6,37	42,6	3,13	61,0	45,9	12,5	0,76	88,6	86,9	10,2	0,70	90,0	87,6	10,0	0,70	90,8	87,9
10	40	20	0,25	5,0	24,5	6,40	26,7	1,81	72,5	70,4	15,6	0,96	83,9	84,2	16,5	0,88	83,1	85,6	14,9	0,80	84,7	86,9
10	60	20	0,25	5,0	24,5	6,40	22,5	1,38	76,8	77,4	10,0	0,96	89,7	84,3	9,6	0,77	90,1	87,4	8,2	0,70	91,5	88,5
10	80	20	0,25	5,0	24,3	6,36	29,4	1,84	69,7	70,3	14,3	0,98	85,3	84,0	12,0	0,86	88,7	85,9	10,2	0,70	89,5	88,5
10	100	20	0,25	5,0	24,3	6,40	28,5	1,79	70,7	70,7	12,5	0,92	87,2	84,9	11,6	0,90	88,1	85,0	11,6	0,90	88,1	85,3
15	40	20	0,25	5,0	23,9	6,36	49,5	2,25	49,1	63,1	12,0	0,89	87,6	85,4	11,6	0,69	88,0	88,7	11,4	0,61	88,3	90,0
15	60	20	0,25	5,0	24,0	6,35	13,1	1,36	86,4	77,7	9,6	0,70	90,1	88,5	8,9	0,70	90,8	88,5	7,6	0,50	92,2	91,8
15	80	20	0,25	5,0	24,1	6,36	34,3	3,44	64,7	43,6	10,9	0,85	88,8	86,1	9,4	0,80	90,4	86,9	8,9	0,63	90,8	89,7
15	100	20	0,25	5,0	24,2	6,37	51,7	4,37	46,8	28,4	10,3	0,90	89,5	85,3	9,4	0,85	90,4	86,1	9,1	0,65	90,6	89,4

(Continuação da Tabela 11)

Tf (min)	Gf (s ⁻¹)	DSA mg/L	Dosagem de polímero não iônico (mg/L)	Dosagem de Barrilha (mg/L)	Temperatura °C.	pH após mistura realizada	VF1=31,6cm/min				VF2=13,3cm/min				VF3=6,7cm/min				VF4=2,9cm/min			
							Remanescente		Remoção (%)		Remanescente		Remoção (%)		Remanescente		Remoção (%)		Remanescente		Remoção (%)	
							Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	Cor aparente	Turbidez
20	40	20	0,25	5,0	22,4	6,30	31,2	2,20	68,0	64,0	10,5	0,73	89,3	88,0	10,0	0,65	89,7	89,3	8,7	0,60	91,1	90,1
20	60	20	0,25	5,0	22,5	6,30	23,2	1,55	76,0	74,5	7,6	0,49	92,2	92,4	6,7	0,45	93,2	92,6	6,5	0,38	93,3	93,7
20	80	20	0,25	5,0	22,3	6,35	27,4	1,98	71,8	67,4	10,0	0,60	89,8	90,2	9,4	0,59	90,4	90,3	8,6	0,54	91,2	91,2
20	100	20	0,25	5,0	22,5	6,37	33,6	2,47	46,8	28,4	12,4	0,63	87,3	88,5	10,6	0,61	89,1	89,4	9,9	0,57	89,8	90,7
24	40	20	0,25	5,0	24,1	6,36	38,5	1,74	64,7	69,9	10,5	0,78	90,4	86,5	9,6	0,74	91,2	87,2	7,8	0,67	92,9	88,4
24	60	20	0,25	5,0	24,2	6,36	26,1	1,81	76,0	68,7	8,91	0,58	91,8	90,0	8,5	0,48	92,2	91,7	8,0	0,46	92,6	92,1
24	80	20	0,25	5,0	23,8	6,34	53,5	2,49	51,0	56,9	10,3	0,62	90,6	89,3	9,5	0,52	91,3	91,1	9,0	0,50	91,8	91,4
24	100	20	0,25	5,0	23,9	6,35	57,9	4,94	46,9	17,0	24,1	2,03	77,9	64,9	18,7	0,94	82,9	83,7	16,4	0,70	90,8	87,8

Apêndice 2

*Tabelas referentes aos resultados realizados
com a instalação piloto de escoamento contínuo*

1- Resultados referentes à primeira carreira de ensaios realizadas com a instalação piloto com DSA de 40 mg/L e TASap de $525 \pm 20 \text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$, sem aplicação de polímeros (carreira I).

1.1- Resultados dos testes de coagulação/floculação (flotateste) realizados anteriormente a cada ensaio com a instalação piloto

1.1.2- Características da água de estudo

pH = 6.58

Cor aparente = 87,3 uC

Turbidez = 5,67 uT

1.1.3- Parâmetros fixados

DSA = 40 mg/L

Tmr = 20 seg.

Gmr = 1.000 s^{-1}

Tf = 24 min.

Gf = 60 s^{-1}

Psat = $456 \pm 10 \text{ kPa}$

R = 8% (em volume)

Velocidade de flotação VF (cm/min) =
VF1 = 31,6; VF2 = 13,3; VF3 = 6,7
cm/min, VF4 = 2,9 cm/min

1.2.4- Resultados dos flotatestes

VF	pH	T °C	Cor (uC)	Turbidez (uT)
V1			25,8	1,20
V2	6,22	26,7	11,2	0,40
V3			8,7	0,36
V1			18,5	0,90
V2	6,30	26,5	10,2	0,35
V3			5,0	0,29
V1			20,5	1,20
V2	6,44	26,5	-	0,83
V3			10,9	0,53

TABELA 12- Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 40 mg/L e TASap de $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, sem aplicação de polímeros (carreira I)

Gradiente de floculação = $70 - 50 - 30 \text{ s}^{-1}$

Vazão de água bruta $\cong 874 \text{ L/h}$

TASap = $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - três condutos fechados e dois abertos

Módulo com placas inclinadas a 60°

DSA = 40 mg/L

DSA (mg/L)	Tempo (min.)	Vazão recirc. L/min.	Spf g de ar/m ³ H ₂ O	pH após mist. rápida	Temperatura °C	TASapa. câmara de floculação (m ³ /m ² d)	Escalonamento o Gf (s ⁻¹)	Vel entre placas	Núme. de Rey	Cor aparente efluente		Turbidez efluente		Ensaio número
										Cor aparente (uC)	Remoção (uC)	Turbidez (uT)	Remoção (uT)	
40	20	1,103	6,228	6,42	25,9	525	70 - 50 - 30	45,55	438	16,9	80,7	1,68	70,4	1
40	40	1,117	6,307	6,36	26,3	525		45,59	439	20,3	76,7	1,63	71,2	
40	60	1,082	6,109	6,36	26,5	525		45,49	438	18,5	78,8	1,53	73	
40	80	1,067	6,025	6,37	26,6	525		45,45	437	21,4	75,5	2,00	65	
40	100	0,849	4,794	6,39	26,7	525	70 - 50 - 30	44,81	431	20,3	76,7	1,35	76,2	2
40	120	0,858	4,845	6,33	26,8	525		44,84	432	20	77	1,16	79,5	
40	140	0,844	4,765	6,35	27,0	525		44,80	431	15,4	82,4	1,09	80,7	
40	160	0,848	4,788	6,33	27,0	525		44,81	431	21,8	75	1,18	79,2	
40	180	0,545	3,078	6,36	27,3	525	70 - 50 - 30	43,93	423	21,4	75,5	1,21	78,6	3
40	200	0,519	2,931	6,43	27,3	525		43,85	422	16	81,7	0,87	84,6	
40	240	0,503	2,841	6,39	27,3	525		43,81	422	20,3	76,7	1,13	80	
40	260	0,544	3,072	6,31	27,4	525		43,93	423	18,7	78,6	1,18	79,2	

2- Resultados referentes à segunda carreira de ensaios realizadas com a instalação piloto com DSA de 40 mg/L e TASap de $262 \pm 10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, sem aplicação de polímeros (carreira II).

2.1- Resultados dos testes de coagulação/floculação (flotateste) realizados anteriormente a cada ensaio com a instalação piloto

2.1.2- Características da água de estudo

pH = 6.50

Cor aparente = 88,7 uC

Turbidez = 6,00 uT

2.1.3- Parâmetros fixados

DSA = 40 mg/L

Tmr = 20 seg.

Gmr = 1.000 s^{-1}

Tf = 24 min.

Gf = 60 s^{-1}

Psat = 456 kPa

R = 8% (em volume)

Velocidade de flotação VF (cm/min) =
VF1 = 31,6; VF2 = 13,3; VF3 = 6,7
cm/min, VF4 = 2,9 cm/min

2.1.4- Resultados dos flotatestes

VF	pH	T °C	Cor (uC)	Turbidez (uT)
V1			23,0	1,05
V2	6,20	26,2	10,5	0,67
V3			9,3	0,53
V1			17,4	1,00
V2	6,34	26,3	9,7	0,40
V3			5,3	0,32
V1			26,0	1,80
V2	6,48	26,2	15,3	0,47
V3			10,5	0,39

TABELA 13- Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 40 mg/L e TASap de $262 \pm 10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, sem adição de polímeros (carreira II).

Gradiente de floculação = $70 - 50 - 30 \text{ s}^{-1}$

Vazão de água bruta $\cong 432 \text{ L/h}$

TASap = $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - três condutos fechados e dois abertos

Módulo com placas inclinadas a 60°

DSA = 40 mg/L

DSA (mg/L)	Tempo (min.)	Vazão recirc. L/min.	Spf g de ar/ $\text{m}^3\text{H}_2\text{O}$	pH após mist. rápida	Temperatura $^\circ\text{C}$	TASapa. câmara de floculação ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$)	Escalonamento Gf (s^{-1})	Vel entre placas	Núme. de Rey	Cor aparente efluente		Turbidez efluente		Ensaio número
										Cor aparente (uC)	Remoção (uC)	Turbidez (uT)	Remoção (uT)	
40	20	0,571	6,558	6,41	24,6	262	70 - 50 - 30	22,74	219	18,7	78,9	1,06	82,3	4
40	40	0,574	6,593	6,35	24,8	262		22,74	219	16,7	81,2	1,00	83,3	
40	60	0,575	6,604	6,40	25,1	262		22,75	219	16,7	81,2	0,99	83,5	
40	80	0,578	6,639	6,37	25,3	262		22,76	219	16,0	82,0	0,93	84,5	
40	100	0,431	4,950	6,37	25,3	262	70 - 50 - 30	22,33	215	16,0	82,0	0,96	84,0	5
40	120	0,430	4,939	6,38	25,2	262		22,33	215	15,0	83,0	0,84	86,0	
40	140	0,425	4,881	6,40	25,5	262		22,31	215	11,6	87,0	0,77	87,2	
40	160	0,431	4,950	6,36	25,5	262		22,33	215	14,0	84,2	0,79	86,8	
40	180	0,289	3,320	6,38	25,6	262	70 - 50 - 30	21,92	211	17,8	80,0	0,90	85,0	6
40	200	0,291	3,343	6,37	25,7	262		21,92	211	20,0	77,4	1,06	82,3	
40	240	0,286	3,286	6,39	25,8	262		21,91	211	17,0	81,0	0,92	84,6	
40	260	0,281	3,228	6,39	25,9	262		21,89	211	19,4	78,1	0,90	85,0	

3- Resultados referentes à terceira carreira de ensaios realizadas com a instalação piloto DSA de 20 mg/L, TASap de $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e 0,25 mg/L de polímero não iônico (carreira III).

3.1- Resultados dos testes de coagulação/floculação (flotatestes) realizados anteriormente a cada ensaio com a instalação piloto

3.1.2- Características da água de estudo

pH = 6.30
Cor aparente = 86,3 uC
Turbidez = 5,07 uT

3.1.3- Parâmetros fixados

DSA = 20 mg/L
T_{mr} = 20 seg.
G_{mr} = 1.000 s⁻¹
T_f = 20 min.
G_f = 60 s⁻¹
P_{sat} = 456 kPa
R = 8% (em volume)

Velocidade de flotação VF (cm/min) =
VF1 = 31,6; VF2 = 13,3; VF3 = 6,7
cm/min, VF4 = 2,9 cm/min
Dosagem de polímero = 0,25 mg/L
polímero não iônico

3.1.4- Resultados dos flotatestes

VF	pH	T °C	Cor (uC)	Turbidez (uT)
V1			25,6	1,41
V2	6,37	23,2	13,4	0,62
V3			13,1	0,52
V1			26,3	1,52
V2	6,48	23,2	15,2	0,67
V3			15,0	0,67
V1			43,4	2,86
V2	6,62	23,2	16,3	0,85
V3			15,6	0,79

TABELA 14- Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 20 mg/L, TASap de $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e 0,25 mg/L de polímero não iônico (carreira III)

Gradiente de floculação = $70 - 50 - 30 \text{ s}^{-1}$

Vazão de água bruta $\cong 874 \text{ L/h}$

TASap = $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - três condutos fechados e dois abertos

Módulo com placas inclinadas a 60°

DSA = 20 mg/L

DSA (mg/L)	Tempo (min.)	Vazão recirc. L/min.	Spf g de ar/m ³ H ₂ O	pH após mist. rápida	Temperatura °C	TASapa. câmara de floculação (m ³ /m ² d)	Escalonamento Gf (s ⁻¹)	V placas (cm/min.)	Núme. de Rey	Cor aparente efluente		Turbidez efluente		Ensaio número
										Cor aparente (uC)	Remoção (uC)	Turbidez (uT)	Remoção (uT)	
20	20	1,160	6,842	6,36	23,4	525	70 - 50 - 30	45,72	440	31,6	63,4	2,35	53,7	7
20	40	1,138	6,712	6,40	23,4	525		45,65	439	33,4	61,3	2,27	55,3	
20	60	1,147	6,765	6,40	23,3	525		45,68	440	32,5	62,3	2,20	56,6	
20	80	1,138	6,712	6,38	23,5	525		45,65	439	30,3	64,9	2,23	56,1	
20	100	0,871	5,137	6,37	23,4	525	70 - 50 - 30	44,88	432	28,9	66,5	2,10	58,6	8
20	120	0,850	5,013	6,34	23,5	525		44,82	431	26,7	69,1	1,80	64,5	
20	140	0,821	4,842	6,30	23,4	525		44,73	431	30,0	65,2	1,41	72,2	
20	160	0,850	5,013	6,34	23,4	525		44,82	431	23,4	72,9	1,67	67,1	
20	180	0,561	3,309	6,35	23,3	525	70 - 50 - 30	43,98	423	23,8	72,4	1,90	62,6	9
20	200	0,568	3,351	6,38	23,5	525		44,00	423	24,5	71,6	1,50	70,5	
20	220	0,562	3,315	6,37	23,4	525		43,98	423	20,7	76,0	1,37	73,0	
20	240	0,540	3,186	6,36	23,4	525		43,91	423	20,9	76,0	1,40	72,4	

4- Resultados referentes à quarta carreira de ensaios realizadas com a instalação piloto DSA de 20 mg/L, TASap de $262 \pm 10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e 0,25 mg/L de polímero não iônico (carreira IV).

4.1- Resultados dos testes de coagulação/floculação (flotateste) realizados anteriormente a cada ensaio com a instalação piloto

4.1.2- Características da água de estudo

pH = 6.37

Cor aparente = 104,0 uC

Turbidez = 7,00 uT

4.1.3- Parâmetros fixados

DSA = 20 mg/L

Tmr = 20 seg.

Gmr = 1.000 s^{-1}

Tf = 20 min.

Gf = 60 s^{-1}

Psat = 456 kPa

R = 8% (em volume)

Velocidade de flotação VF (cm/min) =
VF1 = 31,6; VF2 = 13,3; VF3 = 6,7
cm/min, VF4 = 2,9 cm/min
Dosagem de polímero = 0,25 mg/L
polímero não iônico

4.1.4- Resultados dos flotatestes

VF	pH	T °C	Cor (uC)	Turbidez (uT)
V1			35,9	1,30
V2	6,26	24,4	17,0	0,70
V3			15,1	0,65
V1			20,0	1,27
V2	6,31	24,6	12,0	0,60
V3			10,2	0,50
V1			22,1	1,74
V2	6,40	24,6	13,4	0,78
V3			12,5	0,67

TABELA 15- Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 20 mg/L, TASap de $262 \pm 10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e 0,25 mg/L de polímero não iônico (carreira IV)

Gradiente de floculação = $70 - 50 - 30 \text{ s}^{-1}$

Vazão de água bruta $\cong 432 \text{ L/h}$

TASap = $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - três condutos fechados e dois abertos

Módulo com placas inclinadas a 60°

DSA = 20 mg/L

DSA (mg/L)	Tempo (min.)	Vazão recirc. L/min.	Spf g de ar/m ³ H ₂ O	pH após mist. rápida	Temperatura °C	TASapa. câmara de floculação (m ³ /m ² d)	Escalonamento Gf (s ⁻¹)	V placas (cm/min.)	Núme. de Rey	Cor aparente efluente		Turbidez efluente		Ensaio número
										Cor aparente (uC)	Remoção (uC)	Turbidez (uT)	Remoção (uT)	
20	20	0,561	6,447	6,42	25,5	262	70 - 50 - 30	22,56	217	26,5	74,5	1,49	79,0	10
20	40	0,550	6,320	6,36	25,6	262		22,53	217	20,0	81,0	1,60	77,0	
20	60	0,557	6,401	6,40	25,5	262		22,55	217	23,0	78,0	1,29	81,5	
20	80	0,560	6,435	6,36	25,6	262		22,56	217	30,0	71,1	1,50	78,6	
20	100	0,420	4,826	6,40	25,6	262	70 - 50 - 30	22,15	213	26,7	74,3	2,00	71,4	11
20	120	0,437	5,022	6,37	25,7	262		22,20	214	24,5	76,4	1,60	77,1	
20	140	0,421	4,838	6,38	25,9	262		22,15	213	22,3	78,5	1,40	80,0	
20	160	0,429	4,930	6,37	26,1	262		22,18	213	22,9	78,0	1,52	78,3	
20	180	0,276	3,172	6,42	26,1	262	70 - 50 - 30	21,73	209	26,5	73,5	1,90	72,8	12
20	200	0,277	3,184	6,40	26,3	262		21,74	209	20,0	80,7	1,40	80,0	
20	220	0,270	3,103	6,38	26,3	262		21,72	209	18,5	82,2	1,40	80,0	
20	240	0,291	3,345	6,35	26,3	262		21,78	210	20,0	80,0	1,50	78,5	

5- Resultados referentes à quinta carreira de ensaios realizadas com a instalação piloto com DSA de 12 mg/L, TASap de $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e 0,25 mg/L de polímero catiônico (carreira V).

5.1- Resultados dos testes de coagulação/floculação (flotateste) realizados anteriormente a cada ensaio com a instalação piloto

5.1.2- Características da água de estudo

pH = 6.30

Cor aparente = 86,3 uC

Turbidez = 5,22 uT

5.1.3- Parâmetros fixados

DSA = 12 mg/L

Tmr = 20 seg.

Gmr = 1.000 s^{-1}

Tf = 20 min.

Gf = 80 s^{-1}

Psat = 456 kPa

R = 8% (em volume)

Velocidade de flotação VF (cm/min) =
VF1 = 31,6; VF2 = 13,3; VF3 = 6,7
cm/min, VF4 = 2,9 cm/min
Dosagem de polímero = 0,25 mg/L
polímero catiônico

5.1.4- Resultados dos flotatestes

VF	pH	T °C	Cor (uC)	Turbidez (uT)
V1			22,3	1,59
V2	6,20	23,8	14,3	0,92
V3			12,0	0,80
V1			18,5	1,31
V2	6,36	23,8	11,3	0,89
V3			10,5	0,50

TABELA 16- Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 12 mg/L, TASap de $525 \pm 20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e 0,25 mg/L de polímero catiônico (carreira V)

Gradiente de floculação = $70 - 50 - 30 \text{ s}^{-1}$

Vazão de água bruta $\cong 874 \text{ L/h}$

TASap = $525 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - três condutos fechados e dois abertos

Módulo com placas inclinadas a 60°

DSA = 12 mg/L

DSA (mg/L)	Tempo (min.)	Vazão recirc. L/min.	Spf g de ar/m ³ H ₂ O	pH após mist. rápida	Temperatura °C	TASapa. câmara de floculação (m ³ /m ² d)	Escalonamento Gf (s ⁻¹)	Vel entre placas	Núme. de Rey	Cor aparente efluente		Turbidez efluente		Ensaio número
										Cor aparente (uC)	Remoção (%)	Turbidez (uT)	Remoção (%)	
12	20	1,136	6,444	6,35	24,1	525	70 - 50 - 30	45,65	439	48,3	44,0	4,20	22,0	13
12	40	1,127	6,525	6,30	24,0	525		45,62	439	39,8	54,0	3,47	36,0	
12	60	1,143	6,618	6,31	24,1	525		45,67	440	35,6	59,0	2,83	48,0	
12	80	1,149	6,653	6,36	24,2	525		45,69	440	35,4	59,0	2,65	51,0	
12	100	0,800	4,767	6,36	24,2	525	70 - 50 - 30	44,67	430	31,6	58,0	2,53	53,0	14
12	120	0,831	4,915	6,30	24,2	525		44,76	431	28,7	67,0	1,80	67,0	
12	140	0,847	4,609	6,28	24,3	525		44,81	431	28,9	67,0	1,90	65,0	
12	160	0,848	4,015	6,30	24,4	525		44,81	431	22,3	74,2	1,73	68,0	
12	180	0,850	4,027	6,30	24,3	525		44,82	431	23,8	72,4	1,80	67,0	
12	200	0,530	3,069	6,31	24,3	525	70 - 50 - 30	43,89	422	28,9	67,0	2,14	61,0	15
12	220	0,540	3,162	6,40	24,3	525		43,91	423	28,3	67,0	1,82	67,0	
12	240	0,530	3,069	6,30	24,2	525		43,89	422	40,1	54,0	2,80	48,0	
12	260	0,548	3,174	6,35	24,2	525		43,94	423	39,2	55,0	2,95	45,0	

6- Resultados referentes à primeira carreira de ensaios realizadas com a instalação piloto com DSA de 12mg/L, TASap de $262 \pm 10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e 0,25 mg/L de polímero catiônico (carreira VI).

6.1- Resultados dos testes de coagulação/floculação (flotatestes) realizados anteriormente a cada ensaio com a instalação piloto

6.1.2- Características da água de estudo

pH = 6.37

Cor aparente = 104,0 uC

Turbidez = 7,00 uT

6.1.3- Parâmetros fixados

DSA = 12 mg/L

Tmr = 20 seg.

Gmr = 1.000 s^{-1}

Tf = 20 min.

Gf = 80 s^{-1}

Psat = 456 kPa

R = 8% (em volume)

Velocidade de flotação VF (cm/min) =
VF1 = 31,6; VF2 = 13,3; VF3 = 6,7
cm/min, VF4 = 2,9 cm/min
Dosagem de polímero = 0,25 mg/L
polímero catiônico

6.1.4- Resultados dos flotatestes

VF	pH	T °C	Cor (uC)	Turbidez (uT)
V1			12,0	0,91
V2	6,29	23,5	9,2	0,70
V3			8,0	0,55
V1			26,7	1,82
V2	6,41	23,5	15,0	0,83
V3			10,0	0,66
V1			64,0	3,60
V2	6,53	23,5	17,0	1,02
V3			16,7	1,00

TABELA 17- Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com DSA de 12 mg/L, TASap de $262 \pm 10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e 0,25 mg/L de polímero catiônico (carreira VI)

Gradiente de floculação = $70 - 50 - 30 \text{ s}^{-1}$

Vazão de água bruta $\cong 432 \text{ L/h}$

TASap = $262 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ - três condutos fechados e dois abertos

Módulo com placas inclinadas a 60°

DSA = 12 mg/L

DSA (mg/L)	Tempo (min.)	Vazão recirc. L/min.	Spf g de ar/m ³ -H ₂ O	pH após mist. rápida	Temperatura °C	TASapa. câmara de floculação (m ³ /m ² d)	Escalonament o Gf (s ⁻¹)	Vel entre placas	Núme. de Rey	Cor aparente efluente		Turbidez efluente		Ensaio número
										Cor aparente (uC)	Remoção (%)	Turbidez (uT)	Remoção (%)	
12	20	0,573	6,811	6,40	23,0	262	70 - 50 - 30	22,74	219	23,4	74,0	1,48	70,0	16
12	40	0,570	6,775	6,32	23,2	262		22,73	219	20,5	77,0	1,23	76,0	
12	60	0,564	6,704	6,29	23,2	262		22,72	219	20,5	77,0	1,25	75,0	
12	80	0,542	6,442	6,37	23,2	262		22,65	218	18,5	79,2	1,04	79,0	
12	100	0,437	5,194	6,33	23,1	262	70 - 50 - 30	21,08	215	18,9	78,7	1,09	78,0	17
12	120	0,400	4,754	6,33	23,1	262		22,35	214	21,4	75,9	1,12	77,6	
12	140	0,400	4,754	6,37	23,2	262		22,24	214	22,3	74,9	1,15	77,0	
12	160	0,417	4,956	6,40	23,1	262		22,24	215	34,7	60,9	1,20	76,0	
12	180	0,280	3,329	6,32	23,2	262	70 - 50 - 30	22,29	211	35,6	60,0	2,00	60,0	18
12	200	0,280	3,329	6,34	23,3	262		21,89	211	35,6	60,0	1,97	60,6	
12	220	0,278	3,305	6,32	23,3	262		21,89	211	34,3	61,3	1,90	62,0	

7- Resultados referentes à sétima carreira de ensaios realizadas com a instalação piloto com DSA de 12mg/L, TASap de 525 ± 20 e 262 ± 10 m³/m²d e 0,25 mg/L de polímero catiônico (carreira VII).

7.1- Resultados dos testes de coagulação/floculação (flotatestes) realizados anteriormente a cada ensaio com a instalação piloto

7.1.2- Características da água de estudo

pH = 6.60

Cor aparente = 80,0 uC

Turbidez = 5,40 uT

7.1.3- Parâmetros fixados

DSA = 12 mg/L

T_{mr} = 20 seg.

G_{mr} = 1.000 s⁻¹

T_f = 20 min.

G_f = 80 s⁻¹

P_{sat} = 456 kPa

R = 8% (em volume)

Velocidade de flotação VF (cm/min) =
VF1 = 31,6; VF2 = 13,3; VF3 = 6,7
cm/min, VF4 = 2,9 cm/min

Dosagem de polímero = 0,25 mg/L
polímero catiônico

7.1.4- Resultados dos flotatestes

VF	pH	T °C	Cor (uC)	Turbidez (uT)
V1			23,0	1,00
V2	6,32	26,5	14,0	0,50
V3			9,0	0,42
V1			27,3	1,32
V2	6,50	26,5	18,0	0,91
V3			15,2	0,74

TABELA 18- Resultados referentes aos ensaios realizados com a instalação piloto com 12mg/L, TASap de 525 ± 20 e 262 ± 10 m³/m²d e 0,25 mg/L de polímero catiônico (carreira VII)

Gradiente de floculação = 80 s^{-1}

Vazão de água bruta $\cong 874/432$ L/h

TASap = $525/262$ m³/m²d - três condutos fechados e dois abertos

Módulo com placas inclinadas a 60°

DSA = 12 mg/L

DSA (mg/L)	Tempo (min.)	Vazão recirc. L/min.	Spf g de ar/m ³ H ₂ O	pH após mist. rápida	Temperatura °C.	TASapa. câmara de floculação (m ³ /m ² d)	Escalonamento Gf (s ⁻¹)	V placas (cm/min.)	Núme. de Rey	Cor aparente efluente		Turbidez efluente		Ensaio número
										Cor aparente (uC)	Remoção (uC)	Turbidez (uT)	Remoção (uT)	
TASap de 525 m3/m2d														
12	20	1,017	5,769	6,26	26,4	525	80	45,30	436	17,6	78,0	1,94	64,0	19
12	40	1,140	6,467	6,24	26,7	525		45,66	439	15,5	80,6	1,75	67,0	
12	60	1,035	5,872	6,30	26,6	525		45,35	437	15,5	80,6	1,80	66,0	
12	80	0,871	4,941	6,30	26,6	525	80	44,88	432	14,5	82,0	1,64	69,0	20
12	100	0,860	4,879	6,28	26,8	525		44,84	432	14,5	82,0	1,60	70,0	
12	120	0,863	4,896	6,20	26,8	525		44,85	432	15,0	81,2	1,49	72,0	
TASp. de 262 m3/m2d														
12	140	0,556	6,383	6,23	27,0	262	80	22,45	216	22,3	72,1	1,40	74,0	21
12	160	0,566	6,498	6,33	27,0	262		22,48	216	18,0	77,5	1,40	74,0	
12	180	0,564	6,475	6,26	27,0	262		22,47	216	18,0	77,5	1,44	73,3	