Campus de São Carlos

**DESENVOLVIMENTO E OPERAÇÃO
DE UMA INSTALAÇÃO DE FLOTAÇÃO
DE BANCADA PARA ÁGUAS DE
ABASTECIMENTO**

Paulo Luiz Centurione Filho

Orientador: Prof. Tit. Luiz Di Bernardo

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 10 / 04 / 02

Ass.: Guilherme

**DESENVOLVIMENTO E OPERAÇÃO
DE UMA INSTALAÇÃO DE
FLOTAÇÃO DE BANCADA PARA
ÁGUAS DE ABASTECIMENTO**

Paulo Luiz Centurione Filho

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

ORIENTADOR: Prof. Titular Luiz Di Bernardo

DEDALUS - Acervo - EESC

31100036928

São Carlos
2002

Class.	TESE-EESC
Curr.	1506/
Tombo	T0095/02

dt 1238914

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

C397d Centurione Filho, Paulo Luiz
Desenvolvimento e operação de uma instalação de
flotação de bancada para águas de abastecimento / Paulo
Luiz Centurione Filho. -- São Carlos, 2002.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2002.
Área: Hidráulica e Saneamento.
Orientador: Prof. Tit. Luiz Di Bernardo.

1. Remoção de algas. 2. Flotação por ar dissolvido.
3. Coagulação. 4. Floculação. 5. Filtração. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **PAULO LUIZ CENTURIONE FILHO**

Dissertação defendida e julgada em 27-03-2002 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Tit. **LUIZ DI BERNARDO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADO

Prof. Dr. **BERNARDO ARANTES DO NASCIMENTO TEIXEIRA**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

APROVADO

Prof. Dr. **MAURICIO LUIZ SENS**
(Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC)

Aprovado

Profa. Associada **MARIA DO CARMO CALJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia (Hidráulica e Saneamento)

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

“Amo acima de tudo a liberdade. No mundo da arte, como no de toda a criação, a liberdade e o progresso são a finalidade de tudo.”

Ludwig van Beethoven

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Luiz Di Bernardo pela valorosa orientação profissional e oportunidade de aprendizagem com intenso trabalho;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de bolsa de mestrado (Proc.00/00598-3);

Aos meus pais, Paulo e Mércia, pelo apoio, paciência e compreensão da importância da realização deste trabalho;

À Cybele, pelo carinho, companheirismo e paz de espírito;

À Emília, Ângela, Paulo Arend e Hélio, pela amizade e trocas de idéias e conhecimento;

Aos professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento, em especial ao Prof. Dr. Carlos E. Blundi, *in memoriam*, pelos ensinamentos profissionais e pessoais;

Aos funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento e aos técnicos do Laboratório de Saneamento Paulo, Júlio e Cidinha pela colaboração.

À Eloísa, do Laboratório de Processos Anaeróbios, pela atenção e pelas imagens em microscópio das algas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xxv
LISTA DE SÍMBOLOS	xxvii
RESUMO	xxxi
<i>ABSTRACT</i>	xxxiii
1 INTRODUÇÃO	001
2 OBJETIVOS	005
3 REVISÃO DA LITERATURA	007
3.1 Considerações iniciais	007
3.2 Eutrofização de mananciais e suas conseqüências	007
3.3 Microrganismos procariontes e eucariontes	008
3.3.1 Algas	009
3.3.2 Diatomáceas	010
3.3.3 Cianofíceas ou “algas azuis”	011
3.4 Problemas causados por algas ao abastecimento	013
3.4.1 Sabor e odor	013
3.4.2 Cor e turbidez	013
3.4.2.1 Interferência direta	014
3.4.2.2 Interferência na floculação e decantação	014
3.4.2.3 Obstrução de filtros	014
3.4.3 Florescimentos algais	015
3.4.4 Gêneros de microrganismos presentes em águas tratadas	016
3.4.5 Corrosão	016
3.4.6 Indústrias de papel	016
3.4.7 Toxicidade	017

3.4.7.1 Origem, natureza e propriedades das toxinas	017
3.4.7.2 Efeitos tóxicos produzidos pelas cianofíceas	017
3.4.8 Alguns microrganismos de origem sanitária	018
3.5 Coagulação	020
3.5.1 Diagrama de coagulação	020
3.5.2 Influência da mistura rápida na floculação	022
3.6 Floculação	024
3.7 Flotação	027
3.7.1 Geração da bolha	028
3.7.2 Agregação ar-sólido	032
3.7.3 Velocidade ascensional	034
3.7.4 Taxa de recirculação	036
3.7.5 Tipos de flotação	037
3.7.5.1 Flotação por ar disperso	037
3.7.5.2 Flotação eletrolítica	037
3.7.5.3 flotação por ar dissolvido	038
3.7.6 Flotação por ar dissolvido no tratamento de águas de abastecimento	039
3.7.7 Flotação em equipamento de laboratório	040
3.7.8 Emprego da floto-filtração no tratamento de água de abastecimento no final do século XX	041
3.8 Considerações sobre a Revisão da Literatura	043
4 MATERIAIS E MÉTODOS	045
4.1 Considerações iniciais	045
4.2 Equipamentos e produtos químicos	046
4.3 Procedimento experimental	048
4.3.1 Fluxograma da metodologia	048
4.3.2 Preparo e caracterização da água de estudo Tipo I	050
4.3.3 Coleta, preparo e caracterização da água de estudo Tipo II	053
4.4 Contagem de algas	056
4.5 Construção do Diagrama de Coagulação para o número remanescente de algas, turbidez e cor aparente	056
4.6 Influência dos parâmetros de mistura rápida na eficiência da flotação	058
4.7 Influência dos parâmetros da floculação na eficiência da flotação	059
4.8 Influência de outros parâmetros	061
4.8.1 Influência da pressão da câmara de saturação para os valores de 300, 400 e	

500 kPa	061
4.8.2 Influência do tempo de pressurização para os valores de 3, 8 e 15 min	062
4.8.3 Influência da taxa de recirculação para os valores de 5, 10, 15 e 20 %	062
4.9 Floto-filtração	062
5 EQUIPAMENTO FLOTESTE	065
5.1 Desenvolvimento do equipamento Floteste	065
5.2 Equipamento Floteste	067
5.2.1 Câmara de pressurização (ou saturação)	068
5.2.2 Jarro de coagulação-floculação-flotação	069
5.2.3 Agitadores	075
5.2.4 Conjunto mecânico e elétrico	075
5.2.5 Sistema de condução de água saturada com ar	075
5.2.6 Sistema de condução de ar	076
5.2.7 Operação do equipamento em um ensaio típico	077
5.2.8 Procedimentos adicionais: filtração após flotação	083
5.2.9 Resumo das etapas de ensaios em floteste	088
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	091
6.1 Apresentação dos resultados	091
6.2 Discussão referente aos ensaios com a água Tipo I	093
6.2.1 Considerações sobre as características da água	093
6.2.2 Série I: construção dos Diagramas de Coagulação	094
6.2.3 Série II: Reprodução do par de valores “pH de coagulação x Dosagem de coagulante” escolhido na Série I	096
6.2.4 Série III: influência dos parâmetro da mistura rápida (T_{mr} e G_{mr}) na eficiência da flotação	096
6.2.5 Série IV: influência dos parâmetros da floculação (T_f e G_f) na eficiência da flotação	097
6.2.6 Série V: influência dos parâmetros da flotação – pressão de saturação (P)	097
6.2.7 Série VI: influência dos parâmetros da flotação – tempo de saturação (T_{sat}) ..	098
6.2.8 Série VII: influência dos parâmetros da flotação – taxa de recirculação (R)	098
6.2.9 Série VIII: floto-filtração	099
6.3 Discussão referente aos ensaios com a água Tipo II	100
6.3.1 Características da água de estudo	100
6.3.2 Ensaio preliminar	101

6.3.3 Série IX: Influência do gradiente de velocidade médio de mistura rápida na flotação	101
6.3.4 Série X: influência do tempo de floculação na flotação	102
6.3.5 Série XI: influência da taxa de recirculação na flotação	102
6.3.6 Série XII: floto-filtração	103
6.3.7 considerações sobre o tamanho das microbolhas de ar	103
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	105
7.1 Equipamento Floteste	105
7.2 Água Tipo I	105
7.3 Água Tipo II	106
7.4 Recomendações e sugestões	107
ANEXOS	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	311

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 001 - Microrganismos Presentes em Ambientes Aquáticos.	
FONTE: PROTIST INFORMATION SERVER (2002)	019
FIGURA 002 - Oocistos de <i>Cryptosporidium parvum</i> – Protozoário.	
FONTE: UFRGS (2002)	019
FIGURA 003 - (a) Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio e sua Relação com o Potencial Zeta; (b) Turbidez da Água Decantada em Função do pH, Tempo de Floculação e do Gradiente de Velocidade de Mistura Rápida.	
FONTE: ARMITHARAJAH & MILLS (1982).....	022
FIGURA 004 - Efeito do Tempo de Mistura Rápida na Turbidez Remanescente: Ensaio 1.	
FONTE: LETTERMAN (1973)	023
FIGURA 005 - Efeito do Tempo de Mistura Rápida na Turbidez Remanescente: Ensaio 2.	
FONTE: LETTERMAN (1973)	023
FIGURA 006 - Efeito da Variação do Gradiente e do Tempo de Mistura Rápida Ótimo em Função da Dosagem de Sulfato de Alumínio.	
FONTE: LETTERMAN (1973)	023
FIGURA 007 - Efeito do Tempo de Floculação na Turbidez Remanescente para Três Tempos de Mistura Rápida.	
FONTE: LETTERMAN (1973)	023
FIGURA 008 - Otimização da Mistura Rápida (Dosagem de Sulfato de Alumínio = 20 mg/L; pH de Coagulação = 6,32; Tempo de Floculação = 20min; Gradiente Médio de Velocidade da Floculação = 25 s ⁻¹ ; Velocidade de Sedimentação = 5cm/min).	
FONTE: BRITO (1998)	024

FIGURA 009 - Variação da Porcentagem Remanescente da Cor Aparente Mínima em Função do Tempo de Floculação para Água Contendo Turbidez de 5 uT e Cor Verdadeira de 100 uC. FONTE: MENDES (1989)	025
FIGURA 010 - Porcentagens remanescentes de cor aparente ($C/C_0 \times 100 \%$) e turbidez ($T/T_0 \times 100 \%$) em função do tempo e gradiente de velocidade médio de floculação as velocidades de flotação de $Vf_1 = 21$ e $Vf_2 = 10,4$ cm/min. FONTE: DOMBROSKI (1996)	026
FIGURA 011 - Fluxograma Referente às Etapas mais Significantes para o Sucesso da Separação Sólido-Líquido na Flotação indicando os Parâmetros de Projeto e Operação mais Importantes FONTE: ZABEL (1982)	027
FIGURA 012 - Tamanho das Bolhas Produzidas pela Válvula de Agulha e pelo Bocal WRc. FONTE: ZABEL (1982)	030
FIGURA 013 - Massa de Gás Dissolvido na Água em Função da Pressão de Saturação e da Temperatura. FONTE: ZABEL (1982)	030
FIGURA 014 - Efeito da Quantidade de Ar Adicionado na Qualidade da Água Flotada Utilizando Diferentes Tamanhos de Bocais WRc. FONTE: ZABEL (1985)	031
FIGURA 015 - Ângulo de Contato e Tensões que Agem na Interface Gás-Líquido-Sólido. FONTE: HANHN (1982)	033
FIGURA 016 - Volume Máximo Permissível das Bolhas de Ar em Função do Ângulo de Contato, 20 °C. FONTE: HAHN (1982)	034
FIGURA 017 - Esquema Ilustrativo do Papel de Agentes Químicos no Controle do Processo de Flotação. FONTE: HAHN (1982)	034
FIGURA 018 - Remoção de cor aparente e turbidez em função da velocidade de flotação para diferentes taxas de recirculação. FONTE: DOMBROSKI (1996)	036

FIGURA 019 - Esquema da Unidade de Flotação Eletrolítica com Escoamento Contínuo.	
FONTE: ZABEL (1982)	037
FIGURA 020 - Esquema de um Sistema FAD com Pressurização Total do Afluente de uma Estação de Tratamento de Água.	
FONTE: ZABEL et al (1982)	038
FIGURA 021 - Esquema de um Sistema FAD com Pressurização Parcial do Afluente de uma Estação de Tratamento de Água.	
FONTE: ZABEL et al (1982)	038
FIGURA 022 - Esquema do Sistema FADPR de uma Estação de Tratamento de Água.	
FONTE: HYDE et al (1977)	039
FIGURA 023 - Efeito do Tempo de Floculação na Remoção de Turbidez de Washington Mountain Brook, Utilizando Sulfato de Alumínio em pH de 6,3 e Temperatura de 23°C	
FONTE: MALLEY & EDZWALD (1991)	041
FIGURA 024 - Esquema de uma Estação de Floto-Filtração com Câmara de Flotação Independente do Filtro	
FONTE: EDZWALD (1999) et al.	042
FIGURA 025 - Esquema de uma Estação de Floto-Filtração com Câmara de Flotação e Filtração Integrados	
FONTE: DI BERNARDO (1998)	043
FIGURA 026 - Floteste de Bancada	048
FIGURA 027 - Turbidímetro Nefelométrico Hach, Modelo 2100 P	048
FIGURA 028 - Hemacitômetro (Improved Neubauer Bright Line)	048
FIGURA 029 - Espectrofotômetro Hach, Modelo DR-4000U	048
FIGURA 030 - Potenciômetro Orion 420 A	048
FIGURA 031 - Contador de Partículas Hiac/Royco	048
FIGURA 032 - Fluxograma Referente aos Experimentos Realizados	049
FIGURA 033 - Algas do Gênero <i>Chlorella</i>	050
FIGURA 034 - Cultura de Algas do Gênero <i>Chlorella</i>	050
FIGURA 035 - Câmara de Cultura de Algas	051
FIGURA 036 - Controlador de Temperatura	051
FIGURA 037 - Concentração de Algas Durante a Execução dos Ensaios com a Água Tipo I	052

FIGURA 038 - Número de Partículas Durante a Execução dos Ensaios com a Água Tipo I	052
FIGURA 039 - Rio Atibaia	053
FIGURA 040 - Gênero de Alga Predominante na Água Tipo II: <i>Aulacoseira</i>	053
FIGURA 041 - Localização da Represa Salto Grande na Bacia do Rio Piracicaba FONTE: CETESB (UGRHI-05 – Piracicaba, Capivari e Jundiaí)	054
FIGURA 042 - Esquema da Área de Contagem no Hemacitômetro	056
FIGURA 043 - Equipamento de Flotação com Jarro de Seção Transversal Circular ...	066
FIGURA 044 - Jarro de flotação de seção quadrada conectado à câmara de saturação do equipamento da Figura 43	066
FIGURA 045 - Equipamento de reatores estáticos “Jarteste” FONTE: DI BERNARDO et al. (2001)	066
FIGURA 046 - Gráfico Comparativo entre Ensaios Realizados na Câmara de Flotação de Seção Circular (CENTURIONE FILHO, 1998) e o de Seção Retangular (CENTURIONE FILHO, 1999)	067
FIGURA 047 - Equipamento Floteste	067
FIGURA 048 - Câmara de Pressurização	068
FIGURA 049 - Válvula Reguladora de Pressão	068
FIGURA 050 - Detalhe do Topo da Câmara de Pressurização	068
FIGURA 051 - Detalhe da Base da Câmara de Pressurização	068
FIGURA 052 - Mangueiras Conduzidoras de Água Saturada com Ar Conectadas e Agitadores Posicionados no Interior dos Jarros de Coagulação, Flocculação e Flotação	069
FIGURA 053 - Jarro de Flotação	069
FIGURA 054 - Vista Superior das Placas. Medidas em Milímetros (Sem Escala)	069
FIGURA 055 - Placa Inferior Contendo os Canais Condutores de Água Saturada. Medidas em Milímetros (Sem Escala)	070
FIGURA 056 - Placa Superior Contendo 121 Orifícios. Medidas em Milímetros (Sem Escala)	070
FIGURA 057 - Corte B – B Referente à Figura 52	070
FIGURA 058 - Corte C – C Referente à Figura 52	070
FIGURA 059 - Vista Frontal do Jarro. Medidas em Milímetros (Sem Escala)	070
FIGURA 060 - Introdução e Distribuição da Água Saturada com Ar – Vista Frontal .	071
FIGURA 061 - Introdução e Distribuição da Água Saturada com Ar – Vista Lateral .	072

FIGURA 062 - Introdução e Distribuição da Água Saturada com Ar Vista Frontal/Direita Aproximada	073
FIGURA 063 - Esquema Frontal do Equipamento Floteste. Medidas em Centímetros (Sem Escala)	074
FIGURA 064 - Gradiente de Velocidade em Função da Rotação do Agitador	075
FIGURA 065 - Painel de Comando	076
FIGURA 066 - Registro de Esfera Fechado	076
FIGURA 067 - Tê e Registro de Esfera Conectados	076
FIGURA 068 - Conexão e Desconexão da Mangueira no Registro	076
FIGURA 069 - Conexões de Ar e Água Clarificada	078
FIGURA 070 - Seqüência de Enchimento dos Jarros em Porções de Água de Estudo	078
FIGURA 071 - Detalhe da Abertura do Registro de Ar Durante a Recirculação	078
FIGURA 072 - Detalhe da Entrada de Ar, Entrada de Água Clarificada e Saída de Água Saturada com Ar	078
FIGURA 073 - Detalhe do Topo da Câmara de Saturação	078
FIGURA 074 - Nível de Água na Câmara de Pressurização em Funcionamento	078
FIGURA 075 - Mangueira de Condução de Água Saturada na Saída da Câmara de Pressurização	079
FIGURA 076 - Detalhe do Registro de Descarte de Água Saturada do Sistema	079
FIGURA 077 - Vista Frontal do Jarro Indicando as Alturas de Água de Recirculação Acima do Nível de Água Inicial (NAi)	081
FIGURA 078 - Suporte para Dosagem de Coagulante	081
FIGURA 079 - Dosagem de Coagulante Utilizando Pipeta Volumétrica	081
FIGURA 080 - Mistura Rápida	082
FIGURA 081 - Mistura Lenta ou Floculação	082
FIGURA 082 - Abertura dos Registros para Efetuar a Recirculação	082
FIGURA 083 - Ponto de Coleta para a Flotação	082
FIGURA 084 - Movimento para Início da Coleta de Amostras	082
FIGURA 085 - Aplicação da Água de Recirculação com a Taxa Prevista	082
FIGURA 086 - Fim da Recirculação e Início da Clarificação do Subnadante	082
FIGURA 087 - Formação da Camada de Lodo na Superfície e Clarificação do Subnadante	082
FIGURA 088 - Kit de Filtros de Laboratório com Meio Filtrante de Areia Acoplados ao Floteste	083
FIGURA 089 - Saída da Água Flotada e Entrada na Bateria de Filtros	083

FIGURA 090 - Grãos de Diferentes Areias	084
FIGURA 091 - Saída do Filtro	085
FIGURA 092 - Coleta da Amostra Filtrada	085
FIGURA 093 - Limpeza da Areia	086
FIGURA 094 - Compactação da Areia no Filtro	086
FIGURA 095 - Diferentes Níveis de Água no Interior do Filtro	087
FIGURA 096a - Fluxograma Referente às Etapas de Ensaio em Floteste	088
FIGURA 096b - Fluxograma Referente às Etapas de Ensaio em Floteste (Continuação)	088
FIGURA 097 - Variação dos Principais Parâmetros da Água Tipo I Durante a Realização dos Ensaios (31/Julho a 13/Setembro)	116
FIGURA 098a - Variação do Número de Partículas na Água Tipo I em Função do Tamanho das Partículas (2 a 10 μm) Durante a Realização dos Ensaios	118
FIGURA 098a - Variação do Número de Partículas na Água Tipo I em Função do Tamanho das Partículas (> 10 μm) Durante a Realização dos Ensaios	119
FIGURA 099 - Série I - Curvas de Mesma Porcentagem do Número Remanescente de Algas em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 10 cm/min)	131
FIGURA 100 - Série I - Curvas de Mesma Porcentagem do Número Remanescente de Algas em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 5 cm/min)	132
FIGURA 101 - Série I - Curvas de Mesma Porcentagem Remanescente de Turbidez em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 10 cm/min)	133
FIGURA 102 - Série I - Curvas de Mesma Porcentagem Remanescente de Turbidez em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 5 cm/min)	134
FIGURA 103 - Série I - Curvas de Mesma Porcentagem Remanescente de Cor Aparente em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 10 cm/min)	135
FIGURA 104 - Série I - Curvas de Mesma Porcentagem Remanescente de Cor Aparente em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 5 cm/min)	136

FIGURA 105 - Série II – Porcentagem remanescente do Número de Algas, Turbidez e Cor Aparente para $VA = 10$ cm/min	142
FIGURA 106 - Série II - Porcentagem Remanescente do Número de Algas, Turbidez e Cor Aparente para $VA = 5$ cm/min	142
FIGURA 107 - Série II - Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas	143
FIGURA 108 - Série II - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas	143
FIGURA 109 - Série III - Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $Gmr = 400$ s ⁻¹	149
FIGURA 110 - Série III - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e Tempo de Mistura Rápida para $Gmr = 400$ s ⁻¹	149
FIGURA 111 - Série III - Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $Gmr = 600$ s ⁻¹	152
FIGURA 112 - Série III - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $Gmr = 600$ s ⁻¹	152
FIGURA 113 - Série III - Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $Gmr = 800$ s ⁻¹	155
FIGURA 114 - Série III – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $Gmr = 800$ s ⁻¹	155
FIGURA 115 - Série III - Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $Gmr = 1000$ s ⁻¹	158
FIGURA 116 - Série III – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $Gmr = 1000$ s ⁻¹	158
FIGURA 117 - Série III - Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $Gmr = 1200$ s ⁻¹	161
FIGURA 118 - Série III – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $Gmr = 1200$ s ⁻¹	161

FIGURAS 119	Série III - Porcentagem Remanescente do Número de Algas em	162
a 122 -	Função do Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para	a
	VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min	163
FIGURA 123 a	Série III – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do	164
126 -	Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para	a
	VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min	165
FIGURA 127 a	Série III – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função	166
130 -	do Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para	a
	VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min	167
FIGURA 131 -	Série IV – Número de Partículas Remanescente em Função dos	
	Tempos de Floculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 20 \text{ s}^{-1}$	173
FIGURA 132 -	Série IV – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em	
	Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das partículas para	
	$Gf = 20 \text{ s}^{-1}$	173
FIGURA 133 -	Série IV - Número de Partículas Remanescente em Função dos	
	Tempos de Floculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 25 \text{ s}^{-1}$	176
FIGURA 134 -	Série IV - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em	
	Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das partículas para	
	$Gf = 25 \text{ s}^{-1}$	176
FIGURA 135 -	Série IV - Número de Partículas Remanescente em Função dos	
	Tempos de Floculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 30 \text{ s}^{-1}$	179
FIGURA 136 -	Série IV - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em	
	Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das partículas para	
	$Gf = 30 \text{ s}^{-1}$	179
FIGURA 137 -	Série IV - Número de Partículas Remanescente em Função dos	
	Tempos de Floculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 40 \text{ s}^{-1}$	182
FIGURA 138 -	Série IV - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em	
	Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das partículas para	
	$Gf = 40 \text{ s}^{-1}$	182
FIGURA 139 -	Série IV - Número de Partículas Remanescente em Função dos	
	Tempos de Floculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 60 \text{ s}^{-1}$	185
FIGURA 140 -	Série IV - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em	
	Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das partículas para	
	$Gf = 60 \text{ s}^{-1}$	185

FIGURA 141 - Série IV - Número de Partículas Remanescente em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 90 \text{ s}^{-1}$	188
FIGURA 142 - Série IV - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das partículas para $Gf = 90 \text{ s}^{-1}$	188
FIGURA 143 a Série IV - Porcentagem Remanescente do Número de Algas em 189 a	
146 - Função dos Tempos e Gradientes de Velocidade Médio de 190	
Floculação para $VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min	
FIGURA 147 a Série IV - Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função dos 191 a	
150 - Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Floculação para 192	
$VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min	
FIGURA 151 a Série IV - Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função 193 a	
154 - do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Floculação para 194	
$VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min	
FIGURA 155 - Série V - Número de Partículas Remanescente em Função do	
Tamanho das Partículas para $P = 300 \text{ kPa}$	200
FIGURA 156 - Série V - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em	
Função do Tamanho das Partículas para $P = 300 \text{ kPa}$	200
FIGURA 157 - Série V - Número de Partículas Remanescente em Função do	
Tamanho das Partículas para $P = 400 \text{ kPa}$	202
FIGURA 158 - Série V - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em	
Função do Tamanho das Partículas para 400 kPa	202
FIGURA 159 - Série V - Número de Partículas Remanescente em Função do	
Tamanho das Partículas para $P = 500 \text{ kPa}$	204
FIGURA 160 - Série V - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em	
Função do Tamanho das Partículas para 500 kPa	204
FIGURA 161 a Série V - Porcentagem Remanescente do Número de Algas em 205 a	
164 - Função da Pressão na Câmara de Saturação para 206	
$VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min	
FIGURA 165 a Série V - Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função da 207 a	
168 - Pressão na Câmara de Saturação para $VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min .. 208	
FIGURA 169 a Série V - Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função	
172 - da Pressão na Câmara de Saturação para 209 a	
$VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min	210

FIGURA 173 - Série VI - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para $T_{sat} = 3$ min	216
FIGURA 174 - Série VI - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $T_{sat} = 3$ min	216
FIGURA 175 - Série VI - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $T_{sat} = 8$ min	218
FIGURA 176 - Série VI - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para $T_{sat} = 8$ min	218
FIGURA 177 - Série VI - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para $T_{sat} = 15$ min	220
FIGURA 178 - Série VI - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $T_{sat} = 15$ min	220
FIGURA 179 a Série VI - Porcentagem Remanescente do Número de Algas em 221 a	
182 - Função do Tempo de Saturação para $VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min	222
FIGURA 183 a Série VI - Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do 223 a	
186 - Tempo de Saturação para $VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min	224
FIGURA 187 a Série VI - Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função 225 a	
190 - do Tempo de Saturação para $VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min	226
FIGURA 191 - Série VII - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para $R = 5$ %	232
FIGURA 192 - Série VII - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $R = 5$ %	232
FIGURA 193 - Série VII - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para $R = 10$ %	234
FIGURA 194 - Série VII - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $R = 10$ %	234
FIGURA 195 - Série VII - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para $R = 15$ %	236
FIGURA 196 - Série VII - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $R = 15$ %	236
FIGURA 197 - Série VII - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para $R = 20$ %	238
FIGURA 198 - Série VII - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $R = 20$ %	238

FIGURA 199 a	Série VII - Porcentagem Remanescente do Número de algas em	239 a
202	- Função da Taxa de Recirculação para $VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min ..	240
FIGURA 203 a	Série VII - Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função da	241 a
206	- Taxa de Recirculação para $VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min	242
FIGURA 207 a	Série VII - Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função	243 a
210	- da Taxa de Recirculação para $VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min	244
FIGURA 211	- Série VIII - Porcentagens Remanescentes do Número de Algas,	
	Turbidez e Cor Aparente no Ensaio de Flotação	251
FIGURA 212	- Série VIII - Número de Partículas Remanescente em Função do	
	Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação	252
FIGURA 213	- Série VIII - Porcentagem Rem. do Número de Partículas em Função	
	do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação	252
FIGURA 214	- Série VIII - Turbidez Remanescente em Função dos Tempos Médios	
	de Coleta da Amostra Filtrada e dos Diferentes Tipos de Areia	255
FIGURA 215	- Série VIII - Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função dos	
	Tempos Médios de Coleta da Amostra Filtrada e dos Diferentes	
	Tipos de Areia	255
FIGURA 216	- Série VIII - Cor Aparente Remanescente em Função dos Tempos	
	Médios de Coleta da Amostra Filtrada e dos Diferentes Tipos de	
	Areia	256
FIGURA 217	- Série VIII - Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função	
	dos Tempos Médios de Coleta da Amostra Filtrada e dos Diferentes	
	Tipos de Areia	256
FIGURA 218	- Série VIII - Número de Partículas Remanescente em Função do	
	Tamanho das Partículas e dos Tipos de Areia para o Tempo Médio	
	de Filtração de 20 min	257
FIGURA 219	- Série VIII - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas	
	em Função do Tamanho das Partículas e dos Tipos de Areia para	
	Tempo Médio de Filtração de 20 min	257
FIGURA 220	- Série VIII - Número de Partículas Remanescente em Função do	
	Tamanho das Partículas e dos Diferentes Tipos de Areia para o	
	Tempo Médio de Filtração de 30 min	258
FIGURA 221	- Série VIII - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas	
	em Função do Tamanho das Partículas e dos Tipos de Areia para o	
	Tempo Médio de Filtração de 30 min	258

FIGURA 222 - Série VIII - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas e dos Tipos de Areia para o Tempo Médio de Filtração de 40 min	259
FIGURA 223 - Série VIII - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e dos Tipos de Areia para o Tempo Médio de Filtração de 40 min	259
FIGURA 224a - Gêneros de algas observados na água Tipo II	265
FIGURA 224b - Gêneros de algas observados na água Tipo II	266
FIGURA 224c - Gêneros de algas observados na água Tipo II	267
FIGURA 225 - Série IX - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$	272
FIGURA 226 - Série IX - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$	272
FIGURA 227 - Série IX - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$	274
FIGURA 228 - Série IX - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$	274
FIGURA 229 - Série IX - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$	276
FIGURA 230 - Série IX - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$	276
FIGURA 231 a Série IX - Porcentagem Rem. do Número de Algas em Função do	277 a
233 - Gradiente de Mistura Rápida para $VA = 15, 10 \text{ e } 5 \text{ cm/min}$	278
FIGURA 234 a Série IX - Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do	278 a
236 - Gradiente de Mistura Rápida para $VA = 15, 10 \text{ e } 5 \text{ cm/min}$	279
FIGURA 237 a Série IX - Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função	280 a
239 - do Gradiente de Mistura Rápida para $VA = 15, 10 \text{ e } 5 \text{ cm/min}$	281
FIGURA 240 a Série IX - Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função	281 a
242 - do Gradiente de Mistura Rápida para $VA = 15, 10 \text{ e } 5 \text{ cm/min}$	282
FIGURA 243 - Série X - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas e dos Tempos de Floculação	288
FIGURA 244 - Série X - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e dos Tempos de Floculação	288
FIGURA 245 - Série X - Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função dos Tempos de Floculação e Velocidades Ascensionais	289

FIGURA 246 - Série X - Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função dos Tempos de Floculação e Velocidades Ascensionais	289
FIGURA 247 - Série X - Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função dos Tempos de Floculação e Velocidades Ascensionais	290
FIGURA 248 - Série X - Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função dos Tempos de Floculação e Velocidades Ascensionais	290
FIGURA 249 - Série XI - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação	296
FIGURA 250 - Série XI - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação	296
FIGURA 251 - Série XI - Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação	297
FIGURA 252 - Série XI - Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação	297
FIGURA 253 - Série XI - Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação	298
FIGURA 254 - Série XI - Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação	298
FIGURA 255 - Série XII - Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação	304
FIGURA 256 - Série XII - Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação .	304
FIGURA 257 - Série XII - Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação .	305
FIGURA 258 - Série XII - Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação	305
FIGURA 259 - Série XII - Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação	306
FIGURA 260 - Série XII - Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação	306
FIGURA 261 - Série XII - Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função dos Tempos Médios de Coleta de Água Filtrada e dos Diferentes Tipos de Areia	307
FIGURA 262 - Série XII - Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função dos Tempos Médios de Coleta de Água Filtrada e dos Tipos de Areia	308

FIGURA 263 - Série XII - Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função dos Tempos Médios de Coleta de Água Filtrada e dos Diferentes Tipos de Areia	308
---	-----

LISTA DE TABELAS

TABELA 001 - Principais diferenças entre as células procariontes e eucariontes	008
TABELA 002 - Divisão dos organismos nos reinos segundo a classificação de Woese (1977)	009
TABELA 003 - Comparação da eficiência de remoção de algas na flotação e sedimentação	039
TABELA 004 - Nutrientes presentes em meio de cultura WC	047
TABELA 005 - Características físico-químicas da água Tipo I	051
TABELA 006 - Principais características físico-químicas e biológicas da água Tipo II	055
TABELA 007 - Identificação dos gêneros e contagem de algas	055
TABELA 008 - Número de partículas em função da faixa de tamanhos	056
TABELA 009 - Vazões e respectivas taxas de filtração	083
TABELA 010 - Tempos de filtração em função das vazões de filtração e taxas de recirculação	084
TABELA 011 - Granulometria da areia	084
TABELA 012 - Série de ensaios referentes à água Tipo I	092
TABELA 013 - Série de ensaios referentes à água Tipo II	093
TABELA 014 - Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao par de valores escolhido	095
TABELA 015 - Resultados da Contagem de partículas da água de recirculação proveniente do sistema de abastecimento do laboratório de saneamento da EESC/USP	095
TABELA 016 - Número de algas presentes na Água Tipo I	115
TABELA 017 - Características físico-químicas da água Tipo I	115
TABELA 018 - Número de partículas em função do tamanho das partículas	117

TABELA 019 - Características da água Tipo I na Série I	123
TABELA 020 - Dosagens de produtos químicos utilizados na Série I	123
TABELA 021 - Parâmetros físicos utilizados na Série I	123
TABELA 022 a Série I: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	123 a
043 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à	130
DSA = 20 a 70 mg/L para VA = 10 e 5 cm/min	
TABELA 044 - Características da água Tipo I na Série II	141
TABELA 045 - Dosagens de produtos químicos utilizados na Série II	141
TABELA 046 - Parâmetros físicos utilizados na Série II	141
TABELA 047 e Série II: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
048 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes	
ao ensaio de reprodução do par de valores “pH de Coagulação x	
Dosagem de Coagulante” para VA = 10 e 5 cm/min	141
TABELA 049 - Série II: Número de partículas remanescente	143
TABELA 050 - Série II: Porcentagem remanescente do número de partículas	143
TABELA 051 - Características da água Tipo I na Série III	147
TABELA 052 - Dosagens de produtos químicos utilizados na Série III	147
TABELA 053 - Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série III	147
TABELA 054 a Série III: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
057 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes	147 a
(Gmr = 400 s ⁻¹ , VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min)	148
TABELA 058 - Série III: Número de partículas remanescente	
(Gmr = 400 s ⁻¹ ; 5 < Tmr < 45 s)	148
TABELA 059 - Série III: Porcentagem remanescente do número de partículas	
(Gmr = 400 s ⁻¹ ; 5 < Tmr < 45 s)	148
TABELA 060 a Série III: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
063 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes	
(Gmr = 600 s ⁻¹ , VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min)	150
TABELA 064 - Série III: Número de partículas remanescente	
(Gmr = 600 s ⁻¹ ; 5 < Tmr < 45 s)	151
TABELA 065 - Série III: Porcentagem remanescente do número de partículas	
(Gmr = 600 s ⁻¹ ; 5 < Tmr < 45 s)	151
TABELA 066 a Série III: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
069 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes	
(Gmr = 800 s ⁻¹ , VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min)	153

TABELA 070 - Série III: Número de partículas remanescente ($G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)	154
TABELA 071 - Série III: Porcentagem remanescente do número de partículas ($G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)	154
TABELA 072 a Série III: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente 075 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$, $VA = 15, 10, 7,5 \text{ e } 5 \text{ cm/min}$)	156
TABELA 076 - Série III: Número de partículas remanescente ($G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)	157
TABELA 077 - Série III: Porcentagem remanescente do número de partículas ($G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)	157
TABELA 078 a Série III: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente 081 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$, $VA = 15, 10, 7,5 \text{ e } 5 \text{ cm/min}$)	159
TABELA 082 - Série III: Número de partículas remanescente ($G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)	160
TABELA 083 - Série III: Porcentagem remanescente do número de partículas ($G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)	160
TABELA 084 - Características da água Tipo I na Série IV	171
TABELA 085 - Dosagens de produtos químicos utilizados na Série IV	171
TABELA 086 - Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série IV	171
TABELA 087 a Série IV: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente 090 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_f = 20 \text{ s}^{-1}$, $VA = 15, 10, 7,5 \text{ e } 5 \text{ cm/min}$)	171 a 172
TABELA 091 - Série IV: Número de partículas remanescente ($G_f = 20 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)	172
TABELA 092 - Série IV: Porcentagem remanescente do número de partículas ($G_f = 20 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)	172
TABELA 093 a Série IV: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente 096 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_f = 25 \text{ s}^{-1}$, $VA = 15, 10, 7,5 \text{ e } 5 \text{ cm/min}$)	174
TABELA 097 - Série IV: Número de partículas remanescente ($G_f = 25 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)	175
TABELA 098 - Série IV: Porcentagem remanescente do número de partículas ($G_f = 25 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)	175

TABELA 099 a	Série IV: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
102 -	remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 30\text{ s}^{-1}$, $VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min)	177
TABELA 103 -	Série IV: Número de partículas remanescente ($Gf = 30\text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45\text{ s}$)	178
TABELA 104 -	Série IV: Porcentagem remanescente do número de partículas ($Gf = 30\text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45\text{ s}$)	178
TABELA 105 a	Série IV: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
108 -	remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 40\text{ s}^{-1}$, $VA = 15\text{ cm/min}$)	180
TABELA 109 -	Série IV: Número de partículas remanescente ($Gf = 40\text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45\text{ s}$)	181
TABELA 110 -	Série IV: Porcentagem remanescente do número de partículas ($Gf = 40\text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45\text{ s}$)	181
TABELA 111 a	Série IV: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
114 -	remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 60\text{ s}^{-1}$, $VA = 15\text{ cm/min}$)	183
TABELA 115 -	Série IV: Número de partículas remanescente ($Gf = 60\text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45\text{ s}$)	184
TABELA 116 -	Série IV: Porcentagem remanescente do número de partículas ($Gf = 60\text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45\text{ s}$)	184
TABELA 117 a	Série IV: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
120 -	remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 90\text{ s}^{-1}$, $VA = 15\text{ cm/min}$)	186
TABELA 121 -	Série IV: Número de partículas remanescente ($Gf = 90\text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45\text{ s}$)	187
TABELA 122 -	Série IV: Porcentagem remanescente do número de partículas ($Gf = 90\text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45\text{ s}$)	187
TABELA 123 -	Características da água Tipo I na Série V	199
TABELA 124 -	Dosagens de produtos químicos utilizados na Série V	199
TABELA 125 -	Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série V	199
TABELA 126 a	Série V: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
129 -	remanescentess e respectivas porcentagens remanescentes ($P = 300\text{ kPa}$, $VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min)	199

TABELA 130 - Série V: Número de partículas remanescente (P = 300 kPa; 5 < VA < 2,4 cm/min)	200
TABELA 131 - Série V: Porcentagem remanescente do número de partículas (P = 300 kPa; 5 < VA < 2,4 cm/min)	200
TABELA 132 a Série V: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente 135 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (P = 400 kPa, VA = 15 cm/min)	201
TABELA 136 - Série V: Número de partículas remanescente (P = 400 kPa)	201
TABELA 137 - Série V: Porcentagem remanescente do número de partículas (P = 400 kPa)	202
TABELA 138 a Série V: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente 141 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (P = 500 kPa, VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min)	203
TABELA 142 - Série V: Número de partículas remanescente (P = 500 kPa)	203
TABELA 143 - Série V: Porcentagem remanescente do número de partículas (P = 500 kPa)	204
TABELA 144 - Características da água Tipo I na Série VI	215
TABELA 145 - Dosagens de produtos químicos utilizados na Série VI	215
TABELA 146 - Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série VI	215
TABELA 147 a Série VI: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente 151 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Tsat = 3 min, VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min)	215
TABELA 151 - Série VI: Número de partículas remanescente (Tsat = 3 min)	216
TABELA 152 - Série VI: Porcentagem remanescente do número de partículas (Tsat = 3 min)	216
TABELA 153 a Série VI: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente 156 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Tsat = 8 min, VA = 15 cm/min)	217
TABELA 157 - Série VI: Número de partículas remanescente (Tsat = 8 min)	217
TABELA 158 - Série VI: Porcentagem remanescente do número de partículas (Tsat = 8 min)	218

TABELA 159 a	Série VI: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
162 -	remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes	
	($T_{sat} = 15$ min, $V_A = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min)	219
TABELA 163 -	Série VI: Número de partículas remanescente	
	($T_{sat} = 15$ min)	219
TABELA 164 -	Série VI: Porcentagem remanescente do número de partículas	
	($T_{sat} = 15$ min)	220
TABELA 165 -	Características da água Tipo I na Série VII	231
TABELA 166 -	Dosagens de produtos químicos utilizados na Série VII	231
TABELA 167 -	Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série VII	231
TABELA 171 -	Série VII: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
	remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes	
	($R = 5$ %, $V_A = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min)	231
TABELA 172 -	Série VII: Número de partículas remanescente	
	($R = 5$ %)	232
TABELA 173 -	Série VII: Porcentagem remanescente do número de partículas	
	($R = 5$ %)	232
TABELA 174 a	Série VII: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
177 -	remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes	
	($R = 10$ %, $V_A = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min)	233
TABELA 178 -	Série VII: Número de partículas remanescente	
	($R = 10$ %)	233
TABELA 179 -	Série VII: Porcentagem remanescente do número de partículas	
	($R = 10$ %)	234
TABELA 180 a	Série VII: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
183 -	remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes	
	($R = 15$ %, $V_A = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min)	235
TABELA 184 -	Série VII: Número de partículas remanescente	
	($R = 15$ %)	235
TABELA 185 -	Série VII: Porcentagem remanescente do número de partículas	
	($R = 15$ %)	236
TABELA 186 a	Série VII: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente	
189 -	remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes	
	($R = 20$ %, $V_A = 15$ cm/min)	237

TABELA 190 - Série VII: Número de partículas remanescente (R = 20 %)	237
TABELA 191 - Série VII: Porcentagem Remanescente do Número de Partículas (R = 20 %)	238
TABELA 192 - Características da água Tipo I na Série VIII	249
TABELA 193 - Dosagens de produtos químicos utilizados na Série VIII	249
TABELA 194 - Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série VIII	249
TABELA 195 a Série VIII: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente 198 - remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de flotação (VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min)	249 a 250
TABELA 199 - Série VIII: Número de partículas remanescente referente ao ensaio de flotação	250
TABELA 200 - Série VIII: Porcentagem remanescente do número de partículas referente ao ensaio de flotação	250
TABELA 201 - Série VIII: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de filtração (Tempo de coleta da amostra filtrada = 20 min)	253
TABELA 202 - Série VIII: Número de partículas remanescente referente ao ensaio de filtração (Tempo de coleta da amostra filtrada = 20 min)	253
TABELA 203 - Série VIII: Porcentagem remanescente do número de partículas referente ao ensaio de filtração (Tempo de coleta de amostra filtrada = 20 min)	253
TABELA 204 - Série VIII: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de filtração (Tempo de coleta da amostra filtrada = 30 min)	253
TABELA 205 - Série VIII: Número de partículas remanescente referente ao ensaio de filtração (Tempo de coleta de amostra filtrada = 30 min)	253
TABELA 206 - Série VIII: Porcentagem remanescente do número de partículas referente ao ensaio de filtração (Tempo de coleta de amostra filtrada = 30 min)	254
TABELA 207 - Série VIII: Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao de filtração (Tempo de coleta da amostra filtrada = 40 min)	254

TABELA 208 - Série VIII: Número de partículas remanescente referente ao ensaio de filtração (Tempo de coleta de amostra filtrada = 40 min)	254
TABELA 209 - Série VIII: Porcentagem remanescente do número de partículas referente ao ensaio de filtração (Tempo de coleta de amostra filtrada = 40 min)	254
TABELA 210 - Características físico-químicas da água Tipo II	263
TABELA 211 - Identificação dos gêneros e contagem de algas	264
TABELA 212 - Número de partículas em função do tamanho das partículas	264
TABELA 213 - Características da água Tipo II na Série IX	271
TABELA 214 - Dosagens de produtos químicos utilizados na Série IX	271
TABELA 215 - Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série IX	271
TABELA 216 a Série IX: Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor	
218 - aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 800 s ⁻¹ , VA = 15, 10 e 5 cm/min)	271
TABELA 219 - Série IX: Número de partículas remanescente (Gmr = 800 s ⁻¹)	271
TABELA 220 - Série IX: Porcentagem remanescente do número de partículas (Gmr = 800 s ⁻¹)	272
TABELA 221 a Série IX: Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor	
223 - aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 1000 s ⁻¹ , VA = 15, 10 e 5 cm/min)	273
TABELA 224 - Série IX: Número de partículas remanescente (Gmr = 1000 s ⁻¹)	273
TABELA 225 - Série IX: Porcentagem remanescente do número de partículas (Gmr = 1000 s ⁻¹)	273
TABELA 226 a Série IX: Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor	
228 - aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 1200 s ⁻¹ , VA = 15, 10 e 5 cm/min)	275
TABELA 229 - Série IX: Número de partículas remanescente (Gmr = 1200 s ⁻¹)	275
TABELA 230 - Série IX: Porcentagem remanescente do número de partículas (Gmr = 1200 s ⁻¹)	275
TABELA 231 - Características da água Tipo II na Série X	287
TABELA 232 - Dosagens de produtos químicos utilizados na Série X	287
TABELA 233 - Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série X	287

TABELA 234 a	Série X: Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor	
236 -	aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (VA = 15, 10 e 5 cm/min)	287
TABELA 237 -	Série X: Número de partículas remanescente	287
TABELA 238 -	Série X: Porcentagem remanescente do número de partículas	288
TABELA 239 -	Características da água Tipo II na Série XI	295
TABELA 240 -	Dosagens de produtos químicos utilizados na Série XI	295
TABELA 241 -	Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série XI	295
TABELA 242 a	Série XI: Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor	
244 -	aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (VA = 15, 10 e 5 cm/min)	295
TABELA 245 -	Série XI: Número de partículas remanescente	295
TABELA 246 -	Série XI: Porcentagem remanescente do número de partículas	296
TABELA 247 -	Características da água Tipo II na Série XII	303
TABELA 248 -	Dosagens de produtos químicos utilizados na Série XII	303
TABELA 249 -	Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série XII	303
TABELA 250 a	Série XII: Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e	
252 -	cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de flotação (VA = 15, 10 e 5 cm/min)	303
TABELA 253 -	Série XII: Número de partículas remanescente referentes ao ensaio de flotação	303
TABELA 254 -	Série XII: Porcentagem remanescente do número de partículas referentes ao ensaio de flotação	304
TABELA 255 a	Série XII: Resultados do ensaio de filtração	
258 -	(Tempo de coleta da amostra = 10, 20, 30 e 40 min)	307

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

Abs.	Absorvância no comprimento de onda de 254 nm
AV	Alga verde
AWWA -	American Water Works Association
CI	Cianofíceia
Cor ap.	Cor aparente
DI	Diatomácea
Eq.	Equação
Ind./L	Indivíduos por litro
% abs.	Porcentagem remanescente da absorvância
% cor ap.	Porcentagem remanescente da cor aparente
% Ind.	Porcentagem remanescente do número de indivíduos por litro
% turbidez	Porcentagem remanescente da turbidez
WRc -	Water Research Centre

LISTA DE SÍMBOLOS

η	Eficiência da câmara de saturação
ϕ	Ângulo de contato entre a bolha de gás e a partícula
ρ	Massa específica da água (ML^{-3})
μ	Viscosidade absoluta da água ($\text{MT}^{-2}\text{L}^{-1}$)
φ_b	Concentração de ar liberado em volume
ρ_g	Massa específica da bolha de gás (ML^{-3})
$\sigma_{l,g}$	Tensão superficial nas superfícies líquido-gás
$\sigma_{s,g}$	Tensão superficial nas superfícies sólido-gás
$\sigma_{s,l}$	Tensão superficial nas superfícies sólido-líquido
δ_{sat}	Densidade do ar saturado, (mg/L)
A	Absorvância remanescente no comprimento de onda de 254 nm
A/S	Relação ar-sólidos (quantidade de ar/quantidade de sólidos, em mg/mg)
A _o	Absorvância inicial no comprimento de onda de 254 nm
a _s	Solubilidade do ar, mL/L
C	Cor aparente remanescente, uC
C _{atm}	Concentração de ar remanescente à pressão atmosférica, mg/L
C _o	Cor aparente inicial, uC
C _r	Massa de ar por unidade de volume após a queda de pressão, mg/L
C _{sat}	Concentração de saturação, mg/L
d ₅₀	Diâmetro médio da bolha, μm
DAC	Dosagem de ácido clorídrico, mg/L
d _b	Diâmetro da bolha (L) ou μm
d _{bl}	diâmetro da bolha 1 (L)

d_{b2}	diâmetro da bolha 2 (L)
DHS	Dosagem de hidróxido de sódio, mg/L
DSA	Dosagem de sulfato de alumínio, mg/L
E_{sg}	Energia de adesão
f	Fração de gás dissolvido
FAD	Flotação por ar dissolvido
FADPR	Flotação por ar dissolvido com pressurização da recirculação
g	Aceleração da gravidade (LT^{-2})
Gf	Gradiente de velocidade médio da floculação, s^{-1}
Gf*	Gradiente de velocidade médio ótimo de floculação, s^{-1}
Gmr	Gradiente de velocidade médio da mistura rápida, s^{-1}
h	Altura de água no interior do jarro correspondente ao volume de 2L, cm
h_R	Altura de água correspondente ao volume adicionado de água saturada com ar, cm
K_h	Constante da Lei de Henry, $mg.L^{-1}/mca$ ou $mg.L^{-1}/kPa$ ou $mg.L^{-1}/atm$ ou $mg.L^{-1}/(kg/cm^2)$
M	Massa de ar liberada na câmara de flotação
N	Número de algas/L remanescente
NA_i	Nível de água inicial no interior no jarro do Floteste, cm
N_b	Número de bolhas liberado por unidade de volume
N_o	Número de algas/L inicial
P	Pressão na câmara de saturação, atm
P	Número de partículas/L remanescente
P_{abs}	Pressão absoluta, atm
P_o	Número de partículas/L inicial
Q	Vazão, L/s
q_{ar}	Vazão de ar na câmara de saturação, L/s
R	Taxa de recirculação, %
r	Relação entre a vazão de recirculação e a vazão da estação
SG	Sedimentação por gravidade
S_s	Concentração de sólidos, mg/L
T	Turbidez remanescente, uT
t_{as1}	tempo de ascensão da bolha 1 (T)
t_{as2}	tempo de ascensão da bolha 2 (T)
Tc	Tempo de coleta de água flotada, min

T_f	Tempo de floculação, min
T_{mr}	Tempo de mistura rápida, s
T_o	Turbidez inicial, uT
T_{sat}	Tempo de saturação, min
U_t	Velocidade ascensional da bolha (LT^{-1})
VA	Velocidade ascensional, cm/min
V_{as1}	velocidade ascensional da bolha 1 (LT^{-1})
V_{as2}	velocidade ascensional da bolha 2 (LT^{-1})
Vf	Velocidade de flotação, cm/min
v_R	Volume de água saturada com ar adicionada durante a recirculação, mL

RESUMO

CENTURIONE F^o., P. L. (2002). *Desenvolvimento e operação de uma instalação de flotação de bancada para águas de abastecimento*. São Carlos, 2002. 313 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Tendo em vista a potencialidade da remoção de algas utilizando a flotação por ar dissolvido, foi proposto o desenvolvimento de um equipamento de laboratório de fácil operação e manutenção, denominado Floteste, integrando as características geométricas do equipamento Jarteste neste trabalho. Foram realizados ensaios, utilizando água sintética contendo algas da ordem de 10^8 ind/L e natural proveniente de curso d'água eutrofizado, possibilitando o aprimoramento do estudo das condições de coagulação, mistura rápida, floculação e flotação. Também, ensaios de flotação seguida de filtração em areia foram feitos visando melhorar a qualidade da água flotada. O jarro do Floteste possui placa de orifícios que proporciona perda de carga suficiente para a distribuição uniforme de água saturada pela seção quadrada do mesmo. Concluiu-se, principalmente, que a dosagem de coagulante e o respectivo pH de coagulação, tempo e gradiente de velocidade médio de mistura rápida, tempo e gradiente de velocidade médio de floculação, tempo e pressão de saturação e a quantidade de ar fornecido exercem influência significativa na remoção de algas, turbidez, cor verdadeira e do número de partículas nos dois tipos de águas estudadas.

Palavras-chave: remoção de algas; flotação por ar dissolvido; coagulação; floculação; filtração.

ABSTRACT

CENTURIONE F^o, P. L. (2002). *Development and operation of a laboratory installation of flotation for water supply*. São Carlos, 2002. 313 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Due to the potentiality of the algae removal by dissolved air flotation, it was proposed the development of an equipment in laboratory scale of easy operation and maintenance, denominated Floteste, integrating the geometric characteristics of the Jarteste equipment in this work. Tests were carried out with synthetic water containing a high concentration of algae ($\sim 10^8$ ind/L) and natural water from an eutrophicated source. Besides several improvements in the equipment developed in this study, the rapid mixing can be considered the most important, followed by flocculation and flotation. Also, flotation and sand filtration tests were performed to simulate the floto-filtration technology. The Floteste vessel have a perforated plate that provides enough loss of load in order to uniform the distribution of saturated water in the bottom. It was concluded, mainly, that the coagulant dose and the pH of coagulation, time and velocity gradient of rapid mixing, time and velocity gradient of flocculation, time and saturation pressure chamber and the amount of air supplied played a significant role in the removal of algae, turbidity, true color and of the number of particles in the two types of water studied.

Keywords: removal of algae; dissolved air flotation; coagulation; floculação; filtration.

1 INTRODUÇÃO

A água deve apresentar condições mínimas para que possa ser ingerida ou utilizada para fins higiênicos, o que se consegue por meio de tratamento. Com os avanços nas tecnologias, a água bruta de qualquer qualidade pode ser tratada e destinada ao consumo, embora os custos e riscos envolvidos possam resultar extremamente elevados e inviabilizar a implementação da estação de tratamento (DI BERNARDO, 1995).

A Organização Mundial da Saúde, OMS, considera prioritária a proteção da saúde pública e recomenda aos países em geral, o estabelecimento dos parâmetros de qualidade e os valores limites a serem fixados, especialmente aqueles que podem causar dano ao ser humano, levando em conta as condições locais, uma vez que a adoção de parâmetros muito exigentes limita o emprego de tecnologia viável e econômica. A proteção dos mananciais é invariavelmente o melhor método para assegurar a qualidade da água destinada ao consumo humano. Para impedir sua contaminação pelo ser humano ou animais, deve-se evitar o acesso de despejos líquidos que contenham organismos como bactérias, vírus, protozoários e alguns parasitas, além de substâncias ou elementos químicos tóxicos (DI BERNARDO, 1995).

Dentre os microrganismos de interesse sanitário, vírus, bactérias, algas (verdes, azuis, vermelhas, diatomáceas e flagelados pigmentados) e protozoários, além de helmintos e fungos, são os mais importantes do ponto de vista hidrobiológico, pois geralmente estão presentes nos cursos d'água, lagos e reservatórios. Dependendo da quantidade, sua presença pode conferir sabor, odor, cor e turbidez à água, repugnantes ao ser humano.

A utilização inadequada dos recursos hídricos tem levado ao enriquecimento de corpos de água em nitrogênio, fósforo e outros nutrientes que, em excesso, conduzem à quebra do equilíbrio biológico do meio aquático, com floração de determinadas espécies de algas, nem sempre controlável ao nível desejado nas águas destinadas ao abastecimento público. A presença de algas em concentrações elevadas nessas águas, é a causa primordial de alterações da sua qualidade, seja por conferir sabor e odor, seja por interferir na operação e funcionamento das estações de tratamento de água (MARTINS, 1979).

A sedimentação é uma operação de separação sólido-líquido usualmente escolhida quando se faz necessária a remoção de partículas facilmente sedimentáveis. Entretanto, algumas fontes de abastecimento contêm partículas de baixa densidade que possuem tendência à flotação e poderiam causar problemas em unidades de sedimentação. As dificuldades de tratamento da água proveniente de reservatórios de acumulação ricos em nutrientes têm aumentado sensivelmente, uma vez que a eutrofização proporciona o surgimento de grandes quantidades de algas. Estas podem atravessar os decantadores das estações de tratamento de água convencionais e causar a obstrução rápida do meio filtrante (HYDE et al, 1977).

A tecnologia da flotação, em especial a flotação por ar dissolvido (FAD), surgiu, incontestavelmente, como alternativa à sedimentação, especificamente para solucionar tais problemas. A ascensão de partículas previamente floculadas pode ser conseguida mais rapidamente com a introdução de microbolhas de ar, que se aderem aos flocos, diminuindo sua densidade. Assim, estes agregados (bolha de ar mais floco ou partícula) são conduzidos à superfície de uma unidade de flotação para que, finalmente, sejam removidos.

A FAD tem se mostrado mais eficiente no tratamento de águas coloridas contendo baixa turbidez e, principalmente, na remoção de algas e protozoários nocivos à saúde do ser humano. De acordo com GREGORY (1997), “a FAD é técnica e economicamente viável no tratamento de água proveniente de corpos d’água eutrofizados”. Também, proporciona a obtenção de um lodo mais desaguado e o emprego de taxas de escoamento superficial mais elevadas, da ordem de 100 a 300 m³/m².dia contra taxas que raramente excedem 60 m³/m².dia nos decantadores convencionais ou 150 m³/m².dia nos decantadores de alta taxa.

O pré-tratamento à flotação afeta o desempenho da flotação consideravelmente, pois “uma floculação eficiente é essencial para uma efetiva remoção de algas” (ZABEL, 1985). Assim, como a floculação depende da coagulação, o estudo aprofundado das condições de mistura rápida, como efetuado por BRITO (1998), bem como das dosagens de coagulante e correspondente pH de coagulação, “podem melhorar a remoção de turbidez de uma água”.(LETTERMAN et al., 1973).

Em geral, são construídos os diagramas de coagulação, nos quais se têm os parâmetros tais como turbidez e cor aparente remanescente em função da dosagem de coagulante e respectivo pH de coagulação para diversas velocidades de sedimentação (ou flotação). Estes diagramas foram apresentados por AMIRTHARAJAH & MILLS (1982) com base no diagrama de solubilidade do sulfato de alumínio, no qual foram indicadas as regiões de coagulação efetiva. A análise destes diagramas possibilita que sejam tomadas

decisões, tanto para a escolha da tecnologia de tratamento apropriada, quanto para a otimização da coagulação (DI BERNARDO, 1993).

Para complementar o tratamento da água, após a coagulação, floculação e flotação, a filtração pode ser feita utilizando a areia com diferentes tamanhos de grãos como meio filtrante. O emprego da tecnologia da floto-filtração vem aumentando desde a década de 80 na Europa e, principalmente nos EUA, devido à necessidade de adequação à normas mais exigentes com vistas à remoção mais efetiva de algas e de seus subprodutos oriundos da oxidação e também de protozoários como o *Cryptosporidium* e *Giardia*.

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e operação de uma instalação de flotação por ar dissolvido de bancada, visando o aprimoramento do estudo das condições de mistura rápida, floculação, flotação e filtração para que seja possível a reprodução e simulação da operação de clarificação por flotação em escala de laboratório com vistas à transferência adequada de informações para instalações piloto e para escala real. Para tal investigação foram utilizados dois tipos água, sendo a primeira preparada em laboratório contendo concentração de algas da ordem de 10^8 indivíduos/L e a segunda, água natural proveniente de lago eutrofizado.

2 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram:

- a) desenvolvimento de um equipamento de flotação por ar dissolvido de laboratório de fácil operação e manutenção - Floteste;
- b) avaliação do desempenho e aplicabilidade do sistema na remoção de algas, turbidez e cor;
- c) aprimoramento do estudo das condições de mistura rápida, floculação e flotação na remoção de algas de água preparada com concentração elevada de algas (da ordem de 10^8 ind/L);
- d) confecção de um manual de operação passo a passo do Floteste para melhor entendimento e orientação na execução de ensaios de tratabilidade.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Considerações iniciais

Segundo DI BERNARDO (1995), não apenas os microrganismos patogênicos necessitam controle em águas destinadas ao abastecimento público; igualmente, muitas espécies de microrganismos aquáticos, de vida livre, devem ser combatidas a fim de não prejudicarem as características de potabilidade. Essa interferência pode ser direta, graças às substâncias organolépticas ou mesmo tóxicas que podem ser liberadas na água, ou ainda ao aumento de turbidez produzido pela sua presença em grande número; ou indireta, devido às dificuldades que causam ao sistema de tratamento, prejudicando a filtração, coagulação e sedimentação de material particulado.

Atualmente, porém, verifica-se uma tendência geral à eutrofização acelerada dos lagos, sobretudo em represas, causada pela crescente introdução de nutrientes minerais provenientes de esgotos das cidades, resíduos industriais ou ainda fertilizantes agrícolas. Essa eutrofização provoca o aumento do número de organismos aquáticos e conseqüente aumento da freqüência de problemas ecológicos e sanitários por eles causados.

3.2 Eutrofização de mananciais e suas conseqüências

Segundo DI BERNARDO (1995), a qualidade da água bruta de um manancial depende das características da bacia hidrográfica, incluindo clima, hidrologia, geologia, pedologia, morfologia, usos e ocupação da terra. O planejamento e a operação racional de sistemas de abastecimento de água requerem o conhecimento das relações causa-efeito que influem na qualidade da água, especialmente aquelas relacionadas ao desenvolvimento de algas, visando a proteção do manancial.

O florescimento de algas, decorrente do aumento da concentração de nutrientes no manancial, pode ter os seguintes efeitos diretos na qualidade da água: aumento da matéria orgânica particulada (fitoplâncton, zooplâncton, bactérias, protozoários, fungos e detritos); aumento da quantidade de substâncias orgânicas dissolvidas que podem conferir sabor e odor

à água, ser precursores da formação de compostos organoclorados, incrementar a cor na água, servir de substrato para o crescimento de bactérias na estação de tratamento e no sistema de distribuição e contribuir para aumentar a corrosão; aumento do pH e de suas flutuações diárias; diminuição do teor de oxigênio próximo ao sedimento, podendo ocasionar liberação de sulfeto de hidrogênio, amônia, ferro, manganês, fósforo, etc.

Essas alterações de qualidade da água podem apresentar efeitos diretos ou indiretos na operação da estação de tratamento, nos sistemas de reservação e distribuição, e nos custos com produtos químicos, tais como: aumento do consumo de coagulante e alcalinizante para ajuste de pH de coagulação; os flocos formados resultam leves, devendo-se empregar polímero como auxiliar de floculação para evitar a flotação dos mesmos; diminuição da eficiência de remoção na decantação; obstrução rápida do meio filtrante, redução da duração da carreira de filtração e aumento do consumo de água para lavagem; aumento do consumo de cloro devido à presença de matéria orgânica e amônia, diminuição da eficiência da desinfecção e potencialidade de formação de compostos organoclorados prejudiciais ao ser humano; possibilidade do crescimento de bactérias no sistema de distribuição devido ao aumento de matéria orgânica que serve de substrato; problemas com sabor e odor, e aumento da deposição de ferro e manganês nas tubulações.

Os custos aumentam pela necessidade de monitoramento da qualidade da água em diversos pontos do sistema de abastecimento, aplicação de algicidas no manancial e tratamentos específicos para remoção de ferro e manganês.

3.3 Microrganismos procariontes e eucariontes

Segundo PELCZAR et al. (1993), os microrganismos eucariontes, assim como os procariontes, possuem grande variedade de formas e processos celulares. Nas Tabelas 1 e 2 são mostradas, respectivamente, as principais diferenças entre as células eucariontes e procariontes, e os reinos nos quais os organismos estão agrupados.

TABELA 1 – Principais diferenças entre as células procariontes e eucariontes

Estrutura/Célula	Procariontes	Eucariontes
Membrana Nuclear	Ausente	Presente
Mitocôndria	Ausente	Presente, com DNA próprio
Pigmento fotossintetizante	Presente em uma submembrana	Presente no cloroplasto
Reprodução	Fissão binária; assexuada	Sexuada; assexuada; meiose e mitose
Observações	A parede celular pode ser mais complexa	Existem morfologias distintas entre citoplasma e núcleo

TABELA 2 – Divisão dos organismos nos reinos segundo a classificação de Woese (1977)

Reino	Procariontes	Eucariontes
<i>Archaeobacteria</i>	Bactérias produtoras de gás metano (arqueas)	-
<i>Eubacteria</i>	Todas as bactérias, exceto as arqueas	-
<i>Eucaryotes</i>	-	Protozoários, algas, fungos, plantas e animais

3.3.1 Algas

As algas pertencem ao reino *Eucaryotes*, classificadas como vegetais inferiores e caracterizam-se, em parte, por uma grande simplicidade de sua estrutura. Estão divididas nos seguintes grupos: i) *Clorophyta* (algas verdes); ii) *Phaeophyta* (algas pardas ou marrons); iii) *Rhodophyta* (algas vermelhas); iv) *Chrysophyta* (algas douradas e diatomáceas); v) *Pyrrophyta* (dinoflagelados); vi) *Euglenophyta*. Diferem das bactérias pela presença de núcleo celular, reprodução sexuada e plastos ou cromatóforos contendo os pigmentos fotossintetizantes. Nem todas algas são microscópicas, existindo algumas espécies marinhas com dimensões de até 50 metros ou mais de comprimento.

Segundo PELCZAR et al. (1993), as algas não necessitam de sistema vascular para transportar nutrientes como os vegetais superiores, uma vez que a célula algal é fotoautotrófica e pode, também, absorver nutrientes dissolvidos no meio.

Segundo BRANCO (1986), em uma alga não se distinguem, geralmente, órgãos típicos; não existem flores, folhas, raízes ou um caule verdadeiro. Seu “corpo” é denominado *talo*, que pode ser constituído de uma única célula ou de filamentos simples ou ramificados. Não devem, pois, ser confundidas com as algas e outras vegetações aquáticas, perfeitamente distinguíveis pela presença de raízes ou folhas.

As algas podem se apresentar sob forma de células isoladas, dotadas ou não de movimentos (como *Chlamydomonas* e *Chlorella*, respectivamente), podendo formar colônias filamentosas, esféricas, planas ou irregulares. Além disso, podem ser pluricelulares, com formas variadas, geralmente filamentosas, com ou sem ramificação. As algas apresentam cloroplastos em número variável com forma característica que permite identificar o gênero, na maioria das vezes. Ainda, apresentam reprodução sexuada realizada por gametas, além dos processos assexuados de simples divisão ou formação de esporos.

Segundo BRANCO (1986), as algas verdes apresentam as seguintes características que permitem distingui-las das demais:

- a) **Cor:** a coloração é verde; a tonalidade pode variar do verde claro, amarelado, ao verde escuro, como acontece com as folhas das árvores; essa variação de tonalidade se deve à presença de outros pigmentos associados à clorofila, tais como os carotenóides; os pigmentos verdes estão localizados nos plastos, de tamanho, número e forma muito variadas, característicos para vários gêneros;
- b) **Substâncias de reserva:** há reação positiva ao iodo; os grãos de amido se formam, em muitos casos em pontos determinados do plasto, em torno de uma formação globosa que recebe a denominação de pirenóide;
- c) **Envoltórios:** não existe, geralmente, bainha mucilaginosa por fora das células; algumas vezes, há impregnações da bainha celular por carbonato de cálcio, resultante da precipitação causada pelo uso do gás carbônico de equilíbrio na fotossíntese;
- d) **Núcleo:** presente em todas as células;
- e) **Movimentos:** não são freqüentes formas com movimento próprio, exceto algumas desmidiáceas que apresentam deslocamentos lentos e erráticos, causados pela secreção de mucilagem através de poros, quando em contato com um substrato;
- f) **Reprodução:** assexuada por simples divisão ou formação de esporos ou, ainda, sexuada, por meio da união de dois gametas; podem ser observados casos de alternância de gerações, em que formas sexuadas são originadas de uma reprodução assexuada e vice-versa.

3.3.2 Diatomáceas

Segundo BRANCO (1986), as diatomáceas constituem um grupo muito freqüente em quase todas as águas doces, inclusive nas de abastecimento. A principal característica das diatomáceas é a presença de uma carapaça ou frústula, constituída de sílica e formada de duas metades ou valvas que se encaixam encerrando a célula.

- a) **Cor:** as algas que habitam o fundo ou vivem no lodo possuem, geralmente, coloração mais escura, enquanto que as de superfície são as que mais freqüentemente possuem cor amarela ou amarela-esverdeada; a presença de cloroplastos de cor verde-oliva pode conferir-lhes coloração esverdeada;
- b) **Substâncias de reserva:** há reação negativa ao iodo devido à ausência de amido; as substâncias de reserva encontradas são constituídas de óleos que formam pequenos glóbulos distribuídos no interior da célula;

- c) **Envoltórios:** não existe uma bainha típica, permanente, envolvendo as células das diatomáceas; entretanto, existe secreção de mucilagem através dos poros existentes na membrana, a qual é responsável, muitas vezes, pela fixação das células a um substrato, ou pela ligação de uma célula à outra; na formação de colônias, portanto, somente nas superfícies ou nos pontos em que há secreção de mucilagem; as diatomáceas podem apresentar duas vistas diferentes: uma valvar, em que a alga apresenta apenas uma das valvas e outra, pleural, em que se pode ver o lado da alga, isto é, a linha de contato entre as duas valvas; as valvas que compõem a frústula apresentam, geralmente, ornamentações constituídas por estrias ou outras marcas regulares; as algas do gênero *Aulacoseira* formam filamentos mais ou menos longos pela justaposição de suas faces valvares; assim, essas algas somente podem ser observadas empregando-se microscópio em vista pleural;
- d) **Núcleo:** está presente em todas as células de diatomáceas;
- e) **Movimentos:** são dotadas de movimento somente as diatomáceas *pinadas* e possuidoras de rafe; admite-se que pelo interior desse canal circulem correstes de citoplasma que saem dos nódulos polares e central; esse citoplasma estaria em contato direto com o meio, produzindo, por atrito, o deslocamento da alga;
- f) **Reprodução:** pode ser sexuada e assexuadamente; neste último, as valvas se separam, cada qual contendo metade da célula que se divide por mitose; em seguida, cada uma dessas células resultantes forma uma nova valva, oposta à que já possuía; assim, a valva mais antiga será sempre a epiteca e a hipoteca formada posteriormente; o processo sexuada pode ser realizado de várias maneiras, geralmente por meio da união de duas algas formadas por divisão meiótica, após o abandono das respectivas frústulas; com a união, constitui-se o zigoto diplóide que, por divisão mitótica, forma novas algas filhas, as quais secretam as respectivas valvas.

3.3.3 Cianofíceas ou “algas azuis”

Segundo PELCZAR et al. (1993), as cianofíceas ou cianobactérias, também conhecidas como algas azuis, pertencem ao reino *Eubacteria*. Seus processos vitais requerem água, dióxido de carbono, substâncias inorgânicas e luz. A fotossíntese é seu principal modo de obtenção de energia para o metabolismo, entretanto, sua organização celular demonstra

que esses microorganismos são procariontes e, portanto, muito semelhantes bioquimicamente e estruturalmente às bactérias.

Segundo BRANCO (1986), as cianofíceas apresentam as seguintes características:

- a) **Cor:** a cor verde-azulada, geralmente predominante, é devida a um pigmento azul, a ficocianina, que se encontra associado à clorofila; ao contrário do que acontece com as algas, os pigmentos não se encontram localizados em plastos ou corpúsculos especiais, mas sim, distribuídos em toda massa protoplasmática de cada célula;
- b) **Substâncias de reserva:** há reação negativa ao iodo devido a ausência de amido; as formas de reserva freqüentes são gotas de óleo que aparecem no citoplasma juntamente com grânulos de proteína, além de pseudovacúolos que são espécies de bolhas de gás que se acumulam principalmente nas células mais velhas;
- a) **Envoltórios:** cada célula ou todo o filamento é revestido por uma bainha de substância mucilaginosa, o que faz com que o conjunto de células tenha sempre uma consistência gelatinosa, escorregadia, característica do “limo”, que se forma em paredes úmidas ou na superfície interna de reservatórios de água; essa bainha freqüentemente serve de abrigo a bactérias, inclusive de *coliformes* que se protegem da ação do cloro, aplicado para desinfecção;
- b) **Núcleo:** as células não possuem núcleo típico, mas a substância nuclear se encontra difundida na massa protoplasmática;
- c) **Movimentos:** algumas cianofíceas filamentosas (*Oscillatoria*) são dotadas de movimentos realizados, possivelmente, por difusão da mucilagem no meio líquido, ou ainda, por meio de ondas que percorrem longitudinalmente à célula, formadas por dilatações de regiões sucessivas do protoplasma; não existem, porém, organelas especiais de locomoção quem entre as algas, só aparecem no grupo dos flagelados pigmentados;
- d) **Reprodução:** a reprodução nunca se faz sexuadamente; reproduzem-se por simples divisão da célula ou do filamento ou por formação de hormogônios, em certos gêneros, que são constituídos por conjuntos de células que abandonam a bainha do filamento, dando origem a novos filamentos; algumas cianofíceas filamentosas apresentam, ainda, certas células destituídas de pigmento com aspecto de “células vazias”; foi evidenciada, nos heterócistos, a presença de enzimas responsáveis pela fixação de nitrogênio diretamente do ar; isso vem explicar a propriedade que tem algumas cianofíceas (como por exemplo a

Anabaena) de desenvolver-se em ambientes pobres em nitrogênio, mas ricos em outros nutrientes, o que assume particular importância no estudo do fenômeno de eutrofização.

3.4 Problemas causados por algas ao abastecimento

Segundo DI BERNARDO (1995), as algas têm causado os seguintes problemas ao tratamento de águas de abastecimento: aumento do consumo de produtos químicos, sabor, odor, interferências na floculação, flotação nos decantadores e obstrução de filtros.

Adicionalmente, as cianotoxinas (neurotoxinas e hepatotoxinas) produzidas por cianobactérias têm sido motivo de preocupação de autoridades e pesquisadores, e que culminou na aprovação da Norma de Qualidade da Água para Consumo e seu Padrão de Potabilidade, estabelecida pela Portaria nº. 1469 de 29 de dezembro de 2000 do Ministério da Saúde, na qual é obrigatório o monitoramento desses microrganismos e toxinas.

3.4.1 Sabor e odor

Segundo BRANCO (1986), a água, quando em estado natural, não possui sabor e odor próprios. Dentre as substâncias mais freqüentemente encontradas nas águas naturais, figuram os carbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio, ferro, magnésio e sódio, além de alguns compostos de silício e, com freqüência, vários compostos orgânicos. Os gostos que podem resultar na água devido à presença dessas várias substâncias são, essencialmente, de quatro categorias: ácido, amargo, doce e salgado. Da combinação sensorial desses quatro *gostos* com inúmeros *odores* produzidos especialmente pelos compostos orgânicos, pode resultar uma infinidade de diferentes *sabores* que permitem, muitas vezes, definir o tipo de composto presente, ainda que em diminutas concentrações.

Segundo BRANCO (1986), as algas constituem um dos mais importantes fatores que causam sabor e odor nas águas de abastecimento. A identificação das substâncias presentes nas algas e que são responsáveis pelo seu cheiro e sabor característico tem sido objeto de estudo de várias pesquisas. A extração e destilação desse material levou à conclusão de que são os ácidos graxos, presentes nas células, os principais causadores desse fenômeno.

3.4.2 Cor e turbidez

Segundo BRANCO (1986), a presença de microrganismos na água pode exercer dois tipos de influência com relação à produção de cor e turbidez nas águas de abastecimento,

seja por meio de sua própria presença ou como produtores de pigmentos solúveis, seja indiretamente por interferências que causam no tratamento da água, em particular nos processos de floculação, decantação e filtração da água.

3.4.2.1 Interferência direta

As algas, comportando-se na água como partículas em suspensão, podem constituir fator diretamente responsável pela turbidez. Especialmente nos casos em que há o fenômeno de floração das águas, a turbidez causada por algas pode atingir valores muito elevados, impedindo que a luz penetre mais que alguns centímetros na massa de água. Além disso, com a pigmentação verde, azulada, parda ou avermelhada, observam-se fenômenos de coloração aparente das águas em virtude da sua presença em número elevado ou ainda, freqüentemente, causado pela proliferação de algas em reservatórios de distribuição descobertos, isto é, sujeitos à penetração de luz.

3.4.2.2 Interferência na floculação e decantação

As algas podem causar interferências indiretas na cor e turbidez das águas de abastecimento através de distúrbios que provocam modificações no pH de coagulação e na decantação em nas estações de tratamento. Além disso, as algas depositam-se nos decantadores, em grande número, produzindo aumento do lodo sedimentado.

Segundo BRANCO (1986), por meio do processo de fotossíntese, as algas retiram gás carbônico do meio, causando a precipitação de carbonatos. Isto traz como consequência a elevação do pH da água, que pode atingir valores altos (até 10), em águas nas quais ocorre o fenômeno da floração. Por outro lado, durante a noite, na ausência de luz, cessando a atividade fotossintetizante, passa a predominar a reação contrária, da respiração, com consequente enriquecimento do meio em gás carbônico, dissolução dos carbonatos e correspondente abaixamento do pH. Essas oscilações constituem causa de várias dificuldades de operação nas estações de tratamento e desperdícios de produtos químicos.

3.4.2.3 Obstrução de filtros

O aumento da quantidade de microrganismos constitui causa de problemas operacionais em Estações de Tratamento de Água (ETA) alimentadas por mananciais nos quais ocorreram florescimentos algais na época de chuvas intensas. Isto foi observado por DI BERNARDO (1995) quando relatou a influência dessas alterações de qualidade da água do

Lago Descoberto em Brasília, DF, na performance dos filtros rápidos da ETA que aduz água deste sistema. Foi constatado que o aumento na quantidade de algas provocou a redução do intervalo entre duas lavagens sucessivas dos filtros descendentes da ETA.

Segundo BRANCO (1986), a água que chega aos filtros lentos contém, freqüentemente, um grande número de algas as quais serão, em grande parte, retidos no meio filtrante. Além disso, o meio filtrante exposto à luz permite a proliferação de um grande número de espécies dando origem, juntamente com impurezas da própria água, a uma camada biológica que recebe denominação alemã de “*schmutzdecke*” ou película de sujeira. Em filtros rápidos, esta camada perde importância, devido ao pequeno tempo de contato entre a água e o meio filtrante, bem como a frequência com a qual são lavados, causando remoção constante da película formada sobre os grãos de areia. Neste caso, a filtração é eficiente graças à presença de flocos não removidos nos decantadores, pois tanto acumulam-se na superfície do meio filtrante quanto ocupam os interstícios entre os grãos de areia.

Os principais gêneros responsáveis por essas obstruções pertencem ao grupo das diatomáceas (*Tabellaria*, *Aulacoseira*, *Asterionella*, *Fragilaria*, *Nitzschia* e *Synedra*), em virtude de suas células apresentarem-se revestidas por um envoltório silicoso que não se destrói após a morte das mesmas. Algumas espécies que comumente obstruem filtros são: *Chlorella pyrenoidosa*, *Cladophora aegagropila*, *Closterium moniliferum*, *Palmella mucosa*, *Spirogyra porticalis*, *Tribonema bombycinum*, *Ulothrix variabilis*, *Zygnema insigne*, *Anabaena flos-aquae*, *Oscillatoria sp.*, *Diatoma vulgare*, *Aulacoseira sp.*, *Dinobryon sertularia*.

3.4.3 Florescimentos algais

Segundo BRANCO (1986), não somente as algas do tipo plantônico, que vivem em suspensão nas águas, causam floração. Também, algumas formas bentônicas, que proliferam no fundo da água, podem compor a massa de algas na superfície sob certas condições. A floração provocada por alguns gêneros de cianofíceas é mais freqüente, uma vez que, quando envelhecidas, formam pseudovacúolos gasosos no interior de suas células que diminuem sua densidade e podem dar origem a verdadeiras massas ou “ilhas flutuantes”, cobrindo grandes extensões. Essas massas podem acumular nas enseadas dos lagos junto às margens e se decompor, causando forte mau cheiro. A demanda respiratória e a decomposição de algas e cianofíceas provocam o consumo do oxigênio dissolvido na água que, por afixia, causa mortandade de um grande número de peixes.

Além disso, o florescimento de algal em locais próximos à captação de água para abastecimento público, geralmente causa distúrbios relacionados com o aumento do pH,

produção de sabor e odor, e liberação de toxinas. Depois de observadas estas alterações, o tratamento desta água é bastante dificultado, pois a destruição em massa desses organismos poderá agravar ainda mais os problemas no local da captação, principalmente no que diz respeito à solubilização de substâncias odoríferas e tóxicas.

3.4.4 Gêneros de microrganismos presentes em águas tratadas

Segundo BRANCO (1986), um filtro em boas condições de operação não chega a remover, em geral, mais que 90% das algas presentes na água. Assim sendo, um certo número de microrganismos pode passar pelo tratamento, tendendo a acumular-se no fundo de reservatórios de distribuição, no interior das canalizações ou em reservatórios domiciliares. A decomposição destes pode resultar, às vezes, a produção de mau cheiro nas águas, porém, em geral, a quantidade dessas algas presentes na rede não chega a ser suficiente para produzir maiores inconvenientes, principalmente quando os reservatórios são periodicamente lavados para remoção do lodo sedimentado.

Segundo DI BERNARDO (1995), dentre as algas que podem estar presentes nas águas tratadas, destacam-se os seguintes gêneros: *Chlorella*, *Closterium*, *Cosmarium*, *Gomphosphaeria aponina*, *Scenedesmus*, *Synedra*, *Euglena*, *Epithemia*, *Chlorococcum*, *Elakotothrix gelatinosa*, *Dinobryon*, *Cyclotella*, *Coelastrum*, *Asterionella*.

3.4.5 Corrosão

Vários gêneros de algas podem provocar a corrosão de peças de concreto armado. Isto foi verificado em tubos de aço expostos à luz causados por cianofíceas do gênero *Oscillatoria*. A corrosão pode ser feita tanto pela ação direta dos microrganismos, quanto pela alteração química no meio em que estão presentes, com a produção de ácido carbônico, silícico e oxálico, além do oxigênio fotossintetizado. O enfraquecimento de pilares de concreto foi observado em virtude do crescimento de crostas de algas na sua parte imersa e que, depois da sua remoção, o processo de corrosão foi interrompido.

3.4.6 Indústrias de papel

A mucilagem secretada, especialmente por cianofíceas, juntamente com as próprias células presentes na superfície da água que é servida às indústrias de papel, podem causar diversos danos ao processo de produção, tais como o surgimento de manchas, mau cheiro e outros defeitos que prejudicam o aspecto do papel.

3.4.7 Toxicidade

3.4.7.1 Origem, natureza e propriedades das toxinas

Segundo BRANCO (1986), estudos desenvolvidos, sobretudo no Canadá, revelaram a existência de diferentes origens e tipos de toxinas (FDF, SDF e VFDF). Essas toxinas são produzidas diretamente por algumas espécies e *cepas* incluídas nos gêneros de cianobactérias (endotoxinas) e pela decomposição das mesmas. Em estudos mais recentes apresentados pela *AWWA Research Foundation* (1995), as duas principais classes de cianotoxinas são as neurotoxinas (Anatoxina-a, Anatoxina-a_(s) e saxitoxina) e hepatotoxinas (microcistinas e nodularinas).

Segundo BRANCO (1986), a toxina extraída de um macerado de algas, o que significa que a toxina pode passar da célula para o meio, resiste muito ao calor, grandes variações de pH (até 10) e aos processos comuns de tratamento por coagulação com sulfato de alumínio, filtração, cloração e mesmo adsorção por carvão ativado. Por outro lado, para valores de pH ainda maiores, essa substância apresenta grande afinidade pelas superfícies adsorventes, sendo retida e dificilmente liberada pelo carvão.

3.4.7.2 Efeitos tóxicos produzidos pelas cianofíceas

Segundo a AWWARF (1995), as neurotoxinas são potentes bloqueadores neuromusculares (anatoxina-a) e inibem a ação da enzima colinesterase, que catalisa a hidrólise da acetilcolina (anatoxina-a_(s)). O envenenamento causado por anatoxina-a indicou a progressão do seguinte quadro clínico: espasmo muscular, redução dos movimentos e respiração abdominal, cianose, convulsão e morte. O envenenamento causado por anatoxina-a_(s) provocou em porcos e patos, além do que foi citado, hipersalivação, coriza, tremores, contração muscular, ataxia, diarreia e paralisia anteriormente à morte. A saxotoxinas estão relacionadas à proliferação de cianobactérias do gênero *Anabaena*, pois inibem a transmissão de impulsos nervosos e levam à morte por parada respiratória. As neurotoxinas são produzidas pelos seguintes gêneros: *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Tricodesmium*, *Lyngbya*, *Cylindrospermopsis*.

Ainda segundo a AWWARF (1995), o envenenamento de animais causado pela ingestão de água contendo hepatotoxinas produziram fraqueza, relutância em movimentar-se, anorexia e perturbação mental. Em um outro grupo de animais que ingeriram a mesma água, foi constatado coma, tremores musculares e perturbações em geral anteriormente à morte (de poucas horas à alguns dias). As hepatotoxinas são produzidas pelos seguintes gêneros:

Anabaena, *Microcystis*, *Nodularia*, *Oscillatoria*, *Nostoc*, *Cylindrospermopsis*. Outros gêneros de cianobactérias potencialmente tóxicos freqüentemente encontrados em ecossistemas aquáticos continentais são: *Coelosphaerium*, *Gomphosphaeria*, *Synechococcus*, *Synechocystis*, *Pseudanabaena*, *Schizothrix*, *Phormidium*, *Hormothamion*, *Gloeotrichia*.

A Portaria 1469, de 29 de dezembro de 2000, limita a presença de microcistinas em 1 µg/L na água potável e recomenda que a análise de cianotoxinas inclua a determinação de cilindrospermopsinas e saxitoxinas (STX), observando, respectivamente, os valores limites de 15 e 3 µg/L de equivalentes de STX/L.

3.4.8 Alguns microrganismos de interesse sanitário

A qualidade das águas de abastecimento superficiais têm sido motivo de grande preocupação de autoridades e pesquisadores no que diz respeito à toxicidade e doenças decorrentes da presença de cianofíceas e protozoários do gênero *Cryptosporidium* e *Giardia*. Alguns gêneros cianofíceas também são indicadores de poluição e, também, podem conferir cor, sabor e odor à água; produzir limo. Os gêneros comumente encontrados nas águas superficiais são: *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Tricodesmium*, *Cylindrospermopsis*, *Lyngbya*, *Nostoc* e *Coelosphaerium*.

As algas do gênero *Chlorella* são pequenas, verdes e esféricas. Podem ser encontradas isoladas ou formando colônias frouxas, associadas ou não a outros organismos vegetais ou animais. Foi evidenciada sua presença em lesões micóticas internas humanas. Vivem bem em ambiente poluído por matéria orgânica ou muito rico em sais minerais, sendo muito freqüentes em lagoas de estabilização onde servem como indicadoras de certas fases do tratamento. Podem indicar poluição marinha por serem resistentes à alta salinidade e quando presentes em grande número na água, causam odor de mofo. Algumas espécies obstruem filtros e são sensíveis ao cloro, sulfato de cobre, DAC e à rosinamina acetato e resistentes aos demais algicidas (BRANCO, 1986).

A diatomácea do gênero *Aulacoseira* possui filamentos retos ou curvos (helicoidais), constituídos de células cilíndricas. Muitas dessas algas são de superfície e podem causar, freqüentemente, obstrução de filtros. Produzem odor semelhante ao de gerânio ou, quando em grande número, sabor de terra na água. A espécie *A. varians* vive em águas poluídas por matéria orgânica. São muito sensíveis ao sulfato de cobre e muito resistentes ao cloro (BRANCO, 1986).

Nas Figuras 1 e 2 são ilustrados alguns gêneros de microrganismos presentes em águas superficiais.

FIGURA 1 – Microrganismos Presentes em Ambientes Aquáticos.

FONTE: PROTIST INFORMATION SERVER (2002)

FIGURA 2 – Oocistos de *Cryptosporidium parvum* – Protozoário.

FONTE: UFRGS (2002)

3.5 Coagulação

A água pode conter uma variedade de impurezas, destacando-se partículas coloidais, substância húmicas e microrganismos em geral. Tais impurezas apresentam carga superficial negativa, impedindo que as mesmas aproximem-se uma das outras, permanecendo no meio se suas características não forem alteradas. Para que as impurezas possam ser removidas, é preciso alterar algumas características da água e, conseqüentemente, das impurezas, por meio da coagulação, floculação, sedimentação (ou flotação) e filtração.

Segundo DI BERNARDO (1993), a coagulação, geralmente realizada com sais de alumínio e ferro, resulta de dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva e depende da concentração do metal e pH final da mistura; o segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água.

A coagulação depende essencialmente das características da água e das impurezas presentes conhecidas por meio de parâmetros como pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, temperatura, mobilidade eletroforética, força iônica, sólidos totais dissolvidos, tamanho e distribuição de tamanhos das partículas em estado coloidal e em suspensão. A coagulação é resultado de quatro mecanismos distintos: compressão da camada difusa; adsorção e neutralização de cargas; adsorção/formação de pontes e varredura.. Este último é muito utilizado em ETAs nas quais 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 de cargas. O mecanismo de coagulação na varredura também é empregado quando a clarificação é feita pela flotação (DI BERNARDO, 1993).

Segundo ZABEL (1982), as condições ótimas de coagulação (tipo de coagulante, dosagem e pH) podem ser obtidas utilizando um equipamento de flotação constituído de reatores estáticos. Também, para o bom desempenho da flotação, é necessária a mistura adequada do coagulante na água a ser tratada, no que diz respeito ao local de aplicação e a intensidade da agitação.

3.5.1 Diagrama de Coagulação

Segundo ARMITHARAJAH (1989), o diagrama de coagulação do sulfato de alumínio é utilizado para indicar, de uma maneira simples, as dosagens de coagulante

químico e a faixa de pH em que a coagulação efetivamente ocorre. ARMITHARAJAH & MILLS (1982) desenvolveram o diagrama de coagulação (Figura 3-a), com base no diagrama de solubilidade do alumínio, no tratamento de águas sintéticas e naturais com turbidez relativamente alta se comparada à cor verdadeira, segundo as condições de coagulação, dosagem de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$) e pH da mistura.

Segundo DI BERNARDO (1993), neste diagrama, além das curvas das espécies hidrolisadas do alumínio, há a delimitação das regiões nas quais predominam os diferentes mecanismos de coagulação, e também é mostrada a variação do potencial zeta da dispersão coloidal estabilizada, e a variação do potencial zeta resultante da interação entre os colóides da dispersão com as espécies hidrolisadas.

Na região 1 ocorre a neutralização de cargas das partículas coloidais pelas espécies hidrolisadas de alumínio, que são adsorvidas na superfície dos colóides. O potencial zeta se aproxima de zero, em pH da ordem de 4,8 e dosagem de sulfato de alumínio de 10 a 70 mg/L, caracterizando o ponto isoeletrico dos colóides recobertos com as espécies hidrolisadas. A região 2 é chamada de zona de reestabilização, na qual o potencial zeta é positivo. A região 3 é chamada de “corona”, na qual o mecanismo de coagulação predominante se dá pela neutralização das partículas coloidais pelo hidróxido de alumínio positivo. O ponto isoeletrico é atingido novamente (potencial zeta igual a zero) em um valor de pH em torno de 6,8 e dosagem de coagulante de 10 mg/L. A região 4 é caracterizada pela formação excessiva dos precipitados de hidróxido de alumínio, de modo que as partículas coloidais são aprisionadas nos mesmos. A região é relativamente ampla, englobando a faixa de valores de pH entre 6 e 8 e dosagens de coagulante superiores a 30 mg/L (DI BERNARDO, 1993).

Os gráficos da Figura 3-b, obtidos pelos autores em investigação experimental, mostram alguns resultados referentes à influência do gradiente de mistura rápida na remoção de turbidez para diferentes valores de pH e tempos de floculação nos mecanismos de coagulação definidos na Figura 3-a. Pode-se observar a influência significativa do gradiente de velocidade de mistura rápida, principalmente na faixa de pH compreendido entre 6,4 e 6,5 (Figura 3-b1, mecanismo de adsorção-neutralização) na remoção de turbidez, enquanto que, no mecanismo combinado (Figura 3-b2), não foi constatada tal influência. Também, sob condições ótimas de coagulação na varredura (Figura 3-b3), não foi verificada diferença nos resultados para os valores GxT estudados.

Segundo DI BERNARDO (1993), anteriormente ao uso do diagrama da Figura 3-a, era muito difícil avaliar as condições apropriadas para a coagulação (pares de valores de dosagem de coagulante e pH de coagulação), principalmente em sistemas de filtração direta.

Também, o autor relata que o diagrama da Figura 3-a corresponde a uma situação particular que ilustra a aplicabilidade do diagrama de solubilidade do alumínio com base nas características da água utilizada por ARMITHARAJAH & MILLS (1982), sendo necessária, assim, a construção de diagramas específicos para cada tipo de água a ser estudada, por meio de ensaios de coagulação, floculação e sedimentação (ou flotação) em equipamento de reatores estáticos.

FIGURA 3 – (a) Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio e sua Relação com o Potencial Zeta; (b) Turbidez da Água Decantada em Função do pH, Tempo de Floculação e do Gradiente de Velocidade de Mistura Rápida.
FONTE: ARMITHARAJAH & MILLS (1982)

3.5.2 Influência da Mistura Rápida na Floculação

Segundo LETTERMAN et al. (1973), a variação de fatores como gradiente de velocidade, tempo de mistura rápida e concentração da solução de sulfato de alumínio, podem melhorar a remoção de turbidez por sedimentação. Para isso, o autor realizou cerca de 300 ensaios para determinar os efeitos dessas variações. Nas Figuras 4 a 7 são mostrados os resultados dos estudos realizados pelos autores.

A análise das Figuras 4 e 5 permite constatar o aumento da turbidez remanescente com o aumento do tempo de mistura rápida (até 20 s). Na Figura 6, pode-se observar a tendência de diminuição do produto $G \times T$ (gradiente $\times$ tempo de mistura rápida) para diferentes dosagens de sulfato de alumínio. Na Figura 7 são mostradas curvas em que se observa a redução da turbidez remanescente com o aumento do tempo de floculação para três tempos de mistura rápida.

Figura 4 – Efeito do Tempo de Mistura Rápida na Turbidez Remanescente: Ensaio 1.
FONTE: LETTERMAN (1973)

Figura 5 – Efeito do Tempo de Mistura Rápida na Turbidez Remanescente: Ensaio 2.
FONTE: LETTERMAN (1973)

Figura 6 – Efeito da Variação do Gradiente de Velocidade e do Tempo de Mistura Rápida Ótimo em Função da Dosagem de Sulfato de Alumínio.
FONTE: LETTERMAN (1973)

Figura 7 – Efeito do Tempo de Floculação na Turbidez Remanescente para Três Tempos de Mistura Rápida.
FONTE: LETTERMAN (1973)

BRITO (1998) efetuou um estudo de sedimentação e verificou a influência dos parâmetros da mistura rápida, com seis tempos de mistura (5, 10, 15, 20, 25 e 30 s) e sete gradientes de velocidade (200, 400, 600, 800, 100, 1200 e 1400 s^{-1}), para remoção de turbidez de água de laboratório preparada com caulinita (turbidez de 25 ± 1 uT). Foi verificada a variação dos valores da turbidez remanescente com a variação dos parâmetros de mistura rápida (Figura 8), em que T_{mr} é tempo de mistura rápida, G_{mr} é o gradiente de

velocidade médio e T_{rem} é a turbidez remanescente. Foi obtido, com $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$ e $T_{mr} = 5 \text{ s}$, $T_{rem} = 5,64 \text{ uT}$ como resultado de maior remoção de turbidez para a velocidade de sedimentação de 5 cm/min . Pode-se observar, também, a tendência de redução dos valores de turbidez remanescente quando eram reduzidos o gradiente e tempo de mistura rápida (exceto para $G_{mr} = 200 \text{ s}^{-1}$, pois, provavelmente, o gradiente de velocidade era baixo demais para produzir bons resultados para o tipo de água estudada).

Figura 8 – Otimização da Mistura Rápida (Dosagem de Sulfato de Alumínio = 20 mg/L ; pH de coagulação = $6,32$; Tempo de flocculação = 20 min ; Gradiente médio de velocidade da flocculação = 25 s^{-1} ; Velocidade de sedimentação = 5 cm/min).

FONTE: BRITO (1998)

3.6 Flocculação

Segundo PÁDUA et al. (1998), a flocculação corresponde à etapa em que são fornecidas condições apropriadas para facilitar o contato e agregação de partículas previamente desestabilizadas por coagulação química, visando a formação de flocos com tamanho e densidade adequada para serem removidos por sedimentação, flotação ou filtração direta.

A eficiência da unidade de flocculação depende do desempenho da unidade de mistura rápida, a qual é influenciada por fatores tais como: i) tipo de coagulante; ii) pH de coagulação; iii) temperatura da água; iv) concentração e idade da solução de coagulante; v) tempo e gradiente médio de velocidade de mistura rápida; vi) tipo e geometria do equipamento de agitação; vii) qualidade da água bruta. O desempenho das unidades de

mistura rápida e de floculação influem na qualidade da água decantada produzida na estação de tratamento de água (ETA) e, conseqüentemente, na duração da carreira de filtração. O estabelecimento do tempo e gradiente médio de velocidade de projeto e operação da unidade de floculação dependem, fundamentalmente, da qualidade da água bruta e da tecnologia de tratamento utilizada na ETA.

MENDES (1989) estudou, em investigação experimental feita em reatores estáticos, a coagulação e floculação de dez tipos de águas sintéticas e naturais combinando valores relativamente altos e baixos de turbidez e cor verdadeira, tendo constatado que, para cada tempo de floculação, existia um único gradiente de velocidade com o qual foi obtida maior remoção de cor e/ou turbidez da água bruta e que o gradiente de velocidade ótimo de floculação (Gf) diminuía à medida em que o tempo de floculação aumentava (Figura 9). Pode-se, assim, determinar o gradiente de velocidade ótimo quando o mesmo é mantido constante durante o tempo de floculação.

Figura 9 – Variação da Porcentagem Remanescente da Cor Aparente Mínima em Função do Tempo de Floculação para Água Contendo Turbidez de 5 uT e Cor Verdadeira de 100 uC.
FONTE: MENDES (1989)

Também, segundo ZABEL (1982), uma floculação eficiente é essencial para que resulte efetiva a remoção de algas por flotação, uma vez que, em uma estação de tratamento no Reino Unido, quando a esta era operada sem a adição de coagulante, somente de 10 a 20 % das algas eram removidas.

DOMBROSKI (1996) verificou a influência da floculação sobre a flotação por ar dissolvido utilizando instalação constituída de reatores estáticos e água preparada em

laboratório com as seguintes características: cor aparente = 84 a 94 uC; cor verdadeira = 43 a 61 uC; turbidez = 6,1 a 7,9 uT; alcalinidade = 24 a 33 mg/L CaCO_3 ; temperatura = $25,0 \pm 1,4$ °C; pressão na câmara de saturação = 441 kPa; taxa de recirculação = 8 %; dosagem de sulfato de alumínio = 40 mg/L; pH de coagulação = $6,36 \pm 0,13$. Na Figura 10 são mostrados os resultados obtidos a partir de ensaios visando a remoção de cor aparente e turbidez para diferentes tempos e gradientes de velocidade médio de floculação.

Figura 10 – Porcentagens remanescentes de cor aparente ($C/C_0 \times 100$ %) e turbidez ($T/T_0 \times 100$ %) em função do tempo e gradiente de velocidade médio de floculação as velocidades de flotação de $Vf_1 = 21$ e $Vf_2 = 10,4$ cm/min.
FONTE: DOMBROSKI (1996)

Podem ser observadas na Figura 10 as curvas de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez para as velocidades de flotação (Vf) de 21 e 10,4 cm/min e tempo de floculação de 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24 e 30 minutos. As menores porcentagens remanescentes de turbidez e cor aparente (< 10 %) foram obtidas, respectivamente, com 20 e 24 min de floculação e gradiente de velocidade médio de 60 s^{-1} .

3.7 Flotação

Segundo HAHN (1982), a flotação consiste na separação de fases sólido-líquido, obtido pelo movimento ascendente de partículas, flocos ou outros agregados presentes em um líquido, onde as forças de empuxo predominam sobre as gravitacionais, seja por diferença de densidades ou por introdução de microbolhas de ar que se aderem às partículas, diminuindo ainda mais o empuxo sobre as mesmas, arrastando-as no sentido ascensional, em direção à superfície.

Para que ocorra uma separação adequada, a flotação deve ser analisada, principalmente, em 3 etapas (Figura 11):

- geração e introdução de bolhas de gás no sistema;
- contato entre as partículas ou agregados e as bolhas de gás (ângulo de contato ϕ);
- ascensão do complexo bolha-sólido.

FIGURA 11 – Fluxograma Referente às Etapas mais Significantes para o Sucesso da Separação Sólido-Líquido na Flotação indicando os Parâmetros de Projeto e Operação mais Importantes
FONTE: ZABEL (1982)

Outras etapas também podem apresentar igual importância, tais como a dissolução sob pressão de ar/gás na água, adição de produtos químicos para estabilizar as bolhas de gás, agregação dos sólidos anteriormente à flotação, modificação da agregação entre as bolhas de gás e partículas de sólidos pela ação de produtos químicos e os vários movimentos do complexo bolha de gás-partículas de sólido do sistema (devido à geometria do sistema, existência de anteparos e tipo de mistura). Entretanto, as três principais etapas descritas são limitantes no controle das taxas de flotação e podem ser modificadas ou controladas física ou quimicamente por meio de processo ou de operação das unidades de flotação.

3.7.1 Geração da Bolha

Segundo HAHN (1982), a formação da bolha em sistemas de flotação é conseguida por meio da saturação com ar do afluente ou da parcela de efluente clarificado (a ser recirculado, posteriormente) em câmaras de pressurização e posterior redução da pressão desta (normalmente à 4 ou 5 atm) à pressão atmosférica na unidade de flotação. Como prediz a Lei de Henry-Dalton, o gás (ar) dissolvido em pressões superiores à atmosférica, será liberado de modo a alcançar a nova condição de equilíbrio, controlada por meio da pressão parcial do gás na unidade de flotação.

Segundo RICHTER (2001), quando o ar é introduzido na câmara de saturação contendo água a uma pressão absoluta P (atm, kPa, kg/cm² ou mca), o ar se dissolve na água até uma concentração de saturação C_{sat} (mg/L):

$$C_{sat} = \eta \cdot K_h \cdot P \quad (1)$$

em que:

η : eficiência da câmara de saturação;
 K_h : constante da Lei de Henry, em função da temperatura do ar (mg/L.atm, mg/L.kPa, mg.kg/L.cm² ou mg/L.mca);

Com base na Lei de Henry, pode-se afirmar que: i) a massa de gás dissolvido é diretamente proporcional à pressão; ii) o gás em liberdade, e à mesma pressão, ocupa o mesmo volume do que está dissolvido; iii) diminuindo a pressão, o gás dissolvido desprende-se da fase líquida.

Segundo HAHN (1982), os fatores mais importantes na geração de bolhas de gás são: i) pressão na câmara de saturação; ii) relação entre a vazão de ar e a vazão de líquido; iii) tensão superficial da água; iv) tipo de bocal difusor.

Segundo DI BERNARDO¹ (2001), o tamanho das bolhas é muito importante na flotação, pois bolhas pequenas, além de apresentarem maior superfície específica para uma mesma quantidade de ar, necessitam deslocar menor quantidade de água da superfície das partículas onde vão aderir. Existe relação entre o diâmetro médio da bolha e a pressão de saturação, sendo que, em geral, o diâmetro da bolha é maior quanto menor for a pressão, dependendo do tipo de difusor. Segundo HAHN (1982), o tamanho das bolhas é da ordem de 100 μm (ou menores) em sistemas de tratamento de águas residuárias.

Segundo ZABEL (1982), é importante que a introdução da água saturada com ar seja o mais próximo possível do fluxo de água floculada a fim de que sejam minimizados os efeitos de aglutinação das bolhas. Também, uma boa distribuição das bolhas de ar com a água floculada é importante para facilitar o contato bolha-floco. A pressão deve ser reduzida instantaneamente e em condições altamente turbulentas, de modo que a injeção de água saturada com ar seja mais eficiente ao passar pela válvula ou orifício. Entretanto, a velocidade de escoamento da água de recirculação quando a válvula é aberta ou pelo orifício deve ser suficientemente baixa para que o complexo bolha-floco não seja quebrado. O autor realizou testes comparando a performance entre um bocal desenvolvido pelo Water Reserch Centre (WRc), Inglaterra, e a válvula de agulha. A Figura 12 ilustra a variação do tamanho das bolhas de ar para os dispositivos. Para os dois dispositivos, 95% das bolhas de ar estavam compreendidas entre 10 e 120 μm . É muito importante minimizar a formação de bolhas muito grandes uma vez que ocorre a perda de um grande número de microbolhas. Entretanto, em todos os dispositivos empregados até então, ocorre a formação de uma certa quantidade de bolhas grandes indesejáveis. A Figura 13 ilustra a massa de gás dissolvido na água em função da pressão e temperatura.

Segundo RICHTER (2001), a solubilidade do ar depende da temperatura e pressão. Um acréscimo na temperatura causa redução no volume de ar a ser dissolvido e um acréscimo na pressão provoca aumento da dissolução do ar. Admitindo-se que a concentração de ar inicial na água de recirculação é a mesma que a concentração remanescente na água flotada à pressão atmosférica, a massa de ar liberada na câmara de flotação (M) é dada pela equação 2, em que C_{sat} e C_{atm} são as concentrações de ar (massa/volume), respectivamente, na água de recirculação na saída da câmara de saturação e remanescente à pressão atmosférica, r é a relação q/Q (vazão de recirculação/vazão da estação).

$$M = r \cdot Q \cdot (C_{sat} - C_{atm}) \quad (2)$$

¹ DI BERNARDO, L. (2001). *Flotação*. Texto fornecido na disciplina da pós-graduação “Tecnologias Apropriadas em Tratamento de Águas de Abastecimento”. São Carlos, EESC/USP, 2001.

FIGURA 12 – Tamanho das Bolhas Produzidas pela Válvula de Agulha e pelo Bocal WRC
FONTE: ZABEL (1982)

FIGURA 13 – Massa de Gás Dissolvido na Água em Função da Pressão de Saturação e Temperatura
FONTE: ZABEL (1982)

Sendo C_r a massa de ar por unidade de volume liberada após a queda de pressão na região denominada zona de contato, tem-se que:

$$M = C_r \cdot (q + Q) = C_r \cdot Q \cdot (1 + r) \quad (3)$$

Das equações 2 e 3, têm-se:

$$C_r = \frac{r}{1+r} \cdot (C_{sat} - C_{atm}) \quad (4)$$

Substituindo C_{sat} pela equação 1 e como $C_{atm} = K_H \cdot l$:

$$C_r = \frac{r}{1+r} \cdot K_H (\eta \cdot P - 1) \quad (5)$$

Sendo C_a a concentração de ar na água de recirculação, tem-se que:

$$C_a = \frac{r}{1+r} \cdot C_r = K_H (\eta \cdot P - 1) \quad (6)$$

Em estado de equilíbrio, a câmara de saturação é alimentada por ar com a vazão (q_{ar}) de:

$$q_{ar} = (1 + r) \cdot Q \cdot \frac{C_r}{\delta_{sat}} \quad (7)$$

em que:

δ_{sat} : densidade do ar saturado, (mg/L)

A concentração de ar liberado φ_b , em volume, é dado por:

$$\varphi_b = \frac{C_r}{\delta_{sat}} \quad (8)$$

Segundo ZABEL (1982), a quantidade de ar disponível é controlada tanto pela pressão de saturação quanto pelo volume de recirculação de água saturada com ar. Em experimentos em que foram estudadas diferentes pressões de saturação e quantidades de água de recirculação adicionadas, foi constatado que a qualidade da água flotada dependia da quantidade total de ar introduzido no sistema e não devido a valores individuais de pressão ou volume de água de recirculação. Isto pode ser concluído com base em observações efetuadas durante a investigação experimental em que foram obtidos o mesmo tamanho de bolhas (de 10 a 120 μm) para diferentes tamanhos de bocais (3,18, 2,78 e 2,18 mm) e pressões de saturação (até 690 kPa). Também, são necessários de 7 a 8 g de ar por metro cúbico de água flotada para otimizar a flotação (Figura 14). Isto correspondente utilizar pressões de saturação entre 320 e 420 kPa e um volume de água de recirculação entre 7% e 8%.

FIGURA 14 – Efeito da Quantidade de Ar Adicionado na Qualidade da Água Flotada Utilizando Diferentes Tamanhos de Bocais WRC.

FONTE: ZABEL (1985)

HAARHOFF & STEINBACH (1997) fizeram algumas considerações sobre a natureza da suspensão das bolhas de ar. O tamanho das bolhas geradas em sistemas de flotação por ar dissolvido abrange uma faixa de tamanho muito ampla. Isto decorre do fato de as bolhas, especialmente após sua formação, em grande turbulência, colidirem e crescerem em um processo chamado coalescência ou aglutinação. As suspensões são freqüentemente apresentadas em termos da distribuição do tamanho das bolhas e usualmente caracterizadas pelo diâmetro médio da bolha (d_{50}). Em qualquer suspensão de bolhas, entretanto, existem bolhas que são significativamente maiores que o diâmetro da bolha d_{50} . Estas macrobolhas movem-se rapidamente à superfície, interferindo no movimento ascensional relativamente mais lento de aglomerados de flocos e microbolhas, e podem romper a camada de lodo que está na superfície de uma câmara de flotação. Porém, a desvantagem mais significativa é a quantidade de ar presente na macrobolha, pois, se há uma de 200 μm em meio de 100 microbolhas de 50 μm de diâmetro, cerca de 40 % do volume total de ar estará confinado nesta única macrobolha.

Um limite arbitrário de 150 μm foi estabelecido na literatura para distinguir a micro da macrobolha. Com base neste tamanho, dois parâmetros alternativos foram definidos para quantificar a excessiva coalescência das bolhas: i) fração de macrobolhas, dado pelo quociente entre a concentração de macrobolhas presentes e a concentração de microbolhas, expressa em porcentagem; ii) concentração de microbolhas em volume, calculado pelo quociente entre o volume de microbolhas e o volume total de ar desprendido da fase líquida, expressa em porcentagem.

Entretanto, especialmente na medição do volume das microbolhas, tem sido difícil obter expressões estatisticamente significantes, uma vez que há relativamente poucas macrobolhas frente à quantidade de microbolhas.

3.7.2 Agregação Ar-Sólido

Segundo HAHN (1982), a formação de agregado estável entre uma ou mais bolhas de gás e uma partícula ou floco requer a colisão entre ambos e a subsequente aderência permanente entre as fases gasosa e sólida.

Segundo DI BERNARDO (1993), os mecanismos de contato entre bolhas de ar e partículas podem resultar das seguintes ações: a) colisão da bolha com a partícula devida à turbulência ou à atração entre ambas, e aderência; b) aprisionamento das bolhas nos flocos ou contato entre flocos sedimentados e bolhas de ar em ascensão e c) crescimento das bolhas de ar entre os flocos. Quando se têm partículas hidrofílicas, os mecanismos *b* e *c* parecem ser

os responsáveis pela eficiência da flotação, enquanto que o mecanismo *a*, parece predominar na obtenção de uma ligação mais estável da bolha de ar com as partículas, com um certo grau de hidrofobicidade.

Segundo HAHN (1982), a aderência ou contato permanente entre partículas/flocos e as bolhas de gás depende das forças resultantes na interface gás-água-sólido, as quais resultam das forças físicas de atração e físico-químicas de repulsão presentes. Essa etapa é predominantemente controlada por fenômenos químicos. O ângulo de contato (ϕ) expressa convenientemente as propriedades desse sistema trifásico e consiste no parâmetro mais significativo na determinação do tamanho da bolha mais apropriado, o qual resulta na formação de agregado estável. Na Figura 16 pode-se observar que, quanto menor o ângulo de contato, menor deve ser o diâmetro das bolhas para que o complexo bolha-sólido estável seja obtido. A Figura 15 mostra, esquematicamente, o ângulo de contato entre a bolha e partícula e as tensões que agem sobre as interfaces gás-sólido-líquido. Como pode ser observada nas equações 9 e 10, a energia de adesão ($E_{s,g}$) cresce com o aumento da tensão superficial nas superfícies sólido-líquido ($\sigma_{s,l}$) e líquido-gás ($\sigma_{l,g}$) e com o decréscimo da tensão superficial na interface sólido-gás ($\sigma_{s,g}$).

$$E_{s,g} = \sigma_{s,l} + \sigma_{l,g} - \sigma_{s,g} \quad (9)$$

$$\sigma_{s,g} = \sigma_{s,l} + \sigma_{l,g} \cdot \cos \phi \quad (10)$$

As características das três fases contribuem para a aderência química. É possível modificar a tensão superficial da interface gás-líquido e afeta o tamanho e estabilidade da bolha, adicionando-se agentes espumantes (“foaming agents”). É possível, também, alterar a tensão superficial da interface de bolhas e sólidos por meio da adição de coletores ou “collectors” que aumentam a afinidade ar-sólido (reduzem o grau de hidrofobicidade). Entretanto, a adição de depressores ou “depressors” diminuem a afinidade ar-sólido (aumentam o grau de hidrofobicidade). A Figura 17 ilustra estas possibilidades.

$\sigma_{s,l}$: tensão entre as fases sólida e líquida
 $\sigma_{l,g}$: tensão entre as fases líquida e gasosa
 $\sigma_{s,g}$: tensão entre as fases sólida e gasosa

FIGURA 15 – Ângulo de Contato e Tensões que Agem na Interface Gás-Líquido-Sólido.
 FONTE: HAHN (1982)

FIGURA 16 – Volume Máximo Permissível das Bolhas de Ar em Função do Ângulo de Contato, 20 °C.
FONTE: HAHN (1982)

Figura 17 – Esquema Ilustrativo do Papel de Agentes Químicos no Controle do Processo de Flotação
FONTE: HAHN (1982)

3.7.3 Velocidade Ascensional da Bolha

Segundo HAHN (1982), com a formação de um complexo estável, a força resultante provocará seu movimento ascensional. A velocidade constante deste movimento é estabelecida quando as forças de empuxo e de arrasto se igualam. É de se esperar que, quanto maior a quantidade de bolhas aderidas, maior será a velocidade ascensional. Esta condição pode ser expressa pela relação ar/sólidos.

A determinação da relação A/S pode ser feita experimentalmente em unidades de alimentação contínuas ou em ensaios tipo batelada nos flotadores de laboratório. A relação A/S (quantidade de ar/quantidade de sólidos) é expressa, em mg/mg, pelas equações 11 e 12:

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 \cdot a_s \cdot (f \cdot P_{abs} - 1)}{S_s}, \text{ sem recirculação} \quad (11)$$

ou

$$\frac{A}{S} = \frac{1,3 \cdot a_s \cdot (f \cdot P_{abs} - 1) \cdot R}{S_s \cdot Q}, \text{ com recirculação} \quad (12)$$

em que:

- A/S: relação ar-sólidos (quantidade de ar/quantidade de sólidos, em mg/mg)
- a_s : solubilidade do ar (mL/L)
- f : fração de gás dissolvido a uma dada pressão
- P_{abs} : pressão absoluta (atm)
- S_s : concentração de sólidos em suspensão (mg/L)
- Q : vazão (L/s)
- R : taxa de recirculação, (%)

Segundo DI BERNARDO² (2001), para águas que contenham alto teor de sólidos (como resíduos líquidos gerados em estações de tratamento de água), esta relação pode influir na eficiência da remoção de sólidos. No entanto, em situações de flotação de águas superficiais contendo sólidos totais inferior a 2000 mg/L, este parâmetro deixa de ter importância e utiliza-se a vazão de recirculação, usualmente da ordem de 5 a 15% da vazão de água a ser flotada.

Ainda segundo o autor, a relação entre o tempo de contato entre as bolhas e partículas em uma câmara de flotação depende da velocidade ascensional terminal das bolhas que, por sua vez, é proporcional ao quadrado do diâmetro das mesmas (Eq 13).

$$\frac{t_{as1}}{t_{as2}} = \frac{V_{as1}}{V_{as2}} = \left(\frac{d_{b2}}{d_{b1}} \right)^2 \quad (13)$$

em que:

t_{as1}, t_{as2} : tempo de ascensão das bolhas 1 e 2, respectivamente (T)

V_{as1}, V_{as2} : velocidade ascensional das bolhas 1 e 2, respectivamente (LT^{-1})

d_{b1}, d_{b2} : diâmetro das bolhas 1 e 2, respectivamente (L)

Segundo DI BERNARDO (1998), o máximo diâmetro de bolha para um escoamento laminar é 130 μm . Para tamanhos de bolhas inferiores a 130 μm , a Lei de Stokes, como aplicada na sedimentação, pode ser aplicada para encontrar a taxa de elevação (Eq. 14).

$$U_t = \frac{g \cdot (\rho - \rho_g) \cdot d_b^2}{18\mu} \quad (14)$$

em que:

U_t : velocidade ascensional da bolha (LT^{-1})

g : aceleração da gravidade (LT^{-2})

ρ : massa específica da água (ML^{-3})

ρ_g : massa específica da bolha de gás (ML^{-3})

d_b : diâmetro da bolha (L)

μ : viscosidade absoluta da água ($MT^{-2}L^{-1}$)

Segundo RICHTER (2001), sendo d_b o diâmetro da bolha, o número de bolhas liberado por unidade de volume (N_b), pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$N_b = \frac{6 \cdot \varphi_b}{\pi \cdot d_b^3} \quad (15)$$

² DI BERNARDO, L. (2001). *Flotação*. Texto fornecido na disciplina da pós-graduação "Tecnologias Apropriadas em Tratamento de Águas de Abastecimento". São Carlos, EESC/USP, 2001.

3.7.4 Taxa de recirculação

Segundo RICHTER (2001), a relação entre a vazão da água clarificada q encaminhada à câmara de saturação, pressurizada e recirculada ao sistema, e a vazão Q de uma estação de tratamento ou da unidade de flotação é denominada taxa ou razão de recirculação (r). Para sistemas de fluxo descontínuo, considera-se o volume útil da câmara de flotação.

$$r = \frac{q}{Q} \quad (16)$$

DOMBROSKI (1996) verificou a influência da quantidade de ar fornecida na remoção de cor aparente e turbidez utilizando instalação constituída de reatores estáticos e água preparada em laboratório com as seguintes características: DSA = 40 mg/L, pH de coagulação = $6,33 \pm 0,07$, pressão de saturação = 441 kPa; cor aparente inicial = 99 uC, turbidez inicial: 6,5 uT, temperatura: $24,8 \pm 0,4$ °C. Na Figura 18 são mostrados os resultados obtidos a partir de ensaios visando a remoção de cor aparente e turbidez para diferentes taxas de recirculação.

Figura 18 - Remoção de cor aparente e turbidez em função da velocidade de flotação para diferentes taxas de recirculação.

FONTE: DOMBROSKI (1996)

Podem ser observadas na Figura 18 as curvas de eficiência de remoção de cor aparente e turbidez em função da velocidade de flotação para taxas de recirculação de 2, 4, 6, 8, 10 e 12 %. Foram obtidas eficiências de remoção acima de 91 % (para $V_f \leq 13,3$ cm/min) para as taxas de recirculação de 8% e 10%.

3.7.5 Tipos de flotação

Segundo ZABEL (1982), os principais tipos de flotação são: flotação por ar disperso, flotação eletrolítica e flotação por ar dissolvido.

3.7.5.1 Flotação por Ar Disperso

A flotação por ar disperso não é adequada para o uso em tratamento de águas de abastecimento devido à reduzida eficiência de remoção de impurezas, pois há geração de bolhas com tamanhos relativamente grandes, maiores que 1 mm, comparado com o tamanho entre 20 a 100 μ m utilizadas na flotação por ar dissolvido e eletrolítica.

3.7.5.2 Flotação Eletrolítica

A flotação eletrolítica consiste na geração de bolhas de oxigênio e hidrogênio no interior de uma unidade de flotação por meio da eletrólise da água devido à aplicação de corrente elétrica entre dois eletrodos situados no fundo da mesma (Figura 19).

Figura 19 – Esquema da Unidade de Flotação Eletrolítica com Escoamento Contínuo.
FONTE: ZABEL (1982)

3.7.5.3 Flotação por Ar Dissolvido (FAD)

As bolhas de gás são geradas pela redução da pressão de um fluxo de água saturada com ar. Uma parcela de ar dissolvido é liberado em forma de pequenas bolhas, usualmente menores que 100 μm de diâmetro, da fase líquida para a gasosa. Ainda segundo ZABEL (1982), os principais tipos de FAD conhecidos são: à vácuo, por pressurização e micro-flotação.

a) FAD à vácuo

O líquido a ser tratado é saturado com ar à pressão atmosférica. As bolhas de ar são geradas por meio da aplicação de vácuo na unidade de flotação em que são liberadas devido à redução da pressão.

b) FAD por Pressurização

Atualmente, a flotação por ar dissolvido é o sistema de flotação mais empregado, principalmente nos casos em que estão presentes partículas flocculentas de fácil desagregação, no qual o ar previamente dissolvido na água (bruta ou clarificada a ser recirculada) é liberado sob forma de microbolhas de ar à pressão atmosférica. Existem três tipos básicos deste sistema: FAD com pressurização total do afluente (Figura 20); FAD com pressurização parcial do afluente (Figura 21) e FAD com pressurização da recirculação (FADPR, Figura 22).

FIGURA 20 – Esquema de um Sistema FAD com Pressurização Total do Afluente de uma Estação de Tratamento de Água
FONTE: ZABEL et al (1982)

FIGURA 21 – Esquema de um Sistema FAD com Pressurização Parcial do Afluente de uma Estação de Tratamento de Água
FONTE: ZABEL et al (1982)

FIGURA 22 – Esquema do Sistema FADPR de uma Estação de Tratamento de Água
FONTE: HYDE et al (1977)

3.7.6 Flotação por ar dissolvido no tratamento de águas de abastecimento

Segundo ZABEL (1985), a flotação por ar dissolvido, como pré-tratamento na produção de água potável, é indicada para águas contendo alta concentração de algas ou com turbidez relativamente baixa e cor relativamente alta. A flotação tem várias vantagens sobre a sedimentação por gravidade, destacando-se: possibilidade de produção de água de melhor qualidade; operação em taxas de aplicação mais altas, resultando estações de tratamento mais compactas; início de operação mais rápido; concentração de sólidos no lodo é significativamente superior à produzida na sedimentação e menor tempo de detenção em uma estação de tratamento. Em estudo realizado pelo autor, foi constatado que a eficiência de remoção de algas presentes na água de estudo empregando-se a flotação foi superior à sedimentação, para todos gêneros observados. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos.

Tabela 3 – Comparação da eficiência de remoção de algas na flotação e na sedimentação

Gênero Observado	Água Bruta (Ind/mL)	Ensaio de Sedimentação (Ind/mL)	Ensaio de Flotação (Ind/mL)
<i>Aphanizomenon</i>	179000	23000	2800
<i>Microcystis</i>	102000	24000	2000
<i>Stephanodiscus</i>	53000	21900	9100
<i>Chlorella</i>	23000	3600	2200

Em levantamento realizado no Reino Unido, LONGHURST e GRAHAM³ (1987) verificaram remoção elevada do número total de algas em duas instalações de FADPR. Em

³ LONGHURST S. J. E GRAHAM, N. J. D.(1987). *Dissolved Air Flotation for Potable Water Treatment - A Survey of the Operational Units in Great Britain*. The Public Health Engineer, England apud DI BERNARDO (1995).

uma delas, a concentração algal no afluente variou de 17×10^3 a 841×10^3 ind./mL, e no efluente, o valor médio foi de 17 ind/mL; na outra instalação, o afluente apresentou concentração algal de 2×10^3 a 272×10^3 ind/mL e o efluente não continha algas, o que mostra a eficiência dessa tecnologia na remoção de algas.

VLAŠKI et al. (1997) efetuaram investigações experimentais utilizando água proveniente de reservatório contendo algas do gênero *Microcystis aeruginosa* como afluente para uma instalação piloto. Foi constatado que a dosagem ótima de coagulante obtida para o tratamento por FAD foi cerca de duas a três vezes menor do que a dosagem utilizada em uma estação de tratamento convencional (7 a 12 g de Fe(III)/m³ em comparação aos 20 a 24 g de Fe(III)/m³). A eficiência de remoção em termos de turbidez e residual de ferro foi menor, em virtude do ferro estar complexado à matéria orgânica presente; entretanto, a FAD mostrou-se eficiente e apropriada para a remoção de partículas (algas) para estas baixas dosagens de coagulante. Para este caso, foi preciso um tempo de floculação superior a 15 min e a variação do gradiente de velocidade médio de floculação não influenciou os resultados. Também, em estudo complementar, os autores obtiveram resultados positivos na remoção de algas efetuando a oxidação da água de estudo com ozônio e permanganato de potássio anteriormente às etapas da coagulação, floculação e flotação.

3.7.7 Flotação em equipamento de laboratório

MALLEY e EDZWALD (1991) realizaram um estudo em que a flotação por ar dissolvido (FAD) foi comparada à sedimentação por gravidade (SG) em experimentos de laboratório utilizando águas naturais e sulfato de alumínio como coagulante. Os ensaios de FAD foram feitos em um flotador de bancada tipo batelada e produziram resultados de turbidez remanescente significativamente inferiores aos obtidos com sedimentação para os dois tipos de águas naturais (Washington Mountain Brook e Upper Root Reservoir, ambos do estado de Massachussets, Estados Unidos da América) particularmente em temperaturas mais baixas. A diferença na performance entre FAD e SG pode ser explicada devido ao tamanho e densidade das partículas, temperatura e velocidades de sedimentação descritas pela Lei de Stokes. Os autores concluíram que a grande quantidade de microbolhas geradas durante a recirculação proporcionaram condições (oportunidades) adequadas para a colisão entre as partículas e bolhas de gás, reduzindo, assim, o tempo de floculação de 20 min obtido na sedimentação, para 5 min na flotação para obter os mesmos valores de turbidez remanescente (Figura 23).

FIGURA 23 – Efeito do Tempo de Floculação na Remoção de Turbidez de Washington Mountain Brook, Utilizando Sulfato de Alumínio em pH de 6,3 e Temperatura de 23°C
 FONTE: MALLEY & EDZWALD (1991)

3.7.8 Emprego da floto-filtração no tratamento de água de abastecimento no final do século XX

ZABEL (1985) realizou testes comparando a performance de filtros rápidos de areia alimentados com efluentes de flotadores e clarificadores de manto de lodo. O autor constatou que estes efluentes tinham mostrado comportamentos semelhantes na filtração, pois tinham turbidez e concentração de residuais de coagulante similares e que a presença de bolhas de ar no efluente flotado não influenciou a performance do filtro.

VALADE et al. (1996) constataram a boa performance de um sistema de flotação por ar dissolvido (FAD) seguido de filtração descendente sob diferentes condições de floculação como pré-tratamento: tempos de floculação de 5 até 20 min, floculação mecânica e hidráulica, 2 ou 3 câmaras de floculação em série, gradiente de floculação de 30 a 70 s⁻¹ e diferentes coagulantes químicos (sulfato férrico e sulfato de alumínio). Foi constatado que as estações de tratamento utilizando FAD podem ser projetadas com tempos de floculação da ordem de 5 min e que, este sistema proporciona, de uma maneira bastante simples, a remoção de considerável quantidade de partículas, produzindo água, consistentemente, de boa qualidade.

Ainda segundo VALADE et al. (1996), a flotação por ar dissolvido tem sido utilizada há mais de 20 anos na Europa, entretanto, é considerada uma tecnologia nova na América do Norte. Entretanto, o interesse nesta tecnologia aumentou devido às novas exigências para desinfecção descritas nas *Normas de Tratamento de Águas Superficiais* no que diz respeito à preocupação com a presença dos protozoários *Giardia* e *Cryptosporidium* em águas superficiais, além das algas e de seus subprodutos oriundos da oxidação. Com

essas exigências, a necessidade da melhoria das condições de coagulação, clarificação e filtração tornou-se mais evidente. A FAD é considerada não somente uma alternativa à sedimentação, mas também um sistema de clarificação que melhora a filtração.

Segundo EDZWALD et al. (1999), desde o início da vigência destas normas nos Estados Unidos em 1998, um número maior de empresas fornecedores de água tratada potável estão se interessando pela flotação por ar dissolvido como pré-tratamento (clarificação) à filtração. Existem cerca de 20 estações de tratamento operando o sistema de FAD nos Estados Unidos e algumas no Canadá. Estas normas exigem que a turbidez da água filtrada seja inferior a 0,3 uT e a remoção de *Cryptosporidium* seja de 2-log na filtração. A FAD tem se mostrado efetiva na remoção de oocistos (possuem baixa densidade) de *Cryptosporidium* e, juntamente com a filtração, têm sido consideradas barreiras sanitárias para o controle deste microrganismo.

Anteriormente às exigências da norma norte-americana, PLUMMER et al. (1995) obtiveram em ensaios de laboratório a remoção superior a 2-log de oocistos de *Cryptosporidium parvum*, presentes em águas superficiais utilizando um sistema de flotação por ar dissolvido sob as seguintes condições: dosagens de coagulante de 3 a 5 mg Fe/L de cloreto férrico, pH de 4,3 a 6,2, tempo de floculação de 5 min e taxa de recirculação de 6 a 10 %.

Nas Figuras 24 e 25 são ilustrados esquemas de diferentes concepções de estações de tratamento com tecnologia de floto-filtração.

FIGURA 24 – Esquema de uma Estação de Floto-Filtração com Câmara de Flotação Independente do Filtro
 FONTE: EDZWALD (1999) et al.

FIGURA 25 – Esquema de uma Estação de Floto-Filtração com Câmara de Flotação e Filtração Integrados

FONTE: DI BERNARDO (1998)

3.8 Considerações sobre a Revisão da Literatura

Com base nas metodologias propostas por AMIRTARAJAH & MILLS (1982) e aplicadas intensamente por DI BERNARDO (1993) para a construção de diagramas de coagulação contendo curvas de igual remoção de turbidez e cor aparente em função da dosagem de coagulante e pH de coagulação, bem como na de AMIRTARAJAH & MILLS (1982) e complementada por BRITO (1998) para a otimização do tempo e gradiente de velocidade médio de mistura rápida e na de MENDES (1989) para a otimização do tempo e gradiente de velocidade médio de floculação, empregadas na clarificação por sedimentação, pretende-se efetuar a presente investigação experimental em que serão utilizadas tais metodologias na clarificação por flotação em equipamento de bancada de modo a verificar a influência dos parâmetros mencionados na remoção de algas, turbidez e cor aparente presente em água preparada em laboratório contendo elevada concentração de algas (da ordem de 10^8 ind/L) e natural proveniente de curso d'água eutrofizado.

Adicionalmente, será empregada a metodologia utilizada por DOMBROSKI (1996) no estudo das condições de flotação, principalmente no que se refere à quantidade de ar introduzido no sistema, além da pressão e tempo de saturação na câmara.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Considerações iniciais

O trabalho experimental foi realizado no laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos e dividido em três fases: i) Fase 1, em que foi efetuado o detalhamento e execução da instalação de flotação de bancada, o floteste; ii) Fase 2, em que foi utilizada água preparada em laboratório (Água Tipo I) contendo elevada quantidade de algas para a realização dos ensaios; iii) Fase 3, em que foi utilizada água natural proveniente do Rio Atibaia (Água Tipo II) contendo algas para a execução dos ensaios finais. Os dois tipos de água foram devidamente caracterizados em laboratório

Os ensaios de coagulação-floculação-flotação seguida ou não de filtração, realizados em floteste com a água Tipo I, foram divididos em 8 séries:

- a) *Série I*: construção dos diagramas de coagulação contendo dosagens de coagulante e pH de coagulação para obtenção de curvas de mesmo número de algas, turbidez e cor aparente remanescente;
- b) *Série II*: réplica do ensaio referente ao par de valores "dosagem de coagulante x pH de coagulação" obtido na *Série I*;
- c) *Série III*: influência de diferentes tempos e gradientes médios de velocidade de mistura rápida na eficiência da flotação;
- d) *Série IV*: influência de diferentes tempos e gradientes médios de velocidade de floculação na eficiência da flotação;
- e) *Série V*: influência de diferentes pressões na câmara de saturação na eficiência da flotação;
- f) *Série VI*: influência de diferentes tempos de pressurização na eficiência da flotação;
- g) *Série VII*: influência de diferentes taxas de recirculação na eficiência da flotação;
- h) *Série VIII*: flotação seguida de filtração em areia.

Os ensaios de coagulação-floculação-flotação seguida ou não de filtração, realizados em flote teste com a água Tipo II, foram divididos em 4 séries:

- a) *Série IX*: influência de diferentes gradientes médios de velocidade na eficiência da flotação;
- b) *Série X*: influência de diferentes valores de tempos de floculação na eficiência da flotação;
- c) *Série XI*: influência de diferentes de taxas de recirculação na eficiência da flotação;
- d) *Série XII*: Flotação seguida de filtração.

Nos itens seguintes é feita a descrição detalhada dos equipamentos e produtos químicos utilizados bem como as séries de ensaios.

4.2 Equipamentos e produtos químicos

Os equipamentos utilizados durante a preparação da água de estudo e execução dos ensaios foram os seguintes:

- Equipamento Flote teste de bancada, constituído de três reatores estáticos dotados de placas condutora e difusora para distribuição da água saturada com ar, câmara de saturação e acessórios (Figura 26), a ser apresentado detalhadamente no item 5;
- Turbidímetro nefelométrico, modelo 2100 P da Hach, utilizado para a leitura de turbidez (Figura 27);
- Hemacitômetro (Improved Neubauer Brite Line), utilizado para a contagem de algas (Figura 28);
- Microscópio Carl Zeiss dotado de ocular e objetiva com de 12,5 e 40 vezes de aumento, respectivamente;
- Espectrofotômetro Hach, modelo DR-4000U, utilizado para a leitura de cor (verdadeira e aparente) e absorvância no comprimento de onda de 254 nm (Figura 29);
- Potenciômetro Orion, modelo 420A, utilizado para a leitura de pH (Figura 30);
- Balança E. Mettler;
- Cronômetro digital;
- Contador de partículas Hiac/Royco (Figura 31);

- Controlador de temperatura, utilizado na câmara de cultura de algas do gênero *Chlorella*;
- Termômetro.

Os produtos químicos utilizados na preparação da água de estudo Tipo I e durante a execução dos ensaios foram os seguintes:

- Meio WC: constituído de soluções de macronutrientes, micronutrientes e vitaminas adicionadas ao volume de água destilada (400 L) destinado à cultura de algas (Tabela 4).
- Acidificante: Solução de ácido clorídrico, preparada a partir de solução comercial (massa específica de 1,19 kg/L, concentração de 30% de HCl), resultando uma solução com concentração de 1 mg do produto comercial para cada mL da solução;
- Alcalinizante: solução de hidróxido de sódio, preparada a partir de produto sólido com 97% de pureza e dissolvido em um balão de 1 litro contendo água destilada, resultando uma solução com concentração de 1 mg do produto sólido para cada mL da solução;
- Coagulante: solução de sulfato de alumínio, preparada a partir do produto líquido comercial (massa específica de 1,325 g/L e concentração de 662,6 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ /L) e diluído em um balão de 1 litro contendo água destilada, resultando em uma solução para a qual cada mL da solução contém 5 mg do produto líquido comercial.

TABELA 4 – Nutrientes presentes em meio de cultura WC

Solução de macronutrientes (0,1 mL de solução/L de água destilada)		Solução de micronutrientes (0,1 mL de solução/L de água destilada)	
Componentes	Concentração (g/L)	Componentes	Concentração (g/L)
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	36,76	Na.Edta	4,360
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	36,97	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	3,150
NaHCO_3	12,60	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,010
K_2HPO_4	8,71	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,022
$\text{NaSiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	28,42	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,010
NaNO_3	85,01	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,180
Solução de vitaminas (1 mL/L)		$\text{Na}_2 \cdot \text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,006
Tiamina	100 mg	H_3BO_3	1,000
Biotina	500µg		
B12	500µg

FIGURA 26 – Floteste de Bancada

FIGURA 27 – Turbidímetro Nefelométrico Hach, Modelo 2100P

FIGURA 28 – Hemocitômetro (Improved Neubauer Bright Line)

FIGURA 29 – Espectrofotômetro Hach, Modelo DR-4000U

FIGURA 30 – Potenciômetro Orion 420 A

FIGURA 31 – Contador de Partículas Hiac/Royco

4.3 Procedimento experimental

4.3.1 Fluxograma da metodologia

Na Figura 32, é apresentado o fluxograma da metodologia empregada para a realização dos experimentos com as águas de estudo Tipo I e II.

FIGURA 32 – Fluxograma Referente aos Experimentos Realizados

4.3.2 Preparo e Caracterização da Água de Estudo Tipo I

A água de estudo Tipo I foi preparada com elevada concentração de algas do gênero *Chlorella* em suspensão (da ordem de 10^8 ind/L) como ilustra a Figura 33. Para o desenvolvimento da cultura das algas (Figura 34) foi necessário um ambiente onde estivessem presentes a luz e pequenas quantidades de sais minerais (nutrientes para meio de cultura WC), além de temperatura e pH adequados.

A caracterização da água de estudo foi feita antes de cada ensaio quanto aos seguintes parâmetros: i) número de algas por litro (Figura 37); ii) cor aparente; iii) cor verdadeira; iv) pH; v) alcalinidade; vi) turbidez; vii) contagem de partículas nas faixas de tamanho de 2 a 4, 4 a 6, 6 a 8, 8 a 10, 10 a 15, 15 a 20 e 20 a 30 μm (Figura 38). Na Tabela 5 são mostradas as características da água Tipo I.

A câmara de cultura das algas (Figura 35) consiste em uma caixa d'água circular de plástico, com capacidade para 500 litros, dotada de serpentina de cobre, imersa cerca de 10 cm do fundo da caixa, ligada a um equipamento de controle de temperatura (Figura 36) ajustado para 20 ± 1 °C; de 6 renovadores de ar com pedras porosas nas pontas, distribuídos igualmente pela seção planta da caixa d'água para que a água não ficasse parada; de iluminação com 6 lâmpadas fluorescentes de 20 W cada, distribuídas igualmente pela seção planta da caixa d'água cerca de 90 cm de altura em relação ao fundo da mesma. O controle de temperatura foi automático e a aeração e iluminação foram mantidos contínuos.

FIGURA 33 – Algas do Gênero *Chlorella*

Fonte: Foto do autor, obtida por meio de microscopia eletrônica

FIGURA 34 - Cultura de Algas do Gênero *Chlorella*

FIGURA 35 – Câmara de Cultura de Algas

FIGURA 36 – Controlador de Temperatura

TABELA 5 – Características físico-químicas da água Tipo I

Série	Data	Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	pH	Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)
I	31/Jul	49	546	101	7,70	46
I	01/Ago	41	552	101	7,89	46
I	02/Ago	48	600	100	7,83	46
I	06/Ago	40	530	94	7,87	44
I	07/Ago	47	638	90	7,80	42
I	08/Ago	49	686	93	7,77	40
I	09/Ago	48	630	87	7,74	36
I	13/Ago	50	700	90	7,83	40
I	15/Ago	46	632	80	7,83	39
II / III	28/Ago	41	510	91	7,81	39
III	29/Ago	53	726	91	7,82	34
III	30/Ago	43	548	72	7,77	36
IV	03/Set	45	566	77	7,72	38
IV	04/Set	50	670	77	7,60	38
IV	05/Set	50	640	77	7,70	38
V	10/Set	57	866	89	7,84	38
VI	11/Set	58	764	89	7,74	38
VI	12/Set	53	698	89	7,79	38
VII	13/Set	45	640	89	7,75	38

FIGURA 37 – Concentração de Algas Durante a Execução dos Ensaios com a Água Tipo I

FIGURA 38 – Número Total de Partículas (> 2 µm) durante a Execução dos Ensaios com a Água Tipo I

4.3.3 Coleta, Preparo e Caracterização da Água de Estudo Tipo II

A água de estudo Tipo II utilizada nos ensaios da Fase 3 foi coletada à jusante do reservatório de Salto Grande (Figura 39), Americana-SP, durante o inverno do ano de 2001, com o objetivo de avaliar a remoção de algas (da ordem de 10^5 indivíduos/L) utilizando flotação para a clarificação e filtração em areia. O reservatório pertence à Sub-Bacia do Rio Atibaia, que faz parte da Bacia do Rio Piracicaba (Figura 41), e represa o Rio Atibaia cerca de 700 m a montante da confluência do mesmo com o Rio Jaguari, ambos formadores do Rio Piracicaba.

Foram coletados 150 L de água na margem do Rio Atibaia, cerca de 600 m a jusante da barragem e condicionados em galões de plástico de 20 L. Em seguida, a água coletada foi transportada para o Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos para a imediata caracterização. No mesmo dia da coleta, foram identificados os gêneros de algas predominantes (Figura 40, ver também Anexo J) bem como a contagem dos mesmos. Nos dois dias subsequentes, foram feitos todos os ensaios julgados convenientes. Na Tabelas 6, 7 e 8 são mostradas as características, a ocorrência dos gêneros de algas e a contagem de partículas da água Tipo II, respectivamente.

Barragem do Reservatório Salto Grande

Local da Coleta

FIGURA 39 – Rio Atibaia

FIGURA 40 – Gênero de Alga Predominante na Água Tipo II: *Aulacoseira*

FIGURA 41 – Localização da Represa Salto Grande na Bacia do Rio Piracicaba

FONTE: CETESB (UGRHI-05 – Piracicaba, Capivari e Jundiá)

TABELA 6 – Principais características físico-químicas e biológicas da água Tipo II

Parâmetro	Valor
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	447
Cor Verdadeira (uC)	26
Cor Aparente (uC)	85
pH	7,96
Turbidez (uT)	9,0
Alcalinidade Total (mg/L de CaCO_3)	71
Potencial Zeta (mV)	- 17,1
Cloretos (mg/L)	18
Sulfatos (mg/L)	70
Nitrogênio – Nitratos (mg/L)	1,71
Nitrogênio – Nitrito (mg/L)	0,08
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	388
Fosfato Total (mg/L)	0,2
Carbono Orgânico Total (mg/L)	3,3
Coliformes Totais (NMP/ 100 mL)	14136
Coliformes Fecais (NMP/ 100mL)	20
Ferro digerido (mg/L)	0,05
Ferro não digerido (mg/L)	0,50
Manganês não digerido (mg/L)	ND
Manganês digerido (mg/L)	0,09
Cálcio (mg/L)	12,0
Magnésio (mg/L)	1,1
Oxigênio Consumido (mg/L)	4,7
Absorvância (254 nm)	0,147
Número de Algas (Ind/L)	5×10^5

TABELA 7 – Identificação dos gêneros e contagem de algas da água Tipo II

Gêneros de Algas	Ocorrência em 1 mL de Amostra
<i>Actinastrum</i>	2
<i>Ankistrodesmus</i>	1
<i>Aulacoseira</i>	43
<i>Chlorella</i>	16
<i>Chlorococcum</i>	10
<i>Cyclotella</i>	1
<i>Diatoma</i>	1
<i>Fragilaria</i>	1
<i>Micractinium</i>	2
<i>Microcystis</i>	2
<i>Microspora</i>	3
<i>Navicula</i>	2
<i>Nitzschia</i>	1
<i>Oscillatoria</i>	2
<i>Scenedesmus</i>	1
Outras Diatomáceas	8
Aglomerados de Clorofíceas	5
Total	5.10^5 ind/L

TABELA 8 – Número de partículas nas diferentes faixas de tamanhos da água Tipo II

Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	
$1,935 \cdot 10^6$	$7,895 \cdot 10^5$	$1,693 \cdot 10^5$	$6,020 \cdot 10^4$	$3,900 \cdot 10^4$	$9,600 \cdot 10^3$	$3,267 \cdot 10^3$	$1,133 \cdot 10^3$	$3,007 \cdot 10^6$

4.4 Contagem de algas

A contagem do número de algas foi feita utilizando-se um hemacitômetro instalado em um microscópio binocular com 500 vezes de aumento. Como o tamanho das algas observado foi da ordem de $10 \mu\text{m}$, a contagem de partículas foi feita na faixa de tamanho entre 2 e $30 \mu\text{m}$.

Com o número de algas existentes nas 90 unidades do reticulado (quadrados amarelos da Figura 42) e, a partir da equação (17), obtém-se o número de indivíduos por litro:

$$\text{Número de indivíduos/litro} = \frac{\sum \text{indivíduos nos 90 quadrados}}{90} * 1,6 * 10^5 * 1000 \quad (17)$$

FIGURA 42 – Esquema da Área de Contagem no Hemacitômetro

4.5 Construção do Diagrama de Coagulação para o número remanescente de algas, turbidez e cor aparente

Os ensaios para a construção do Diagrama de Coagulação, semelhante ao proposto por AMIRTHARAJAH & MILLS (1982) e intensamente utilizado por DI BERNARDO (1993), foram realizados variando-se a dosagem de sulfato de alumínio em função do pH de coagulação, visando obter vários pares de valores “pH de coagulação X dosagem de coagulante”, adicionando-se, conforme o caso, acidificante ou alcalinizante.

Inicialmente, foram fixados os seguintes parâmetros:

- tempo de mistura rápida, $T_{mr} = 10$ s;
- gradiente de velocidade médio da mistura rápida, $G_{mr} = 1000$ s⁻¹;
- tempo de floculação, $T_f = 10$ min;
- gradiente de velocidade médio da floculação, $G_f = 25$ s⁻¹;
- tempo de saturação na câmara de pressurização, $T_{sat} = 8$ min;
- pressão da câmara de saturação, $P = 400$ kPa;
- taxa de recirculação, $R = 10$ %;
- velocidades ascensionais de 10 e 5 cm/min.

O procedimento dos ensaios foi o seguinte:

- a) caracterização da água de estudo e pressurização da câmara por 8 min com pressão de 400 kPa utilizando água do sistema de abastecimento do laboratório (o pH desta foi ajustado próximo ao valor do pH da água coagulada);
- b) separação e medição da temperatura de uma porção da água de estudo; (todos os ensaios foram feitos a 20 ± 1 °C, mesma temperatura da câmara de cultura de algas);
- c) enchimento dos jarros de flotação com pequenas parcelas de água de estudo até atingir o volume de 2 litros em cada um deles;
- d) acionamento dos agitadores e ajuste da rotação correspondente ao gradiente de velocidade médio de mistura rápida (G_{mr});
- e) adição, conforme a necessidade de variação de pH, de acidificante ou alcalinizante, e colocação da dosagem pré-determinada de coagulante em nos recipientes do suporte frontal;
- f) acionamento do cronômetro simultaneamente à adição do coagulante nos três jarros;
- g) redução da rotação do equipamento para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio de floculação (G_f) após o tempo de mistura rápida (T_{mr});
- h) paralisação e suspensão das hastes dos agitadores e imediata abertura do registro para a aplicação da água de recirculação com a taxa (R) prevista após o tempo de floculação (T_f);
- i) descarte por 2 s de água flotada e início da coleta das amostras para as velocidades ascensionais desejadas;

- j) contagem do número de algas e leitura de turbidez e cor aparente remanescente de todas amostras ao final de cada ensaio (não foi necessária a preservação das mesmas).

Os resultados obtidos foram plotados obtendo-se os diagramas de coagulação, floculação e flotação para turbidez, cor aparente e número de algas remanescentes para as velocidades ascensionais de 10 e 5 cm/min. Com a interpolação dos valores, foram construídas, manualmente, curvas de mesma porcentagem remanescente de turbidez, cor aparente e número de algas, possibilitando a escolha do par de valores “dosagem de sulfato de alumínio e pH de coagulação” para o qual se obteve o menor valor do número remanescente de algas.

Em seguida, foi feita a réplica do ensaio utilizando a dosagem de coagulante correspondente ao par de valores escolhido para a validação estatística.

4.6 Influência dos parâmetros de mistura rápida na eficiência da flotação

Com o par de valores de “pH de coagulação X dosagem de coagulante” escolhido no item 4.4, foi estudada a influência do tempo e gradiente de velocidade médio de mistura rápida, conforme metodologia proposta por AMIRTARAJAH & MILLS (1982) e complementada por BRITO (1998), na remoção de turbidez, cor aparente, número de algas e de partículas por litro. Os parâmetros estudados foram:

- Tempos de mistura rápida, $T_{mr} = 5, 10, 15, 20, 30$ e 45 s;
- Gradientes de velocidade médio, $G_{mr} = 400, 600, 800, 1000$ e 1200 s^{-1} .

Os parâmetros relativos à flotação foram:

- Tempo de saturação da água de recirculação, $T_{sat} = 8$ min;
- Pressão na câmara de saturação, $P = 400$ kPa;
- Taxa de recirculação, $R = 10$ %;
- Velocidades ascensionais, $V_A = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min.

O procedimento do ensaio foi o seguinte:

- a) contagem do número de algas e leitura de turbidez e cor aparente da água de estudo;
- b) saturação da água por 8 min à pressão de 400 kPa;

- c) preenchimento da mangueira com água saturada até o registro de entrada dos jarros de flotação;
- d) separação e medição da temperatura de uma porção da água de estudo;
- e) enchimento dos jarros de flotação com pequenas parcelas de água de estudo até atingir o volume de 2 litros em cada um deles;
- f) acionamento dos agitadores e ajuste da rotação correspondente ao gradiente de velocidade médio de mistura rápida (G_{mr});
- g) colocação do volume de solução correspondente à dosagem de coagulante em recipientes separados;
- h) acionamento do cronômetro simultaneamente à adição do coagulante à água contida no reator de maior tempo de mistura rápida;
- i) adição do coagulante nos respectivos reatores para cada tempo de mistura rápida pré-determinado;
- j) redução da rotação do equipamento o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio de floculação (G_f) após o tempo de mistura rápida (T_{mr});
- k) paralisação e suspensão das hastes e paletas dos agitadores após o tempo de floculação (T_f);
- l) abertura do registro para a aplicação da água de recirculação com a taxa (R) prevista;
- m) descarte por 2 s de água flotada cerca de 12 s antes do início da coleta das amostras para as velocidades ascensionais;
- n) contagem do número de algas e leitura de turbidez, cor aparente e número de partículas remanescente das amostras coletadas.

Após a análise dos resultados, foi possível escolher a combinação de T_{mr} e G_{mr} para o qual obteve-se o menor valor do número de algas remanescente.

4.7 Influência dos parâmetros da floculação na eficiência da flotação

Com o par de valores escolhido no item 4.4 e os parâmetros de mistura rápida escolhidos em 4.5, foi estudada a influência do tempo e gradiente de velocidade médio de floculação, conforme metodologia proposta por MENDES (1989), na remoção de turbidez, cor aparente, número de algas e de partículas por litro. Os parâmetros estudados foram:

- Tempos de floculação, $T_f = 5, 10, 15, 20, 25$ e 30 min;
- Gradientes de velocidade médio, $G_f = 20, 25, 30, 40, 60$ e 90 s^{-1} .

Os parâmetros relativos à flotação foram os seguintes:

- Tempo de saturação da água de recirculação, $T_{sat} = 8$ min;
- Pressão na câmara de saturação, $P = 400$ kPa;
- Taxa de recirculação, $R = 10$ %;
- Velocidades ascensionais, $VA = 15, 10, 7,5$ e 5 cm/min.

O procedimento do ensaio foi o seguinte:

- a) contagem do número de algas e leitura de turbidez e cor aparente da água de estudo;
- b) pressurização da câmara por 8 min com 400 kPa de pressão;
- c) preenchimento da mangueira com água saturada até o registro de entrada da câmara de flotação;
- d) separação e medição da temperatura de uma porção da água de estudo;
- e) enchimento dos jarros de flotação com pequenas parcelas de água de estudo até atingir o volume de 2 litros;
- f) acionamento dos agitadores e ajuste da rotação correspondente ao gradiente de velocidade médio de mistura rápida (G_{mr}) fixado no item 4.5;
- g) colocação do volume de solução correspondente à dosagem de coagulante (fixada no item 4.4) nos recipientes do suporte frontal;
- h) acionamento do cronômetro simultaneamente à adição do coagulante à água contida nos reatores;
- i) redução da rotação do equipamento o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio de floculação (G_f) após o tempo de mistura rápida (T_{mr});
- j) paralisação e suspensão das hastes e paletas dos agitadores de cada reator separadamente após o término do tempo de floculação (T_f) de cada um;
- k) abertura do registro para a aplicação da água de recirculação com a taxa (R) prevista;
- l) descarte por 2s de água flotada cerca de 12s antes do início da coleta das amostras para as velocidades ascensionais;
- m) contagem do número de algas e leitura de turbidez, cor aparente e número de partículas remanescente das amostras coletadas.

Após a análise dos resultados, foi possível escolher a combinação de T_f e G_f para o qual obteve-se o menor valor do número de algas remanescente.

4.8 Influência de outros parâmetros

Com o par de valores fixado no item 4.4 e os parâmetros da mistura rápida e da floculação obtidos nos itens 4.5 e 4.6, respectivamente, foi estudada a influência de diferentes valores da pressão da câmara de saturação, do tempo de pressurização e da taxa de recirculação, conforme metodologia utilizada por DOMBROSKI (1996) na remoção de turbidez, cor aparente, número de algas e de partículas. Para isso, é descrito o procedimento para execução destes ensaios a seguir.

4.8.1 Influência da pressão da câmara de saturação para os valores de 300, 400 e 500 kPa

O procedimento foi o seguinte:

- a) contagem do número de algas e leitura de turbidez e cor aparente da água de estudo;
- b) saturação da câmara por 8 min com a pressão desejada (300, 400 e 500 kPa);
- c) preenchimento da mangueira com água saturada até o registro de entrada;
- d) separação e medição da temperatura de uma porção da água de estudo;
- e) enchimento dos jarros de flotação com pequenas parcelas de água de estudo até atingir o volume de 2 litros;
- f) acionamento dos agitadores e ajuste da rotação correspondente ao gradiente de velocidade médio de mistura rápida (G_{mr}) fixado no item 4.5;
- g) colocação do volume de solução correspondente à dosagem de coagulante nos recipientes do suporte frontal;
- h) acionamento do cronômetro simultaneamente à adição do coagulante à água contida nos reatores;
- i) redução da rotação do equipamento para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio de floculação (G_f) fixado no item 4.6 após o tempo de mistura rápida (T_{mr});
- j) paralisação e suspensão das hastes e paletas dos agitadores após o tempo de floculação (T_f);
- k) abertura do registro para a aplicação da água de recirculação com a taxa (R) prevista;
- l) descarte por 2 s de água flotada cerca de 12 s antes do início da coleta das amostras para as velocidades ascensionais;

- m) contagem do número de algas e leitura de turbidez, cor aparente e número de partículas remanescente das amostras coletadas.

Após a análise dos resultados, foi possível escolher o valor da pressão da câmara de saturação para o qual obteve-se menor valor do número de algas remanescente.

4.8.2 Influência do tempo de pressurização para os valores de 3, 8 e 15 min

O procedimento de ensaio foi semelhante ao do item 4.7.1, tendo sido fixado o valor da pressão correspondente ao menor valor do número de algas remanescente obtido no mesmo item e variado o tempo de pressurização da câmara.

Após a análise dos resultados, foi possível escolher o valor do tempo de pressurização para o qual obteve-se o menor valor do número de algas remanescente.

4.8.3 Influência da taxa de recirculação para os valores de 5, 10, 15 e 20 %

O procedimento de ensaio foi semelhante ao do item 4.7.1, tendo sido fixado o tempo de pressurização correspondente ao menor valor do número de algas remanescente obtido no item 4.7.2 e variada a taxa de recirculação (5, 10, 15 e 20 %). A pressão de saturação foi de 400 kPa.

Após a análise dos resultados, foi possível escolher o valor da taxa de recirculação para o qual obteve-se o menor valor do número de algas remanescente.

4.8 Floto-filtração

Com os parâmetros de mistura rápida, floculação e flotação selecionados nos itens anteriores, foi feito o ensaio de flotação seguida de filtração em areia utilizando os três jarros do Floteste. Assim, ao mesmo tempo em que foram feitas as réplicas do ensaio de flotação também foi feita a filtração.

O procedimento do ensaio foi o seguinte:

- a) contagem do número de algas e leitura de turbidez e cor aparente da água de estudo;

- b) separação e medição da temperatura de uma porção da água de estudo
- c) enchimento dos jarros de flotação com pequenas parcelas de água de estudo até atingir o volume de 2 litros;
- d) pressurização da água de recirculação na câmara de saturação;
- e) adição de alcalinizante ou acidificante;
- f) ajuste da rotação correspondente ao gradiente de velocidade médio da mistura rápida; dosagem de coagulante;
- g) ajuste da rotação correspondente ao gradiente de velocidade médio da floculação após o tempo de mistura rápida;
- h) suspensão das hastas dos agitadores e aplicação da água de recirculação prevista após o tempo de floculação;
- i) coleta das amostras nos tempos correspondentes às velocidades ascensionais desejadas;
- j) contagem do número de algas remanescente e leitura de turbidez, cor aparente e número de partículas remanescente.

Para a execução dos ensaios de filtração imediatamente após a flotação, foi utilizada uma instalação de 3 filtros de laboratório acoplado ao Floteste, cada qual contendo areia como meio filtrante (A, B e C, respectivamente) segundo as características da Tabela 11, em posição que as saídas dos jarros descarregassem exatamente no interior de cada filtro. Foram feitas coletas após os tempos médios de filtração de 10, 20, 30 e 40 min, com taxa de aproximadamente $70 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, depois do tempo de coleta correspondente à velocidade de flotação mais baixa (5 cm/min). A escolha do tipo de areia em que foram verificados melhores resultados foi baseada na contagem de partículas, turbidez e cor aparente remanescentes.

5 EQUIPAMENTO FLOTESTE E MANUAL DE OPERAÇÃO

5.1 Desenvolvimento do equipamento Floteste

No trabalho realizado por CENTURIONE FILHO (1998), foi utilizado o equipamento de flotação de bancada (Figura 43) contendo uma câmara de seção circular, na qual, devido à geometria, foi constatada em alguns testes iniciais, durante a floculação, a formação de flocos de tamanho muito pequeno, comparados aos obtidos em Jarteste utilizando a mesma dosagem de coagulante. Como, em geral, a eficiência da floculação depende da coagulação (tempo de mistura e gradiente de velocidade médio), observou-se que a mistura rápida efetuada na câmara de seção circular não proporcionava condições adequadas para a realização da etapa seguinte, a floculação. Também, entende-se que o uso de anteparos pode melhorar as condições de mistura rápida, porém, após o término da floculação, o ato da sua retirada da câmara para a realização da flotação podia ser inadequado pois, devido à turbulência gerada, poderia haver quebra de flocos (o floco não deve ser tão pequeno e nem tão grande) e, conseqüentemente, prejudicar a eficiência da etapa subsequente, a flotação. Na intenção de aprimorar as condições de realização da mistura rápida, foi proposto que esta poderia ser efetuada em reator Jarteste e as demais etapas, floculação e flotação, no flotador. Foram obtidas as seguintes porcentagens remanescentes: 16,3 % de turbidez, 16,3 % de cor aparente e 13,6 % de absorvância (diretamente relacionado com o número de algas por litro), para a velocidade ascensional de 10 cm/min. As condições do ensaio foram as seguintes: $T_{mr} = 10$ s e $G_{mr} = 1000$ s⁻¹ (mistura rápida efetuada em Jarteste), $T_f = 13$ min e $G_f = 30$ s⁻¹ (floculação efetuada no flotador), $P = 400$ kPa, $R = 10$ % e velocidades ascensionais de 10 e 5 cm/min.

Não satisfeito com os resultados obtidos e a metodologia utilizada para realizar a coagulação em um jarro com seção transversal quadrada e, posteriormente, com a transferência do volume de água para a câmara de seção circular, a realização da floculação-flotação, foi proposta por CENTURIONE FILHO (1999) a construção de uma câmara de flotação com seção transversal quadrada (Figura 44), semelhante à utilizada pelo equipamento Jarteste e conectada à câmara de saturação do equipamento da Figura 43, para

que a passagem da etapa da mistura rápida para a floculação-flotação ocorresse somente pela diminuição da rotação do agitador. De uma maneira mais simples e lógica, como a floculação depende da coagulação, entendia-se que a passagem da mistura rápida para a floculação deveria ser contínua e realizada em uma mesma câmara, minimizando, assim, interferências. Foram feitos testes com diferentes configurações para a entrada de água saturada com ar (número e disposição das entradas) e também no que diz respeito ao tamanho, quantidade e disposição dos canais e orifícios da base do jarro de flotação, que têm função de conduzir rapidamente água saturada com ar e proporcionar perda de carga suficiente para distribuí-la na porção inferior do jarro. Com a realização de ensaios nessas novas condições, foram obtidas as seguintes porcentagens remanescentes: 2,6 % de turbidez, 3,0 % de cor aparente e 4,8 % de absorvância (diretamente relacionado com o número de algas por litro), para a velocidade ascensional de 10 cm/min. As condições do ensaio foram as seguintes: $T_{mr} = 10$ s e $G_{mr} = 1000$ s⁻¹, $T_f = 20$ min e $G_f = 25$ s⁻¹, $P = 400$ kPa, $R = 10$ % e velocidades ascensionais de 10 e 5 cm/min.

Figura 43 – Equipamento de Flotação com Jarro de Seção Transversal Circular

Figura 44 – Jarro de flotação de seção quadrada conectado à câmara de saturação do equipamento da Figura 43

Figura 45 – Equipamento de reatores estáticos "Jarteste"
 FONTE: DI BERNARDO et al. (2001)

A comparação entre os dados referentes aos ensaios utilizando as instalações das Figuras 43 e 44 é feita na Figura 46. Como os resultados foram consideravelmente melhores utilizando a nova câmara de flotação, foi cogitada a construção de um equipamento de bancada contendo três jarros de flotação semelhante ao Jarteste (Figura 45). A seguir, o equipamento Floteste é detalhadamente apresentado.

Figura 46 – Gráfico Comparativo entre Ensaios Realizados na Câmara de Flotação de Seção Circular (CENTURIONE FILHO, 1998) e o de Seção Retangular (CENTURIONE FILHO, 1999)

5.2 Equipamento Floteste

O equipamento Floteste (Figuras 47 e 63) é constituído de uma câmara de pressurização, 3 jarros de coagulação-floculação-flotação e utiliza o mesmo conjunto motor-agitador do Jarteste. O flotador contém 3 jarros em acrílico transparente com as mesmas dimensões do jarro convencional (115x115 mm), cada qual podendo ser utilizado tanto para ensaios de flotação quanto para sedimentação. A base do jarro foi alterada de modo a permitir a introdução e distribuição uniforme de água saturada com ar.

Figura 47 – Equipamento Floteste

5.2.1 Câmara de pressurização (ou saturação)

A câmara de pressurização (Figura 48) foi construída em acrílico transparente, com seção transversal circular de diâmetro interno de 100 mm, espessura de parede de 10 mm e altura de 320 mm, resultando volume de 2,5 L (volume útil de 2 L). A parede da câmara resiste 50 atm (pressão crítica). O topo da câmara é dotado de válvula reguladora de pressão com filtro (Figura 49), registro de esfera para entrada de ar sob pressão durante a recirculação (Figura 50 - seta 1), manômetro (Figura 50 - seta 2), dispositivo silenciador (Figura 50 - seta 3) e registro de agulha para ajuste fino da pressão na câmara (Figura 50 - seta 4). A base da câmara é dotada de três registros de esfera cada qual com a função de regular a entrada de água clarificada para a recirculação (Figura 51 - seta 1), entrada de ar (Figura 51 - seta 3) e saída de água saturada com ar (Figura 51 - seta 2).

Figura 48 – Câmara de Pressurização

Figura 49 – Válvula Reguladora de Pressão

Figura 50 – Detalhe do Topo da Câmara de Pressurização

Figura 51 – Detalhe da Base da Câmara de Pressurização

5.2.2 Jarro de coagulação-floculação-flotação

As etapas da coagulação, floculação e flotação (ou sedimentação) são realizadas no jarro de flotação (Figuras 52 e 53).

As características geométricas são iguais às dos jarros do equipamento Jarreste que contém agitador com paleta de 25 x 75 mm (a relação entre o gradiente de velocidade e a rotação do equipamento é, portanto, conhecida) e base quadrada de dimensões 115x115 mm. Essa base é composta por duas placas de acrílico, espaçadas de 5 mm. A placa inferior é constituída de canais condutores de água saturada com ar (água de recirculação) e tem por objetivo conduzi-la e distribuí-la com maior rapidez, preenchendo o espaço situado abaixo da placa superior, a qual contém 121 orifícios de 2 mm de diâmetro, espaçados de 10 mm que proporcionam perda de carga suficiente para tal distribuição. Os canais foram executados na placa inferior com espessuras de 2,5 a 5 mm. Nas Figuras 55 e 56 são mostradas as vistas superior das placas inferior e superior, respectivamente. Na Figura 54 é mostrada a vista superior da câmara de flotação e, nas Figuras 57 a 58, são mostrados dois cortes referentes à Figura 54 e a vista frontal do jarro, respectivamente.

Foram feitas seqüências de fotos, a partir de filmagem digitalizada, da introdução e distribuição da água saturada com ar no jarro de modo a permitir uma visualização das microbolhas de ar, liberadas imediatamente após o abaixamento da pressão (mais alta na câmara de pressurização) quando o registro da câmara de flotação era aberto (Figuras 60 a 62).

Figura 52 – Mangueiras Conductoras de Água Saturada com Ar Conectadas e Agitadores Posicionados no Interior dos Jarros de Coagulação, Floculação e Flotação

Figura 53 – Jarro de Flotação

Figura 54 – Vista Superior das Placas.
Medidas em Milímetros (Sem Escala)

Figura 55 – Placa Inferior Contendo os Canais Condutores de Água Saturada. Medidas em Milímetros (Sem Escala)

Figura 56 – Placa Superior Contendo 121 Orifícios. Medidas em Milímetros (Sem Escala)

Figura 57 – Corte B - B
Referente à Figura 48

Figura 58 – Corte C - C
Referente à Figura 48

Figura 59 – Vista Frontal
do Jarro. Medidas em
Milímetros (Sem Escala)

A – Momento Anterior à Introdução da Água Saturada com Ar

B – Preenchimento da Placa Inferior (Canais Condutores de Água Saturada com Ar)

C – Início da Passagem das Microbolhas pela Placa de Orifícios

D – Recirculação em Progresso

E – Fim da Recirculação e Início da Clarificação

F – Ascensão da Frente de Clarificação

Figura 60 – Introdução e Distribuição da Água Saturada com Ar – Vista Frontal

A – Momento Anterior à
Introdução da Água
Saturada com Ar

B – Preenchimento da Placa
Inferior (Canais Condutores de
Água Saturada com Ar)

C – Passagem das Microbolhas
pela Placa de Orifícios

D

E

F

G

H – Fim da Introdução de Água
Saturada com Ar

I - Início da Clarificação

J - Ascensão da Frente de
Clarificação

K – Clarificação do Subnadante

L

Figura 61 – Introdução e Distribuição da Água Saturada com Ar – Vista Lateral

Figura 62 – Introdução e Distribuição da Água Saturada com Ar
Vista Frontal/Direita Aproximada

EQUIPAMENTO FLOTESTE

Figura 63 – Esquema Frontal do Equipamento Floteste. Medidas em Centímetros (Sem Escala)

5.2.3 Agitadores

Os agitadores, de aço inox, são do tipo paleta de eixo vertical de dimensões de 25 x 75 mm. A relação entre o gradiente de velocidade e a rotação do equipamento é apresentada na Figura 64.

Figura 64 – Gradiente de Velocidade em Função da Rotação do Agitador

5.2.4 Conjunto mecânico e elétrico

O sistema mecânico de polias é tracionado por correia por motor elétrico de 12V dotado de caixa redutora. Este permite rotações estáveis do agitador entre 30 a 490 rpm, correspondendo, respectivamente, aos gradientes de velocidade de 20 e $1200 s^{-1}$. O motor é comandado por uma placa de circuito integrado em que as rotações são reguladas por dois potenciômetros (ajuste macro e fino) e mostradas pelo tacômetro digital (Figura 65).

5.2.5 Sistema de condução de água saturada com ar

O sistema consiste em mangueiras de poliuretano que resistem alta pressão (até 15 atm), registros de esfera (Figura 66) e tês (Figura 67) de conexão rápida, empregados em sistemas pneumáticos.

Figura 65 - Painel de Comando

Figura 66 – Registro de Esfera Fechado

Figura 67 – Tê e Registro de Esfera Conectados

Para efetuar a conexão das mangueiras das peças (registro, tê), devem ser feitos os movimentos (1 e 2) indicados na Figura 68: empurrar o anel azul (2) do registro, por exemplo, e introduzir a ponta mangueira firmemente (1). Para desconectar devem ser feitos os movimentos (3 e 4): empurrar o mesmo anel (3) e retirar a mangueira (4).

Figura 68 – Conexão e Desconexão da Mangueira no Registro

5.2.6 Sistema de condução de ar

Este sistema utiliza os mesmos elementos do sistema de condução de água saturada com ar. Para a manutenção da pressão na câmara de saturação foi prevista uma válvula reguladora de pressão (Figura 49). O ar proveniente do compressor, dotado ou não de reservatório, é conduzido à entrada dispositivo (Figura 71 – seta 1) e a pressão pode ser, assim, controlada por um registro (Figura 71 – seta 2). Na saída deste, há um tê (Figura 71 – seta 4) no qual se divide o fluxo de ar, tanto para a saturação, quanto para a manutenção da pressão desejada na câmara de saturação durante a recirculação do ensaio de flotação.

5.2.7 Operação do equipamento em um ensaio típico de flotação

Primeiramente, é necessário verificar se a tensão da rede elétrica local é compatível com a do equipamento. Também, devem ser feitas as conexões das mangueiras de fornecimento de ar e água clarificada ao equipamento (Figura 69, setas 1a e 1b, respectivamente).

O primeiro passo para a realização de um ensaio de coagulação, floculação e flotação é a saturação da água de recirculação com ar, dissolvendo-o em pressão superior à atmosférica e a caracterização da água de estudo quanto aos parâmetros pertinentes de interesse. A pressurização deve ser feita na seguinte sequência (Figuras 69 a 74, setas 1 a 12 – Passos 1 a 4):

Passo 1: encher a câmara com água clarificada mantendo os registros (7) e (10) abertos e os registros (5), (8) e (9) fechados; quando atingir o nível indicado (12), fechar os registros (7) e (10);

Passo 2: ligar o compressor de ar e regular a pressão pouco acima da desejada na câmara de saturação utilizando o registro (2) e o manômetro (3). Para isso, é necessário girar o registro (2) no sentido horário e, para mantê-lo inalterado, basta deslocá-lo para baixo (6);

Passo 3: abrir gradativa e totalmente o registro (9). Para atingir a pressão desejada no interior da câmara, utilizar o registro (10) para regulação mais precisa e o manômetro (11); saturar a água pelo tempo desejado (aproximadamente 10 min);

Passo 4: fechar simultaneamente os registros (9) e (10) e abrir o (5) ao final do tempo de saturação; este último tem como função manter a pressão inalterada no interior da câmara durante a recirculação da água saturada;

Passo 5: levantar as hastes dos agitadores e encher gradativamente, até a marca de 2 L, os 3 jarros com pequenas porções de água de estudo (Figura 70) previamente aquecidas ou resfriadas para garantir a homogeneidade da água contida em cada um dos jarros. A fixação da temperatura é importante, pois ensaios com uma mesma água sob condições diferentes de temperatura podem conduzir a resultados diferentes.

Figura 69 – Conexões de Ar e Água Clarificada

Figura 70 – Sequência de Enchimento dos Jarros em Porções de Água de Estudo

Figura 71 – Detalhe da Abertura do Registro de Ar Durante a Recirculação

Figura 72 – Detalhe da Entrada de Ar, Entrada de Água Clarificada e Saída de Água Saturada com Ar

Figura 73 – Detalhe do Topo da Câmara de Saturação

Figura 74 – Nível de Água na Câmara de Pressurização

Passo 6: é extremamente importante eliminar as bolhas e pequenas bolsas de ar que possam existir na base do jarro de flotação, pois a permanência das mesmas irá afetar a distribuição da água saturada com ar durante a recirculação; isto pode ser feito, quando o volume de cada jarro atingir um quarto do volume total, inclinando o jarro para que ocorra a expulsão do ar.

A pressurização das mangueiras condutoras de água saturada deve ser feita conforme as Figuras 75 e 76, Passos 7 e 8):

Passo 7: conectar a mangueira de condução e distribuição de água saturada utilizando os “tês”, preenchendo-a com água saturada com ar abrindo o registro (1);

Passo 8: efetuar o descarte de pequena parcela de água saturada pelo registro (2) para manter a mangueira de distribuição pressurizada até a entrada de todos os jarros de flotação;

Figura 75 – Mangueira de Condução de Água Saturada na Saída da Câmara de Pressurização

Figura 76 – Detalhe do Registro de Descarte de Água Saturada do Sistema

A seguir é descrito procedimento para a realização do ensaio de coagulação, floculação e flotação:

Passo 9: ligar o equipamento e ajustar a rotação para cerca de 100 rpm;

Passo 10: adicionar, conforme a necessidade, alcalinizante ou acidificante utilizando os recipientes apropriados posicionados na parte posterior do equipamento;

Passo 11: dosar o coagulante nos recipientes apropriados localizados na parte frontal do equipamento (Figura 79);

Passo 12: ajustar a rotação do equipamento correspondente ao gradiente de velocidade médio de mistura rápida (Figura 80) e colocar o suporte de dosagem de coagulante na parte superior do equipamento (Figura 78);

Passo 13: acionar o cronômetro simultaneamente à adição do coagulante;

Passo 14: reduzir a rotação do equipamento para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio de floculação (Figura 81) após o tempo de mistura rápida;

Passo 15: desligar a agitação e suspender as hastes dos agitadores e abrir os registros dos jarros de flotação imediatamente (seqüência de abertura a ser utilizada após o tempo de floculação: abrir o registro do jarro do meio e, em seguida, dos demais – Figura 82), para a aplicação da água de recirculação com a taxa (R) prevista (ver Figuras 85, 86 e 87); terminada a recirculação, acionar o cronômetro; a quantidade de água de recirculação a ser introduzida em um jarro é calculada em função do volume do mesmo (2000 mL). Se a taxa (R) for de 10%, será introduzido um volume de 200 mL de água saturada com ar. Sabendo-se a área de um jarro (115x115 mm), pode ser calculada a altura ($h_{R=10\%}$) correspondente ao volume de água a ser introduzido: $h_{R=10} = 200/(11,5 \times 11,5) = 1,5$ cm. Essa altura pode ser identificada na face frontal do jarro acima do nível de água (NA_i) correspondente ao volume de 2000 mL (Figura 77); o cálculo para outras taxas segue o mesmo procedimento; recomenda-se a taxa mínima de recirculação de água saturada com ar igual a 5 %;

Passo 16: descartar a água por 2 s e iniciar a coleta das amostras utilizando os recipientes do suporte coletor com o movimento indicado na Figura 84 para o tempo correspondente às velocidades ascensionais desejadas; no ensaio de flotação, o ponto de coleta é o indicado na Figura 83, situado a 12 cm da base do jarro. Assim, o tempo de coleta (T_c) correspondente às velocidades ascensionais (VA) desejadas pode ser calculado pela equação 18.

$$T_c(\text{min}) = \frac{12 \text{ (cm)}}{VA \text{ (cm/min)}} \quad (18)$$

Exemplo: Para $VA = 10 \text{ cm/min}$ resulta $T_c = 1,2 \text{ min}$ (1min12s); como o tempo de coleta de amostra de água flotada deve ser de 20 s, inicia-se a coleta com 1min02s (descarte com 1min00s) e termina-se com 1min22s.

Passo 17: efetuar leitura dos parâmetros (turbidez e cor aparente remanescentes, etc) e, se necessário, preservar as amostras.

Figura 77 – Vista Frontal do Jarro Indicando as Alturas de Água de Recirculação Acima do Nível de Água Inicial (NAi)

Figura 78 – Suporte para Dosagem de Coagulante

Figura 79 – Dosagem de Coagulante Utilizando Pipeta Volumétrica

Figura 80 – Mistura Rápida

Figura 81 – Mistura Lenta ou Floculação

Figura 82 – Abertura dos Registros para Efetuar a Recirculação

Figura 83 – Ponto de Coleta para a Flotação

Figura 84 – Movimento para Início da Coleta de Amostras

Figura 85 – Aplicação da Água de Recirculação com a Taxa Prevista

Figura 86 – Fim da Recirculação e Início da Clarificação do Subnadante

Figura 87 – Formação da Camada de Lodo na Superfície e Clarificação do Subnadante

5.2.8 Procedimentos adicionais: filtração após flotação

Dentre as diferentes tecnologias de tratamento existentes, a flotação seguida da filtração pode ser uma alternativa viável para o tratamento de água com determinadas características. Em laboratório, a Floto-Filtração pode ser feita utilizando-se um kit de 3 filtros desenvolvido por DI BERNARDO et al. (2001) acoplado ao Floteste em posição que as saídas dos jarros descarreguem exatamente no interior de cada filtro, como mostram as Figuras 88 e 89.

Figura 88 – Kit de Filtros de Laboratório com Meio Filtrante de Areia Acoplados ao Floteste

Figura 89 – Saída da Água Flotada e Entrada na Bateria de Filtros

O filtro construído em acrílico transparente DN 25 possui diâmetro interno de 19 mm e um “cap” na parte inferior. A espessura do meio filtrante é de 15 cm.

A vazão de filtração deve ser da ordem de 12 a 20 mL/min (ou cm^3/min), correspondendo às taxas de 60 e 100 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, respectivamente (Tabela 9). Considerando que a altura do ponto de coleta de água flotada com relação ao NA_i é de $h = 3 \text{ cm}$ e, somando-se as alturas correspondentes à introdução de água de recirculação (h_R), a Tabela 10 indica os possíveis tempos de coleta em função da taxa de filtração.

Tabela 9 – Vazões e respectivas taxas de filtração

Vazão (mL/min ou cm^3/min)	Taxa de Filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$)
12	61
14	71
16	81
18	91
20	102

Tabela 10 – Tempos de filtração em função das vazões de filtração e taxas de recirculação

R (%)	Altura Total de Água Acima do Ponto de Coleta de Água flotada: $h + h_R$ (cm)	Volume Total de Água Acima do Ponto de Coleta de Água flotada: $v + v_R$ (cm ³)	Tempo de Filtração (min) em Função da Vazão de Filtração (cm ³ /min)				
			12	14	16	18	20
5	$3,0 + 0,8 = 3,8$	$397 + 106 = 503$	42	36	32	30	25
8	$3,0 + 1,2 = 4,2$	$397 + 159 = 556$	46	40	35	31	28
10	$3,0 + 1,5 = 4,5$	$397 + 198 = 595$	50	43	37	33	30
15	$3,0 + 2,3 = 5,3$	$397 + 304 = 701$	58	50	44	39	35
20	$3,0 + 3,0 = 6,0$	$397 + 397 = 794$	66	57	50	44	40

Durante a filtração, a taxa ou vazão de filtração foi controlada manualmente. Foi preciso baixar o suporte de saída de amostra de água flotada (Figura 84) e monitorar com uma proveta a vazão desejada durante todo o tempo de filtração na saída do filtro (Figura 87). A capacidade volumétrica da proveta deverá ser compatível ao volume indicado na Tabela 9 durante o tempo de um minuto. O meio filtrante de areia pode ser de diferentes granulometrias, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Granulometria da areia

Tipo de Areia	Faixa de Tamanho
A	0,297 a 0,42 mm
B	0,42 a 0,84 (*) mm
C	0,59 a 1,41 mm

(*) utilizado na Filtração Direta

Figura 90 – Grãos de Diferentes Areias

Para efetuar a coleta simultânea das amostras, recipientes apropriados devem ser posicionados como mostra a Figura 92. Por exemplo, para um tempo de filtração de 20 minutos, o início da coleta deve ser efetuado com 19 minutos e terminado com 21 minutos, ou, se insuficiente, coletar até ser obtido volume suficiente para serem feitas as leituras de cor, turbidez, absorvância, etc.

Passo 18: preparo da areia: colocar a areia em um béquer e adicionar água destilada até que fique submersa; com um bastão de vidro, inclinar o béquer com a mão e mexer continuamente a areia (Figura 93);

Figura 91 – Saída do Filtro

Figura 92 – Coleta da Amostra Filtrada

Passo 19: colocar a areia nos filtros utilizando um funil adicionando-se simultaneamente água destilada. Em seguida, padronizar a compactação da areia para evitar formação de vazios ou bolsas de ar. Esta compactação deve ser feita segurando o filtro na parte superior e batendo levemente o fundo do filtro (cap) com um bastão de vidro (Figura 94). Verificar a espessura do meio filtrante que deverá ser de 15 cm, e se a posição de saída do filtro é superior ao topo do meio filtrante para que fique sempre submerso (Figura 95). As posições de saída da água filtrada dos 3 filtros deverão estar em um mesmo nível;

Passo 20: fixar os filtros nas respectivas posições do suporte compatibilizando a distância entre a saída da água flotada do jarro e a entrada da mesma ao filtro. Para isso, recomenda-se o uso de funis. As posições de saída da água flotada dos 3 jarros deverão estar em um mesmo nível;

Passo 21: enquanto a filtração acontece, deve-se monitorar continuamente a vazão de água filtrada, ajustando a posição do suporte de saída de modo que a taxa de filtração seja constante ao longo do tempo. Como citado anteriormente, o controle da vazão pode ser feito manual ou automaticamente;

Passo 22: coletar as amostras filtradas nos tempos desejados e, julgando-se conveniente, anotar o nível de água no filtro;

Passo 23: fazer as leituras pertinentes como turbidez, cor aparente, absorvância, contagem de partículas, etc.

Passo 24: ao final do ensaio, a areia deve ser limpa e pode ser feita utilizando-se um béquer.

Retira-se a areia do filtro utilizando-se uma pisceta com água destilada e disposta em um béquer. Com um bastão de vidro, deve-se fazer movimentos circulares intensos na areia de modo a remover as impurezas nela adsorvidas (Figura 93).

Passo 25: a areia limpa de cada filtro deve ser guardada submersa em água destilada (ou seca) em pequenos recipientes (Figura 90) que não permitam a entrada de luz para que, em um próximo ensaio, com as condições de compactação padronizadas, seja utilizada a mesma quantidade (equivalente a 15 cm de espessura de meio filtrante).

No fluxograma da Figura 96a e 96b são esquematizados os resumos das etapas para execução de ensaios em e Floteste.

Figura 93 – Limpeza da Areia

Figura 94 – Compactação da Areia no Filtro

Figura 95 – Diferentes Níveis de Água no Interior do Filtro

5.2.9 – Resumo das etapas de ensaio em Floteste

Figura 96a – Fluxograma Referente às Etapas do Ensaio no Floteste

Figura 96b – Fluxograma Referente às Etapas de Ensaio no Floteste (Continuação)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Apresentação dos resultados

A seguir é feita uma descrição do conteúdo de cada anexo para melhor entendimento da discussão dos dados. Os dados referentes à água Tipo I estão nos anexos A ao I e, à água Tipo II nos anexos J ao N. Nas Tabelas 12 e 13 são mostrados os principais resultados obtidos nos ensaios com as águas Tipo I e II, respectivamente.

ANEXO A: resultados referentes à caracterização da água Tipo I;

ANEXO B: resultados da série I com a construção dos diagramas de coagulação;

ANEXO C: resultados da série II com a reprodução do par de valores “dosagem de coagulante x pH de coagulação” obtido na série I;

ANEXO D: resultados da série III com o estudo dos parâmetros da mistura rápida, tempo e gradiente médio de velocidade;

ANEXO E: resultados da série IV com o estudo dos parâmetros da floculação, tempo e gradiente médio de velocidade;

ANEXO F: resultados da série V com o estudo de diferentes pressões de saturação;

ANEXO G: resultados da série VI com o estudo da influência do tempo de saturação;

ANEXO H: resultados da série VII com o estudo de diferentes taxas de recirculação;

ANEXO I: resultados da série VIII com o estudo da floto-filtração;

ANEXO J: resultados referentes à caracterização da água Tipo II;

ANEXO K: resultados da série IX com o estudo de diferentes gradientes de velocidade da mistura rápida;

ANEXO L: resultados da série X com o estudo de diferentes tempos de floculação;

ANEXO M: resultados da série XI com o estudo de diferentes taxas de recirculação;

ANEXO N: resultados da série XII com o estudo da floto-filtração.

TABELA 12 – Série de ensaios referentes à água Tipo I

Série	Descrição	Parâmetros Estudados	Resultados
	Caracterização da Água Tipo I	Número de algas, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, alcalinidade total e número de partículas ($> 2 \mu\text{m}$)	ANEXO A
I	Construção dos Diagramas de Coagulação para Remoção de Algas, Cor Aparente e Turbidez	DSA = 20 a 70 mg/L, DHS = zero a 15 mg/L, DAC = zero a 21 mg/L, Tmr = 10 s, Gmr = 1000 s ⁻¹ , Tf = 10 min, Gf = 25 s ⁻¹ , Tsat = 8 min, P = 400 kPa, R = 10%, VA = 5 e 10 cm/min	ANEXO B DSA = 50 mg/L DHS = zero DAC = zero pH de coagulação = 6,80
II	Reprodução do Par de Valores “pH de Coagulação x Dosagem de Coagulante”	DSA = 50 mg/L Tmr = 10 s, Gmr = 1000 s ⁻¹ , Tf = 10 min, Gf = 25 s ⁻¹ , Tsat = 8 min, P = 400 kPa, R = 10%, VA = 5 e 10 cm/min	ANEXO C pH = 6,84 $\pm$ 0,01
III	Otimização dos Parâmetros da Mistura Rápida, Tmr e Gmr	DSA = 50 mg/L Tmr = 5, 10, 15, 20, 30 e 45 s, Gmr = 400, 600, 800, 1000 e 1200 s ⁻¹ , Tf = 10 min, Gf = 25 s ⁻¹ , Tsat = 8 min, P = 400 kPa, R = 10 % VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min	ANEXO D Tmr = 10 s Gmr = 1000 s ⁻¹
IV	Otimização dos Parâmetros da Floculação, Tf e Gf	DSA = 50 mg/L Tmr = 10 s, Gmr = 1000 s ⁻¹ , Tf = 5, 10, 15 e 20 min, Gf = 20, 25, 30, 40, 60 e 90 s ⁻¹ , Tsat = 8 min, P = 400 kPa, R = 10 % VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min	ANEXO E Tf = 10 min Gf = 25 s ⁻¹
V	Otimização dos Parâmetros da Flotação, P	DSA = 50 mg/L, Tmr = 10 s, Gmr = 1000 s ⁻¹ , Tf = 10 min, Gf = 25 s ⁻¹ , P = 300, 400 e 500 kPa, Tsat = 8 min, R = 10 %, VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min	ANEXO F P = 400 kPa
VI	Otimização dos Parâmetros da Flotação, Tsat	DSA = 50 mg/L, Tmr = 10 s, Gmr = 1000 s ⁻¹ , Tf = 10 min, Gf = 25 s ⁻¹ , Tsat = 3, 8 e 15 min, P = 400 kPa, R = 10 % VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min	ANEXO G Tsat = 8 min
VII	Otimização dos Parâmetros da Flotação, R	DSA = 50 mg/L, Tmr = 10 s, Gmr = 1000 s ⁻¹ , Tf = 10 min, Gf = 25 s ⁻¹ , Tsat = 8 min, P = 400 kPa, R = 5, 10, 15 e 20 % VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min	ANEXO H R = 20 %
VIII	Floto-Filtração	DSA = 50 mg/L, Tmr = 10 s, Gmr = 1000 s ⁻¹ , Tf = 10 min, Gf = 25 s ⁻¹ , Tsat = 8 min, P = 400 kPa, R = 20 % VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min Areia Tipo A (grãos de 0,297 a 0,42 mm) Areia Tipo B (grãos de 0,42 a 0,84 mm) Areia Tipo C (grãos de 0,59 a 1,41 mm) Espessura do meio filtrante = 15 cm	ANEXO I Areia Tipo A

TABELA 13 – Série de ensaios referentes à água Tipo II

Série	Descrição	Parâmetros Estudados	Resultados
	Caracterização da Água Tipo II	Número de algas/L, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, alcalinidade e dureza total, número de partículas/L ($> 8 \mu\text{m}$), condutividade elétrica, potencial zeta, cloretos, sulfatos, nitratos, nitritos, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, sódio, potássio, fósforo total, fluoretos, carbono orgânico total, cloíformes fecais e totais, zinco, chumbo, cádmio, níquel, ferro, manganês, cobre, cromo, cálcio, magnésio, oxigênio consumido e absorvância	ANEXO J Principais gêneros de algas predominantes observados em ordem decrescente: <i>Aulacoseira</i> <i>Chlorella</i> <i>Chlorococcum</i> Diatomáceas
IX	Influência do Gradiente Médio de Velocidade da Mistura Rápida na Flotação	DSA = 50 mg/L DHS = zero DAC = 4,5 mg/L Tmr = 10 s, Gmr = 800, 1000 e 1200 s^{-1} , Tf = 10 min, Gf = 20 s^{-1} Tsat = 8 min, P = 400 kPa, R = 10 % VA = 15, 10, e 5 cm/min	ANEXO K Gmr = 1000 s^{-1}
X	Influência do Tempo de Floculação na Flotação	DSA = 50 mg/L DAC = 4,5 mg/L Tmr = 10 s, Gmr = 1000 s^{-1} , Tf = 5, 10 e 15 min, Gf = 20 s^{-1} , Tsat = 8 min, P = 400 kPa, R = 10 % VA = 15, 10, e 5 cm/min	ANEXO L Tf = 10 min
XI	Influência da Taxa de Recirculação na Flotação	DSA = 50 mg/L DAC = 4,5 mg/L Tmr = 10 s, Gmr = 1000 s^{-1} , Tf = 10 min, Gf = 20 s^{-1} , Tsat = 8 min, P = 400 kPa, R = 5, 10 e 15 % VA = 15, 10, e 5 cm/min	ANEXO M R = 15 %
XII	Floto-Filtração	DSA = 50 mg/L DAC = 4,5 mg/L Tmr = 10 s, Gmr = 1000 s^{-1} , Tf = 10 min, Gf = 20 s^{-1} , Tsat = 8 min, P = 400 kPa, R = 15 % VA = 15, 10, e 5 cm/min Areia Tipo A (grãos de 0,297 a 0,42 mm) Areia Tipo B (grãos de 0,42 a 0,84 mm) Areia Tipo C (grãos de 0,59 a 1,41 mm) Espessura do meio filtrante = 15 cm	ANEXO N Areia Tipo A

6.2 Discussão referente aos ensaios com a água Tipo I

6.2.1 Considerações sobre as características da água

A concentração de algas na água Tipo I manteve-se da ordem de 10^8 ind/L (entre $6,347 \times 10^8$ e $9,796 \times 10^8$ ind./L) como desejado inicialmente, a turbidez entre 40 e 58 uT, cor verdadeira entre 80 e 101 uC e cor aparente entre 510 e 866 uC durante a realização dos ensaios (ver Anexo A). Quando a água apresenta tais características, como concentração elevada de algas em suspensão e cor verdadeira alta comparada à turbidez relativamente alta,

a flotação por ar dissolvido mostra-se como uma das técnicas de tratamento mais efetiva para sua clarificação, sempre que a turbidez não seja relativamente elevada.

Na observação em microscópio, as algas do gênero *Chlorella* apresentavam-se, geralmente, isoladas ou em pequenos grupos de duas a 10 células. Foram medidas células com tamanho entre 8 e 12 μm .

A alcalinidade da água pode ser considerada moderada pois variou de 34 a 46 mg de CaCO_3/L e, provavelmente, contribuiu para a obtenção da dosagem de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) de 50 mg/L. A variação do pH da água Tipo I foi de 7,60 a 7,89 e não contribuiu para a alteração, após a adição de sulfato de alumínio, do pH de coagulação.

A variação do número total de partículas foi de $2,324 \times 10^7$ a $2,646 \times 10^7$ part./L. Esta determinação foi importante para monitorar a variação da quantidade de partículas, dentre as quais as algas, durante a realização dos ensaios.

6.2.2 Série I: construção dos Diagramas de Coagulação

Foram feitos 27 ensaios que proporcionaram a obtenção de 89 pares de valores “dosagem de coagulante x pH de coagulação”, cada qual associado a valores de turbidez, cor aparente e número de algas remanescente, apresentados nas Tabelas 22 a 43, **Anexo B**. Com base nestes dados, foram traçadas curvas de mesma porcentagem remanescente do número de algas, turbidez e cor aparente para as velocidades ascensionais de 10 e 5 cm/min.

As Figuras 99, 101 e 103, apresentadas no ANEXO B, ilustram os diagramas de coagulação contendo as curvas de mesmo número de algas/L, turbidez e cor aparente remanescente, respectivamente, para a velocidade ascensional de 10 cm/min. Duas regiões bem definidas apresentaram resultados satisfatórios na remoção do número de algas na Figura 99. A primeira está compreendida entre as dosagens de coagulante de 40 e 55 mg/L e valores de pH de coagulação entre 6,5 e 7,4 em que a porcentagem do número de algas/L foi inferior a 0,5 %. A segunda, também com valores remanescentes iguais ou inferiores a 0,5%, situou-se entre as dosagens de sulfato de alumínio de 25 e 35 mg/L e valores de pH de coagulação entre 6,1 e 7,0.

Na Figura 101, a região 1 assemelhou-se à obtida na Figura 99, com valores de turbidez remanescente iguais ou inferiores a 2 %, enquanto a região 2 não se caracterizou. Na Figura 103, a curva correspondente a 2 % se assemelhou à obtida na Figura 99 para valores de dosagem de coagulante iguais ou superiores a 45 mg/L e pH de coagulação iguais ou superiores a 6,5. Esta curva, provavelmente, convergiria para dosagens de coagulante superiores a 80 mg/L e pH de coagulação até 8.

Nas Figuras 100, 102 e 104, também apresentadas no Anexo B, são mostrados os diagramas de coagulação contendo as curvas de mesmo número de algas/L, turbidez e cor aparente remanescente, respectivamente, para a velocidade ascensional de 5 cm/min. O ponto escolhido situou-se na região em que a remoção do número de algas é inferior a 0,5 % do número de algas/L remanescente e inferior a 2 % da turbidez e cor aparente remanescente. Em 35 pontos do diagrama, correspondente à remoção de algas, foi constatada a ausência do gênero de algas *Chorella*.

A análise destas regiões foi essencial para a escolha de um par de valores “dosagem x pH de coagulação” com remoção simultânea do número de algas, turbidez e cor aparente considerada satisfatória, e preferivelmente, sem adição de alcalinizante ou acidificante, uma vez que a dosagem destes pode dificultar a reprodutibilidade do pH de coagulação e dos valores remanescentes dos parâmetros em ensaios subsequentes. A dosagem de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) foi de 50 mg/L e o pH de coagulação de 6,80 (ponto indicado nas Figuras 99, 101 e 103). Na Tabela 14 são mostrados os resultados referentes a este par de valores. Vale ressaltar que, em todos os resultados, foi computado o efeito da diluição por meio da introdução de água potável do sistema de abastecimento do Laboratório de Saneamento. Esta água de recirculação é proveniente do poço artesiano do Campus da EESC/USP, com as características mostradas na Tabela 15.

Ainda foi constatado que os pontos vizinhos ao escolhido apresentaram resultados semelhantes, assim, uma pequena variação do pH de coagulação pode ser admitida na execução dos ensaios subsequentes.

TABELA 14 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao par de valores escolhido

VA (cm/min)	pH	Ind/L	% Ind/L (N/No).100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)*100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)*100%
10	6,80	$1,956 \cdot 10^6$	0,3	0,9	1,8	11	1,7
5	6,80	$1,956 \cdot 10^6$	0,3	0,8	1,7	10	1,6

TABELA 15 – Resultados da contagem de partículas, turbidez, cor aparente e pH da água de recirculação proveniente do sistema de abastecimento do laboratório de saneamento da EESC/USP

Tamanho das Partículas (μm)							
2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30
$6 \text{ a } 29 \cdot 10^3$	$5 \text{ a } 18 \cdot 10^3$	$1 \text{ a } 6 \cdot 10^3$	Zero a $4 \cdot 10^3$	$1 \text{ a } 10 \cdot 10^3$	Zero a $6 \cdot 10^3$	Zero a $4 \cdot 10^3$	Zero a $5 \cdot 10^3$
Turbidez < 0,17 uT			Cor aparente < 1 uC			$6,4 < \text{pH} < 6,5$	

Para dosagens de sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) entre 45 e 65 mg/L e pH entre 6,5 a 7,2, foram obtidos consistentemente valores de turbidez remanescente inferiores a 1,5 uT e de cor aparente remanescente inferiores a 20 uC. A porcentagem de remoção do número de algas por litro foi superior a 99,0%, sendo que, em 14 pontos do diagrama da Figura 99, foi detectada a ausência de algas do gênero *Chlorella* nas amostras verificadas em microscópio.

6.2.3 Série II: reprodução do par de valores “pH de Coagulação x Dosagem de Coagulante” escolhido na Série I

Para a validação estatística e confirmação dos valores de pH de coagulação e do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes obtidos no item anterior, foi feito um ensaio utilizando-se, simultaneamente, os três jarros de flotação com a mesma dosagem de 50 mg/L ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) e condições de mistura rápida, floculação e flotação utilizados na Série I. Os resultados são apresentados no Anexo C, Tabelas 44 a 50, e representados graficamente nas Figuras 105 a 108. Para $VA = 10$ cm/min, resultou pH de coagulação de $6,84 \pm 0,01$ e porcentagens do número de algas remanescente que reproduziram os valores obtidos no item anterior (pH = 6,80 e 0,3 % do número de algas). Os valores de turbidez e cor aparente remanescentes foram ligeiramente superiores aos obtidos no item anterior ($2,8 \pm 0,2$ % e $2,2 \pm 0,2$ %). Para a velocidade de 5 cm/min, foi obtido o número remanescente de algas, mas a cor aparente e turbidez foram ligeiramente melhores. Os dados referentes à contagem de partículas mostraram-se semelhantes (ver Tabelas 49 e 50 e Figuras 107 e 108), resultando valores remanescentes de $1,85 \pm 0,15$ %. A partir do presente item, foi feita a contagem de partículas de todas as amostras coletadas.

6.2.4 Série III: influência dos parâmetros da mistura rápida (T_{mr} e G_{mr}) na eficiência da flotação

Os resultados da otimização dos parâmetros da mistura rápida são apresentados no Anexo D, Tabelas 51 a 83, e representados graficamente nas Figuras 109 a 130. O tempo e o gradiente médio de velocidade de mistura rápida que forneceram os menores valores remanescentes do número de algas (parâmetro decisivo na escolha), turbidez e cor aparente foram 10 s e 1000 s^{-1} , para a velocidade ascensional de 15 cm/min. Para as velocidades de 15 e 10 cm/min foi observado que, quanto menor o tempo de agitação (exceto para 5 s) e maior gradiente de velocidade (exceto 1200 s^{-1}), menores foram as porcentagens remanescentes do

número de algas e turbidez. Para as demais velocidades observou-se menores valores remanescentes de algas para o tempo de agitação entre 5 e 15 s e gradiente entre 400 e 1000 s^{-1} . Os valores de turbidez remanescente foram semelhantes para velocidades menores ou iguais a 10 cm/min. Foram constatados menores valores remanescentes de cor aparente para valores menores tempos de agitação, principalmente entre 10 e 15 s, e maiores valores de gradiente (exceto 1200 s^{-1}) para as quatro velocidades ascensionais. Os resultados da contagem de partículas também indicaram a tendência de maior remoção do número de partículas para 10 s e 1000 s^{-1} , para o tamanho de partículas entre 6 e 30 μm em que está compreendido o tamanho da alga do gênero *Chlorella* (ver Figura 33).

6.2.5 Série IV: influência dos parâmetros da floculação (Tf e Gf) na eficiência da flotação

Os resultados da otimização dos parâmetros da floculação são apresentados no Anexo E, Tabelas 84 a 122, e representados graficamente nas Figuras 131 a 154. O tempo e o gradiente médio de velocidade de floculação que forneceram os menores valores remanescentes do número de algas (parâmetro decisivo na escolha), turbidez e cor aparente foram 10 min e 25 s^{-1} , para a velocidade ascensional de 15 cm/min. Foi observada a tendência de maior remoção de algas para menores tempos (exceto para 5 min) e gradientes de floculação (exceto para 20 s^{-1}) nas quatro velocidades ascensionais estudadas. Isto pode ser observado também para valores remanescentes de turbidez para 15 e 10 cm/min, enquanto que, para as demais velocidades, foram obtidos valores semelhantes. Foram obtidos valores semelhantes de cor aparente remanescente entre 25 e 40 s^{-1} e para tempos de floculação maiores que 10 min para 15 e 10 cm/min, enquanto que, para as demais velocidades, foram obtidos resultados semelhantes. Foram constatados menores valores remanescentes de partículas (< 1 %) entre 25 e 40 s^{-1} para 10 min de floculação nas faixas tamanho entre 10 e 30 μm .

6.2.6 Série V: influência dos parâmetros da flotação – pressão de saturação (P)

O ensaio referente ao estudo da influência da pressão na câmara de saturação na flotação foi feito simultaneamente nos três jarros. Os resultados são apresentados no Anexo F, Tabelas 123 a 143, e representados graficamente nas Figuras 155 a 172. O valor da pressão que forneceu os menores valores remanescentes do número de algas (parâmetro

decisivo na escolha), cor aparente e turbidez foi de 400 kPa para as velocidades ascensionais de 15, 10, 7,5 e 5 cm/min. Os maiores valores remanescentes destes parâmetros foram produzidos nos ensaios com pressão de 300 kPa, enquanto que nos de 500 kPa, somente os valores remanescentes de turbidez foram semelhantes aos obtidos com a pressão de 400 kPa, para as quatro velocidades ascensionais estudadas. Os resultados da contagem de partículas também indicaram a tendência de maior remoção do número de partículas para a pressão 400 kPa em que foram obtidos resultados similares para o tamanho de partículas entre 8 e 30 μm .

6.2.7 Série VI: influência dos parâmetros da flotação – tempo de saturação (Tsat)

O ensaio referente ao estudo da influência do tempo de saturação na flotação foi feito simultaneamente nos três jarros. Os resultados são apresentados no **Anexo G**, Tabelas 144 a 164, e representados graficamente nas Figuras 173 a 190. O valor do tempo de saturação que forneceu os menores valores remanescentes do número de algas (parâmetro decisivo na escolha), turbidez e cor aparente foi de 8 min, para as velocidade ascensionais estudadas. O tempo de saturação de 3 min mostrou ser insuficiente para produzir resultados satisfatórios. Entretanto, o tempo maior de saturação, como 15 min, não necessariamente produziria os melhores resultados. Pelo contrário, somente os valores remanescentes de turbidez foram semelhantes aos obtidos com o tempo de 8 min, enquanto que, os valores dos demais parâmetros de controle foram piores, principalmente o número remanescente de algas. Os resultados da contagem de partículas indicaram a tendência de maior remoção do número de partículas para os tempos de saturação de 8 e 15 min em que foram obtidos resultados similares para o tamanho de partículas entre 4 e 30 μm .

6.2.8 Série VII: influência dos parâmetros da flotação – taxa de recirculação (R)

Os resultados do estudo da influência de diferentes taxas de recirculação na flotação são apresentados no **Anexo H**, Tabelas 165 a 191, e representados graficamente nas Figuras 191 a 210. O valor da taxa de recirculação que forneceu os menores valores remanescentes do número de algas (parâmetro decisivo na escolha), turbidez e cor aparente foi de 20 %, para a velocidade ascensional de 15 cm/min. Os resultados da contagem de partículas também indicaram a tendência de maior remoção do número de partículas para as taxas de 15 e 20 % em que foram obtidos resultados similares.

Vale ressaltar que, as porcentagens remanescentes do número de algas e turbidez foram bastante satisfatórias para as taxas de 10 e 15 %. No ensaio com 20 % de recirculação, a remoção ligeiramente superior destes parâmetros tiveram influência, possivelmente, da introdução de um volume maior de água de recirculação. O número de partículas e a cor aparente foram consideravelmente inferiores, comparados aos obtidos com $R = 10\%$. A taxa de 15 % poderia ter sido escolhida, entretanto, foi constatada a ausência mais consistente do número de algas para as velocidades ascensionais mais baixas, 7,5 e 5 cm/min, com 20 % de recirculação.

6.2.9 Série VIII: floto-filtração

Com os parâmetros de mistura rápida ($T_{mr} = 10\text{ s}$ e $G_{mr} = 1000\text{ s}^{-1}$), floculação ($T_f = 10\text{ min}$ e $G_f = 25\text{ s}^{-1}$) e flotação ($P = 400\text{ kPa}$, $T_{sat} = 8\text{ min}$ e $R = 20\%$) selecionados, foi feito o ensaio de flotação seguida de filtração em areia observando-se melhores resultados utilizando como meio filtrante grãos de areia entre 0,297 e 0,42 mm (areia Tipo “A”). Tanto o pH de coagulação quanto as porcentagens remanescentes do número de algas, turbidez, cor aparente e número de partículas foram reproduzidos no ensaio de flotação para a velocidade ascensional de 15 cm/min. Para as demais, foram obtidas porcentagens remanescentes ainda menores para os quatro parâmetros citados (Figura 211 apresentada no Anexo I). Cabe ressaltar que, para as duas velocidades mais baixas, foi constatada ausência de algas em todas as amostras.

Os resultados referentes à primeira parte do ensaio, a flotação, são apresentadas no Anexo I, Tabelas 195 a 200, e representados graficamente nas Figuras 211 a 213 e os do estudo da influência de diferentes tamanhos de grãos de areia na filtração encontram-se nas Tabelas 201 a 209, e representados graficamente nas Figuras 214 a 223. Para o tempo médio de filtração de 20 min, foi obtido o menor valor de turbidez para a areia tipo “A” (Figura 215) enquanto que a cor aparente diminuiu continuamente até o tempo médio de filtração de 40 min, em que foi encerrado o ensaio. Para os tipos “B” e “C”, tanto a turbidez quanto a cor aparente reduziram com o tempo.

Com a análise das Figuras 213 e 221 pode ser observado que a remoção de partículas por meio de filtração foi superior à flotação para o tempo médio de filtração de 30 min, utilizando os três tipos de areia, principalmente a areia Tipo “A”. Deveria ser esperada a redução contínua do número de partículas até o tempo médio de filtração de 40 min. Entretanto, foi verificado um ligeiro aumento para este último tempo caracterizando, provavelmente, o início de produção de água de pior qualidade. Entretanto, não isto foi

caracterizado segundo os parâmetros turbidez e cor aparente. Este comportamento pode ser explicado em virtude do volume de água filtrada coletada ser relativamente pequeno. Assim, como são necessárias várias “corridas” no equipamento (de 3 a 4 corridas, cada qual com 3 leituras produzindo uma leitura média da mesma amostra) de modo a obter resultados confiáveis, a leitura no contador de partículas pode ter sido prejudicada.

6.3 Discussão referente aos ensaios com a água Tipo II

6.3.1 Características da água de estudo

Os resultados referentes à caracterização detalhada da água Tipo II são apresentados na Tabela 210 do Anexo J. A concentração de algas foi de 5×10^5 ind./L, tendo sido observados alguns gêneros de algas verdes (*Actinastrum*, *Ankistrodesmus*, *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Micractinium*, *Scenedesmus* e *Microspora*), diatomáceas (*Cyclotella*, *Diatoma*, *Fragilaria*, *Navicula*, *Nitzschia* e *Aulacoseira*) e cianofíceas (*Microcystis* e *Oscillatoria*). Os gêneros de algas com maior ocorrência foram: *Aulacoseira*, *Chlorella* e *Chlorococcum* (ver Tabela 211).

Segundo a NBR-12216 (1992), a água Tipo II poderia ser classificada como Tipo C, baseada principalmente na quantidade de coliformes totais (14136 NMP/100 mL) limitada entre 5000 e 20000 NMP/100 mL pela Norma: “água superficial proveniente de bacia não protegida e que exige coagulação para enquadrar-se nos padrões de potabilidade”.

Dentre os principais parâmetros determinados, a alcalinidade total e o potencial zeta merecem especial atenção. Foram obtidos valores de 71 mg de CaCO_3/L e $-17,1$ mV, respectivamente. A elevada alcalinidade da água de estudo teve papel fundamental na obtenção das dosagens de coagulante e acidificante, como será discutido posteriormente. O valor relativamente elevado do potencial zeta indicou que seria necessário adicionar quantidade maior de coagulante, ou seja, aumentar a força iônica, tendo em vista o grau elevado de estabilidade das partículas com baixa com força iônica.

A quantidade de sólidos totais dissolvidos e o valor da condutividade elétrica (447 $\mu\text{S}/\text{cm}$) também indicam a tendência da presença de partículas com baixa força iônica. Os sólidos totais dissolvidos presentes na água representaram mais de 98 % dos sólidos totais.

O número de partículas foi de $4,720 \times 10^6$ part./L de água de estudo. Como foi feito nos ensaios com a água Tipo I, a contagem de partículas permitiu, juntamente aos demais parâmetros de controle (turbidez, cor aparente e número de algas), estudar com maior

profundidade a influência das condições de mistura rápida e floculação na eficiência da flotação.

6.3.2 Ensaio preliminar

O ensaio preliminar teve por objetivo a obtenção do par de valores “dosagem de sulfato de alumínio x pH de coagulação” para o qual era observada a formação de flocos com tamanho suficiente para sua remoção por flotação e valores de pH de coagulação situados entre 6,2 e 7,5. Foi obtida a dosagem de coagulante de 50 mg/L ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) e pH de coagulação de 7. Entretanto, este par de valores pode não corresponder, necessariamente, à combinação em que há maior remoção do número de algas e dos demais parâmetros. Devido à alcalinidade relativamente alta da água bruta (71 mg/L de CaCO_3), foi necessária a adição de 4,5 mg/L de ácido clorídrico ($\text{C} = 1\text{mg}$ do produto comercial por mL de solução) anteriormente à adição de coagulante, para reduzir o pH da água bruta de 7,96 para cerca de 7,20. Para a realização dos ensaios subsequentes, foi fixado o tempo de mistura rápida em 10 s e o gradiente de velocidade médio de floculação em 20 s^{-1} . Não foi observada a deposição de flocos durante a floculação. Também, foram fixados os valores de pressão de saturação de 400 kPa, tempo de saturação de 8 min e taxa de recirculação de 10 %. As velocidades de flotação consideradas foram de 15, 10 e 5 cm/min.

6.3.3 Série IX: influência do gradiente de velocidade médio de mistura rápida na flotação

Os resultados referentes à influência do gradiente médio de velocidade de mistura rápida são apresentados no Anexo K, Tabelas 213 a 230, e representados graficamente nas Figuras 225 a 242. O gradiente médio de velocidade de mistura rápida que forneceu os menores valores remanescentes do número de algas (parâmetro decisivo na escolha), turbidez e cor aparente foi de 1000 s^{-1} , para a velocidade ascensional de 15 cm/min. Foi verificada a ausência dos gêneros predominantes de algas somente para este valor de gradiente. Os valores de turbidez obtidos foram semelhantes para os três gradientes (800, 1000 e 1200 s^{-1}) nas velocidades ascensionais estudadas (15, 10 e 5 cm/min), enquanto a cor aparente aumentou no sentido da maior agitação e, a absorvância, diminuiu com o aumento da agitação.

Os resultados da contagem de partículas também indicaram a tendência de maior remoção do número de partículas nos ensaios com gradiente de velocidade de 1000 s^{-1} nas

seguintes situações: para partículas com tamanho entre 8 e 32 μm , em que está compreendido o tamanho de segmentos de algas do gênero *Aulacoseira* e *Microspora* e das células de algas do gênero *Chlorella* e *Chlorococcum* (Tabela 211); para partículas com tamanho superior a 160 μm ; considerando o número total de partículas remanescente. Apesar de a alga do gênero predominante, *Aulacoseira*, ter comprimento de até 204 μm , sua contagem depende da maneira com a qual passa pela sonda do contador de partículas, pois esta pode ser feita pelo comprimento total (de 133 a 204 μm), largura (da ordem de 10 μm) ou pelo comprimento de segmentos individuais também observados (12 a 18,8 μm).

6.3.4 Série X: influência do tempo de floculação na flotação

Os resultados da otimização dos parâmetros da floculação são apresentados no Anexo L, Tabelas 231 a 238, e representados graficamente nas Figuras 243 a 248. Os tempos de floculação de 10 e 20 min forneceram resultados similares para valores remanescentes do número de algas (parâmetro decisivo na escolha), turbidez e cor aparente, para as velocidades ascensionais estudadas. Entretanto, somente para o tempo de 10 min, foram verificadas as menores porcentagens remanescentes do número de partículas em todas as faixas de tamanhos (exceto na faixa entre 64 a 96 μm) e no número total de partículas, sendo este o tempo de floculação escolhido. Também, a absorvância diminuiu com o aumento do tempo de floculação.

6.3.5 Série XI: influência da taxa de recirculação na flotação

Os resultados do estudo da influência de diferentes taxas de recirculação na flotação são apresentados no Anexo M, Tabelas 239 a 246, e representados graficamente nas Figuras 249 a 254. Os valores da taxa de recirculação de 10 e 15 % forneceram resultados similares para valores remanescentes do número de algas, turbidez e cor aparente, nas velocidades ascensionais estudadas. Entretanto, somente para a taxa de 15 %, foram verificadas as menores porcentagens remanescentes do número de partículas em todas as faixas de tamanhos (exceto na faixa entre 8 a 16 μm em que foram similares) e no número total de partículas remanescente. Assim, esta taxa de recirculação foi escolhida para ser utilizada nos ensaios subsequentes. Também, a absorvância diminuiu com o aumento da quantidade de ar fornecida.

6.3.6 Série XII: floto-filtração

Com os parâmetros de mistura rápida ($T_{mr} = 10$ s e $G_{mr} = 1000$ s⁻¹), floculação ($T_f = 10$ min e $G_f = 20$ s⁻¹) e flotação ($P = 400$ kPa, $T_{sat} = 8$ min e $R = 10$ %) conhecidos, foram feitos ensaios de flotação nos três jarros do equipamento e, posteriormente, foi feita filtração em que foram obtidos resultados ligeiramente melhores (turbidez, cor aparente e absorvância) utilizando grãos de areia entre 0,297 e 0,42 mm (areia Tipo “A”), principalmente a partir do tempo médio de filtração de 20 min.

Os resultados referentes ao ensaio de flotação são apresentados no Anexo N, Tabelas 250 a 254, e representados graficamente nas Figuras 255 a 260 e os do estudo da influência de diferentes tamanhos de grãos de areia na filtração são apresentados nas Tabelas 255 a 258, e representados graficamente nas Figuras 261 a 263.

Com relação ao ensaio de flotação, as porcentagens remanescentes dos parâmetros estudados foram muito semelhantes para as três velocidades ascensionais. Foi constatada a ausência de algas exceto em uma amostra do jarro número 1 (ver Figura 257). Provavelmente, este resultado pode ser descartado uma vez que a amostra coletada com velocidade ascensional de 15 cm/min pode ter sido contaminada. Quanto à contagem de partículas, com a análise da Figura 256, pode ser observado que os resultados remoção de partículas no primeiro jarro foram mais similares comparando-se aos obtidos com $R = 15$ % no item anterior.

6.4 Comentários sobre o tamanho das microbolhas de ar

Foram feitas algumas tentativas para a estimativa do tamanho das microbolhas de ar geradas no sistema de flotação do Floteste por meio de comparação visual, utilizando-se um conjunto de lentes de aumento acopladas a uma microcâmera (CCD), monitor e reticulado de dimensão de 250 μ m. Com a ampliação máxima obtida, foi possível observar e distinguir as microbolhas umas das outras. Entretanto, é necessário o uso de um equipamento ótico mais potente e de um reticulado com dimensões da ordem de 100 μ m para percepção mais apurada do tamanho da bolha, sem distorções visuais. Devido à grande concentração de microbolhas introduzidas nos jarros de flotação, somente as bolhas da interface de clarificação podiam ser vistas, pois estavam mais dispersas no meio. Com base no que foi observado, pode-se dizer que as bolhas geradas possuíam tamanho máximo inferior à 250 μ m.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Equipamento Floteste

Com base nos estudos realizados com o equipamento projetado e testado, concluiu-se que:

- a) o equipamento de flotação de bancada mostrou-se importante para a execução de estudos visando a remoção de algas presentes em água naturais;
- b) o uso do Floteste permitiu o aprimoramento do estudo das condições de mistura rápida, floculação e flotação, no tratamento de água sintética e natural proveniente de curso d'água eutrofizado.

7.2 Água Tipo I

Em função dos resultados obtidos com a água de estudo Tipo I, concluiu-se, principalmente, que:

- a) a construção e a aplicabilidade dos diagramas de coagulação com vistas à clarificação por flotação é igualmente proveitosa e conveniente na escolha de um ou mais pares de valores “dosagem de coagulante x pH de coagulação”, que proporcionam obter maior remoção de algas, turbidez, cor aparente ou partículas, da mesma maneira com a qual é feita na clarificação por sedimentação;
- b) as condições apropriadas para a coagulação obtidas foram de dosagem de sulfato de alumínio de 50 mg/L ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) e pH de coagulação em torno de 6,8, tendo sido considerada a eficiência de remoção do número de algas, turbidez e cor aparente;
- c) é importante a execução de ensaios que comprovem a reprodutibilidade das condições de coagulação, uma vez que, dependendo das características da água a ser tratada, a variação do pH de coagulação pode conduzir à obtenção de resultados diferentes;

- d) o estudo das condições de mistura rápida mostrou-se importante para a escolha do tempo e gradiente de velocidade médio apropriados, principalmente, no que se refere à remoção das algas, tendo sido obtidos G_{mr} e T_{mr} de, respectivamente, 10 s e 1000 s^{-1} ;
- e) quanto menores o tempo e gradiente de velocidade na mistura rápida, menores foram os valores remanescentes referentes à cor aparente;
- f) o estudo das condições de floculação mostrou-se importante na escolha do tempo e gradiente de velocidade médio no que se refere à remoção das algas, turbidez e cor aparente, tendo sido obtidos G_f e T_f de, respectivamente, 25 s^{-1} e 10 min;
- g) quanto maiores o gradiente de velocidade e o tempo de floculação, maiores foram os valores remanescentes referentes ao número de algas, turbidez, cor aparente e número de partículas;
- h) a variação da pressão na câmara de saturação teve influência na remoção, principalmente, do número de algas e cor aparente por flotação, quando foram mantidos fixos os demais parâmetros;
- i) a variação do tempo de saturação teve influência na remoção, principalmente, do número de algas e cor aparente, quando foram mantidos fixos os demais parâmetros; a pressão de 400 kPa, tempo de saturação de 8 min conduziram a obter melhores resultados;
- j) quanto maior a quantidade de ar fornecida (taxa de recirculação), maior foi a eficiência de remoção dos parâmetros estudados; as taxas de 15 e 20 % tiveram resultados semelhantes, pois a eficiência de remoção dos parâmetros estudados não foi significativamente maior para a taxa mais elevada;
- k) a flotação seguida de filtração utilizando grãos de areia com tamanho de 0,297 a 0,41 mm proporcionou resultados ligeiramente melhores na remoção de turbidez do que os resultados utilizando grãos de areia com tamanho de 0,42 a 0,84 mm e 0,59 a 1,41 mm.

7.3 Água Tipo II

Com base nos resultados obtidos para a água tipo II, concluiu-se que:

- a) para as mesmas condições de temperatura, dosagens de coagulante e de acidificante, tempo de mistura rápida, tempo de pressurização, pressão de saturação e taxa de recirculação, existe um gradiente de velocidade médio de

mistura rápida que conduz a melhores resultados; no presente caso, resultou $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$;

- b) para as mesmas condições de temperatura, dosagem de coagulante e acidificante, tempo de pressurização, pressão de saturação, taxa de recirculação, tempo e gradiente de velocidade médio de mistura rápida, gradiente de velocidade médio de floculação, existe um tempo de floculação que conduz a melhores resultados; neste caso, resultou $T_f = 10 \text{ min}$;
- c) para as mesmas condições de temperatura, dosagem de coagulante e acidificante, tempo e pressão de saturação, tempo e gradiente de velocidade médio de mistura rápida, tempo e gradiente de velocidade médio de floculação, existe uma taxa de recirculação que conduz a melhores resultados; neste caso, resultou $R = 15 \%$;
- d) os resultados das amostras filtradas foram semelhantes para os 3 tipos de areia; entretanto, a areia com tamanho dos grãos de 0,297 a 0,42 mm proporcionou resultados ligeiramente melhores;
- e) foi observada a redução da absorvância (254 nm) acima de 50 % em todas as amostras flotadas, especialmente como aumento do gradiente de velocidade médio de mistura rápida, tempo de floculação e da taxa de recirculação. Também, houve uma pequena redução do parâmetro após a filtração;
- f) a elevada alcalinidade da água bruta foi fator preponderante para a obtenção das dosagens de coagulante e acidificante; para que o coagulante não atuasse somente como doador de íons H^+ , foi necessária a adição de um acidificante; com isso, era de se esperar que a reação com os produtos da alcalinidade ocorresse preferencialmente com a adição de ácido forte e não somente com a do coagulante. Entretanto, somente com um estudo mais detalhado, a adição de uma dosagem maior de acidificante poderia proporcionar a redução da dosagem de coagulante, para a mesma eficiência de remoção.

7.4 Recomendações e sugestões

A seguir, são feitas algumas recomendações e sugestões:

- a) utilizar o Floteste em investigações experimentais futuras no que diz respeito à transferência das informações obtidas neste equipamento para instalações de flotação piloto e estações de tratamento em escala real, e vice-versa;

- b) alguns avanços no aspecto de projeto do Floteste podem ser feitos, entre os quais, a automação da introdução da água saturada com ar proveniente da câmara de saturação de modo a reduzir, ao máximo possível, o tempo entre o encerramento da floculação, suspensão das paletas dos agitadores e abertura dos registros dos jarros. Isto pode ser conseguido por meio da substituição dos registros atuais pelas válvulas solenóides, controladas automaticamente em um painel eletrônico de comando;
- c) os diagramas de coagulação para flotação sempre devem ser feitos com vistas à obtenção dos pares de valores que conduzem à obtenção de melhores resultados em um flotador de bancada;
- d) os jarros devem ser devidamente limpos principalmente entre as placas contendo orifícios e a contendo os canais condutores de água saturada com ar. O acúmulo de sujeira pode obstruir os orifícios e interferir na distribuição da água de recirculação;
- e) a pré-oxidação faz-se necessária para reduzir os valores de cor em níveis mais baixos com relação aos obtidos nesta investigação experimental. Podem ser feitos estudos utilizando cloro, dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio ou ozônio separadamente ou combinado para estes dois últimos;
- f) a investigação do número e distribuição do tamanho das bolhas, bem como um estudo hidráulico mais detalhado da introdução da água saturada com ar na câmara de flotação, podem ser feitos neste equipamento.

ANEXOS

ANEXO A

Caracterização da Água Tipo I

Caracterização da Água Tipo I

TABELA 16 – Número de algas presentes na Água Tipo I

Série	Data	Contagem de algas nos campos amarelos do hemacitômetro ilustrado na Figura 42						Indivíduo/mL	Indivíduo/L
I	31/Jul	65	70	68	70	88	31	$6,969 \times 10^5$	$6,969 \times 10^8$
I	01/Ago	60	56	61	83	76	40	$6,684 \times 10^5$	$6,684 \times 10^8$
I	02/Ago	85	56	70	50	66	30	$6,347 \times 10^5$	$6,347 \times 10^8$
I	06/Ago	70	72	50	87	92	46	$7,413 \times 10^5$	$7,413 \times 10^8$
I	07/Ago	88	72	68	80	85	28	$7,484 \times 10^5$	$7,484 \times 10^8$
I	08/Ago	88	66	89	87	96	27	$8,053 \times 10^5$	$8,053 \times 10^8$
I	09/Ago	82	70	77	70	73	31	$7,164 \times 10^5$	$7,164 \times 10^8$
I	13/Ago	85	91	99	84	72	41	$8,391 \times 10^5$	$8,391 \times 10^8$
I	15/Ago	83	86	86	95	85	50	$8,622 \times 10^5$	$8,622 \times 10^8$
II / III	28/Ago	80	70	72	69	72	30	$6,987 \times 10^5$	$6,987 \times 10^8$
III	29/Ago	73	85	67	64	76	48	$7,342 \times 10^5$	$7,342 \times 10^8$
III	30/Ago	78	69	86	67	65	37	$7,147 \times 10^5$	$7,147 \times 10^8$
IV	03/Set	77	60	83	68	75	34	$7,058 \times 10^5$	$7,058 \times 10^8$
IV	04/Set	72	90	72	73	93	35	$7,733 \times 10^5$	$7,733 \times 10^8$
IV	05/Set	72	75	70	75	80	24	$7,040 \times 10^5$	$7,040 \times 10^8$
V	10/Set	95	79	77	85	88	40	$8,249 \times 10^5$	$8,249 \times 10^8$
VI	11/Set	103	94	88	89	82	47	$8,942 \times 10^5$	$8,942 \times 10^8$
VI	12/Set	98	100	102	99	98	54	$9,796 \times 10^5$	$9,796 \times 10^8$
VII	13/Set	100	76	77	85	77	45	$8,178 \times 10^5$	$8,178 \times 10^8$

TABELA 17 – Características físico-químicas da água Tipo I

Série	Data	Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	pH	Alcalinidade (mg/L de CaCO_3)
I	31/Jul	49	546	101	7,70	46
I	01/Ago	41	552	101	7,89	46
I	02/Ago	48	600	100	7,83	46
I	06/Ago	40	530	94	7,87	44
I	07/Ago	47	638	90	7,80	42
I	08/Ago	49	686	93	7,77	40
I	09/Ago	48	630	87	7,74	36
I	13/Ago	50	700	90	7,83	40
I	15/Ago	46	632	80	7,83	39
II / III	28/Ago	41	510	91	7,81	39
III	29/Ago	53	726	91	7,82	34
III	30/Ago	43	548	72	7,77	36
IV	03/Set	45	566	77	7,72	38
IV	04/Set	50	670	77	7,60	38
IV	05/Set	50	640	77	7,70	38
V	10/Set	57	866	89	7,84	38
VI	11/Set	58	764	89	7,74	38
VI	12/Set	53	698	89	7,79	38
VII	13/Set	45	640	89	7,75	38

FIGURA 97 – Variação dos Principais Parâmetros da Água Tipo I Durante a Realização dos Ensaios (31/Julho a 13/Setembro)

TABELA 18 – Número de partículas nas diferentes faixas de tamanho das partículas

Série	Data	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
		3 a 4	4 a 5	5 a 6	6 a 7	7 a 8	8 a 9	9 a 10	> 10	
I	31/Jul	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	01/Ago	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	02/Ago	$1,274 \times 10^6$	$1,174 \times 10^6$	$1,240 \times 10^6$	$1,308 \times 10^6$	$1,385 \times 10^6$	$1,520 \times 10^6$	$1,747 \times 10^6$	$1,550 \times 10^7$	$2,516 \times 10^7$
I	06/Ago	$1,312 \times 10^6$	$1,211 \times 10^6$	$1,260 \times 10^6$	$1,245 \times 10^6$	$1,293 \times 10^6$	$1,360 \times 10^6$	$1,589 \times 10^6$	$1,651 \times 10^7$	$2,579 \times 10^7$
		2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	Total
I	07/Ago	$1,162 \times 10^6$	$1,415 \times 10^6$	$1,579 \times 10^6$	$1,953 \times 10^6$	$4,914 \times 10^6$	$4,418 \times 10^6$	$6,646 \times 10^6$	$2,421 \times 10^6$	$2,451 \times 10^7$
I	08/Ago	$1,165 \times 10^6$	$1,444 \times 10^6$	$1,546 \times 10^6$	$1,898 \times 10^6$	$4,790 \times 10^6$	$3,920 \times 10^6$	$5,626 \times 10^6$	$3,261 \times 10^6$	$2,365 \times 10^7$
I	09/Ago	$1,122 \times 10^6$	$1,496 \times 10^6$	$1,653 \times 10^6$	$1,980 \times 10^6$	$5,730 \times 10^6$	$5,556 \times 10^6$	$6,762 \times 10^6$	$1,720 \times 10^6$	$2,612 \times 10^7$
I	13/Ago	$1,142 \times 10^6$	$1,387 \times 10^6$	$1,480 \times 10^6$	$1,772 \times 10^6$	$5,291 \times 10^6$	$5,495 \times 10^6$	$7,008 \times 10^6$	$1,415 \times 10^6$	$2,499 \times 10^7$
I	15/Ago	$1,025 \times 10^6$	$1,263 \times 10^6$	$1,392 \times 10^6$	$1,725 \times 10^6$	$5,178 \times 10^6$	$5,413 \times 10^6$	$8,071 \times 10^6$	$1,945 \times 10^6$	$2,601 \times 10^7$
II / III	28/Ago	$1,674 \times 10^6$	$2,117 \times 10^6$	$2,469 \times 10^6$	$3,034 \times 10^6$	$6,518 \times 10^6$	$4,425 \times 10^6$	$4,663 \times 10^6$	$1,403 \times 10^6$	$2,630 \times 10^7$
III	29/Ago	$1,109 \times 10^6$	$1,389 \times 10^6$	$1,631 \times 10^6$	$2,048 \times 10^6$	$4,908 \times 10^6$	$4,089 \times 10^6$	$6,793 \times 10^6$	$2,574 \times 10^6$	$2,454 \times 10^7$
III	30/Ago	$1,453 \times 10^6$	$1,840 \times 10^6$	$2,171 \times 10^6$	$2,729 \times 10^6$	$6,415 \times 10^6$	$4,988 \times 10^6$	$5,585 \times 10^6$	$1,279 \times 10^6$	$2,646 \times 10^7$
IV	03/Set	$1,210 \times 10^6$	$1,533 \times 10^6$	$1,775 \times 10^6$	$2,202 \times 10^6$	$5,317 \times 10^6$	$4,348 \times 10^6$	$6,336 \times 10^6$	$2,356 \times 10^6$	$2,508 \times 10^7$
IV	04/Set	$1,028 \times 10^6$	$1,318 \times 10^6$	$1,609 \times 10^6$	$2,001 \times 10^6$	$4,569 \times 10^6$	$3,870 \times 10^6$	$7,497 \times 10^6$	$2,551 \times 10^6$	$2,444 \times 10^7$
IV	05/Set	$1,014 \times 10^6$	$1,290 \times 10^6$	$1,561 \times 10^6$	$1,954 \times 10^6$	$4,521 \times 10^6$	$3,897 \times 10^6$	$7,710 \times 10^6$	$2,563 \times 10^6$	$2,451 \times 10^7$
V	10/Set	$0,599 \times 10^6$	$0,760 \times 10^6$	$0,946 \times 10^6$	$1,204 \times 10^6$	$3,045 \times 10^6$	$3,195 \times 10^6$	$9,785 \times 10^6$	$3,692 \times 10^6$	$2,323 \times 10^7$
VI	11/Set	$1,096 \times 10^6$	$1,417 \times 10^6$	$1,733 \times 10^6$	$2,160 \times 10^6$	$5,333 \times 10^6$	$4,916 \times 10^6$	$7,766 \times 10^6$	$0,984 \times 10^6$	$2,532 \times 10^7$
VI	12/Set	$0,787 \times 10^6$	$1,004 \times 10^6$	$1,191 \times 10^6$	$1,543 \times 10^6$	$4,129 \times 10^6$	$4,297 \times 10^6$	$9,730 \times 10^6$	$2,476 \times 10^6$	$2,516 \times 10^7$
VII	13/Set	$1,978 \times 10^6$	$2,512 \times 10^6$	$2,905 \times 10^6$	$3,461 \times 10^6$	$7,330 \times 10^6$	$4,392 \times 10^6$	$3,034 \times 10^6$	$0,590 \times 10^6$	$2,620 \times 10^7$

FIGURA 98a – Variação do Número de Partículas na Água Tipo I nas Diferentes Faixas de Tamanho (2 a 10 µm) Durante a Realização dos Ensaios

FIGURA 98b – Variação do Número de Partículas na Água Tipo I nas Diferentes Faixas de Tamanho ($> 10 \mu\text{m}$) Durante a Realização dos Ensaios

ANEXO B

Diagramas de Coagulação

Série de Ensaaios I

Série I – Diagramas de Coagulação – Água Tipo I

TABELA 19 – Características da água Tipo I na Série I

Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	Alcalinidade Total (mg/L de CaCO ₃)	pH	Ind/L	Temperatura (°C)
40 a 50	530 a 700	80 a 101	36 a 46	7,70 a 7,89	6,347x10 ⁸ a 8,622x10 ⁸	20 ± 1

TABELA 20 – Dosagens de produtos químicos utilizados na Série I

Coagulante (Solução de Sulfato de Alumínio)	Alcalinizante (Solução de Hidróxido de Sódio)	Acidificante (Solução de Ácido Clorídrico)
DSA = 20 a 70 mg/L	DHS = 0 a 15 mg/L	DAC = 0 a 21 mg/L

TABELA 21 – Parâmetros físicos utilizados na Série I

Mistura Rápida		Floculação		Flotação			
Tmr = 10 s	Gmr = 1000 s ⁻¹	Tf = 10 min	Gf = 25 s ⁻¹	Tsat = 8 min	P = 400 kPa	R = 10 %	VA = 10 e 5 cm/min

TABELA 22 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 20 mg/L para VA = 10 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
20	-	17,5	6,22	9,778x10 ⁶	1,4	2,2	4,6	31	4,9
20	-	15,0	6,30	7,822x10 ⁶	1,2	1,4	2,9	31	5,1
20	-	12,0	6,40	5,867x10 ⁶	0,9	1,8	3,7	32	5,3
20	-	9,0	6,64	9,778x10 ⁶	1,5	1,8	3,7	29	4,8
20	-	6,0	6,82	1,760x10 ⁷	2,8	1,6	3,4	36	6,1
20	-	3,0	6,98	1,956x10 ⁷	3,1	2,3	4,9	41	6,8
20	-	-	7,17	1,760x10 ⁷	2,8	1,5	3,2	31	5,1

Características da água de estudo:

Ind/L = 6,347x10⁸ a 7,164x10⁸; pH = 7,74 a 7,83; Turbidez = 47,8 uT; Cor aparente = 600 a 630 uC; Cor verdadeira = 87 a 100 uC; Alcalinidade total = 36 a 47 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 23 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 20 mg/L para VA = 5 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
20	-	17,5	6,22	Ausência	-	1,4	3,0	24	3,8
20	-	15,0	6,30	1,956x10 ⁶	0,3	1,1	2,2	23	3,9
20	-	12,0	6,40	3,911x10 ⁶	0,6	1,4	2,9	26	4,4
20	-	9,0	6,64	5,867x10 ⁶	0,9	1,1	2,3	23	3,9
20	-	6,0	6,82	1,173x10 ⁷	1,8	1,5	3,1	30	5,0
20	-	3,0	6,98	9,778x10 ⁶	1,5	1,4	2,9	29	4,8
20	-	-	7,17	9,778x10 ⁶	1,5	1,1	2,3	26	4,4

Características da água de estudo:

Ind/L = 6,347x10⁸ a 7,164x10⁸; pH = 7,74 a 7,83; Turbidez = 47,8 uT; Cor aparente = 600 a 630 uC; Cor verdadeira = 87 a 100 uC; Alcalinidade total = 36 a 47 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 24 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 25 mg/L para VA = 10 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
25	-	17,5	6,14	5,867x10 ⁶	0,8	1,8	3,8	29	4,5
25	-	15,0	6,29	5,867x10 ⁶	0,8	1,3	2,6	24	3,8
25	-	12,5	6,51	9,778x10 ⁶	1,3	1,8	4,4	31	5,8
25	-	1,0	6,64	7,822x10 ⁶	1,1	1,6	4,0	26	5,0
25	-	7,5	6,76	5,867x10 ⁶	0,8	1,4	3,5	23	4,4
25	-	5,0	6,92	1,173x10 ⁷	1,6	1,2	3,1	21	3,9
25	-	2,5	7,01	1,173x10 ⁷	1,6	1,2	3,0	20	3,7
25	-	-	7,19	7,822x10 ⁶	1,1	1,3	3,2	19	3,5

Características da água de estudo:

Ind/L = 7,164x10⁸ a 7,413x10⁸; pH = 7,74 a 7,87; Turbidez = 40 a 48 uT; Cor aparente = 530 a 630 uC;Cor verdadeira = 87 a 94 uC; Alcalinidade total = 36 a 44 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 25 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 25 mg/L para VA = 5 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
25	-	17,5	6,14	Ausência	-	1,6	3,3	24	3,8
25	-	15,0	6,29	Ausência	-	1,2	2,6	21	3,3
25	-	12,5	6,51	9,778x10 ⁶	1,3	1,1	2,8	21	3,9
25	-	1,0	6,64	5,867x10 ⁶	0,8	1,2	3,0	20	3,7
25	-	7,5	6,76	Ausência	-	1,1	2,7	18	3,3
25	-	5,0	6,92	1,956x10 ⁶	0,3	1,1	2,8	20	3,7
25	-	2,5	7,01	Ausência	-	1,2	2,9	17	3,1
25	-	-	7,19	1,956x10 ⁶	0,3	1,0	2,5	17	3,1

Características da água de estudo:

Ind/L = 7,164x10⁸ a 7,413x10⁸; pH = 7,74 a 7,87; Turbidez = 40 a 48 uT; Cor aparente = 530 a 630 uC;Cor verdadeira = 87 a 94 uC; Alcalinidade total = 36 a 44 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 26 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 30 mg/L para VA = 10 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez rem. (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
30	-	21,0	6,01	5,867x10 ⁶	0,8	2,0	4,1	29	4,5
30	-	18,0	6,10	3,911x10 ⁶	0,5	1,5	3,2	25	4,0
30	-	17,5	6,25	5,867x10 ⁶	0,7	1,6	3,3	22	3,1
30	-	15,0	6,47	5,867x10 ⁶	0,9	1,2	3,0	24	4,4
30	-	12,0	6,58	1,956x10 ⁶	0,3	1,0	2,4	21	3,8
30	-	9,0	6,68	Ausência	-	1,2	2,7	21	3,8
30	-	6,0	6,75	Ausência	-	1,0	2,3	20	3,6
30	-	3,0	6,85	Ausência	-	0,8	2,0	18	3,2
30	-	-	7,00	Ausência	-	1,1	2,7	21	3,8

Características da água de estudo:

Ind/L = 6,969x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,74 a 7,89; Turbidez = 48 a 50 uT; Cor aparente = 546 a 700 uC;Cor verdadeira = 87 a 101 uC; Alcalinidade total = 40 a 46 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 27 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 30 mg/L para VA = 5 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
30	-	21,0	6,01	Ausência	-	2,1	4,4	26	4,2
30	-	18,0	6,10	Ausência	-	1,3	2,7	22	3,5
30	-	17,5	6,25	Ausência	-	1,5	2,9	18	2,5
30	-	15,0	6,47	1,956x10 ⁶	0,3	1,0	2,4	22	4,0
30	-	12,0	6,58	1,956x10 ⁶	0,3	0,9	2,2	21	3,8
30	-	9,0	6,68	Ausência	-	0,8	2,0	19	3,4
30	-	6,0	6,75	Ausência	-	0,9	2,2	20	3,6
30	-	3,0	6,85	Ausência	-	0,8	2,0	18	3,2
30	-	-	7,00	Ausência	-	0,9	2,1	19	3,4

Características da água de estudo:

Ind/L = 6,969x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,74 a 7,89; Turbidez = 48 a 50 uT; Cor aparente = 546 a 700 uC;Cor verdadeira = 87 a 101 uC; Alcalinidade total = 40 a 46 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 28 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 35 mg/L para VA = 10 cm/min

DSA (mg/L)	DIIS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
35	-	15,0	6,13	3,911x10 ⁶	0,5	1,9	4,1	29	4,5
35	-	12,5	6,34	1,956x10 ⁶	0,3	1,4	3,6	21	3,9
35	-	10,0	6,42	1,956x10 ⁶	0,3	1,3	3,1	18	3,3
35	-	7,5	6,55	1,956x10 ⁶	0,3	1,2	3,0	18	3,3
35	-	5,0	6,75	5,867x10 ⁶	0,8	1,6	3,9	24	4,6
35	-	2,5	6,90	7,822x10 ⁶	1,1	1,1	2,8	20	3,7
35	-	-	7,04	5,867x10 ⁶	0,8	1,6	3,9	25	4,8
35	2,5	-	7,15	3,911x10 ⁶	0,5	0,9	1,8	11	1,6

Características da água de estudo:

Ind/L = 7,164x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,74 a 7,87; Turbidez = 40 a 50 uT; Cor aparente = 530 a 700 uC;Cor verdadeira = 87 a 94 uC; Alcalinidade total = 36 a 44 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 29 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 35 mg/L para VA = 5 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
35	-	15,0	6,13	Ausência	0,0	1,3	2,8	24	3,8
35	-	12,5	6,34	Ausência	0,0	1,1	2,8	17	3,1
35	-	10,0	6,42	Ausência	0,0	1,0	2,6	14	2,7
35	-	7,5	6,55	Ausência	0,0	1,0	2,5	14	2,7
35	-	5,0	6,75	1,956x10 ⁶	0,3	1,0	2,4	14	2,7
35	-	2,5	6,90	Ausência	0,0	0,9	2,3	12	2,3
35	-	-	7,04	1,956x10 ⁶	0,3	1,2	3,0	17	3,1
35	2,5	-	7,15	1,956x10 ⁶	0,2	0,8	1,6	10	1,4

Características da água de estudo:

Ind/L = 7,164x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,74 a 7,87; Turbidez = 40 a 50 uT; Cor aparente = 530 a 700 uC;Cor verdadeira = 87 a 94 uC; Alcalinidade total = 36 a 44 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 30 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 40 mg/L para VA = 10 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
40	-	17,5	6,00	1,956x10 ⁶	0,3	3,7	7,6	30	4,7
40	-	15,0	6,19	1,956x10 ⁶	0,3	1,9	4,1	26	4,2
40	-	12,5	6,43	7,822x10 ⁶	1,1	1,4	2,8	24	4,4
40	-	10,0	6,54	7,822x10 ⁶	1,1	1,0	2,0	18	3,2
40	-	7,5	6,62	9,778x10 ⁶	1,4	1,3	2,7	22	4,0
40	-	5,0	6,70	3,911x10 ⁶	0,6	1,1	2,3	21	3,8
40	-	2,5	6,77	3,911x10 ⁶	0,6	1,4	2,8	21	3,8
40	-	-	6,90	3,911x10 ⁶	0,6	1,3	2,6	21	3,8
40	2,5	-	7,07	1,956x10 ⁶	0,2	1,1	2,2	10	1,4
40	5,0	-	7,24	1,956x10 ⁶	0,2	1,0	2,1	11	1,6

Características da água de estudo:

Ind/L = 6,969x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,70 a 7,83; Turbidez = 48 a 50 uT; Cor aparente = 546 a 700 uC;Cor verdadeira = 87 a 101 uC; Alcalinidade total = 36 a 46 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 31 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 40 mg/L para VA = 5 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
40	-	17,5	6,00	1,956x10 ⁶	0,3	3,1	6,5	28	4,4
40	-	15,0	6,19	Ausência	-	1,8	3,8	23	3,7
40	-	12,5	6,43	5,867x10 ⁶	0,8	1,1	2,3	20	3,6
40	-	10,0	6,54	5,867x10 ⁶	0,8	0,9	1,8	15	2,8
40	-	7,5	6,62	7,822x10 ⁶	1,1	1,1	2,3	20	3,6
40	-	5,0	6,70	3,911x10 ⁶	0,6	1,0	2,1	19	3,4
40	-	2,5	6,77	1,956x10 ⁶	0,3	0,9	1,9	17	3,0
40	-	-	6,90	1,956x10 ⁶	0,3	1,3	2,6	21	3,8
40	2,5	-	7,07	1,956x10 ⁶	0,2	0,7	1,5	9	1,3
40	5,0	-	7,24	1,956x10 ⁶	0,2	0,8	1,6	10	1,4

Características da água de estudo:

Ind/L = 6,969x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,70 a 7,83; Turbidez = 48 a 50 uT; Cor aparente = 546 a 700 uC;Cor verdadeira = 87 a 101 uC; Alcalinidade total = 36 a 46 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 32 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 45 mg/L para VA = 10 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
45	-	12,5	6,10	Ausência	-	1,9	3,9	25	4,0
45	-	10,0	6,27	Ausência	-	1,4	3,0	23	3,7
45	-	7,5	6,55	3,911x10 ⁶	0,5	1,2	2,5	19	3,0
45	-	5,0	6,78	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,8	13	2,1
45	-	2,5	6,87	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,8	11	1,7
45	-	-	7,00	1,956x10 ⁶	0,3	1,0	2,1	14	2,2
45	2,5	-	7,18	1,956x10 ⁶	0,3	0,9	1,9	14	2,2
45	5,0	-	7,27	Ausência	-	0,8	1,7	13	2,1
45	7,5	-	7,39	1,956x10 ⁶	0,3	1,6	3,4	13	2,1

Características da água de estudo:

Ind/L = 7,164x10⁸ a 7,484x10⁸; pH = 7,74 a 7,80; Turbidez = 47 a 48 uT; Cor aparente = 630 a 638 uC;Cor verdadeira = 87 a 90 uC; Alcalinidade total = 36 a 42 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 33 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 45 mg/L para VA = 5 cm/min

DSA (mg/L)	DIIS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
45	-	12,5	6,10	Ausência	-	1,7	3,5	22	3,5
45	-	10,0	6,27	Ausência	-	1,6	3,3	21	3,3
45	-	7,5	6,55	1,956x10 ⁶	0,3	0,9	1,9	17	2,6
45	-	5,0	6,78	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,8	12	1,9
45	-	2,5	6,87	Ausência	-	0,8	1,8	10	1,6
45	-	-	7,00	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,5	10	1,6
45	2,5	-	7,18	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,8	14	2,2
45	5,0	-	7,27	Ausência	-	0,7	1,5	12	1,9
45	7,5	-	7,39	Ausência	-	0,9	2,0	12	1,9

Características da água de estudo:

Ind/L = 7,164x10⁸ a 7,484x10⁸; pH = 7,74 a 7,80; Turbidez = 47 a 48 uT; Cor aparente = 630 a 638 uC;Cor verdadeira = 87 a 90 uC; Alcalinidade total = 36 a 42 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 34 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 50 mg/L para VA = 10 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
50	-	12,5	6,01	1,956x10 ⁶	0,2	2,0	4,0	25	3,6
50	-	10,0	6,12	1,956x10 ⁶	0,2	2,2	4,3	23	3,3
50	-	7,5	6,39	7,822x10 ⁶	1,1	1,3	2,7	20	3,1
50	-	5,0	6,50	1,956x10 ⁶	0,3	1,0	2,1	14	2,2
50	-	2,5	6,69	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,8	11	1,7
50	-	-	6,80	1,956x10 ⁶	0,3	0,9	1,8	11	1,7
50	2,5	-	7,00	3,911x10 ⁶	0,5	0,9	2,0	12	1,9
50	5,0	-	7,10	9,778x10 ⁶	1,3	0,8	1,8	11	1,7
50	7,5	-	7,22	1,564x10 ⁷	2,1	0,9	2,0	14	2,2

Características da água de estudo:

Ind/L = 7,484x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,74 a 7,83; Turbidez = 47 a 50 uT; Cor aparente = 630 a 700 uC;Cor verdadeira = 87 a 90 uC; Alcalinidade total = 36 a 42 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 35 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 50 mg/L para VA = 5 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
50	-	12,5	6,01	1,956x10 ⁶	0,2	2,0	4,0	22	3,1
50	-	10,0	6,12	1,956x10 ⁶	0,2	1,6	3,3	23	3,3
50	-	7,5	6,39	1,956x10 ⁶	0,3	1,2	2,5	18	2,8
50	-	5,0	6,50	Ausência	-	0,9	1,9	12	1,9
50	-	2,5	6,69	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,6	10	1,6
50	-	-	6,80	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,7	10	1,6
50	2,5	-	7,00	Ausência	-	0,8	1,7	10	1,6
50	5,0	-	7,10	3,911x10 ⁶	0,5	0,6	1,3	9	1,4
50	7,5	-	7,22	3,911x10 ⁶	0,5	0,7	1,6	10	1,6

Características da água de estudo:

Ind/L = 7,484x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,74 a 7,83; Turbidez = 47 a 50 uT; Cor aparente = 630 a 700 uC;Cor verdadeira = 87 a 90 uC; Alcalinidade total = 36 a 42 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 36 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 55 mg/L para VA = 10 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
55	-	12,5	5,90	1,956x10 ⁶	0,2	2,1	4,2	26	3,8
55	-	10,0	6,00	1,956x10 ⁶	0,2	1,9	3,8	25	3,6
55	-	7,5	6,24	3,911x10 ⁶	0,5	1,6	3,1	22	3,1
55	-	5,0	6,49	1,173x10 ⁷	1,5	1,4	2,9	13	1,9
55	-	2,5	6,59	7,822x10 ⁶	1,0	0,9	1,8	11	1,6
55	-	-	6,76	Ausência	-	1,2	2,4	12	1,8
55	2,5	-	7,00	Ausência	-	1,1	2,3	13	1,9
55	5,0	-	7,16	Ausência	-	1,0	2,1	12	1,8
55	7,5	-	7,24	Ausência	-	1,2	2,5	13	1,9

Características da água de estudo:

Ind/L = 8,053x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,77 a 7,83; Turbidez = 49 a 50 uT; Cor aparente = 686 a 700 uC;Cor verdadeira = 90 a 93 uC; Alcalinidade total = 40 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 37 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 55 mg/L para VA = 5 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
55	-	12,5	5,90	Ausência	-	2,0	3,9	22	3,1
55	-	10,0	6,00	Ausência	-	1,9	3,8	23	3,3
55	-	7,5	6,24	3,911x10 ⁶	0,5	1,4	2,8	18	2,5
55	-	5,0	6,49	Ausência	-	0,9	1,9	11	1,6
55	-	2,5	6,59	Ausência	-	0,8	1,7	10	1,4
55	-	-	6,76	Ausência	-	1,0	1,9	10	1,4
55	2,5	-	7,00	Ausência	-	0,9	1,7	11	1,6
55	5,0	-	7,16	Ausência	-	0,8	1,7	10	1,4
55	7,5	-	7,24	Ausência	-	0,9	1,8	11	1,6

Características da água de estudo:

Ind/L = 8,053x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,77 a 7,83; Turbidez = 49 a 50 uT; Cor aparente = 686 a 700 uC;Cor verdadeira = 90 a 93 uC; Alcalinidade total = 40 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 38 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 60 mg/L para VA = 10 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
60	-	10,0	5,90	5,867x10 ⁶	0,7	2,3	4,6	26	3,8
60	-	7,5	6,05	5,867x10 ⁶	0,7	2,3	4,6	28	3,9
60	-	5,0	6,23	1,956x10 ⁶	0,2	1,6	3,2	20	2,8
60	-	2,5	6,49	3,911x10 ⁶	0,5	1,1	2,2	12	1,8
60	-	-	6,69	3,911x10 ⁶	0,5	1,0	1,9	11	1,6
60	2,5	-	6,80	5,867x10 ⁶	0,7	0,8	1,7	10	1,4
60	5,0	-	6,90	Ausência	-	0,9	1,9	11	1,6
60	7,5	-	7,02	Ausência	-	0,8	1,6	10	1,4
60	10,0	-	7,12	Ausência	-	0,9	1,9	11	1,6

Características da água de estudo:

Ind/L = 8,053x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,77 a 7,83; Turbidez = 49 a 50 uT; Cor aparente = 686 a 700 uC;Cor verdadeira = 90 a 93 uC; Alcalinidade total = 40 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 39 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 60 mg/L para VA = 5 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
60	-	10,0	5,90	5,867x10 ⁶	0,7	2,0	4,0	23	3,3
60	-	7,5	6,05	5,867x10 ⁶	0,7	1,7	3,4	20	2,8
60	-	5,0	6,23	1,956x10 ⁶	0,2	1,2	2,3	17	2,4
60	-	2,5	6,49	1,956x10 ⁶	0,2	0,8	1,6	10	1,4
60	-	-	6,69	Ausência	-	0,8	1,6	9	1,3
60	2,5	-	6,80	Ausência	-	1,1	2,3	9	1,3
60	5,0	-	6,90	Ausência	-	0,8	1,5	9	1,3
60	7,5	-	7,02	Ausência	-	0,9	1,7	8	1,1
60	10,0	-	7,12	1,956x10 ⁶	0,2	0,7	1,4	10	1,4

Características da água de estudo

Ind/L = 8,053x10⁸ a 8,391x10⁸; pH = 7,77 a 7,83; Turbidez = 49 a 50 uT; Cor aparente = 686 a 700 uC;Cor verdadeira = 90 a 93 uC; Alcalinidade total = 40 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 40 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 65 mg/L para VA = 10 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
65	-	-	6,54	9,778x10 ⁶	1,1	1,2	2,6	13	2,1
65	2,5	-	6,66	1,369x10 ⁷	1,6	1,1	2,4	11	1,7
65	5,0	-	6,77	7,822x10 ⁶	0,9	1,0	2,2	11	1,7
65	7,5	-	6,89	7,822x10 ⁶	0,9	1,2	2,6	10	1,6
65	10,0	-	6,99	5,867x10 ⁶	0,7	0,8	1,8	8	1,2
65	12,5	-	7,10	9,778x10 ⁶	1,1	0,9	2,0	8	1,2

Características da água de estudo:

Ind/L = 8,622x10⁸; pH = 7,83 ; Turbidez = 46 uT; Cor aparente = 632 uC;Cor verdadeira = 80 uC; Alcalinidade total = 39 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 41 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 65 mg/L para VA = 5 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
65	-	-	6,54	9,778x10 ⁶	1,1	1,0	2,1	10	1,6
65	2,5	-	6,66	3,911x10 ⁶	0,5	0,9	1,9	9	1,4
65	5,0	-	6,77	3,911x10 ⁶	0,5	0,8	1,8	8	1,2
65	7,5	-	6,89	1,956x10 ⁶	0,2	0,9	1,9	8	1,2
65	10,0	-	6,99	5,867x10 ⁶	0,7	0,8	1,7	7	1,0
65	12,5	-	7,10	9,778x10 ⁶	1,1	0,6	1,4	6	0,9

Características da água de estudo:

Ind/L = 8,622x10⁸; pH = 7,83 ; Turbidez = 46 uT; Cor aparente = 632 uCCor verdadeira = 80 uC; Alcalinidade total = 39 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 42 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 70 mg/L para VA = 10 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
70	-	-	6,32	1,369x10 ⁷	1,6	1,4	3,1	18	2,8
70	3,0	-	6,59	1,173x10 ⁷	1,4	1,4	3,1	17	2,6
70	6,0	-	6,70	9,778x10 ⁶	1,1	1,1	2,4	12	1,9
70	9,0	-	6,80	1,173x10 ⁷	1,4	1,3	2,7	11	1,7
70	12,0	-	6,99	1,173x10 ⁷	1,4	1,1	2,3	11	1,7
70	15,0	-	7,11	5,867x10 ⁶	0,7	0,8	1,8	9	1,4

Características da água de estudo:

Ind/L = 8,622x10⁸; pH = 7,83 ; Turbidez = 46 uT; Cor aparente = 632 uC;Cor verdadeira = 80 uC; Alcalinidade total = 39 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 43 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes à DSA = 70 mg/L para VA = 5 cm/min

DSA (mg/L)	DHS (mg/L)	DAC (mg/L)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
70	-	-	6,32	1,956x10 ⁶	0,2	1,1	2,5	11	1,7
70	3,0	-	6,59	1,956x10 ⁶	0,2	0,9	1,8	9	1,4
70	6,0	-	6,70	3,911x10 ⁶	0,5	0,7	1,5	7	1,0
70	9,0	-	6,80	1,956x10 ⁶	0,2	0,9	2,0	9	1,4
70	12,0	-	6,99	1,956x10 ⁶	0,2	0,8	1,7	9	1,4
70	15,0	-	7,11	5,867x10 ⁶	0,7	0,7	1,6	8	1,2

Características da água de estudo:

Ind/L = 8,622x10⁸; pH = 7,83 ; Turbidez = 46 uT; Cor aparente = 632 uC;Cor verdadeira = 80 uC; Alcalinidade total = 39 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

FIGURA 99 – Curvas de Mesma Porcentagem Remanescente de Algas em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 10 cm/min)

Características da água bruta (variação dos parâmetros durante os ensaios)

Número de algas por litro:
 $6,347 \times 10^6$ a $8,622 \times 10^8$

Turbidez: 40 a 50 uT

Cor aparente: 530 a 700 uC

Cor verdadeira: 80 a 101 uC

Alcalinidade: 36 a 47 mg/L de CaCO_3

pH: 7,70 a 7,89

VA = 10 cm/min

Legenda:

N: número remanescente de algas

No: número de algas inicial

VA: velocidade ascensional

FIGURA 100 – Curvas de Mesma Porcentagem Remanescente de Algas em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 5 cm/min)

Características da água bruta (variação dos parâmetros durante os ensaios)

Número de algas por litro:
 $6,347 \times 10^6$ a $8,622 \times 10^8$

Turbidez: 40 a 50 uT

Cor aparente: 530 a 700 uC

Cor verdadeira: 80 a 101 uC

Alcalinidade: 36 a 47 mg/L de CaCO_3

pH: 7,70 a 7,89

VA = 5 cm/min

Legenda:

N: número remanescente de algas

No: número de algas inicial

VA: velocidade ascensional

FIGURA 101 – Curvas de Mesma Porcentagem Remanescente de Turbidez em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 10 cm/min)

Características da água bruta (variação dos parâmetros durante os ensaios)

Número de algas por litro:
 $6,347 \times 10^6$ a $8,622 \times 10^8$

Turbidez: 40 a 50 uT

Cor aparente: 530 a 700 uC

Cor verdadeira: 80 a 101 uC

Alcalinidade: 36 a 47 mg/L de CaCO_3

pH: 7,70 a 7,89

VA = 10 cm/min

Legenda:

T: turbidez remanescente

To: turbidez inicial

VA: velocidade ascensional

Características da água bruta (variação dos parâmetros durante os ensaios)

Número de algas por litro:
 $6,347 \times 10^6$ a $8,622 \times 10^8$

Turbidez: 40 a 50 uT

Cor aparente: 530 a 700 uC

Cor verdadeira: 80 a 101 uC

Alcalinidade: 36 a 47 mg/L de CaCO_3

pH: 7,70 a 7,89

VA = 5 cm/min

Legenda:

T: turbidez remanescente

To: turbidez inicial

VA: velocidade ascensional

FIGURA 102 – Curvas de Mesma Porcentagem Remanescente de Turbidez em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 5 cm/min)

FIGURA 103 – Curvas de Mesma Porcentagem Remanescente de Cor Aparente em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 10 cm/min)

Características da água bruta
(variação dos parâmetros durante os ensaios)

Número de algas por litro:
 $6,347 \times 10^6$ a $8,622 \times 10^8$

Turbidez: 40 a 50 uT

Cor aparente: 530 a 700 uC

Cor verdadeira: 80 a 101 uC

Alcalinidade: 36 a 47 mg/L de CaCO_3

pH: 7,70 a 7,89

VA = 10 cm/min

Legenda:

C: cor aparente remanescente

Co: cor aparente inicial

VA: velocidade ascensional

Características da água bruta
(variação dos parâmetros durante os ensaios)

Número de algas por litro:
 $6,347 \times 10^6$ a $8,622 \times 10^8$

Turbidez: 40 a 50 uT

Cor aparente: 530 a 700 uC

Cor verdadeira: 80 a 101 uC

Alcalinidade: 36 a 47 mg/L de $CaCO_3$

pH: 7,70 a 7,89

VA = 5 cm/min

Legenda:

C: cor aparente remanescente

Co: cor aparente inicial

VA: velocidade ascensional

FIGURA 104 – Curvas de Mesma Porcentagem Remanescente de Cor Aparente em Função da Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação (VA = 5 cm/min)

ANEXO C

**Reprodução do Par de Valores
“pH de Coagulação x Dosagem de Coagulante”**

Série de Ensaios II

Série II – Reprodução do par de valores “pH de Coagulação x Dosagem de Coagulante” – Água Tipo I

TABELA 44 – Características da água Tipo I na Série II

Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	Alcalinidade Total (mg/L de CaCO_3)	pH	Ind/L	Temperatura (°C)
41	510	91	39	7,81	$6,987 \times 10^8$	20 ± 1

TABELA 45 – Dosagens de produtos químicos utilizados na Série II

Coagulante (Solução de Sulfato de Alumínio)	Alcalinizante (Solução de Hidróxido de Sódio)	Acidificante (Solução de Ácido Clorídrico)
DSA = 50 mg/L	-----	-----

TABELA 46 – Parâmetros físicos utilizados na Série II

Mistura Rápida		Floculação		Flotação			
Tmr = 10 s	Gmr = 1000 s ⁻¹	Tf = 10 min	Gf = 25 s ⁻¹	Tsat = 8 min	P = 400 kPa	R = 10 %	VA = 10 e 5 cm/min

TABELA 47 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de reprodução do par de valores “pH de Coagulação x Dosagem de Coagulante” para VA = 10 cm/min

Jarro	pH	Ind/L	% Ind/L (N/No).100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)*100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)*100%
1	6,85	$1,956 \times 10^6$	0,3	1,2	3,0	12	2,4
2	6,83	$1,956 \times 10^6$	0,3	1,1	2,6	10	1,9
3	6,85	$1,956 \times 10^6$	0,3	1,2	3,0	11	2,2

Características da água de estudo: Ind/L = $6,987 \times 10^8$; pH = 7,81; Turbidez = 41 uT; Cor aparente = 510 uC;
Cor verdadeira = 91 uC; Alcalinidade total = 39 mg CaCO_3 / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 48 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de reprodução do par de valores “pH de Coagulação x Dosagem de Coagulante” para VA = 5 cm/min

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,85	Ausência	-	1,0	2,2	11	1,7
2	6,83	$1,956 \times 10^6$	0,3	0,7	1,5	8	1,3
3	6,85	Ausência	-	0,8	1,6	8	1,3

Características da água de estudo: Ind/L = $6,987 \times 10^8$; pH = 7,81; Turbidez = 41 uT; Cor aparente = 510 uC;
Cor verdadeira = 91 uC; Alcalinidade total = 39 mg CaCO_3 / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

N: número remanescente de algas/L, No: número de algas/L inicial;

T: turbidez remanescente (uT), To: turbidez inicial (uT);

C: cor aparente remanescente (uC); Co: cor aparente inicial (uC)

FIGURA 105 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas, Turbidez e Cor Aparente para VA = 10 cm/min

N: número remanescente de algas/L, No: número de algas/L inicial;

T: turbidez remanescente (uT), To: turbidez inicial (uT);

C: cor aparente remanescente (uC); Co: cor aparente inicial (uC)

FIGURA 106 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas, Turbidez e Cor Aparente para VA = 5 cm/min

TABELA 49 – Número remanescente de partículas

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	$1,637 \times 10^5$	$1,230 \times 10^5$	$6,560 \times 10^4$	$4,347 \times 10^4$	$5,380 \times 10^4$	$3,287 \times 10^4$	$2,520 \times 10^4$	$7,467 \times 10^3$	$5,151 \times 10^5$
2	$1,433 \times 10^5$	$1,271 \times 10^5$	$6,200 \times 10^4$	$3,700 \times 10^4$	$4,193 \times 10^4$	$2,180 \times 10^4$	$1,547 \times 10^4$	$5,800 \times 10^3$	$4,543 \times 10^5$
3	$1,484 \times 10^5$	$1,274 \times 10^5$	$6,680 \times 10^4$	$3,933 \times 10^4$	$4,253 \times 10^4$	$1,893 \times 10^4$	$1,060 \times 10^4$	$3,067 \times 10^3$	$4,571 \times 10^5$
Água Tipo I	$1,674 \times 10^6$	$2,117 \times 10^6$	$2,469 \times 10^6$	$3,034 \times 10^6$	$6,518 \times 10^6$	$4,425 \times 10^6$	$4,663 \times 10^6$	$1,403 \times 10^6$	$2,630 \times 10^7$

TABELA 50 – Porcentagem remanescente do número de partículas

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	9,8	5,8	2,7	1,4	0,8	0,7	0,5	0,5	2,0
2	8,6	6,0	2,5	1,2	0,6	0,5	0,3	0,4	1,7
3	8,9	6,0	2,7	1,3	0,7	0,4	0,2	0,2	1,7

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s^{-1}

Floculação:

Tf = 10 min

Gf = 25 s^{-1}

Flotação:

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

FIGURA 107 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s^{-1}

Floculação:

Tf = 10 min

Gf = 25 s^{-1}

Flotação:

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

P: número remanescente de partículas/L; Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 108 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas

ANEXO D

**Mistura Rápida: Tempo de Agitação e
Gradiente Médio de Velocidade**

Série de Ensaio III

Série III – Mistura Rápida: Tempo de Agitação e Gradiente Médio de Velocidade – Água Tipo I

TABELA 51 – Características da água Tipo I na Série III

Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	Alcalinidade Total (mg/L de CaCO ₃)	pH	Ind/L	Temperatura (°C)
41 a 53	510 a 726	91	34 a 39	7,81 a 7,82	6,987x10 ⁸ a 7,342x10 ⁸	20 ± 1

TABELA 52 – Dosagens de produtos químicos utilizados na Série III

Coagulante (Solução de Sulfato de Alumínio)	Alcalinizante (Solução de Hidróxido de Sódio)	Acidificante (Solução de Ácido Clorídrico)
DSA = 50 mg/L	-----	-----

TABELA 53 – Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série III

Mistura Rápida	Floculação	Flotação
Tmr = 5, 10, 15, 20, 30 e 45 s Gmr = 400, 600, 800, 1000 e 1200 s ⁻¹	Tf = 10 min Gf = 25 s ⁻¹	Tsat = 8 min P = 400 kPa R = 10 % VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min

TABELA 54 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 400 s⁻¹, VA = 15 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,75	3,911x10 ⁶	0,6	1,1	2,7	11	2,2
10	6,75	3,911x10 ⁶	0,6	1,0	2,5	10	1,9
15	6,74	1,956x10 ⁶	0,3	1,0	2,5	11	2,2
20	6,73	1,956x10 ⁶	0,3	1,0	2,4	13	2,6
30	6,74	3,911x10 ⁶	0,6	1,0	2,5	11	2,2
45	6,75	9,778x10 ⁶	1,4	1,1	2,6	12	2,4

Características da água de estudo: Ind/L = 6,987x10⁸; pH = 7,81; Turbidez = 41 uT; Cor aparente = 510 uC;Cor verdadeira = 91 uC; Alcalinidade total = 39 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °CTABELA 55 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 400 s⁻¹, VA = 10 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,75	3,911x10 ⁶	0,6	0,9	2,1	8	1,5
10	6,75	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	2,0	7	1,3
15	6,74	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,8	8	1,5
20	6,73	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	2,0	10	1,9
30	6,74	3,911x10 ⁶	0,6	0,8	1,9	10	1,9
45	6,75	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,9	9	1,7

Características da água de estudo: Ind/L = 6,987x10⁸; pH = 7,81; Turbidez = 41 uT; Cor aparente = 510 uC;Cor verdadeira = 91 uC; Alcalinidade total = 39 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 56 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 400 s⁻¹, VA = 7,5 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,75	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,9	7	1,3
10	6,75	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,8	7	1,3
15	6,74	Ausência	-	0,7	1,8	7	1,3
20	6,73	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,9	9	1,7
30	6,74	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,7	8	1,5
45	6,75	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,9	9	1,7

Características da água de estudo: Ind/L = 6,987x10⁸; pH = 7,81; Turbidez = 41 uT; Cor aparente = 510 uC;Cor verdadeira = 91 uC; Alcalinidade total = 39 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °CTABELA 57 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 400 s⁻¹, VA = 5 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,75	Ausência	-	0,7	1,8	7	1,3
10	6,75	Ausência	-	0,7	1,6	7	1,3
15	6,74	Ausência	-	0,7	1,8	7	1,3
20	6,73	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,7	9	1,7
30	6,74	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,7	8	1,5
45	6,75	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,7	8	1,5

Características da água de estudo: Ind/L = 6,987x10⁸; pH = 7,81; Turbidez = 41 uT; Cor aparente = 510 uC;Cor verdadeira = 91 uC; Alcalinidade total = 39 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °CTABELA 58 – Número remanescente de partículas (Gmr = 400 s⁻¹; 5 < Tmr < 45 s)

Tmr (s)	Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	1,829x10 ⁵	1,913x10 ⁵	9,633x10 ⁴	4,267x10 ⁴	3,520x10 ⁴	1,767x10 ⁴	1,273x10 ⁴	8,067x10 ³	5,868x10 ⁵
10	1,768x10 ⁵	1,596x10 ⁵	7,313x10 ⁴	3,013x10 ⁴	2,040x10 ⁴	7,933x10 ³	4,333x10 ³	1,733x10 ³	4,741x10 ⁵
15	1,555x10 ⁵	1,442x10 ⁵	7,360x10 ⁴	3,940x10 ⁴	3,560x10 ⁴	1,900x10 ⁴	1,140x10 ⁴	4,400x10 ³	4,831x10 ⁵
20	1,337x10 ⁵	1,517x10 ⁵	8,833x10 ⁴	6,127x10 ⁴	7,067x10 ⁴	3,947x10 ⁴	2,460x10 ⁴	6,400x10 ³	5,761x10 ⁵
30	1,164x10 ⁵	1,169x10 ⁵	5,807x10 ⁴	2,747x10 ⁴	3,060x10 ⁴	1,793x10 ⁴	1,213x10 ⁴	4,200x10 ³	3,837x10 ⁵
45	8,973x10 ⁴	9,520x10 ⁴	5,173x10 ⁴	3,440x10 ⁴	4,147x10 ⁴	2,647x10 ⁴	1,773x10 ⁴	8,733x10 ³	3,655x10 ⁵
Água Tipo I	1,674x10 ⁶	2,117x10 ⁶	2,469x10 ⁶	3,034x10 ⁶	6,518x10 ⁶	4,425x10 ⁶	4,663x10 ⁶	1,403x10 ⁶	2,630x10 ⁷

TABELA 59 – Porcentagem remanescente do número de partículas (Gmr = 400 s⁻¹; 5 < Tmr < 45 s)

Tmr (s)	Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	10,9	9,0	3,9	1,4	0,5	0,4	0,3	0,6	2,2
10	10,6	7,5	3,0	1,0	0,3	0,2	0,1	0,1	1,8
15	9,3	6,8	3,0	1,3	0,5	0,4	0,2	0,3	1,8
20	8,0	7,2	3,6	2,0	1,1	0,9	0,5	0,5	2,2
30	7,0	5,5	2,4	0,9	0,5	0,4	0,3	0,3	1,5
45	5,4	4,5	2,1	1,1	0,6	0,6	0,4	0,6	1,4

FIGURA 109 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 110 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $G_{mr} = 400 \text{ s}^{-1}$

TABELA 60 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 600 s⁻¹, VA = 15 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,76	5,867x10 ⁶	0,8	1,1	2,2	13	1,8
10	6,73	3,911x10 ⁶	0,5	1,1	2,1	14	2,0
15	6,76	1,956x10 ⁶	0,3	1,3	2,5	15	2,1
20	6,58	5,867x10 ⁶	0,8	1,6	3,1	19	2,6
30	6,62	7,822x10 ⁶	1,1	1,7	3,3	15	2,1
45	6,63	1,564x10 ⁷	2,1	1,8	3,5	18	2,4

Características da água de estudo: Ind/L = 7,342x10⁸; pH = 7,82; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 726 uC;
Cor verdadeira = 91 uC; Alcalinidade total = 34 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 61 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 600 s⁻¹, VA = 10 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,76	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,5	10	1,4
10	6,73	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,5	10	1,4
15	6,76	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,6	10	1,4
20	6,58	5,867x10 ⁶	0,8	1,0	1,8	12	1,7
30	6,62	5,867x10 ⁶	0,8	0,9	1,8	11	1,5
45	6,63	1,173x10 ⁷	1,6	1,0	1,9	13	1,8

Características da água de estudo: Ind/L = 7,342x10⁸; pH = 7,82; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 726 uC;
Cor verdadeira = 91 uC; Alcalinidade total = 34 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 62 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 600 s⁻¹, VA = 7,5 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,76	Ausência	-	0,9	1,7	9	1,2
10	6,73	Ausência	-	0,8	1,5	10	1,4
15	6,76	Ausência	-	0,8	1,5	9	1,2
20	6,58	1,956x10 ⁶	0,3	0,9	1,7	11	1,5
30	6,62	5,867x10 ⁶	0,8	0,8	1,6	10	1,4
45	6,63	5,867x10 ⁶	0,8	0,9	1,7	11	1,5

Características da água de estudo: Ind/L = 7,342x10⁸; pH = 7,82; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 726 uC;
Cor verdadeira = 91 uC; Alcalinidade total = 34 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 63 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 600 s⁻¹, VA = 5 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind/L (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,76	Ausência	-	0,8	1,6	9	1,2
10	6,73	Ausência	-	0,8	1,5	9	1,2
15	6,76	Ausência	-	0,7	1,3	8	1,1
20	6,58	Ausência	-	0,9	1,7	11	1,5
30	6,62	Ausência	-	0,7	1,4	10	1,4
45	6,63	1,956x10 ⁷	0,3	0,8	1,5	11	1,5

Características da água de estudo: Ind/L = 7,342x10⁸; pH = 7,82; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 726 uC;
Cor verdadeira = 91 uC; Alcalinidade total = 34 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 64 – Número remanescente de partículas ($G_{mr} = 600 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)

T _{mr} (s)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	$1,418 \times 10^5$	$1,542 \times 10^5$	$7,767 \times 10^4$	$3,587 \times 10^4$	$2,767 \times 10^4$	$1,300 \times 10^4$	$8,933 \times 10^3$	$5,533 \times 10^3$	$4,647 \times 10^5$
10	$1,995 \times 10^5$	$1,391 \times 10^5$	$7,820 \times 10^4$	$3,580 \times 10^4$	$3,680 \times 10^4$	$1,700 \times 10^4$	$1,127 \times 10^4$	$5,133 \times 10^3$	$5,228 \times 10^5$
15	$2,009 \times 10^5$	$1,304 \times 10^5$	$6,387 \times 10^4$	$3,707 \times 10^4$	$3,920 \times 10^4$	$2,253 \times 10^4$	$1,973 \times 10^4$	$6,733 \times 10^3$	$5,204 \times 10^5$
20	$2,811 \times 10^5$	$1,663 \times 10^5$	$9,260 \times 10^4$	$5,833 \times 10^4$	$7,773 \times 10^4$	$5,780 \times 10^4$	$5,020 \times 10^4$	$1,927 \times 10^4$	$8,033 \times 10^5$
30	$1,253 \times 10^5$	$1,243 \times 10^5$	$5,587 \times 10^4$	$2,513 \times 10^4$	$2,493 \times 10^4$	$1,513 \times 10^4$	$1,213 \times 10^4$	$6,400 \times 10^3$	$3,891 \times 10^5$
45	$1,678 \times 10^5$	$1,582 \times 10^5$	$1,001 \times 10^5$	$7,840 \times 10^4$	$1,243 \times 10^5$	$8,020 \times 10^4$	$4,800 \times 10^4$	$1,253 \times 10^4$	$7,695 \times 10^5$
Água Tipo I	$1,109 \times 10^6$	$1,389 \times 10^6$	$1,631 \times 10^6$	$2,048 \times 10^6$	$4,908 \times 10^6$	$4,089 \times 10^6$	$6,793 \times 10^6$	$2,574 \times 10^6$	$2,454 \times 10^7$

TABELA 65 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($G_{mr} = 600 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)

T _{mr} (s)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	12,8	11,1	4,8	1,8	0,6	0,3	0,1	0,2	1,9
10	18,0	10,0	4,8	1,7	0,7	0,4	0,2	0,2	2,1
15	18,1	9,4	3,9	1,8	0,8	0,6	0,3	0,3	2,1
20	25,3	12,0	5,7	2,8	1,6	1,4	0,7	0,7	3,3
30	11,3	8,9	3,4	1,2	0,5	0,4	0,2	0,2	1,6
45	15,1	11,4	6,1	3,8	2,5	2,0	0,7	0,5	3,1

FIGURA 111 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $G_{mr} = 600 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 112 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $G_{mr} = 600 \text{ s}^{-1}$

TABELA 66 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $VA = 15 \text{ cm/min}$)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,70	$3,911 \times 10^6$	0,5	1,4	3,2	18	3,2
10	6,70	$3,911 \times 10^6$	0,5	1,1	2,4	14	2,6
15	6,72	$7,822 \times 10^6$	1,1	1,4	3,2	18	3,2
20	6,70	$7,822 \times 10^6$	1,1	1,3	3,1	22	4,0
30	6,72	$1,173 \times 10^7$	1,6	1,3	3,0	19	3,4
45	6,73	$1,564 \times 10^7$	2,2	2,0	4,6	30	5,4

Características da água de estudo: $Ind/L = 7,147 \times 10^8$; $pH = 7,77$; $Turbidez = 43 \text{ uT}$; $Cor \text{ aparente} = 548 \text{ uC}$;
 $Cor \text{ verdadeira} = 72 \text{ uC}$; $Alcalinidade \text{ total} = 36 \text{ mg CaCO}_3 / L$; $Temperatura = 20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

TABELA 67 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $VA = 10 \text{ cm/min}$)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,70	$3,911 \times 10^6$	0,5	1,0	2,2	15	2,8
10	6,70	$1,956 \times 10^6$	0,3	0,9	2,0	14	2,6
15	6,72	$1,956 \times 10^6$	0,3	1,0	2,3	15	2,8
20	6,70	$5,867 \times 10^6$	0,8	1,0	2,3	13	2,4
30	6,72	$5,867 \times 10^6$	0,8	1,0	2,2	12	2,2
45	6,73	$7,822 \times 10^6$	1,1	1,1	2,5	15	2,8

Características da água de estudo: $Ind/L = 7,147 \times 10^8$; $pH = 7,77$; $Turbidez = 43 \text{ uT}$; $Cor \text{ aparente} = 548 \text{ uC}$;
 $Cor \text{ verdadeira} = 72 \text{ uC}$; $Alcalinidade \text{ total} = 36 \text{ mg CaCO}_3 / L$; $Temperatura = 20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

TABELA 68 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $VA = 7,5 \text{ cm/min}$)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,70	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,9	2,0	14	2,6
10	6,70	$1,956 \times 10^6$	0,3	0,8	1,8	13	2,4
15	6,72	$1,956 \times 10^6$	0,3	0,9	2,1	13	2,4
20	6,70	$1,956 \times 10^6$	0,3	0,9	2,1	12	2,2
30	6,72	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,9	2,2	12	2,2
45	6,73	$7,822 \times 10^6$	1,1	0,9	2,0	12	2,2

Características da água de estudo: $Ind/L = 7,147 \times 10^8$; $pH = 7,77$; $Turbidez = 43 \text{ uT}$; $Cor \text{ aparente} = 548 \text{ uC}$;
 $Cor \text{ verdadeira} = 72 \text{ uC}$; $Alcalinidade \text{ total} = 36 \text{ mg CaCO}_3 / L$; $Temperatura = 20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

TABELA 69 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$, $VA = 5 \text{ cm/min}$)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,70	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,8	1,8	12	2,2
10	6,70	Ausência	-	0,7	1,7	12	2,2
15	6,72	Ausência	-	0,9	1,6	11	2,0
20	6,70	Ausência	-	0,9	2,0	10	1,8
30	6,72	Ausência	-	0,8	1,9	10	1,8
45	6,73	Ausência	-	0,9	2,0	10	1,8

Características da água de estudo: $Ind/L = 7,147 \times 10^8$; $pH = 7,77$; $Turbidez = 43 \text{ uT}$; $Cor \text{ aparente} = 548 \text{ uC}$;
 $Cor \text{ verdadeira} = 72 \text{ uC}$; $Alcalinidade \text{ total} = 36 \text{ mg CaCO}_3 / L$; $Temperatura = 20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

TABELA 70 – Número remanescente de partículas ($G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)

T _{mr} (s)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	$1,335 \times 10^5$	$1,454 \times 10^5$	$6,640 \times 10^4$	$3,487 \times 10^4$	$3,093 \times 10^4$	$1,193 \times 10^4$	$1,013 \times 10^4$	$6,667 \times 10^3$	$4,398 \times 10^5$
10	$1,689 \times 10^5$	$1,551 \times 10^5$	$6,913 \times 10^4$	$3,247 \times 10^4$	$3,367 \times 10^4$	$1,567 \times 10^4$	$9,667 \times 10^3$	$5,267 \times 10^3$	$4,899 \times 10^5$
15	$1,417 \times 10^5$	$1,374 \times 10^5$	$7,167 \times 10^4$	$4,407 \times 10^4$	$5,780 \times 10^4$	$2,807 \times 10^4$	$2,033 \times 10^4$	$4,533 \times 10^3$	$5,056 \times 10^5$
20	$1,245 \times 10^5$	$1,072 \times 10^5$	$5,840 \times 10^4$	$4,300 \times 10^4$	$6,593 \times 10^4$	$3,793 \times 10^4$	$3,020 \times 10^4$	$7,800 \times 10^3$	$4,750 \times 10^5$
30	$9,907 \times 10^4$	$9,740 \times 10^4$	$5,140 \times 10^4$	$3,633 \times 10^4$	$5,693 \times 10^4$	$3,693 \times 10^4$	$2,440 \times 10^4$	$5,733 \times 10^3$	$4,082 \times 10^5$
45	$1,282 \times 10^5$	$1,564 \times 10^5$	$1,213 \times 10^5$	$1,083 \times 10^5$	$1,677 \times 10^5$	$7,960 \times 10^4$	$4,327 \times 10^4$	$9,267 \times 10^3$	$8,141 \times 10^5$
Água Tipo I	$1,453 \times 10^6$	$1,840 \times 10^6$	$2,171 \times 10^6$	$2,729 \times 10^6$	$6,415 \times 10^6$	$4,988 \times 10^6$	$5,585 \times 10^6$	$1,279 \times 10^6$	$2,646 \times 10^7$

TABELA 71 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)

T _{mr} (s)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	9,2	7,9	3,1	1,3	0,5	0,2	0,2	0,5	1,7
10	11,6	8,4	3,2	1,2	0,5	0,3	0,2	0,4	1,9
15	9,8	7,5	3,3	1,6	0,9	0,6	0,4	0,4	1,9
20	8,6	5,8	2,7	1,6	1,0	0,8	0,5	0,6	1,8
30	6,8	5,3	2,4	1,3	0,9	0,7	0,4	0,4	1,5
45	8,8	8,5	5,6	4,0	2,6	1,6	0,8	0,7	3,1

FIGURA 113 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 114 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$

TABELA 72 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 1000 s⁻¹, VA = 15 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,81	3,911x10 ⁶	0,5	1,0	2,4	12	2,2
10	6,79	1,956x10 ⁶	0,3	0,9	2,0	11	2,0
15	6,84	3,911x10 ⁶	0,5	1,2	2,7	15	2,8
20	6,72	7,822x10 ⁶	1,1	1,4	3,3	18	3,2
30	6,77	1,173x10 ⁷	1,6	1,8	4,1	19	3,4
45	6,80	1,564x10 ⁷	2,2	2,4	5,6	31	5,6

Características da água de estudo: Ind/L = 7,147x10⁸; pH = 7,77; Turbidez = 43 uT; Cor aparente = 548 uC;
Cor verdadeira = 72 uC; Alcalinidade total = 36 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 73 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 1000 s⁻¹, VA = 10 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,81	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,8	10	1,8
10	6,79	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,9	9	1,6
15	6,84	1,956x10 ⁶	0,3	1,0	2,2	11	2,0
20	6,72	7,822x10 ⁶	1,1	1,0	2,3	14	2,6
30	6,77	1,173x10 ⁷	1,6	0,9	2,1	14	2,6
45	6,80	1,173x10 ⁷	1,6	1,0	2,4	15	2,8

Características da água de estudo: Ind/L = 7,147x10⁸; pH = 7,77; Turbidez = 43 uT; Cor aparente = 548 uC;
Cor verdadeira = 72 uC; Alcalinidade total = 36 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 74 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 1000 s⁻¹, VA = 7,5 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,81	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,7	9	1,6
10	6,79	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,6	9	1,6
15	6,84	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,9	10	1,8
20	6,72	3,911x10 ⁶	0,5	0,9	2,0	12	2,2
30	6,77	7,822x10 ⁶	1,1	0,8	1,9	11	2,0
45	6,80	3,911x10 ⁶	0,5	0,9	2,1	11	2,0

Características da água de estudo: Ind/L = 7,147x10⁸; pH = 7,77; Turbidez = 43 uT; Cor aparente = 548 uC;
Cor verdadeira = 72 uC; Alcalinidade total = 36 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 75 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 1000 s⁻¹, VA = 5 cm/min)

Tmr (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,81	Ausência	-	0,7	1,6	9	1,6
10	6,79	Ausência	-	0,7	1,6	9	1,6
15	6,84	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,8	9	1,6
20	6,72	3,911x10 ⁶	0,5	0,8	1,9	11	2,0
30	6,77	3,911x10 ⁶	0,5	0,8	1,9	9	1,6
45	6,80	3,911x10 ⁶	0,5	0,9	2,0	11	2,0

Características da água de estudo: Ind/L = 7,147x10⁸; pH = 7,77; Turbidez = 43 uT; Cor aparente = 548 uC;
Cor verdadeira = 72 uC; Alcalinidade total = 36 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 76 – Número remanescente de partículas ($G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)

T _{mr} (s)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	$1,162 \times 10^5$	$1,299 \times 10^5$	$5,460 \times 10^4$	$3,233 \times 10^4$	$3,200 \times 10^4$	$1,653 \times 10^4$	$1,720 \times 10^4$	$1,307 \times 10^4$	$4,118 \times 10^5$
10	$1,196 \times 10^5$	$1,214 \times 10^5$	$5,280 \times 10^4$	$2,660 \times 10^4$	$2,367 \times 10^4$	$1,233 \times 10^4$	$1,073 \times 10^4$	$6,200 \times 10^3$	$3,733 \times 10^5$
15	$1,036 \times 10^5$	$1,201 \times 10^5$	$7,440 \times 10^4$	$6,133 \times 10^4$	$8,293 \times 10^4$	$4,300 \times 10^4$	$2,520 \times 10^4$	$7,400 \times 10^3$	$5,180 \times 10^5$
20	$1,199 \times 10^5$	$1,333 \times 10^5$	$1,024 \times 10^5$	$9,860 \times 10^4$	$1,667 \times 10^5$	$1,098 \times 10^5$	$8,027 \times 10^4$	$2,107 \times 10^4$	$8,321 \times 10^5$
30	$1,100 \times 10^5$	$1,137 \times 10^5$	$6,593 \times 10^4$	$5,247 \times 10^4$	$7,573 \times 10^4$	$4,113 \times 10^4$	$2,160 \times 10^4$	$6,800 \times 10^3$	$4,874 \times 10^5$
45	$1,445 \times 10^5$	$1,795 \times 10^5$	$1,492 \times 10^5$	$1,296 \times 10^5$	$1,873 \times 10^5$	$7,627 \times 10^4$	$3,327 \times 10^4$	$5,467 \times 10^3$	$9,051 \times 10^5$
Água Tipo I	$1,453 \times 10^6$	$1,840 \times 10^6$	$2,171 \times 10^6$	$2,729 \times 10^6$	$6,415 \times 10^6$	$4,988 \times 10^6$	$5,585 \times 10^6$	$1,279 \times 10^6$	$2,646 \times 10^7$

TABELA 77 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)

T _{mr} (s)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	8,0	7,1	2,5	1,2	0,5	0,3	0,3	1,0	1,6
10	8,2	6,6	2,4	1,0	0,4	0,2	0,2	0,5	1,4
15	7,1	6,5	3,4	2,2	1,3	0,9	0,5	0,6	2,0
20	8,3	7,2	4,7	3,6	2,6	2,2	1,4	1,6	3,1
30	7,6	6,2	3,0	1,9	1,2	0,8	0,4	0,5	1,8
45	9,9	9,8	6,9	4,7	2,9	1,5	0,6	0,4	3,4

FIGURA 115 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 116 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$

TABELA 78 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$, $V_A = 15 \text{ cm/min}$)

T _{mr} (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,71	$7,822 \times 10^6$	1,1	0,9	2,1	9	1,6
10	6,74	$9,778 \times 10^6$	1,4	0,9	2,2	10	1,8
15	6,76	$9,778 \times 10^6$	1,4	1,2	2,7	9	1,6
20	6,70	$1,173 \times 10^7$	1,6	1,2	2,7	12	2,2
30	6,71	$1,760 \times 10^7$	2,5	1,4	3,3	13	2,4
45	6,75	$3,324 \times 10^7$	4,7	2,0	4,6	23	4,2

Características da água de estudo: Ind/L = $7,147 \times 10^8$; pH = 7,77; Turbidez = 43 uT; Cor aparente = 548 uC;
Cor verdadeira = 72 uC; Alcalinidade total = 36 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ \text{C}$

TABELA 79 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$, $V_A = 10 \text{ cm/min}$)

T _{mr} (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,71	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,9	2,0	8	1,4
10	6,74	$7,822 \times 10^6$	1,1	0,8	1,8	8	1,4
15	6,76	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,8	1,9	8	1,4
20	6,70	$1,173 \times 10^7$	1,6	0,9	2,1	9	1,6
30	6,71	$7,822 \times 10^6$	1,1	0,9	2,2	9	1,6
45	6,75	$1,956 \times 10^7$	2,7	0,9	2,1	10	1,8

Características da água de estudo: Ind/L = $7,147 \times 10^8$; pH = 7,77; Turbidez = 43 uT; Cor aparente = 548 uC;
Cor verdadeira = 72 uC; Alcalinidade total = 36 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ \text{C}$

TABELA 80 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$, $V_A = 7,5 \text{ cm/min}$)

T _{mr} (s)	pH	Ind/L	% Ind/L (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,71	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,8	1,9	7	1,2
10	6,74	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,8	1,7	7	1,2
15	6,76	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,8	1,8	7	1,2
20	6,70	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,8	1,8	8	1,4
30	6,71	$7,822 \times 10^6$	1,1	0,8	1,8	9	1,6
45	6,75	$7,822 \times 10^6$	1,1	0,9	2,0	8	1,2

Características da água de estudo: Ind/L = $7,147 \times 10^8$; pH = 7,77; Turbidez = 43 uT; Cor aparente = 548 uC;
Cor verdadeira = 72 uC; Alcalinidade total = 36 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ \text{C}$

TABELA 81 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$, $V_A = 5 \text{ cm/min}$)

T _{mr} (s)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,71	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,9	2,0	7	1,2
10	6,74	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,7	1,7	7	1,2
15	6,76	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,7	1,7	7	1,2
20	6,70	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,7	1,7	8	1,4
30	6,71	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,8	1,7	8	1,4
45	6,75	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,8	1,8	8	1,4

Características da água de estudo: Ind/L = $7,147 \times 10^8$; pH = 7,77; Turbidez = 43 uT; Cor aparente = 548 uC;
Cor verdadeira = 72 uC; Alcalinidade total = 36 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ \text{C}$

TABELA 82 – Número remanescente de partículas ($G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)

T _{mr} (s)	Faixa de Tamanhos da Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	$1,415 \times 10^5$	$1,442 \times 10^5$	$8,293 \times 10^4$	$4,667 \times 10^4$	$5,847 \times 10^4$	$3,073 \times 10^4$	$2,673 \times 10^4$	$1,313 \times 10^4$	$5,444 \times 10^5$
10	$2,225 \times 10^5$	$2,533 \times 10^5$	$1,172 \times 10^5$	$6,260 \times 10^4$	$6,247 \times 10^4$	$3,207 \times 10^4$	$2,060 \times 10^4$	$5,800 \times 10^3$	$7,765 \times 10^5$
15	$1,161 \times 10^5$	$1,314 \times 10^5$	$8,473 \times 10^4$	$6,620 \times 10^4$	$8,447 \times 10^4$	$4,260 \times 10^4$	$2,373 \times 10^4$	$5,733 \times 10^4$	$5,550 \times 10^5$
20	$1,399 \times 10^5$	$1,505 \times 10^5$	$9,260 \times 10^4$	$7,760 \times 10^4$	$1,073 \times 10^5$	$5,807 \times 10^4$	$3,273 \times 10^4$	$1,120 \times 10^4$	$6,699 \times 10^5$
30	$1,527 \times 10^5$	$1,660 \times 10^5$	$1,184 \times 10^5$	$9,913 \times 10^4$	$1,463 \times 10^5$	$8,200 \times 10^4$	$4,293 \times 10^4$	$1,007 \times 10^4$	$8,175 \times 10^5$
45	$1,783 \times 10^5$	$2,245 \times 10^5$	$1,894 \times 10^5$	$1,737 \times 10^5$	$2,177 \times 10^5$	$9,107 \times 10^4$	$3,087 \times 10^4$	$8,267 \times 10^4$	$1,114 \times 10^6$
Água Tipo I	$1,453 \times 10^6$	$1,840 \times 10^6$	$2,171 \times 10^6$	$2,729 \times 10^6$	$6,415 \times 10^6$	$4,988 \times 10^6$	$5,585 \times 10^6$	$1,279 \times 10^6$	$2,646 \times 10^7$

TABELA 83 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$; $5 < T_{mr} < 45 \text{ s}$)

T _{mr} (s)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	9,7	7,8	3,8	1,7	0,9	0,6	0,5	1,0	2,1
10	15,3	13,8	5,4	2,3	1,0	0,6	0,4	0,5	2,9
15	8,0	7,1	3,9	2,4	1,3	0,9	0,4	0,4	2,1
20	9,6	8,2	4,3	2,8	1,7	1,2	0,6	0,9	2,5
30	10,5	9,0	5,5	3,6	2,3	1,6	0,8	0,8	3,1
45	12,3	12,2	8,7	6,4	3,4	1,8	0,6	0,6	4,2

FIGURA 117 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 118 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e do Tempo de Mistura Rápida para $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$

FIGURA 119 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para VA = 15 cm/min

FIGURA 120 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tempo e Gradiente de Mistura para VA = 10 cm/min

FIGURA 121 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tempo e Gradiente de Mistura para VA = 7,5 cm/min

FIGURA 122 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tempo e Gradiente de Mistura para VA = 5 cm/min

FIGURA 123 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para VA = 15 cm/min

FIGURA 124 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para VA = 10 cm/min

FIGURA 125 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para $VA = 7,5 \text{ cm/min}$

FIGURA 126 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para $VA = 5 \text{ cm/min}$

FIGURA 127 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para VA = 15 cm/min

FIGURA 128 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para VA = 10 cm/min

FIGURA 129 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para $VA = 7,5 \text{ cm/min}$

FIGURA 130 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo e Gradiente de Mistura Rápida para $VA = 5 \text{ cm/min}$

ANEXO E

**Parâmetros da Floculação: Tempo de Agitação
e Gradiente Médio de Velocidade**

Série de Ensaios IV

Série IV – Parâmetros da Floculação: Tempo de Agitação e Gradiente de Velocidade – Água Tipo I

TABELA 84 – Características da água Tipo I na Série IV

Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	Alcalinidade Total (mg/L de CaCO ₃)	pH	Ind/L	Temperatura (°C)
45 a 50	566 a 670	77	38	7,60 a 7,72	7,040x10 ⁸ a 7,733x10 ⁸	20 ± 1

TABELA 85 – Dosagens de produtos químicos utilizados na Série IV

Coagulante (Solução de Sulfato de Alumínio)	Alcalinizante (Solução de Hidróxido de Sódio)	Acidificante (Solução de Ácido Clorídrico)
DSA = 50 mg/L	-----	-----

TABELA 86 – Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série IV

Mistura Rápida		Floculação			Flotação		
Tmr = 10 s	Gmr = 1000 s ⁻¹	Tf = 5, 10, 15 e 20 min	Gf = 20, 25, 30, 40, 60 e 90 s ⁻¹	Tsat = 8 min	P = 400 kPa	R = 10 %	VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min

TABELA 87 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gf = 20 s⁻¹, VA = 15 cm/min)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,89	1,173x10 ⁷	1,7	1,4	3,0	19	3,3
10	6,93	3,911x10 ⁶	0,6	1,1	2,5	14	2,5
15	6,95	5,867x10 ⁶	0,8	1,0	2,2	14	2,5
20	7,01	1,173x10 ⁷	1,7	1,0	2,2	14	2,5
25	7,00	1,173x10 ⁷	1,7	1,0	2,1	11	1,9
30	6,98	1,564x10 ⁷	2,2	1,0	2,2	13	2,3

Características da água de estudo: Ind/L = 7,058x10⁸; pH = 7,72; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 566 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 88 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gf = 20 s⁻¹, VA = 10 cm/min)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,89	7,822x10 ⁶	1,1	1,0	2,3	15	2,7
10	6,93	3,911x10 ⁶	0,6	0,8	1,8	12	2,1
15	6,95	5,867x10 ⁶	0,8	0,7	1,6	11	1,9
20	7,01	5,867x10 ⁶	0,8	0,8	1,7	10	1,7
25	7,00	5,867x10 ⁶	0,8	0,8	1,7	9	1,6
30	6,98	9,778x10 ⁶	1,4	0,7	1,6	10	1,7

Características da água de estudo: Ind/L = 7,058x10⁸; pH = 7,72; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 566 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 89 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gf = 20 s⁻¹, VA = 7,5 cm/min)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,89	3,911x10 ⁶	0,6	0,9	2,0	13	2,3
10	6,93	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,7	11	1,9
15	6,95	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,5	10	1,7
20	7,01	1,956x10 ⁶	0,3	0,8	1,8	9	1,6
25	7,00	1,956x10 ⁶	0,3	0,7	1,6	8	1,4
30	6,98	1,956x10 ⁶	0,3	0,6	1,3	8	1,4

Características da água de estudo: Ind/L = 7,058x10⁸; pH = 7,72; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 566 uC;Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °CTABELA 90 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gf = 20 s⁻¹, VA = 5 cm/min)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,89	3,911x10 ⁶	0,6	0,8	1,8	11	1,9
10	6,93	Ausência	-	0,7	1,5	10	1,7
15	6,95	Ausência	-	0,6	1,3	9	1,6
20	7,01	1,956x10 ⁶	0,3	0,6	1,3	7	1,2
25	7,00	1,956x10 ⁶	0,3	0,6	1,2	7	1,2
30	6,98	Ausência	-	0,6	1,2	7	1,2

Características da água de estudo: Ind/L = 7,058x10⁸; pH = 7,72; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 566 uC;Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °CTABELA 91 – Número remanescente de partículas (Gf = 20 s⁻¹; 5 < Tmr < 45 s)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	2,063x10 ⁵	1,951x10 ⁵	1,059x10 ⁵	6,133x10 ⁴	7,373x10 ⁴	3,580x10 ⁴	2,753x10 ⁴	1,340x10 ⁴	7,191x10 ⁵
10	2,086x10 ⁵	2,022x10 ⁵	1,019x10 ⁵	5,120x10 ⁴	5,580x10 ⁴	2,113x10 ⁴	1,347x10 ⁴	5,667x10 ³	6,600x10 ⁵
15	1,709x10 ⁵	1,719x10 ⁵	8,287x10 ⁴	4,653x10 ⁴	4,920x10 ⁴	2,227x10 ⁴	1,867x10 ⁴	9,000x10 ³	5,713x10 ⁵
20	1,303x10 ⁵	1,284x10 ⁵	5,633x10 ⁴	2,760x10 ⁴	2,473x10 ⁴	1,167x10 ⁴	1,080x10 ⁴	9,800x10 ³	3,996x10 ⁵
25	1,456x10 ⁵	1,434x10 ⁵	6,160x10 ⁴	2,973x10 ⁴	2,413x10 ⁴	1,307x10 ⁴	9,733x10 ³	5,600x10 ³	4,329x10 ⁵
30	2,668x10 ⁵	3,173x10 ⁵	2,206x10 ⁵	2,046x10 ⁵	3,431x10 ⁵	2,405x10 ⁵	2,442x10 ⁵	1,152x10 ⁵	1,952x10 ⁶
Água Tipo I	1,210x10 ⁶	1,533x10 ⁶	1,775x10 ⁶	2,202x10 ⁶	5,317x10 ⁶	4,348x10 ⁶	6,336x10 ⁶	2,356x10 ⁶	2,508x10 ⁷

TABELA 92 – Porcentagem remanescente do número de partículas (Gf = 20 s⁻¹; 5 < Tmr < 45 s)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	17,0	12,7	6,0	2,8	1,4	0,8	0,4	0,6	2,9
10	17,2	13,2	5,7	2,3	1,0	0,5	0,2	0,2	2,6
15	14,1	11,2	4,7	2,1	0,9	0,5	0,3	0,4	2,3
20	10,8	8,4	3,2	1,3	0,5	0,3	0,2	0,4	1,6
25	12,0	9,4	3,5	1,4	0,5	0,3	0,2	0,2	1,7
30	22,0	20,7	12,4	9,3	6,5	5,5	3,9	4,9	7,8

FIGURA 131 – Número Remanescente de Partículas em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 20 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 132 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das partículas para $Gf = 20 \text{ s}^{-1}$

TABELA 93 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 25 \text{ s}^{-1}$, $VA = 15 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,82	$5,867 \times 10^6$	0,8	1,10	2,4	21	3,7
10	6,85	$1,956 \times 10^6$	0,3	1,05	2,3	12	2,1
15	6,84	$7,822 \times 10^6$	1,1	1,08	2,4	12	2,1
20	6,81	$1,760 \times 10^7$	2,5	1,44	3,2	18	3,1
25	6,87	$2,151 \times 10^7$	3,0	1,13	2,5	15	2,7
30	6,93	$3,911 \times 10^7$	5,5	1,38	3,0	18	3,1

Características da água de estudo: Ind/L = $7,058 \times 10^8$; pH = 7,72; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 566 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 94 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 25 \text{ s}^{-1}$, $VA = 10 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,82	$5,867 \times 10^6$	0,8	1,05	2,3	15	2,7
10	6,85	Ausência	-	0,86	1,9	11	1,9
15	6,84	$3,911 \times 10^6$	0,6	0,94	2,1	11	1,9
20	6,81	$5,867 \times 10^6$	0,8	1,10	2,4	14	2,5
25	6,87	$7,822 \times 10^6$	1,1	0,92	2,0	11	1,9
30	6,93	$1,369 \times 10^7$	1,9	1,00	2,2	11	1,9

Características da água de estudo: Ind/L = $7,058 \times 10^8$; pH = 7,72; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 566 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 95 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 25 \text{ s}^{-1}$, $VA = 7,5 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,82	$3,911 \times 10^6$	0,6	0,95	2,1	12	2,1
10	6,85	Ausência	-	0,79	1,8	10	1,7
15	6,84	$3,911 \times 10^6$	0,6	0,85	1,9	11	1,9
20	6,81	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,80	1,8	9	1,6
25	6,87	$3,911 \times 10^6$	0,6	0,77	1,7	8	1,4
30	6,93	$1,173 \times 10^7$	1,7	0,72	1,6	8	1,4

Características da água de estudo: Ind/L = $7,058 \times 10^8$; pH = 7,72; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 566 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 96 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 25 \text{ s}^{-1}$, $VA = 5 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,82	$3,911 \times 10^6$	0,6	0,79	1,8	11	1,9
10	6,85	Ausência	-	0,76	1,7	8	1,4
15	6,84	Ausência	-	0,68	1,5	8	1,4
20	6,81	Ausência	-	0,64	1,4	7	1,2
25	6,87	Ausência	-	0,61	1,3	7	1,2
30	6,93	$7,822 \times 10^6$	1,1	0,61	1,3	7	1,2

Características da água de estudo: Ind/L = $7,058 \times 10^8$; pH = 7,72; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 566 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 97 – Número remanescente de partículas ($Gf = 25 \text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45 \text{ s}$)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	$1,507.10^5$	$1,502.10^5$	$7,353.10^4$	$3,967.10^4$	$4,400.10^4$	$2,340.10^4$	$2,240.10^4$	$1,440.10^4$	$5,183.10^5$
10	$1,281.10^5$	$1,376.10^5$	$6,953.10^4$	$3,473.10^4$	$3,607.10^4$	$1,593.10^4$	$1,467.10^4$	$6,200.10^3$	$4,428.10^5$
15	$1,159.10^5$	$1,219.10^5$	$7,387.10^4$	$4,873.10^4$	$6,513.10^4$	$3,333.10^4$	$2,880.10^4$	$1,193.10^4$	$4,996.10^5$
20	$1,398.10^5$	$1,514.10^5$	$7,453.10^4$	$3,973.10^4$	$3,720.10^4$	$2,493.10^4$	$2,273.10^4$	$1,273.10^4$	$5,031.10^5$
25	$1,531.10^5$	$1,511.10^5$	$6,767.10^4$	$2,933.10^4$	$2,113.10^4$	$9,600.10^3$	$9,800.10^3$	$9,067.10^3$	$4,508.10^5$
30	$1,249.10^5$	$1,363.10^5$	$6,880.10^4$	$3,747.10^4$	$4,380.10^4$	$2,433.10^4$	$2,760.10^4$	$1,913.10^4$	$4,824.10^5$
Água Tipo I	$1,210.10^6$	$1,533.10^6$	$1,775.10^6$	$2,202.10^6$	$5,317.10^6$	$4,348.10^6$	$6,336.10^6$	$2,356.10^6$	$2,508.10^7$

TABELA 98 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($Gf = 25 \text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45 \text{ s}$)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	12,5	9,8	4,1	1,8	0,8	0,5	0,4	0,6	2,1
10	10,6	9,0	3,9	1,6	0,7	0,4	0,2	0,3	1,8
15	9,6	8,0	4,2	2,2	1,2	0,8	0,5	0,5	2,0
20	11,6	9,9	4,2	1,8	0,7	0,6	0,4	0,5	2,0
25	12,7	9,9	3,8	1,3	0,4	0,2	0,2	0,4	1,8
30	10,3	8,9	3,9	1,7	0,8	0,6	0,4	0,8	1,9

FIGURA 133 – Número Remanescente de Partículas em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 25 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 134 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das partículas para $Gf = 25 \text{ s}^{-1}$

TABELA 99 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 30 \text{ s}^{-1}$, $VA = 15 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,82	$7,822 \times 10^6$	1,0	1,29	2,6	18	2,6
10	6,88	$7,822 \times 10^6$	1,0	0,98	2,0	13	2,0
15	6,86	$7,822 \times 10^6$	1,0	0,96	1,9	15	2,3
20	6,94	$1,369 \times 10^7$	1,8	2,08	4,1	20	3,0
25	7,00	$1,369 \times 10^7$	1,8	1,57	3,1	18	2,6
30	6,98	$2,933 \times 10^7$	3,8	1,66	3,3	19	2,8

Características da água de estudo: Ind/L = $7,733 \times 10^8$; pH = 7,60; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 670 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L ; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 100 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 30 \text{ s}^{-1}$, $VA = 10 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,82	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,97	1,9	14	2,1
10	6,88	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,90	1,8	11	1,6
15	6,86	$7,822 \times 10^6$	1,0	0,84	1,7	10	1,5
20	6,94	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,88	1,8	10	1,5
25	7,00	$9,778 \times 10^6$	1,3	0,85	1,7	9	1,3
30	6,98	$1,173 \times 10^7$	1,5	0,80	1,6	10	1,5

Características da água de estudo: Ind/L = $7,733 \times 10^8$; pH = 7,60; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 670 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L ; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 101 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 30 \text{ s}^{-1}$, $VA = 7,5 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,82	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,81	1,6	12	1,8
10	6,88	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,90	1,8	9	1,3
15	6,86	$7,822 \times 10^6$	1,0	0,84	1,7	9	1,3
20	6,94	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,80	1,6	9	1,3
25	7,00	$7,822 \times 10^6$	1,0	0,84	1,7	9	1,3
30	6,98	$7,822 \times 10^6$	1,0	0,70	1,4	9	1,3

Características da água de estudo: Ind/L = $7,733 \times 10^8$; pH = 7,60; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 670 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L ; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 102 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 30 \text{ s}^{-1}$, $VA = 5 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,82	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,87	1,7	11	1,6
10	6,88	$1,956 \times 10^6$	0,3	0,86	1,7	9	1,3
15	6,86	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,80	1,6	9	1,3
20	6,94	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,73	1,4	9	1,3
25	7,00	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,67	1,3	9	1,3
30	6,98	$7,822 \times 10^6$	1,0	0,68	1,4	9	1,3

Características da água de estudo: Ind/L = $7,733 \times 10^8$; pH = 7,60; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 670 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L ; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 103 – Número remanescente de partículas ($Gf = 30 \text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45 \text{ s}$)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	$1,229 \times 10^5$	$1,109 \times 10^5$	$5,427 \times 10^4$	$2,580 \times 10^4$	$2,360 \times 10^4$	$1,493 \times 10^4$	$1,547 \times 10^4$	$7,400 \times 10^3$	$3,752 \times 10^5$
10	$1,270 \times 10^5$	$1,304 \times 10^5$	$6,520 \times 10^4$	$3,247 \times 10^4$	$3,120 \times 10^4$	$1,847 \times 10^4$	$1,713 \times 10^4$	$9,667 \times 10^3$	$4,316 \times 10^5$
15	$1,301 \times 10^5$	$1,337 \times 10^5$	$7,060 \times 10^4$	$4,547 \times 10^4$	$4,927 \times 10^4$	$2,780 \times 10^4$	$2,027 \times 10^4$	$7,467 \times 10^3$	$4,847 \times 10^5$
20	$1,659 \times 10^5$	$1,721 \times 10^5$	$7,660 \times 10^4$	$3,100 \times 10^4$	$2,527 \times 10^4$	$1,593 \times 10^4$	$1,787 \times 10^4$	$1,073 \times 10^4$	$5,153 \times 10^5$
25	$1,327 \times 10^5$	$1,238 \times 10^5$	$5,633 \times 10^4$	$2,707 \times 10^4$	$2,533 \times 10^4$	$1,727 \times 10^4$	$1,747 \times 10^4$	$1,060 \times 10^4$	$4,105 \times 10^5$
30	$1,431 \times 10^5$	$1,645 \times 10^5$	$7,900 \times 10^4$	$4,940 \times 10^4$	$5,113 \times 10^4$	$3,620 \times 10^4$	$3,580 \times 10^4$	$1,733 \times 10^4$	$5,764 \times 10^5$
Água Tipo I	$1,028 \times 10^6$	$1,318 \times 10^6$	$1,609 \times 10^6$	$2,001 \times 10^6$	$4,569 \times 10^6$	$3,870 \times 10^6$	$7,497 \times 10^6$	$2,551 \times 10^6$	$2,444 \times 10^7$

TABELA 104 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($Gf = 30 \text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45 \text{ s}$)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	12,0	8,4	3,4	1,3	0,5	0,4	0,2	0,3	1,5
10	12,4	9,9	4,1	1,6	0,7	0,5	0,2	0,4	1,8
15	12,7	10,1	4,4	2,3	1,1	0,7	0,3	0,3	2,0
20	16,1	13,1	4,8	1,5	0,6	0,4	0,2	0,4	2,1
25	12,9	9,4	3,5	1,4	0,6	0,4	0,2	0,4	1,7
30	13,9	12,5	4,9	2,5	1,1	0,9	0,5	0,7	2,4

FIGURA 135 – Número Remanescente de Partículas em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 30 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 136 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das partículas para $Gf = 30 \text{ s}^{-1}$

TABELA 105 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 40 \text{ s}^{-1}$, $VA = 15 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,81	$7,822 \times 10^6$	1,0	0,81	1,6	14	2,1
10	6,84	$7,822 \times 10^6$	1,0	1,28	2,5	18	2,6
15	6,95	$1,173 \times 10^7$	1,5	1,39	2,8	20	3,0
20	6,85	$2,738 \times 10^7$	3,5	1,49	3,0	24	3,6
25	6,92	$2,542 \times 10^7$	3,3	1,79	3,6	20	3,0
30	6,99	$3,324 \times 10^7$	4,3	1,90	3,8	25	3,8

Características da água de estudo: Ind/L = $7,733 \times 10^8$; pH = 7,60; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 670 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 106 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 40 \text{ s}^{-1}$, $VA = 10 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,81	$7,822 \times 10^6$	1,0	0,80	1,6	12	1,8
10	6,84	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,67	1,3	11	1,6
15	6,95	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,77	1,5	12	1,8
20	6,85	$1,564 \times 10^7$	2,0	0,95	1,9	12	1,8
25	6,92	$1,564 \times 10^7$	2,0	0,75	1,5	11	1,6
30	6,99	$1,956 \times 10^7$	2,5	0,74	1,5	11	1,6

Características da água de estudo: Ind/L = $7,733 \times 10^8$; pH = 7,60; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 670 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 107 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 40 \text{ s}^{-1}$, $VA = 7,5 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x.100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,81	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,77	1,5	10	1,5
10	6,84	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,67	1,3	9	1,3
15	6,95	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,70	1,4	9	1,3
20	6,85	$1,369 \times 10^7$	1,8	0,70	1,4	11	1,6
25	6,92	$1,173 \times 10^7$	1,5	0,68	1,4	10	1,5
30	6,99	$1,564 \times 10^7$	2,0	0,69	1,4	11	1,6

Características da água de estudo: Ind/L = $7,733 \times 10^8$; pH = 7,60; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 670 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 108 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 40 \text{ s}^{-1}$, $VA = 5 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,81	$1,956 \times 10^6$	0,3	0,72	1,4	10	1,5
10	6,84	$1,956 \times 10^6$	0,3	0,66	1,3	8	1,1
15	6,95	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,68	1,4	9	1,3
20	6,85	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,61	1,2	10	1,5
25	6,92	$3,911 \times 10^6$	0,5	0,67	1,3	10	1,5
30	6,99	$1,173 \times 10^7$	1,5	0,62	1,2	10	1,5

Características da água de estudo: Ind/L = $7,733 \times 10^8$; pH = 7,60; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 670 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 109 – Número remanescente de partículas ($Gf = 40 \text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45 \text{ s}$)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	$9,287 \times 10^4$	$1,004 \times 10^5$	$5,140 \times 10^4$	$2,793 \times 10^4$	$2,767 \times 10^4$	$1,733 \times 10^4$	$2,013 \times 10^4$	$1,860 \times 10^4$	$3,563 \times 10^5$
10	$9,540 \times 10^4$	$1,027 \times 10^5$	$4,920 \times 10^4$	$2,313 \times 10^4$	$2,060 \times 10^4$	$1,187 \times 10^4$	$1,080 \times 10^4$	$9,067 \times 10^3$	$3,228 \times 10^5$
15	$7,973 \times 10^4$	$8,600 \times 10^4$	$4,700 \times 10^4$	$3,193 \times 10^4$	$3,113 \times 10^4$	$2,407 \times 10^4$	$2,020 \times 10^4$	$8,867 \times 10^3$	$3,289 \times 10^5$
20	$1,174 \times 10^5$	$1,233 \times 10^5$	$5,133 \times 10^4$	$2,560 \times 10^4$	$2,680 \times 10^4$	$1,453 \times 10^4$	$1,547 \times 10^4$	$5,667 \times 10^3$	$3,801 \times 10^5$
25	$1,133 \times 10^5$	$1,213 \times 10^5$	$6,500 \times 10^4$	$3,900 \times 10^4$	$3,933 \times 10^4$	$2,420 \times 10^4$	$2,427 \times 10^4$	$2,460 \times 10^4$	$4,511 \times 10^5$
30	$1,203 \times 10^5$	$1,250 \times 10^5$	$6,633 \times 10^4$	$4,000 \times 10^4$	$4,093 \times 10^4$	$2,373 \times 10^4$	$1,767 \times 10^4$	$9,600 \times 10^3$	$4,435 \times 10^5$
Água Tipo I	$1,028 \times 10^6$	$1,318 \times 10^6$	$1,609 \times 10^6$	$2,001 \times 10^6$	$4,569 \times 10^6$	$3,870 \times 10^6$	$7,497 \times 10^6$	$2,551 \times 10^6$	$2,444 \times 10^7$

TABELA 110 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($Gf = 40 \text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45 \text{ s}$)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	9,0	7,6	3,2	1,4	0,6	0,4	0,3	0,7	1,5
10	9,3	7,8	3,1	1,2	0,5	0,3	0,1	0,4	1,3
15	7,8	6,5	2,9	1,6	0,7	0,6	0,3	0,3	1,3
20	11,4	9,4	3,2	1,3	0,6	0,4	0,2	0,2	1,6
25	11,0	9,2	4,0	1,9	0,9	0,6	0,3	1,0	1,8
30	11,7	9,5	4,1	2,0	0,9	0,6	0,2	0,4	1,8

FIGURA 137 – Número Remanescente de Partículas em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 40 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 138 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das partículas para $Gf = 45 \text{ s}^{-1}$

TABELA 111 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 60 \text{ s}^{-1}$, $VA = 15 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,95	$1,956 \times 10^7$	2,8	1,95	3,9	32	5,0
10	7,01	$2,933 \times 10^7$	4,2	3,30	6,7	42	6,5
15	7,05	$3,716 \times 10^7$	5,3	3,39	6,8	44	6,9
20	7,01	$5,280 \times 10^7$	7,5	3,94	7,9	55	8,6
25	7,04	$6,844 \times 10^7$	9,7	4,22	8,5	56	8,8
30	7,04	$7,822 \times 10^7$	11,1	3,95	8,0	55	8,6

Características da água de estudo: Ind/L = $7,040 \times 10^8$; pH = 7,70; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 640 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 112 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 60 \text{ s}^{-1}$, $VA = 10 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,95	$1,760 \times 10^7$	2,5	1,08	2,2	15	2,4
10	7,01	$1,956 \times 10^7$	2,8	1,03	2,1	17	2,6
15	7,05	$2,347 \times 10^7$	3,3	1,32	2,7	18	2,8
20	7,01	$3,716 \times 10^7$	5,3	1,69	3,4	21	3,3
25	7,04	$4,498 \times 10^7$	6,4	1,38	2,8	21	3,3
30	7,04	$5,280 \times 10^7$	7,5	1,76	3,5	19	2,9

Características da água de estudo: Ind/L = $7,040 \times 10^8$; pH = 7,70; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 640 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 113 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 60 \text{ s}^{-1}$, $VA = 7,5 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,95	$3,911 \times 10^6$	0,6	0,85	1,7	14	2,2
10	7,01	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,87	1,8	13	2,1
15	7,05	$1,173 \times 10^7$	1,7	1,01	2,0	12	1,9
20	7,01	$1,956 \times 10^7$	2,8	1,02	2,1	15	2,4
25	7,04	$1,760 \times 10^7$	2,5	1,10	2,2	14	2,2
30	7,04	$1,956 \times 10^7$	2,8	1,05	2,1	12	1,9

Características da água de estudo: Ind/L = $7,040 \times 10^8$; pH = 7,70; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 640 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 114 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 60 \text{ s}^{-1}$, $VA = 5 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,95	$1,956 \times 10^6$	0,3	0,83	1,7	12	1,9
10	7,01	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,77	1,6	11	1,7
15	7,05	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,73	1,5	11	1,7
20	7,01	$3,911 \times 10^6$	0,6	0,84	1,7	12	1,9
25	7,04	$7,822 \times 10^6$	1,1	0,59	1,2	11	1,7
30	7,04	$5,867 \times 10^6$	0,8	0,80	1,6	10	1,5

Características da água de estudo: Ind/L = $7,040 \times 10^8$; pH = 7,70; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 640 uC;
Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$

TABELA 115 – Número remanescente de partículas ($Gf = 60 \text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45 \text{ s}$)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	$1,135 \times 10^5$	$1,288 \times 10^5$	$6,380 \times 10^4$	$2,860 \times 10^4$	$2,400 \times 10^4$	$1,767 \cdot 10^4$	$1,940 \cdot 10^4$	$1,173 \cdot 10^4$	$4,075 \cdot 10^5$
10	$8,953 \times 10^4$	$1,020 \times 10^5$	$5,200 \times 10^4$	$3,427 \times 10^4$	$3,900 \times 10^4$	$2,753 \cdot 10^4$	$2,833 \cdot 10^4$	$1,980 \cdot 10^4$	$3,925 \cdot 10^5$
15	$2,958 \times 10^5$	$3,832 \times 10^5$	$3,327 \times 10^5$	$3,147 \times 10^5$	$4,877 \times 10^5$	$3,350 \cdot 10^5$	$2,785 \cdot 10^5$	$9,093 \cdot 10^4$	$2,519 \cdot 10^6$
20	$8,000 \times 10^4$	$8,647 \times 10^4$	$5,113 \times 10^4$	$4,107 \times 10^4$	$6,367 \times 10^4$	$4,900 \cdot 10^4$	$6,233 \cdot 10^4$	$3,887 \cdot 10^4$	$4,725 \cdot 10^5$
25	$8,233 \times 10^4$	$7,953 \times 10^4$	$4,173 \times 10^4$	$1,980 \times 10^4$	$2,487 \times 10^4$	$2,040 \cdot 10^4$	$3,720 \cdot 10^4$	$2,400 \cdot 10^4$	$3,299 \cdot 10^5$
30	$6,787 \times 10^4$	$6,687 \times 10^4$	$3,373 \times 10^4$	$2,207 \times 10^4$	$2,793 \times 10^4$	$2,053 \cdot 10^4$	$2,887 \cdot 10^4$	$1,920 \cdot 10^4$	$2,871 \cdot 10^5$
Água Tipo I	$5,987 \times 10^5$	$7,604 \times 10^5$	$9,456 \times 10^5$	$1,203 \times 10^6$	$3,045 \times 10^6$	$3,045 \cdot 10^6$	$3,194 \cdot 10^6$	$9,784 \cdot 10^6$	$3,682 \cdot 10^6$

TABELA 116 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($Gf = 60 \text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45 \text{ s}$)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	19,0	16,9	6,7	2,4	0,8	0,6	0,6	0,1	11,1
10	15,0	13,4	5,5	2,8	1,3	0,9	0,9	0,2	10,7
15	49,4	50,4	35,2	26,2	16,0	11,0	8,7	0,9	68,4
20	13,4	11,4	5,4	3,4	2,1	1,6	2,0	0,4	12,8
25	13,8	10,5	4,4	1,6	0,8	0,7	1,2	0,2	9,0
30	11,3	8,8	3,6	1,8	0,9	0,7	0,9	0,2	7,8

FIGURA 139 – Número Remanescente de Partículas em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 60 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 140 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função dos Tempos de Floculação e Tamanho das partículas para $Gf = 60 \text{ s}^{-1}$

TABELA 117 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 90 \text{ s}^{-1}$, $VA = 15 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,98	$3,911 \times 10^7$	5,6	3,49	7,0	44	6,9
10	6,97	$6,258 \times 10^7$	8,9	2,94	5,9	41	6,4
15	7,10	$8,409 \times 10^7$	11,9	4,35	8,8	61	9,5
20	6,97	$8,213 \times 10^7$	11,7	5,64	11,4	67	10,5
25	7,03	$9,973 \times 10^7$	14,2	6,85	13,8	85	13,2
30	7,10	$9,778 \times 10^7$	13,9	6,00	12,1	76	11,9

Características da água de estudo: Ind/L = $7,040 \times 10^8$; pH = 7,70; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 640 uC;Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ \text{C}$ TABELA 118 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 90 \text{ s}^{-1}$, $VA = 10 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,98	$2,738 \times 10^7$	3,9	1,18	2,4	19	2,9
10	6,97	$3,129 \times 10^7$	4,4	1,34	2,7	17	2,6
15	7,10	$2,933 \times 10^7$	4,2	1,93	3,9	25	4,0
20	6,97	$3,911 \times 10^7$	5,6	2,66	5,4	36	5,7
25	7,03	$4,693 \times 10^7$	6,7	2,24	4,5	35	5,5
30	7,10	$4,302 \times 10^7$	6,1	2,95	5,9	35	5,5

Características da água de estudo: Ind/L = $7,040 \times 10^8$; pH = 7,70; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 640 uC;Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ \text{C}$ TABELA 119 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 90 \text{ s}^{-1}$, $VA = 7,5 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,98	$2,347 \times 10^7$	3,3	0,94	1,9	12	1,9
10	6,97	$3,520 \times 10^7$	5,0	1,01	2,0	13	2,1
15	7,10	$2,347 \times 10^7$	3,3	1,10	2,2	18	2,8
20	6,97	$1,956 \times 10^7$	2,8	1,21	2,4	18	2,8
25	7,03	$2,347 \times 10^7$	3,3	1,56	3,1	23	3,6
30	7,10	$1,956 \times 10^7$	2,8	1,61	3,2	22	3,4

Características da água de estudo: Ind/L = $7,040 \times 10^8$; pH = 7,70; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 640 uC;Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ \text{C}$ TABELA 120 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gf = 90 \text{ s}^{-1}$, $VA = 5 \text{ cm/min}$)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
5	6,98	$3,911 \times 10^6$	0,6	0,85	1,7	12	1,9
10	6,97	$7,822 \times 10^6$	1,1	0,78	1,6	11	1,7
15	7,10	$3,911 \times 10^6$	0,6	0,84	1,7	11	1,7
20	6,97	$3,911 \times 10^6$	0,6	0,95	1,9	14	2,2
25	7,03	$1,760 \times 10^7$	2,5	1,09	2,2	17	2,6
30	7,10	$1,173 \times 10^7$	1,7	1,00	2,0	12	1,9

Características da água de estudo: Ind/L = $7,040 \times 10^8$; pH = 7,70; Turbidez = 50 uT; Cor aparente = 640 uC;Cor verdadeira = 77 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = $20 \pm 1^\circ \text{C}$

TABELA 121 – Número remanescente de partículas ($Gf = 90 \text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45 \text{ s}$)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	$8,280 \times 10^4$	$9,820 \times 10^4$	$7,140 \times 10^4$	$5,133 \times 10^4$	$8,200 \times 10^4$	$5,680 \times 10^4$	$9,867 \times 10^3$	$3,473 \times 10^4$	$4,871 \times 10^5$
10	$6,840 \times 10^4$	$6,640 \times 10^4$	$3,940 \times 10^4$	$2,493 \times 10^4$	$3,280 \times 10^4$	$2,467 \times 10^4$	$3,993 \times 10^4$	$2,267 \times 10^4$	$3,192 \times 10^5$
15	$6,627 \times 10^4$	$7,473 \times 10^4$	$5,067 \times 10^4$	$4,380 \times 10^4$	$7,007 \times 10^4$	$5,467 \times 10^4$	$6,867 \times 10^4$	$4,213 \times 10^4$	$4,710 \times 10^5$
20	$6,787 \times 10^4$	$6,827 \times 10^4$	$4,467 \times 10^4$	$3,907 \times 10^4$	$6,093 \times 10^4$	$6,107 \times 10^4$	$1,031 \times 10^5$	$7,960 \times 10^4$	$5,245 \times 10^5$
25	$6,387 \times 10^4$	$7,000 \times 10^4$	$3,727 \times 10^4$	$2,527 \times 10^4$	$4,700 \times 10^4$	$4,647 \times 10^4$	$8,927 \times 10^4$	$6,760 \times 10^4$	$4,467 \times 10^5$
30	$6,793 \times 10^4$	$6,673 \times 10^4$	$3,900 \times 10^4$	$3,080 \times 10^4$	$5,867 \times 10^4$	$6,260 \times 10^4$	$1,043 \times 10^5$	$7,540 \times 10^4$	$5,054 \times 10^5$
Água Tipo I	$5,987 \times 10^5$	$7,604 \times 10^5$	$9,456 \times 10^5$	$1,203 \times 10^6$	$3,045 \times 10^6$	$3,045 \times 10^6$	$3,194 \times 10^6$	$9,784 \times 10^6$	$3,682 \times 10^6$

TABELA 122 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($Gf = 90 \text{ s}^{-1}$; $5 < Tmr < 45 \text{ s}$)

Tf (min)	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
5	13,8	12,9	7,6	4,3	2,7	1,9	0,3	0,4	13,2
10	11,4	8,7	4,2	2,1	1,1	0,8	1,3	0,2	8,7
15	11,1	9,8	5,4	3,6	2,3	1,8	2,1	0,4	12,8
20	11,3	9,0	4,7	3,2	2,0	2,0	3,2	0,8	14,2
25	10,7	9,2	3,9	2,1	1,5	1,5	2,8	0,7	12,1
30	11,3	8,8	4,1	2,6	1,9	2,1	3,3	0,8	13,7

FIGURA 141 – Número Remanescente de Partículas em Função dos Tempos de Flocculação e Tamanho das Partículas para $Gf = 90 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 142 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função dos Tempos de Flocculação e Tamanho das partículas para $Gf = 90 \text{ s}^{-1}$

FIGURA 143 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função dos Tempos e Gradientes de Velocidade Médio de Floculação para VA = 15 cm/min

FIGURA 144 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Floculação para VA = 10 cm/min

FIGURA 145 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função dos Tempos e Gradientes de Velocidade Médio de Floculação para $VA = 7,5$ cm/min

FIGURA 146 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função dos Tempos e Gradientes de Velocidade Médio de Floculação para $VA = 5$ cm/min

FIGURA 147 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função dos Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Flocculação para $VA = 15$ cm/min

FIGURA 148 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função dos Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Flocculação para $VA = 10$ cm/min

FIGURA 149 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função dos Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Flocculação para VA = 7,5 cm/min

FIGURA 150 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função dos Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Flocculação para VA = 5 cm/min

FIGURA 151 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Floculação para $VA = 15 cm/min$

FIGURA 152 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Floculação para $VA = 10 cm/min$

FIGURA 153 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Flocculação para VA = 7,5 cm/min

FIGURA 154 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo e Gradiente de Velocidade Médio de Flocculação para para VA = 5 cm/min

ANEXO F

**Parâmetros da Flotação:
Pressão na Câmara de Saturação**

Série de Ensaios V

Série V – Parâmetros da Flotação: Pressão na Câmara de Saturação – Água Tipo I

TABELA 123 – Características da água Tipo I na Série V

Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	Alcalinidade Total (mg/L de CaCO ₃)	pH	Ind/L	Temperatura (°C)
57	866	89	38	7,84	8,249x10 ⁸	20 ± 1

TABELA 124 – Dosagens de produtos químicos utilizados na Série V

Coagulante (Solução de Sulfato de Alumínio)	Alcalinizante (Solução de Hidróxido de Sódio)	Acidificante (Solução de Ácido Clorídrico)
DSA = 50 mg/L	-----	-----

TABELA 125 – Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série V

Mistura Rápida		Floculação		Flotação			
Tmr = 10 s	Gmr = 1000 s ⁻¹	Tf = 10 min	Gf = 25 s ⁻¹	Tsat = 8 min	P = 300, 400 e 500kPa	R = 10 %	VA = 15,10, 7,5 e 5 cm/min

TABELA 126 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (P = 300 kPa, VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,82	2,151x10 ⁷	2,6	1,84	3,2	28	3,2
2	6,85	2,542x10 ⁷	3,1	1,87	3,3	28	3,2
3	6,86	2,347x10 ⁷	2,8	1,85	3,2	26	3,0

Características da água de estudo: Ind/L = 8,249x10⁸; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 127 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (P = 300 kPa, VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,82	1,173x10 ⁷	1,4	1,22	2,1	14	1,7
2	6,85	1,369x10 ⁷	1,7	1,27	2,2	17	1,9
3	6,86	1,564x10 ⁷	1,9	1,17	2,0	15	1,8

Características da água de estudo: Ind/L = 8,249x10⁸; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 128 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (P = 300 kPa, VA = 7,5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No).100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)*100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)*100%
1	6,82	1,173.10 ⁷	1,4	0,89	1,6	13	1,5
2	6,85	1,369.10 ⁷	1,7	1,00	1,8	14	1,7
3	6,86	9,778.10 ⁶	1,2	1,00	1,8	12	1,4

Características da água de estudo: Ind/L = 8,249x10⁸; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 129 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (P = 300 kPa, VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind/L (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,82	5,867x10 ⁶	0,7	0,83	1,4	11	1,3
2	6,85	5,867x10 ⁶	0,7	0,95	1,7	12	1,4
3	6,86	3,911x10 ⁶	0,5	0,84	1,5	11	1,3

Características da água de estudo: Ind/L = 8,249x10⁸; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 130 – Número de partículas remanescente ($P = 300$ kPa)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	$3,636 \times 10^5$	$3,396 \times 10^5$	$1,121 \times 10^5$	$4,987 \times 10^4$	$4,327 \times 10^4$	$2,467 \times 10^4$	$3,147 \times 10^4$	$2,640 \times 10^4$	$9,909 \times 10^5$
2	$3,669 \times 10^5$	$4,493 \times 10^5$	$1,854 \times 10^5$	$8,040 \times 10^4$	$9,227 \times 10^4$	$5,893 \times 10^4$	$6,467 \times 10^4$	$3,847 \times 10^4$	$1,336 \times 10^6$
3	$1,970 \times 10^5$	$2,262 \times 10^5$	$1,248 \times 10^5$	$7,873 \times 10^4$	$8,293 \times 10^4$	$4,233 \times 10^4$	$3,047 \times 10^4$	$1,740 \times 10^4$	$7,999 \times 10^5$
Água Tipo I	$5,990 \times 10^5$	$7,600 \times 10^5$	$9,460 \times 10^5$	$1,204 \times 10^6$	$3,045 \times 10^6$	$3,195 \times 10^6$	$9,785 \times 10^6$	$3,692 \times 10^6$	$3,682 \times 10^6$

TABELA 131 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($P = 300$ kPa)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	60,7	44,7	11,8	4,1	1,4	0,8	0,3	0,7	26,9
2	61,2	59,1	19,6	6,7	3,0	1,8	0,7	1,0	36,3
3	32,9	29,8	13,2	6,5	2,7	1,3	0,3	0,5	21,7

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s^{-1} **Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 25 s^{-1} **Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 300 kPa

R = 10 %

FIGURA 155 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $P = 300$ kPa

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 156 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $P = 300$ kPa**LEGENDA**

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s^{-1} **Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 25 s^{-1} **Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 300 kPa

R = 10 %

 $5 < VA < 2,4 \text{ cm/min}$

TABELA 132 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas percentagens remanescentes (P = 400 kPa, VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,76	3,911x10 ⁶	0,5	1,14	2,0	15	1,8
2	6,76	3,911x10 ⁶	0,5	1,03	1,8	14	1,7
3	6,76	1,956x10 ⁶	0,2	1,09	1,9	15	1,8
Características da água de estudo: Ind/L = 8,249x10 ⁸ ; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 133 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas percentagens remanescentes (P = 400 kPa, VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,76	1,956.10 ⁶	0,2	0,84	1,5	11	1,3
2	6,76	3,911.10 ⁶	0,5	0,86	1,5	10	1,1
3	6,76	1,956.10 ⁶	0,2	0,87	1,5	12	1,4
Características da água de estudo: Ind/L = 8,249.10 ⁸ ; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 134 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas percentagens remanescentes (P = 400 kPa, VA = 7,5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,76	1,956x10 ⁶	0,2	0,78	1,4	9	1,0
2	6,76	Ausência	-	0,75	1,3	9	1,0
3	6,76	1,956x10 ⁶	0,2	0,74	1,3	10	1,1
Características da água de estudo: Ind/L = 8,249x10 ⁸ ; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 135 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas percentagens remanescentes (P = 400 kPa, VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,76	Ausência	-	0,75	1,3	8	0,9
2	6,76	Ausência	-	0,72	1,3	9	1,0
3	6,76	Ausência	-	0,72	1,3	9	1,0
Características da água de estudo: Ind/L = 8,249x10 ⁸ ; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 136 – Número de partículas remanescente (P = 400 kPa)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	1,494x10 ⁵	1,713x10 ⁵	9,167x10 ⁴	4,987x10 ⁴	4,947x10 ⁴	2,753x10 ⁴	2,840x10 ⁴	1,380x10 ⁴	5,815x10 ⁵
2	5,923x10 ⁵	2,631x10 ⁵	1,021x10 ⁵	4,007x10 ⁴	3,333x10 ⁴	1,900x10 ⁴	1,887x10 ⁴	1,227x10 ⁴	1,081x10 ⁶
3	5,963x10 ⁵	4,089x10 ⁵	1,354x10 ⁵	7,307x10 ⁴	7,687x10 ⁴	4,160x10 ⁴	3,507x10 ⁴	1,080x10 ⁴	1,378x10 ⁶
Água Tipo I	5,990x10 ⁵	7,600x10 ⁵	9,460x10 ⁵	1,204x10 ⁶	3,045x10 ⁶	3,195x10 ⁶	9,785x10 ⁶	3,692x10 ⁶	3,682x10 ⁶

TABELA 137 – Porcentagem remanescente do número de partículas (P = 400 kPa)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	24,9	22,5	9,7	4,1	1,6	0,9	0,3	0,4	15,8
2	98,9	34,6	10,8	3,3	1,1	0,6	0,2	0,3	29,4
3	99,5	53,8	14,3	6,1	2,5	1,3	0,4	0,3	37,4

FIGURA 157 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para P = 400 kPa

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 158 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para 400 kPa

TABELA 138 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas percentagens remanescentes (P = 500 kPa, VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,91	1,173x10 ⁷	1,4	1,09	1,9	20	2,3
2	6,95	7,822x10 ⁶	0,9	1,11	1,9	19	2,2
3	6,90	1,173x10 ⁷	1,4	1,08	1,9	20	2,3
Características da água de estudo: Ind/L = 8,249x10 ⁸ ; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 139 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas percentagens remanescentes (P = 500 kPa, VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,91	5,867x10 ⁶	0,7	0,89	1,6	15	1,8
2	6,95	3,911x10 ⁶	0,5	0,85	1,5	14	1,7
3	6,90	7,822x10 ⁶	0,9	0,84	1,5	15	1,8
Características da água de estudo: Ind/L = 8,249x10 ⁸ ; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 140 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas percentagens remanescentes (P = 500 kPa, VA = 7,5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,91	3,911x10 ⁶	0,5	0,77	1,4	11	1,3
2	6,95	5,867x10 ⁶	0,7	0,76	1,3	12	1,4
3	6,90	5,867x10 ⁶	0,7	0,83	1,4	13	1,5
Características da água de estudo: Ind/L = 8,249x10 ⁸ ; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 141 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas percentagens remanescentes (P = 500 kPa, VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,91	1,956x10 ⁶	0,2	0,69	1,2	11	1,3
2	6,95	1,956x10 ⁶	0,2	0,75	1,3	11	1,3
3	6,90	1,956x10 ⁶	0,2	0,73	1,3	12	1,4
Características da água de estudo: Ind/L = 8,249x10 ⁸ ; pH = 7,84; Turbidez = 57 uT; Cor aparente = 866 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 142 – Número de partículas remanescente (P = 500 kPa)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	3,106x10 ⁵	1,992x10 ⁵	8,307x10 ⁴	3,980x10 ⁴	3,600x10 ⁴	2,073x10 ⁴	2,367x10 ⁴	1,707x10 ⁴	7,301x10 ⁵
2	2,471x10 ⁵	2,799x10 ⁵	1,324x10 ⁵	6,787x10 ⁴	6,613x10 ⁴	3,640x10 ⁴	5,100x10 ⁴	7,113x10 ⁴	9,519x10 ⁵
3	2,037x10 ⁵	2,233x10 ⁵	9,567x10 ⁴	5,520x10 ⁴	6,033x10 ⁴	3,527x10 ⁴	3,787x10 ⁴	2,787x10 ⁴	7,392x10 ⁵
Água Tipo I	5,990x10 ⁵	7,600x10 ⁵	9,460x10 ⁵	1,204x10 ⁶	3,045x10 ⁶	3,195x10 ⁶	9,785x10 ⁶	3,692x10 ⁶	3,682x10 ⁶

TABELA 143 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($P = 500$ kPa)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	51,9	26,2	8,8	3,3	1,2	0,6	0,2	0,5	19,8
2	41,2	36,8	14,0	5,6	2,2	1,1	0,5	1,9	25,9
3	34,0	29,4	10,1	4,6	2,0	1,1	0,4	0,8	20,1

FIGURA 159 – Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para $P = 500$ kPa

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 160 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para 500 kPa

FIGURA 161 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função da Pressão na Câmara de Saturação para VA = 15 cm/min

FIGURA 162 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função da Pressão na Câmara de Saturação para VA = 10 cm/min

N: número remanescente de algas/L, No: número de algas/L inicial

FIGURA 163 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função da Pressão na Câmara de Saturação para $VA = 7,5 \text{ cm/min}$

N: número remanescente de algas/L, No: número de algas/L inicial

FIGURA 164 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função da Pressão na Câmara de Saturação para $VA = 5 \text{ cm/min}$

FIGURA 165 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função da Pressão na Câmara de Saturação para VA = 15 cm/min

FIGURA 166 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função da Pressão na Câmara de Saturação para VA = 10 cm/min

FIGURA 167 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função da Pressão na Câmara de Saturação para $VA = 7,5 \text{ cm/min}$

FIGURA 168 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função da Pressão na Câmara de Saturação para $VA = 5 \text{ cm/min}$

FIGURA 169 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função da Pressão na Câmara de Saturação para VA = 15 cm/min

FIGURA 170 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função da Pressão na Câmara de Saturação para VA = 10 cm/min

C: cor aparente remanescente (uC), Co: cor aparente inicial (uC)

FIGURA 171 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função da Pressão na Câmara de Saturação para VA = 7,5 cm/min

C: cor aparente remanescente (uC), Co: cor aparente inicial (uC)

FIGURA 172 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função da Pressão na Câmara de Saturação para VA = 5 cm/min

ANEXO G

**Parâmetros da Flotação:
Tempo de Saturação**

Série de Ensaios VI

Série VI – Parâmetros da Flotação: Tempo de Saturação – Água Tipo I

TABELA 144 – Características da água Tipo I na Série VI

Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	Alcalinidade Total (mg/L de CaCO ₃)	pH	Ind/L	Temperatura (°C)
58	764	89	38	7,74	8,942x10 ⁸	20 ± 1

TABELA 145 – Dosagens de produtos químicos utilizados na Série VI

Coagulante (Solução de Sulfato de Alumínio)	Alcalinizante (Solução de Hidróxido de Sódio)	Acidificante (Solução de Ácido Clorídrico)
DSA = 50 mg/L	-----	-----

TABELA 146 – Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série VI

Mistura Rápida		Floculação		Flotação			
Tmr = 10 s	Gmr = 1000 s ⁻¹	Tf = 10 min	Gf = 25 s ⁻¹	Tsat = 3, 8 e 15 min	P = 400 kPa	R = 10 %	VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min

TABELA 147 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Tsat = 3 min, VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,85	2,347x10 ⁷	2,6	2,07	3,6	26	3,5
2	6,81	2,151x10 ⁷	2,4	1,58	2,7	22	2,9
3	6,81	2,542x10 ⁷	2,8	1,68	2,9	25	3,3

Características da água de estudo: Ind/L = 8,942x10⁸; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 148 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Tsat = 3 min, VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,85	1,564x10 ⁷	1,7	1,24	2,1	18	2,3
2	6,81	1,173x10 ⁷	1,3	1,23	2,1	15	2,0
3	6,81	1,369x10 ⁷	1,5	1,09	1,9	15	2,0

Características da água de estudo: Ind/L = 8,942x10⁸; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 149 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Tsat = 3 min, VA = 7,5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind/L (N/No).100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,85	9,778x10 ⁶	1,1	1,10	1,9	15	2,0
2	6,81	1,173x10 ⁷	1,3	1,03	1,8	14	1,9
3	6,81	1,173x10 ⁷	1,3	1,05	1,8	14	1,9

Características da água de estudo: Ind/L = 8,942x10⁸; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 150 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Tsat = 3 min, VA = 5 cm/min)

Jarro	PH	Ind/L	% Ind. (N/No).100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,85	5,867x10 ⁶	0,7	0,92	1,6	13	1,7
2	6,81	3,911x10 ⁶	0,4	0,94	1,6	12	1,6
3	6,81	3,911x10 ⁶	0,4	0,94	1,6	12	1,6

Características da água de estudo: Ind/L = 8,942x10⁸; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 151 – Número remanescente de partículas (Tsat = 3 min)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	$3,297 \times 10^5$	$3,983 \times 10^5$	$2,503 \times 10^5$	$1,643 \times 10^5$	$1,759 \times 10^5$	$8,647 \times 10^4$	$6,293 \times 10^4$	$4,600 \times 10^4$	$1,514 \times 10^6$
2	$2,969 \times 10^5$	$3,859 \times 10^5$	$2,046 \times 10^5$	$1,059 \times 10^5$	$9,820 \times 10^4$	$4,507 \times 10^4$	$4,000 \times 10^4$	$4,900 \times 10^4$	$1,226 \times 10^6$
3	$8,275 \times 10^5$	$6,237 \times 10^5$	$3,827 \times 10^5$	$2,565 \times 10^5$	$1,878 \times 10^5$	$1,161 \times 10^5$	$8,000 \times 10^4$	$3,853 \times 10^4$	$2,513 \times 10^6$
Água Tipo I	$1,096 \times 10^6$	$1,417 \times 10^6$	$1,733 \times 10^6$	$2,160 \times 10^6$	$5,333 \times 10^6$	$4,916 \times 10^6$	$7,766 \times 10^6$	$8,940 \times 10^5$	$2,532 \times 10^7$

TABELA 152 – Porcentagem remanescente do número de partículas (Tsat = 3 min)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	30,1	28,1	14,4	7,6	3,3	1,8	0,8	5,1	6,0
2	27,1	27,2	11,8	4,9	1,8	0,9	0,5	5,5	4,8
3	75,5	44,0	22,1	11,9	3,5	2,4	1,0	4,3	9,9

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s^{-1} **Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 25 s^{-1} **Flotação:**

Tsat = 3 min

P = 400 kPa

R = 10 %

FIGURA 173 – Número de Partículas Remanescente em Função do Tamanho das Partículas para Tsat = 3 min

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s^{-1} **Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 25 s^{-1} **Flotação:**

Tsat = 3 min

P = 400 kPa

R = 10 %

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 174 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para Tsat = 3 min

TABELA 153 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Tsat = 8 min, VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,74	5,867x10 ⁶	0,7	1,06	1,8	17	2,2
2	6,75	3,911x10 ⁶	0,4	1,10	1,9	15	2,0
3	6,78	5,867x10 ⁶	0,7	1,17	2,0	19	2,4

Características da água de estudo: Ind/L = 8,942x10⁸; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 154 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Tsat = 8 min, VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,74	3,911x10 ⁶	0,4	0,87	1,5	13	1,7
2	6,75	3,911x10 ⁶	0,4	0,92	1,6	12	1,6
3	6,78	5,867x10 ⁶	0,7	0,96	1,6	13	1,7

Características da água de estudo: Ind/L = 8,942x10⁸; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 155 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Tsat = 8 min, VA = 7,5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,74	1,956x10 ⁶	0,2	0,81	1,4	11	1,4
2	6,75	1,956x10 ⁶	0,2	0,81	1,4	12	1,6
3	6,78	1,956x10 ⁶	0,2	0,84	1,4	11	1,4

Características da água de estudo: Ind/L = 8,942x10⁸; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 156 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Tsat = 8 min, VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,74	Ausência	-	0,75	1,3	9	1,2
2	6,75	1,956x10 ⁶	0,2	0,70	1,2	10	1,3
3	6,78	1,956x10 ⁶	0,2	0,77	1,3	10	1,3

Características da água de estudo: Ind/L = 8,942x10⁸; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 157 – Número remanescente de partículas (Tsat = 8 min)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	≥ 30	Total
1	2,170x10 ⁵	2,535x10 ⁵	1,484x10 ⁵	9,533x10 ⁴	1,084x10 ⁵	6,667x10 ⁴	6,360x10 ⁴	2,593x10 ⁴	9,788x10 ⁵
2	2,247x10 ⁵	2,483x10 ⁵	1,141x10 ⁵	6,133x10 ⁴	7,100x10 ⁴	3,713x10 ⁴	2,880x10 ⁴	2,087x10 ⁴	8,062x10 ⁵
3	2,344x10 ⁵	2,377x10 ⁵	1,244x10 ⁵	7,047x10 ⁴	9,520x10 ⁴	5,160x10 ⁴	4,430x10 ⁴	3,467x10 ⁴	8,928x10 ⁵
Água Tipo I	1,096x10 ⁶	1,417x10 ⁶	1,733x10 ⁶	2,160x10 ⁶	5,333x10 ⁶	4,916x10 ⁶	7,766x10 ⁶	8,940x10 ⁵	2,532x10 ⁷

TABELA 158 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($T_{sat} = 8 \text{ min}$)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	19,8	17,9	8,6	4,4	2,0	1,4	0,8	2,9	3,9
2	20,5	17,5	6,6	2,8	1,3	0,8	0,4	2,3	3,2
3	21,4	16,8	7,2	3,3	1,8	1,0	0,6	3,9	3,5

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida: $T_{mr} = 10 \text{ s}$ $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ **Floculação:** $T_f = 10 \text{ min}$ $G_f = 25 \text{ s}^{-1}$ **Flotação:** $T_{sat} = 8 \text{ min}$ $P = 400 \text{ kPa}$ $R = 10 \%$ FIGURA 175 – Número Remanescente de Partículas em Função Do Tamanho das Partículas para $T_{sat} = 8 \text{ min}$ **LEGENDA**

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida: $T_{mr} = 10 \text{ s}$ $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ **Floculação:** $T_f = 10 \text{ min}$ $G_f = 25 \text{ s}^{-1}$ **Flotação:** $T_{sat} = 8 \text{ min}$ $P = 400 \text{ kPa}$ $R = 10 \%$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 176 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $T_{sat} = 8 \text{ min}$

TABELA 159 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Ts_{at} = 15 min, VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,71	3,520x10 ⁷	3,9	1,47	2,5	24	3,2
2	6,70	3,520x10 ⁷	3,9	1,25	2,2	20	2,6
3	6,73	3,324x10 ⁷	3,7	1,32	2,3	22	2,9
Características da água de estudo: Ind/L = 8,942x10 ⁸ ; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 160 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Ts_{at} = 15 min, VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,71	9,778x10 ⁶	1,1	1,05	1,8	17	2,2
2	6,70	9,778x10 ⁶	1,1	0,94	1,6	15	2,0
3	6,73	1,173x10 ⁷	1,3	0,95	1,6	15	2,0
Características da água de estudo: Ind/L = 8,942x10 ⁸ ; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 161 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Ts_{at} = 15 min, VA = 7,5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,71	9,778x10 ⁶	1,1	0,87	1,5	15	2,0
2	6,70	9,778x10 ⁶	1,1	0,86	1,5	14	1,9
3	6,73	1,173x10 ⁷	1,3	0,87	1,5	14	1,9
Características da água de estudo: Ind/L = 8,942.10 ⁸ ; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 162 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Ts_{at} = 15 min, VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,71	5,867x10 ⁶	0,7	0,78	1,3	13	1,7
2	6,70	3,911x10 ⁶	0,4	0,79	1,4	13	1,7
3	6,73	5,867x10 ⁶	0,7	0,78	1,3	13	1,7
Características da água de estudo: Ind/L = 8,942x10 ⁸ ; pH = 7,74; Turbidez = 58 uT; Cor aparente = 764 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 163 – Número remanescente de partículas (Ts_{at} = 15 min)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	2,508x10 ⁵	2,955x10 ⁵	1,609x10 ⁵	1,060x10 ⁵	1,188x10 ⁵	6,467x10 ⁴	5,293x10 ⁴	4,420x10 ⁴	1,094x10 ⁶
2	2,075x10 ⁵	2,255x10 ⁵	1,157x10 ⁵	6,407x10 ⁴	6,933x10 ⁴	3,433x10 ⁴	3,913x10 ⁴	3,707x10 ⁴	7,926x10 ⁵
3	2,167x10 ⁵	2,651x10 ⁵	1,343x10 ⁵	7,653x10 ⁴	7,707x10 ⁴	4,620x10 ⁴	4,880x10 ⁴	4,113x10 ⁴	9,058x10 ⁵
Água Tipo I	1,096x10 ⁶	1,417x10 ⁶	1,733x10 ⁶	2,160x10 ⁶	5,333x10 ⁶	4,916x10 ⁶	7,766x10 ⁶	8,940x10 ⁵	2,532x10 ⁷

TABELA 164 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($T_{sat} = 15 \text{ min}$)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	22,9	20,9	9,3	4,9	2,2	1,3	0,7	4,9	4,3
2	18,9	15,9	6,7	3,0	1,3	0,7	0,5	4,1	3,1
3	19,8	18,7	7,7	3,5	1,4	0,9	0,6	4,6	3,6

FIGURA 177 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $T_{sat} = 15 \text{ min}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 178 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $T_{sat} = 15 \text{ min}$

FIGURA 179 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tempo de Saturação para VA = 15 cm/min

FIGURA 180 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tempo de Saturação para VA = 10 cm/min

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹

Floculação:

Tf = 10 min

Gf = 25 s⁻¹

Flotação:

Tsat = 3, 8 e 15 min

P = 400 kPa

R = 10 %

VA = 15 cm/min

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹

Floculação:

Tf = 10 min

Gf = 25 s⁻¹

Flotação:

Tsat = 3, 8 e 15 min

P = 400 kPa

R = 10 %

VA = 10 cm/min

FIGURA 181 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tempo de Saturação para $VA = 7,5 \text{ cm/min}$

FIGURA 182 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tempo de Saturação para $VA = 5 \text{ cm/min}$

T: turbidez remanescente (uT), T_o : turbidez inicial (uT)

FIGURA 183 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tempo de Saturação para $VA = 15 \text{ cm/min}$

T: turbidez remanescente (uT), T_o : turbidez inicial (uT)

FIGURA 184 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tempo de Saturação para $VA = 10 \text{ cm/min}$

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

$T_{mr} = 10 \text{ s}$

$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$

Floculação:

$T_f = 10 \text{ min}$

$G_f = 25 \text{ s}^{-1}$

Flotação:

$T_{sat} = 3, 8 \text{ e } 15 \text{ min}$

$P = 400 \text{ kPa}$

$R = 10 \%$

$VA = 15 \text{ cm/min}$

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

$T_{mr} = 10 \text{ s}$

$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$

Floculação:

$T_f = 10 \text{ min}$

$G_f = 25 \text{ s}^{-1}$

Flotação:

$T_{sat} = 3, 8 \text{ e } 15 \text{ min}$

$P = 400 \text{ kPa}$

$R = 10 \%$

$VA = 10 \text{ cm/min}$

FIGURA 185 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tempo de Saturação para $VA = 7,5 \text{ cm/min}$

FIGURA 186 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tempo de Saturação para $VA = 5 \text{ cm/min}$

C: cor aparente remanescente (uC), C_o : cor aparente inicial (uC)

FIGURA 187 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo de Saturação para $VA = 15 \text{ cm/min}$

C: cor aparente remanescente (uC), C_o : cor aparente inicial (uC)

FIGURA 188 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo de Saturação para $VA = 10 \text{ cm/min}$

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

$T_{mr} = 10 \text{ s}$

$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$

Floculação:

$T_f = 10 \text{ min}$

$G_f = 25 \text{ s}^{-1}$

Flotação:

$T_{sat} = 3, 8 \text{ e } 15 \text{ min}$

$P = 400 \text{ kPa}$

$R = 10 \%$

$VA = 15 \text{ cm/min}$

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

$T_{mr} = 10 \text{ s}$

$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$

Floculação:

$T_f = 10 \text{ min}$

$G_f = 25 \text{ s}^{-1}$

Flotação:

$T_{sat} = 3, 8 \text{ e } 15 \text{ min}$

$P = 400 \text{ kPa}$

$R = 10 \%$

$VA = 10 \text{ cm/min}$

FIGURA 189 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo de Saturação para VA = 7,5 cm/min

FIGURA 190 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tempo de Saturação para VA = 5 cm/min

ANEXO H

**Parâmetros da Flotação:
Taxa de Recirculação**

Série de Ensaios VII

Série VII – Parâmetros da Flotação: Taxa de Recirculação – Água Tipo I

TABELA 165 – Características da água Tipo I na Série VII

Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	Alcalinidade Total (mg/L de CaCO ₃)	pH	Ind/L	Temperatura (°C)
53	698	89	38	7,79	9,796x10 ⁸	20 ± 1

TABELA 166 – Dosagens de produtos químicos utilizados na Série VII

Coagulante (Solução de Sulfato de Alumínio)	Alcalinizante (Solução de Hidróxido de Sódio)	Acidificante (Solução de Ácido Clorídrico)
DSA = 50 mg/L	-----	-----

TABELA 167 – Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série VII

Mistura Rápida		Floculação		Flotação			
Tmr = 10 s	Gmr = 1000 s ⁻¹	Tf = 10 min	Gf = 25 s ⁻¹	Tsat = 8 min	P = 400 Pa	R = 5, 10, 15 e 20 %	VA = 15, 10, 7,5 e 5 cm/min

TABELA 168 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 5 %, VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,76	8,400x10 ⁷	8,6	6,5	12,2	76	10,8
2	6,78	7,840x10 ⁷	8,0	7,2	13,5	88	12,6
3	6,77	8,400x10 ⁷	8,6	7,4	14,0	95	13,5

Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10⁸; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 169 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 5 %, VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,76	4,293x10 ⁷	4,4	3,0	5,7	42	6,0
2	6,78	4,480x10 ⁷	4,6	2,9	5,5	40	5,7
3	6,77	4,293x10 ⁷	4,4	2,9	5,4	40	5,7

Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10⁸; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 170 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 5 %, VA = 7,5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,76	2,240x10 ⁷	2,3	2,0	3,7	26	3,8
2	6,78	2,427x10 ⁷	2,5	1,9	3,6	28	4,1
3	6,77	2,613x10 ⁷	2,7	1,9	3,6	26	3,8

Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10⁸; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 171 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 5 %, VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,76	7,467x10 ⁶	0,8	1,4	2,6	25	3,6
2	6,78	9,333x10 ⁶	1,0	1,5	2,7	22	3,2
3	6,77	9,333x10 ⁶	1,0	1,3	2,5	21	3,0

Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10⁸; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 172 – Número de partículas remanescente (R = 5 %)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	$2,828 \times 10^5$	$3,135 \times 10^5$	$1,981 \times 10^5$	$1,625 \times 10^5$	$2,872 \times 10^5$	$2,308 \times 10^5$	$2,837 \times 10^5$	$1,609 \times 10^5$	$1,920 \times 10^6$
2	$2,928 \times 10^5$	$3,606 \times 10^5$	$2,398 \times 10^5$	$2,047 \times 10^5$	$3,167 \times 10^5$	$2,152 \times 10^5$	$2,039 \times 10^5$	$8,273 \times 10^4$	$1,916 \times 10^6$
3	$2,919 \times 10^5$	$3,340 \times 10^5$	$2,156 \times 10^5$	$1,825 \times 10^5$	$2,795 \times 10^5$	$1,947 \times 10^5$	$1,805 \times 10^5$	$8,467 \times 10^4$	$1,763 \times 10^6$
Água Tipo I	$7,870 \times 10^5$	$1,004 \times 10^6$	$1,191 \times 10^6$	$1,543 \times 10^6$	$4,129 \times 10^6$	$4,297 \times 10^6$	$9,730 \times 10^6$	$2,476 \times 10^6$	$2,516 \times 10^7$

TABELA 173 – Porcentagem remanescente do número de partículas (R = 5 %)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	35,9	31,2	16,6	10,5	7,0	5,4	2,9	6,5	7,6
2	37,2	35,9	20,1	13,3	7,7	5,0	2,1	3,3	7,6
3	37,1	33,3	18,1	11,8	6,8	4,5	1,9	3,4	7,0

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 25 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 5 %

FIGURA 191 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para R = 5 %

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 25 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 5 %

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 192 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para R = 5 %

TABELA 174 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 10 %, VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,75	5,867x10 ⁶	0,6	1,5	2,8	22	3,2
2	6,74	5,867x10 ⁶	0,6	1,2	2,2	18	2,5
3	6,74	5,867x10 ⁶	0,6	1,2	2,2	20	2,8
Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10 ⁸ ; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 175 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 10 %, VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,75	3,911x10 ⁶	0,4	1,1	2,0	17	2,4
2	6,74	1,956x10 ⁶	0,2	1,0	1,8	14	2,0
3	6,74	1,956x10 ⁶	0,2	1,0	1,8	14	2,0
Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10 ⁸ ; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 176 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 10 %, VA = 7,5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,75	1,956x10 ⁶	0,2	0,9	1,6	14	2,0
2	6,74	Ausência	-	0,9	1,6	13	1,9
3	6,74	1,956x10 ⁶	0,2	0,8	1,6	12	1,7
Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10 ⁸ ; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 177 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 10 %, VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,75	1,956x10 ⁶	0,2	0,7	1,4	12	1,7
2	6,74	Ausência	-	0,8	1,5	13	1,9
3	6,74	Ausência	-	0,7	1,4	12	1,7
Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10 ⁸ ; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 178 – Número remanescente de partículas (R = 10 %)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	2,026x10 ⁵	1,955x10 ⁵	9,513x10 ⁴	6,000x10 ⁴	8,367x10 ⁴	4,893x10 ⁴	4,620x10 ⁴	2,360x10 ⁴	7,556x10 ⁵
2	1,999x10 ⁵	1,951x10 ⁵	8,173x10 ⁴	4,560x10 ⁴	5,273x10 ⁴	3,580x10 ⁴	2,933x10 ⁴	1,533x10 ⁴	6,555x10 ⁵
3	2,405x10 ⁵	2,326x10 ⁵	1,113x10 ⁵	6,413x10 ⁴	8,267x10 ⁴	4,653x10 ⁴	3,387x10 ⁴	1,113x10 ⁴	8,227x10 ⁵
Água Tipo I	7,870x10 ⁵	1,004x10 ⁶	1,191x10 ⁶	1,543x10 ⁶	4,129x10 ⁶	4,297x10 ⁶	9,730x10 ⁶	2,476x10 ⁶	2,516x10 ⁷

TABELA 179 – Porcentagem remanescente do número de partículas/L ($R = 10\%$)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)							Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	
1	25,7	19,5	8,0	3,9	2,0	1,1	0,5	3,0
2	25,4	19,4	6,9	3,0	1,3	0,8	0,3	2,6
3	30,6	23,2	9,3	4,2	2,0	1,1	0,3	3,3

FIGURA 193 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $R = 10\%$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 194 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $R = 10\%$

TABELA 180 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 15 %, VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,77	4,089x10 ⁶	0,4	1,0	1,9	16	2,3
2	6,79	6,133x10 ⁶	0,6	1,1	2,0	15	2,1
3	6,79	4,089x10 ⁶	0,4	1,1	2,0	15	2,1

Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10⁸; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 181 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 15 %, VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,77	4,089x10 ⁶	0,4	0,9	1,6	14	2,0
2	6,79	2,044x10 ⁶	0,2	0,9	1,7	13	1,8
3	6,79	2,044x10 ⁶	0,2	0,9	1,6	14	2,0

Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10⁸; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

Tabela 182 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 15 %, VA = 7,5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,77	Ausência	-	0,8	1,5	13	1,8
2	6,79	2,044x10 ⁶	0,2	0,8	1,5	13	1,8
3	6,79	2,044x10 ⁶	0,2	0,8	1,5	13	1,8

Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10⁸; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 183 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 15 %, VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,77	Ausência	-	0,7	1,4	12	1,6
2	6,79	2,044x10 ⁶	0,2	0,7	1,3	12	1,6
3	6,79	Ausência	-	0,7	1,4	13	1,8

Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10⁸; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 184 – Número remanescente de partículas (R = 15 %)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	Total
1	1,687x10 ⁵	1,765x10 ⁵	7,447x10 ⁴	3,560x10 ⁴	3,560x10 ⁴	1,867x10 ⁴	1,573x10 ⁴	1,587x10 ⁴	5,411x10 ⁵
2	1,973x10 ⁵	2,089x10 ⁵	8,247x10 ⁴	3,220x10 ⁴	2,260x10 ⁴	9,400x10 ³	6,067x10 ³	6,600x10 ³	5,655x10 ⁵
3	1,702x10 ⁵	1,829x10 ⁵	7,527x10 ⁴	3,573x10 ⁴	3,887x10 ⁴	1,760x10 ⁴	1,480x10 ⁴	1,007x10 ⁴	5,454x10 ⁵
Água Tipo I	7,870x10 ⁵	1,004x10 ⁶	1,191x10 ⁶	1,543x10 ⁶	4,129x10 ⁶	4,297x10 ⁶	9,730x10 ⁶	2,476x10 ⁶	2,516x10 ⁷

Tabela 185 – Porcentagem remanescente do número de partículas (R = 15 %)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	21,4	17,6	6,3	2,3	0,9	0,4	0,2	0,6	2,2
2	25,1	20,8	6,9	2,1	0,5	0,2	0,1	0,3	2,2
3	21,6	18,2	6,3	2,3	0,9	0,4	0,2	0,4	2,2

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 25 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 15 %

FIGURA 195 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para R = 15 %

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 25 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 15 %

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 196 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para R = 15 %

TABELA 186 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 20 %, VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,89	4,267x10 ⁶	0,4	1,0	1,8	13	1,9
2	6,87	4,267x10 ⁶	0,4	1,1	2,0	12	1,7
3	6,88	4,267x10 ⁶	0,4	0,9	1,7	13	1,9
Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10 ⁸ ; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 187 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 20 %, VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,89	4,267x10 ⁶	0,4	0,8	1,5	11	1,5
2	6,87	2,133x10 ⁶	0,2	0,8	1,4	12	1,7
3	6,88	2,133x10 ⁶	0,2	0,7	1,4	12	1,7
Características da água de estudo: Ind/L = 9,796x10 ⁸ ; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 188 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 20 %, VA = 7,5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,89	Ausência	-	0,8	1,4	11	1,5
2	6,87	2,133x10 ⁶	0,2	0,8	1,4	11	1,5
3	6,88	Ausência	-	0,7	1,3	11	1,5
Características da água de estudo: Ind/L = 9,796.10 ⁸ ; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 189 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (R = 20 %, VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,89	Ausência	-	0,8	1,4	11	1,5
2	6,87	Ausência	-	0,7	1,4	11	1,5
3	6,88	Ausência	-	0,7	1,3	11	1,5
Características da água de estudo: Ind/L = 9,796.10 ⁸ ; pH = 7,79; Turbidez = 53 uT; Cor aparente = 698 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 190 – Número remanescente de partículas (R = 20 %)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	1,557x10 ⁵	1,647x10 ⁵	5,999x10 ⁴	2,680x10 ⁴	1,820x10 ⁴	8,400x10 ³	6,000x10 ³	1,020x10 ⁴	4,499x10 ⁵
2	2,173x10 ⁵	2,218x10 ⁵	8,260x10 ⁴	3,067x10 ⁴	2,213x10 ⁴	1,013x10 ⁴	5,867x10 ³	7,933x10 ³	5,985x10 ⁵
3	1,647x10 ⁵	1,755x10 ⁵	6,600x10 ⁴	2,733x10 ⁴	2,033x10 ⁴	5,800x10 ³	4,400x10 ³	5,000x10 ³	4,691x10 ⁵
Água Tipo I	7,870x10 ⁵	1,004x10 ⁶	1,191x10 ⁶	1,543x10 ⁶	4,129x10 ⁶	4,297x10 ⁶	9,730x10 ⁶	2,476x10 ⁶	2,516x10 ⁷

TABELA 191 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas (R = 20 %)

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	19,8	16,4	5,0	1,7	0,4	0,2	0,1	0,4	1,8
2	27,6	22,1	6,9	2,0	0,5	0,2	0,1	0,3	2,4
3	20,9	17,5	5,5	1,8	0,5	0,1	0,0	0,2	1,9

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 25 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 20 %

FIGURA 197 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para R = 20 %

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 25 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 20 %

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 198 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para R = 20 %

FIGURA 199 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função da Taxa de Recirculação para VA = 15 cm/min

FIGURA 200 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função da Taxa de Recirculação para VA = 10 cm/min

N: número remanescente de algas/L, No: número de algas/L inicial

FIGURA 201 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função da Taxa de Recirculação para VA = 7,5 cm/min

N: número remanescente de algas/L, No: número de algas/L inicial

FIGURA 202 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função da Taxa de Recirculação para VA = 5 cm/min

FIGURA 203 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função da Taxa de Recirculação para VA = 15 cm/min

FIGURA 204 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função da Taxa de Recirculação para VA = 10 cm/min

FIGURA 207 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função da Taxa de Recirculação para VA = 15 cm/min

FIGURA 208 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função da Taxa de Recirculação para VA = 10 cm/min

FIGURA 209 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função da Taxa de Recirculação para $VA = 7,5$ cm/min

FIGURA 210 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função da Taxa de Recirculação para $VA = 5$ cm/min

ANEXO I

Floto-Filtração

Série de Ensaio VIII

TABELA 197 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de flotação (VA = 7,5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,83	Ausência	-	0,78	1,7	11	1,7
2	6,87	Ausência	-	0,74	1,6	11	1,7
3	6,87	Ausência	-	0,78	1,7	10	1,5
Características da água de estudo: Ind/L = $8,178 \times 10^8$; pH = 7,75; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 640 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 198 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de flotação (VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
1	6,83	Ausência	-	0,74	1,6	11	1,7
2	6,87	Ausência	-	0,76	1,7	11	1,7
3	6,87	Ausência	-	0,74	1,6	10	1,5
Características da água de estudo: Ind/L = $8,178 \times 10^8$; pH = 7,75; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 640 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO ₃ / L; Temperatura = 20 ± 1 °C							

TABELA 199 – Número remanescente de partículas referente ao ensaio de flotação

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	$1,084 \times 10^5$	$1,011 \times 10^5$	$3,840 \times 10^4$	$1,460 \times 10^4$	$1,427 \times 10^4$	$4,600 \times 10^3$	$3,933 \times 10^3$	$5,867 \times 10^3$	$2,912 \times 10^5$
2	$1,205 \times 10^5$	$9,927 \times 10^4$	$3,760 \times 10^4$	$1,407 \times 10^4$	$1,213 \times 10^4$	$6,200 \times 10^3$	$5,133 \times 10^3$	$8,267 \times 10^3$	$3,032 \times 10^5$
3	$1,142 \times 10^5$	$9,573 \times 10^4$	$4,040 \times 10^4$	$1,653 \times 10^4$	$1,233 \times 10^4$	$3,133 \times 10^3$	$1,600 \times 10^3$	$2,333 \times 10^3$	$2,863 \times 10^5$
Água Tipo I	$7,870 \times 10^5$	$1,004 \times 10^6$	$1,191 \times 10^6$	$1,543 \times 10^6$	$4,129 \times 10^6$	$4,297 \times 10^6$	$9,730 \times 10^6$	$2,476 \times 10^6$	$2,516 \times 10^7$

TABELA 200 – Porcentagem remanescente do número de partículas referente ao ensaio de flotação

Jarro	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
1	13,8	10,1	3,22	0,95	0,35	0,11	0,04	0,24	1,16
2	15,3	9,89	3,16	0,91	0,29	0,14	0,05	0,33	1,21
3	14,5	9,54	3,39	1,07	0,30	0,07	0,02	0,09	1,14

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 25 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 20 %

VA = 15, 10, 7.5 e 5 cm/min

N: número remanescente de algas/L

No: número de algas/L inicial

T: turbidez remanescente

To: turbidez inicial;

C: cor aparente remanescente

Co: cor aparente inicial

FIGURA 211 – Porcentagens Remanescentes do Número de Algas, Turbidez e Cor Aparente no Ensaio de Flotação

FIGURA 212 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação

FIGURA 213 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação

TABELA 201 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de filtração (Tempo médio de coleta da amostra filtrada = 20 min)

Areia	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
A	0,16	0,4	8	1,3
B	0,23	0,5	8	1,3
C	0,28	0,6	10	1,6
Características da água de estudo: Ind/L = $8,178 \times 10^8$; pH = 7,75; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 640 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = 20 ± 1 °C				

TABELA 202 – Número de partículas remanescente referente ao ensaio de filtração (Tempo médio de coleta da amostra filtrada = 20 min)

Areia	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
A	$1,033 \times 10^5$	$6,213 \times 10^4$	$2,493 \times 10^4$	$1,413 \times 10^4$	$1,700 \times 10^4$	$8,000 \times 10^3$	$4,933 \times 10^3$	$1,733 \times 10^3$	$2,361 \times 10^5$
B	$1,715 \times 10^5$	$9,613 \times 10^4$	$3,867 \times 10^4$	$2,493 \times 10^4$	$2,640 \times 10^4$	$1,093 \times 10^4$	$5,600 \times 10^3$	$1,600 \times 10^3$	$3,757 \times 10^5$
C	$8,373 \times 10^4$	$4,480 \times 10^4$	$2,027 \times 10^4$	$9,667 \times 10^3$	$1,560 \times 10^4$	$6,800 \times 10^3$	$4,933 \times 10^3$	$1,867 \times 10^3$	$1,877 \times 10^5$
Água Tipo I	$7,870 \times 10^5$	$1,004 \times 10^6$	$1,191 \times 10^6$	$1,543 \times 10^6$	$4,129 \times 10^6$	$4,297 \times 10^6$	$9,730 \times 10^6$	$2,476 \times 10^6$	$2,516 \times 10^7$

TABELA 203 – Porcentagem remanescente do número de partículas referente ao ensaio de filtração (Tempo médio de coleta da amostra filtrada = 20 min)

Areia	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
A	13,1	6,19	2,09	0,92	0,41	0,19	0,05	0,07	0,94
B	21,8	9,58	3,25	1,62	0,64	0,25	0,06	0,06	1,49
C	10,6	4,46	1,70	0,63	0,38	0,16	0,05	0,08	0,75

TABELA 204 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de filtração (Tempo médio de coleta da amostra filtrada = 30 min)

Areia	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
A	0,16	0,4	7	1,1
B	0,17	0,4	8	1,3
C	0,22	0,5	9	1,4
Características da água de estudo: Ind/L = $8,178 \times 10^8$; pH = 7,75; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 640 uC; Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = 20 ± 1 °C				

TABELA 205 – Número remanescente de partículas referente ao ensaio de filtração (Tempo médio de coleta da amostra filtrada = 30 min)

Areia	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
A	$7,913 \times 10^4$	$5,353 \times 10^4$	$2,020 \times 10^4$	$1,327 \times 10^4$	$1,653 \times 10^4$	$8,133 \times 10^3$	$5,333 \times 10^3$	$2,800 \times 10^3$	$1,989 \times 10^5$
B	$1,001 \times 10^5$	$6,093 \times 10^4$	$2,787 \times 10^4$	$1,593 \times 10^4$	$2,273 \times 10^4$	$1,060 \times 10^4$	$3,400 \times 10^3$	$8,670 \times 10^2$	$2,424 \times 10^5$
C	$1,162 \times 10^5$	$7,027 \times 10^4$	$2,927 \times 10^4$	$1,600 \times 10^4$	$2,047 \times 10^4$	$1,127 \times 10^4$	$5,400 \times 10^3$	$1,733 \times 10^3$	$2,706 \times 10^5$
Água Tipo I	$7,870 \times 10^5$	$1,004 \times 10^6$	$1,191 \times 10^6$	$1,543 \times 10^6$	$4,129 \times 10^6$	$4,297 \times 10^6$	$9,730 \times 10^6$	$2,476 \times 10^6$	$2,516 \times 10^7$

Tabela 206 – Porcentagem remanescente do número de partículas referente ao ensaio de filtração
(Tempo médio de coleta de amostra filtrada = 30 min)

Areia	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
A	10,1	5,33	1,70	0,86	0,40	0,19	0,05	0,11	0,79
B	12,7	6,07	2,34	1,03	0,55	0,25	0,03	0,04	0,96
C	14,8	7,00	2,46	1,04	0,50	0,26	0,06	0,07	1,08

TABELA 207 – Resultados do número de algas, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao de filtração (Tempo médio de coleta da amostra filtrada = 40 min)

Areia	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%
A	0,16	0,4	6	0,9
B	0,15	0,3	8	1,3
C	0,16	0,4	9	1,3

Características da água de estudo: Ind/L = $8,178 \times 10^8$; pH = 7,75; Turbidez = 45 uT; Cor aparente = 640 uC;
Cor verdadeira = 89 uC; Alcalinidade total = 38 mg CaCO_3 / L; Temperatura = 20 ± 1 °C

TABELA 208 – Número remanescente de partículas referente ao ensaio de filtração
(Tempo médio de coleta de amostra filtrada = 40 min)

Areia	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
A	$1,409 \times 10^5$	$9,400 \times 10^4$	$3,813 \times 10^4$	$2,093 \times 10^4$	$2,513 \times 10^4$	$1,140 \times 10^4$	$6,800 \times 10^3$	$3,467 \times 10^3$	$3,408 \times 10^5$
B	$1,873 \times 10^5$	$1,019 \times 10^5$	$4,153 \times 10^4$	$2,500 \times 10^4$	$3,593 \times 10^4$	$1,573 \times 10^4$	$7,600 \times 10^3$	$1,733 \times 10^3$	$4,167 \times 10^5$
C	$9,940 \times 10^4$	$5,967 \times 10^4$	$2,867 \times 10^4$	$1,560 \times 10^4$	$1,767 \times 10^4$	$6,933 \times 10^3$	$4,200 \times 10^3$	$2,000 \times 10^3$	$2,341 \times 10^5$
Água Tipo I	$7,870 \times 10^5$	$1,004 \times 10^6$	$1,191 \times 10^6$	$1,543 \times 10^6$	$4,129 \times 10^6$	$4,297 \times 10^6$	$9,730 \times 10^6$	$2,476 \times 10^6$	$2,516 \times 10^7$

TABELA 209 – Porcentagem remanescente do número de partículas referente ao ensaio de filtração
(Tempo médio de coleta de amostra filtrada = 40 min)

Areia	Faixa de Tamanho das Partículas (μm)								Total
	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 30	> 30	
A	17,9	9,36	3,20	1,36	0,61	0,27	0,07	0,14	1,35
B	23,8	10,2	3,49	1,62	0,87	0,37	0,08	0,07	1,66
C	12,6	5,94	2,41	1,01	0,43	0,16	0,04	0,08	0,93

FIGURA 214 – Turbidez Remanescente em Função dos Tempos Médios de Coleta da Amostra Filtrada e dos Diferentes Tipos de Areia

FIGURA 215 – Percentagem Remanescente da Turbidez em Função dos Tempos Médios de Coleta da Amostra Filtrada e dos Diferentes Tipos de Areia

FIGURA 216 – Cor Aparente Remanescente em Função dos Tempos Médios de Coleta da Amostra Filtrada e dos Diferentes Tipos de Areia

C: cor aparente remanescente (uC), Co: cor aparente inicial (uC)

FIGURA 217 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função dos Tempos Médios de Coleta da Amostra Filtrada e dos Diferentes Tipos de Areia

FIGURA 218 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e dos Tipos de Areia para o Tempo Médio de Filtração de 20 min

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 219 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e dos Tipos de Areia para Tempo Médio de Filtração de 20 min

FIGURA 220 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e dos Diferentes Tipos de Areia para o Tempo Médio de Filtração de 30 min

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 221 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e dos Tipos de Areia para o Tempo Médio de Filtração de 30 min

FIGURA 222 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e dos Tipos de Areia para o Tempo Médio de Filtração de 40 min

FIGURA 223 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e dos Tipos de Areia para o Tempo Médio de Filtração de 40 min

ANEXO J

Caracterização da Água Tipo II

Caracterização da Água Tipo II

TABELA 210 – Características físico-químicas e biológicas da água Tipo II

Parâmetro	Valor	Padrão de Potabilidade estabelecido na Portaria 1469: Valor máximo permitido
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	447	-
Cor Verdadeira (uC)	26	-
Cor Aparente (uC)	85	15
pH	7,96	6,0 a 9,5
Turbidez (uT)	9,0	5
Alcalinidade Total (mg/L de CaCO_3)	71	-
Dureza Total (mg/L de CaCO_3)	46	500
Potencial Zeta (mV)	- 17,1	-
Cloretos (mg/L)	18	250
Sulfatos (mg/L)	70	250
Nitrogênio – Nitratos (mg/L)	1,7	10
Nitrogênio – Nitrito (mg/L)	0,1	1
Sólidos Totais (mg/L)	395	-
Sólidos Totais Suspensos (mg/L)	7	-
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	388	1000
Sódio (mg/L)	45	200
Potássio (mg/L)	8,0	-
Fosfato Total (mg/L)	0,2	-
Fluoretos (mg/L)	0,4	1,5
Carbono Orgânico Total (mg/L)	3,3	-
Coliformes Totais (NMP/ 100 mL)	14136	Ausência em 100 mL
Coliformes Fecais (NMP/ 100mL)	20	Ausência em 100 mL
Zinco não digerido (mg/L)	Não detectado	-
Zinco digerido (mg/L)	Não detectado	5
Chumbo digerido (mg/L)	Não detectado	0,01
Chumbo não digerido (mg/L)	Não detectado	-
Cádmio digerido (mg/L)	Não detectado	0,005
Cádmio não digerido (mg/L)	Não detectado	-
Níquel digerido (mg/L)	Não detectado	-
Níquel não digerido (mg/L)	Não detectado	-
Ferro digerido (mg/L)	0,05	0,3
Ferro não digerido (mg/L)	0,50	-
Manganês não digerido (mg/L)	Não detectado	-
Manganês digerido (mg/L)	0,09	0,1
Cobre não digerido (mg/L)	Não detectado	-
Cobre digerido (mg/L)	Não detectado	-
Cromo não digerido (mg/L)	Não detectado	-
Cromo digerido (mg/L)	0,15	0,05
Cálcio (mg/L)	12,0	-
Magnésio (mg/L)	1,1	-
Oxigênio Consumido (mg/L)	4,7	-
Absorvância (254 nm)	0,147	-
Número de Algas (Ind/L)	5×10^5	-

TABELA 211 – Identificação dos gêneros e contagem de algas

Gêneros de Algas	Ocorrência em 1 mL de Amostra	Tamanhos das Células (µm)
<i>Actinastrum</i>	2	21,8
<i>Ankistrodesmus</i>	1	58,8
<i>Aulacoseira</i>	43	12,0 a 18,8 (*), 133 a 204 (*)
<i>Chlorella</i>	16	9,1 a 11,1
<i>Chlorococcum</i>	10	11,5 a 13,9
<i>Cyclotella</i>	1	16,6
<i>Diatoma</i>	1	85,0
<i>Fragilaria</i>	1	33,4
<i>Micractinium</i>	2	21,0
<i>Microcystis</i>	2	16 a 25
<i>Microspora</i>	3	24 a 26,5 (*), 139 a 145 (**)
<i>Navicula</i>	2	37,7 a 42,0
<i>Nitzschia</i>	1	79,0
<i>Oscillatoria</i>	2	50,6 a 59,8
<i>Scenedesmus</i>	1	13,0
Outras Diatomáceas	8	24,7 a 43,2
Aglomerados de Clorofíceas	5	9,6 a 21,6
Total	5.10 ⁵ ind/L	

(*) comprimento do segmento; (**) comprimento total

TABELA 212 – Número de partículas nas diferentes faixas de tamanho das partículas

Faixa de Tamanho das Partículas (µm)								
8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	Total
3,635x10 ⁵	8,725x10 ⁴	1,413x10 ⁴	4,327x10 ³	2,127x10 ³	4,800x10 ²	1,667x10 ²	6,000x10 ¹	4,720x10 ⁶

a) Colônia de Clorofíceas (10 μm), AV

b) *Actinastrum* (22 μm) AV

c) *Ankistrodesmus* (59 μm) AV

d) *Chlorella* (11 μm), AV

e) *Chlorococcum* (14 μm), AV

f) *Cyclotella* (17 μm), DI

FIGURA 224a – Gêneros de Algas Observados na Água Tipo II (Continua) – AV: Alga Verde, DI: Diatomácea

g) *Diatoma* (58 µm), DI

h) *Fragilaria* (33 µm), DI

i) Diatomácea (36 µm) – Vista Valvar

j) Diatomácea (38 µm) – Vista Pleural

k) *Aulacoseira* (204 µm), DI

l) *Navicula* (42 µm), DI

FIGURA 224b – Gêneros de Algas Observados na Água Tipo II (Continuação) - AV: Alga Verde, DI: Diatomácea

m) *Micractinium* (32 µm), AV

n) *Microcystis* (25 µm), CI

o) *Microspora* (149 µm), AV

p) *Nitzschia* (79 µm), DI

q) *Oscillatoria* (50 µm), CI

r) *Scenedesmus* (13 µm), AV

FIGURA 224c – Gêneros de Algas Observados na Água Tipo II (Continuação) - AV: Alga Verde, DI: Diatomácea; CI: Cianofíceas

ANEXO K

**Influência do Gradiente Médio de Velocidade
da Mistura Rápida na Flotação**

Série de Ensaios IX

Série IX – Influência do Gradiente de Mistura Rápida na Flotação – Água Tipo II

TABELA 213 – Características da água Tipo II na Série IX

Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Absorvância (254 nm)	Alcalinidade Total (mg/L de CaCO ₃)	pH	Ind/L	Temperatura (°C)
9,5	88	0,147	71	7,95	5,000x10 ⁵	22 ± 1

TABELA 214 – Dosagens de produtos químicos utilizados na Série IX

Coagulante (Solução de Sulfato de Alumínio)	Alcalinizante (Solução de Hidróxido de Sódio)	Acidificante (Solução de Ácido Clorídrico)
DSA = 50 mg/L	-----	4,5 mg/L

TABELA 215 – Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série IX

Mistura Rápida		Floculação		Flotação			
Tmr = 10 s	Gmr = 800, 1000 e 1200 s ⁻¹	Tf = 10 min	Gf = 20 s ⁻¹	Tsat = 8 min	P = 400 kPa	R = 10 %	VA = 15,10 e 5 cm/min

TABELA 216 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 800 s⁻¹, VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
1	7,02	1,100x10 ⁴	2,2	0,4	4,2	11	12,5	0,077	52,4
2	7,03	Ausência	-	0,3	3,5	11	12,5	0,077	52,4
3	7,04	Ausência	-	0,4	3,8	11	12,5	0,077	52,4

TABELA 217 – Resultados do número de algas/L, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 800 s⁻¹, VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
1	7,02	Ausência	-	0,3	3,2	9	10,0	0,076	51,6
2	7,03	Ausência	-	0,3	3,0	10	11,3	0,076	51,6
3	7,04	Ausência	-	0,3	2,9	10	11,3	0,074	50,1

TABELA 218 – Resultados do número de algas/L, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (Gmr = 800 s⁻¹, VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
1	7,02	Ausência	-	0,3	3,0	9	10,0	0,075	50,9
2	7,03	Ausência	-	0,3	2,7	9	10,0	0,075	50,9
3	7,04	Ausência	-	0,3	2,8	9	10,0	0,074	50,1

TABELA 219 – Número remanescente de partículas (Gmr = 800 s⁻¹)

Jarro	Faixa de Tamanhos das Partículas (µm)								
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	Total
1	3,973x10 ⁴	1,513x10 ⁴	3,467x10 ³	2,800x10 ³	9,330x10 ²	1,330x10 ²	1,330x10 ²	2,670x10 ²	6,260x10 ⁴
2	1,740x10 ⁴	8,867x10 ³	3,533x10 ³	1,733x10 ³	1,800x10 ³	4,670x10 ²	1,330x10 ²	-	3,393x10 ⁴
3	1,667x10 ⁴	1,053x10 ⁴	4,667x10 ³	3,267x10 ³	2,133x10 ³	8,670x10 ²	1,067x10 ³	6,000x10 ²	3,980x10 ⁴
Água Tipo II	3,634x10 ⁶	8,720x10 ⁵	1,412x10 ⁵	4,327x10 ⁴	2,127x10 ⁴	4,800x10 ³	1,667x10 ³	6,000x10 ²	4,719x10 ⁶

TABELA 220 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$)

Jarro	Faixa de Tamanhos das Partículas (μm)								Total
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	
1	1,1	1,7	2,5	6,5	4,4	2,8	8,0	44,5	1,3
2	0,5	1,0	2,5	4,0	8,5	9,7	8,0	0,0	0,7
3	0,5	1,2	3,3	7,6	10,0	18,1	64,0	100,0	0,8

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:T_{mr} = 10 s $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$ **Floculação:**T_f = 10 min $G_f = 20 \text{ s}^{-1}$ **Flotação:**T_{sat} = 8 min

P = 400 kPa

R = 10 %

FIGURA 225 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$ **LEGENDA**

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:T_{mr} = 10 s $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$ **Floculação:**T_f = 10 min $G_f = 20 \text{ s}^{-1}$ **Flotação:**T_{sat} = 8 min

P = 400 kPa

R = 10 %

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 226 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 800 \text{ s}^{-1}$

TABELA 221 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gmr = 1000 \text{ s}^{-1}$, $VA = 15 \text{ cm/min}$)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
1	7,05	Ausência	-	0,4	3,8	12	13,8	0,074	50,1
2	7,01	Ausência	-	0,3	3,5	12	13,8	0,070	47,9
3	7,02	Ausência	-	0,3	3,4	12	13,8	0,069	47,1

TABELA 222 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gmr = 1000 \text{ s}^{-1}$, $VA = 10 \text{ cm/min}$)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
1	7,05	Ausência	-	0,3	3,2	11	12,5	0,069	47,1
2	7,01	Ausência	-	0,3	3,4	11	12,5	0,069	47,1
3	7,02	Ausência	-	0,3	3,0	11	12,5	0,069	47,1

TABELA 223 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gmr = 1000 \text{ s}^{-1}$, $VA = 5 \text{ cm/min}$)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
1	7,05	Ausência	-	0,3	3,2	10	11,3	0,068	46,4
2	7,01	Ausência	-	0,3	3,1	11	12,5	0,069	47,1
3	7,02	Ausência	-	0,3	2,9	11	12,5	0,068	46,4

TABELA 224 – Número remanescente de partículas ($Gmr = 1000 \text{ s}^{-1}$)

Jarro	Faixa de Tamanhos das Partículas (μm)								
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	Total
1	$1,633 \times 10^4$	$1,113 \times 10^4$	$5,400 \times 10^3$	$3,867 \times 10^3$	$4,933 \times 10^3$	$7,330 \times 10^2$	$6,670 \times 10^2$	$6,700 \times 10^1$	$4,313 \times 10^4$
2	$1,320 \times 10^4$	$1,213 \times 10^4$	$5,867 \times 10^3$	$4,467 \times 10^3$	$3,00 \times 10^3$	$6,000 \times 10^2$	$4,000 \times 10^2$	$1,330 \times 10^2$	$3,980 \times 10^4$
3	$1,747 \times 10^4$	$9,600 \times 10^3$	$3,000 \times 10^3$	$2,133 \times 10^3$	$1,533 \times 10^3$	$6,000 \times 10^2$	$6,700 \times 10^1$	$6,700 \times 10^1$	$3,447 \times 10^4$
Água Tipo II	$3,634 \times 10^6$	$8,720 \times 10^5$	$1,412 \times 10^5$	$4,327 \times 10^4$	$2,127 \times 10^4$	$4,800 \times 10^3$	$1,667 \times 10^3$	$6,000 \times 10^2$	$4,719 \times 10^6$

TABELA 225 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($Gmr = 1000 \text{ s}^{-1}$)

Jarro	Faixa de Tamanhos das Partículas (μm)								
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	Total
1	0,4	1,3	3,8	8,9	23,2	15,3	40,0	11,2	0,9
2	0,4	1,4	4,2	10,3	14,1	12,5	24,0	22,2	0,8
3	0,5	1,1	2,1	4,9	7,2	12,5	4,0	11,2	0,7

FIGURA 227 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 228 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$

TABELA 226 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gmr = 1200 s^{-1}$, $VA = 15 cm/min$)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
1	7,05	5,500x10 ³	1,1	0,4	3,8	14	16,3	0,069	47,1
2	7,06	Ausência	-	0,3	3,6	14	16,3	0,070	47,9
3	7,09	5,500x10 ³	1,1	0,4	4,7	14	16,3	0,070	47,9

TABELA 227 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gmr = 1200 s^{-1}$, $VA = 10 cm/min$)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
1	7,05	Ausência	-	0,3	3,6	13	15,0	0,068	46,4
2	7,06	Ausência	-	0,3	3,6	13	15,0	0,069	47,1
3	7,09	Ausência	-	0,4	4,2	13	15,0	0,068	46,4

TABELA 228 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes ($Gmr = 1200 s^{-1}$, $VA = 5 cm/min$)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
1	7,05	Ausência	-	0,3	3,2	12	13,8	0,066	44,9
2	7,06	Ausência	-	0,3	3,1	12	13,8	0,066	44,9
3	7,09	Ausência	-	0,3	2,9	12	13,8	0,067	45,6

TABELA 229 – Número remanescente de partículas ($Gmr = 1200 s^{-1}$)

Jarro	Faixa de Tamanhos das Partículas (μm)								
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	Total
1	3,140.10 ⁴	1,200.10 ⁴	4,333.10 ³	3,400.10 ³	2,200.10 ³	5,330.10 ²	8,000.10 ²	4,000.10 ²	5,507.10 ⁴
2	2,780.10 ⁴	1,447.10 ⁴	5,733.10 ³	3,600.10 ³	2,267.10 ³	1,000.10 ³	1,467.10 ³	6,000.10 ²	5,693.10 ⁴
3	2,367.10 ⁴	1,060.10 ⁴	4,333.10 ³	2,133.10 ³	2,800.10 ³	1,000.10 ³	4,670.10 ²	2,000.10 ²	4,520.10 ⁴
Água Tipo II	3,634.10 ⁶	8,720.10 ⁵	1,412.10 ⁵	4,327.10 ⁴	2,127.10 ⁴	4,800.10 ³	1,667.10 ³	6,000.10 ²	4,719.10 ⁶

TABELA 230 – Porcentagem remanescente do número de partículas ($Gmr = 1200 s^{-1}$)

Jarro	Faixa de Tamanhos das Partículas (μm)								
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	Total
1	0,9	1,4	3,1	7,9	10,3	11,1	48,0	66,7	1,2
2	0,8	1,7	4,1	8,3	10,7	20,8	88,0	100,0	1,2
3	0,7	1,2	3,1	4,9	13,2	20,8	28,0	33,3	1,0

FIGURA 229 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 230 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas para $G_{mr} = 1200 \text{ s}^{-1}$

FIGURA 231 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Gradiente de Mistura Rápida para $VA = 15$ cm/min

FIGURA 232 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Gradiente de Mistura Rápida para $VA = 10$ cm/min

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

$T_{mr} = 10$ s

$G_{mr} = 800, 1000$ e

1200 s^{-1}

Floculação:

$T_f = 10$ min

$G_f = 20$ s^{-1}

Flotação:

$T_{sat} = 8$ min

$P = 400$ kPa

$R = 10$ %

$VA = 15$ cm/min

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

$T_{mr} = 10$ s

$G_{mr} = 800, 1000$ e

1200 s^{-1}

Floculação:

$T_f = 10$ min

$G_f = 20$ s^{-1}

Flotação:

$T_{sat} = 8$ min

$P = 400$ kPa

$R = 10$ %

$VA = 10$ cm/min

FIGURA 233 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Gradiente de Mistura Rápida para VA = 5 cm/min

FIGURA 234 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Gradiente de Mistura Rápida para VA = 15 cm/min

FIGURA 235 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Gradiente de Mistura Rápida para VA = 10 cm/min

FIGURA 236 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Gradiente de Mistura Rápida para VA = 5 cm/min

FIGURA 237 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Gradiente de Mistura Rápida para VA = 15 cm/min

FIGURA 238 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Gradiente de Mistura Rápida para VA = 10 cm/min

FIGURA 239 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Gradiente de Mistura Rápida para VA = 5 cm/min

FIGURA 240 – Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função do Gradiente de Mistura Rápida para VA = 15 cm/min

FIGURA 241 – Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função do Gradiente de Mistura Rápida para VA = 10 cm/min

FIGURA 242 – Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função do Gradiente de Mistura Rápida para VA = 5 cm/min

ANEXO L

Influência do Tempo de Floculação na Flotação

Série de Ensaios X

Série X – Influência do Tempo de Floculação na Flotação – Água Tipo II

Tabela 231 – Características da água Tipo II na Série X

Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Absorvância (254 nm)	Alcalinidade Total (mg/L de CaCO ₃)	pH	Ind/L	Temperatura (oC)
9,0	80	0,135	71	7,96	5,000x10 ⁵	22 ± 1

TABELA 232 – Dosagens de produtos químicos utilizados na Série X

Coagulante (Solução de Sulfato de Alumínio)	Alcalinizante (Solução de Hidróxido de Sódio)	Acidificante (Solução de Ácido Clorídrico)
DSA = 50 mg/L	-----	4,5 mg/L

TABELA 233 – Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série X

Mistura Rápida		Floculação		Flotação			
Tmr = 10 s	Gmr = 1000 s ⁻¹	Tf = 5, 10 e 20 min	Gf = 20 s ⁻¹	Tsat = 8 min	P = 400 kPa	R = 10 %	VA = 15,10 e 5 cm/min

Tabela 234 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (VA = 15 cm/min)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
5	6,91	1,650x10 ⁴	3,3	0,7	6,9	12	13,8	0,072	48,6
10	6,92	Ausência	-	0,5	4,7	9	10,0	0,067	45,6
20	6,93	Ausência	-	0,5	5,4	8	8,8	0,065	44,1

Tabela 235 – Resultados do número de algas/L, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (VA = 10 cm/min)

Tf (min)	PH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
5	6,91	Ausência	-	0,7	6,9	11	12,5	0,070	47,9
10	6,92	Ausência	-	0,3	3,5	8	8,8	0,066	44,9
20	6,93	Ausência	-	0,3	3,2	8	8,8	0,064	43,4

Tabela 236 – Resultados do número de algas/L, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (VA = 5 cm/min)

Tf (min)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
5	6,91	Ausência	-	0,4	4,5	9	10,0	0,067	45,6
10	6,92	Ausência	-	0,3	2,9	8	8,8	0,065	44,1
20	6,93	Ausência	-	0,3	3,2	8	8,8	0,063	42,7

TABELA 237 – Número remanescente de partículas

Jarro	Faixa de Tamanhos das Partículas (μm)								
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	Total
1	1,827x10 ⁴	7,867x10 ³	3,067x10 ³	2,600x10 ³	1,667x10 ³	4,670x10 ²	2,670x10 ²	2,670x10 ²	3,447x10 ⁴
2	1,073x10 ⁴	4,600x10 ³	2,333x10 ³	1,600x10 ³	2,467x10 ³	1,330x10 ²	1,330x10 ²	1,330x10 ²	2,213x10 ⁴
3	1,927x10 ⁴	8,267x10 ³	3,400x10 ³	1,600x10 ³	1,667x10 ³	5,330x10 ²	1,330x10 ²	6,700x10 ¹	3,493x10 ⁴
Água Tipo II	1,935x10 ⁶	7,895x10 ⁵	1,693x10 ⁵	6,020x10 ⁴	3,900x10 ⁴	9,600x10 ³	3,267x10 ³	1,133x10 ³	3,007x10 ⁶

Tabela 238 – Porcentagem remanescente do número de partículas

Jarro	Faixa de Tamanhos das Partículas (μm)								Total
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	
1	0,9	1,0	1,8	4,3	4,3	4,9	8,2	23,6	1,1
2	0,6	0,6	1,4	2,7	6,3	1,4	4,1	11,7	0,7
3	1,0	1,0	2,0	2,7	4,3	5,6	4,1	5,9	1,2

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 5, 10 e 20 min

Gf = 20 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 10 %

FIGURA 243 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e dos Tempos de Floculação

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 5, 10 e 20 min

Gf = 20 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 10 %

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 244 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e dos Tempos de Floculação

N: número remanescente de algas/L, No: número de algas/L inicial

FIGURA 245 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função dos Tempos de Floculação e Velocidades Ascensionais

T: turbidez remanescente (uT), To: turbidez inicial (uT)

FIGURA 246 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função dos Tempos de Floculação e Velocidades Ascensionais

FIGURA 247 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função dos Tempos de Floculação e Velocidades Ascensionais

FIGURA 248 – Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função dos Tempos de Floculação e Velocidades Ascensionais

ANEXO M

Influência da Taxa de Recirculação na Flotação

Série de Ensaios XI

Série XI – Influência da Taxa de Recirculação – Água Tipo II

Tabela 239 – Características da água Tipo II na Série XI

Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Absorvância (254 nm)	Alcalinidade Total (mg/L de CaCO ₃)	pH	Ind/L	Temperatura (°C)
9,0	80	0,135	71	7,96	5,000x10 ⁵	22 ± 1

Tabela 240 – Dosagens de produtos químicos utilizados na Série XI

Coagulante (Solução de Sulfato de Alumínio)	Alcalinizante (Solução de Hidróxido de Sódio)	Acidificante (Solução de Ácido Clorídrico)
DSA = 50 mg/L	-----	4,5 mg/L

Tabela 241 – Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série XI

Mistura Rápida		Floculação		Flotação			
Tmr = 10 s	Gmr = 1000 s ⁻¹	Tf = 10 min	Gf = 20 s ⁻¹	Tsat = 8 min	P = 400 kPa	R = 5, 10 e 15 %	VA = 15,10 e 5 cm/min

Tabela 242 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (VA = 15 cm/min)

R (%)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
5	6,90	2,200x10 ⁴	4,4	0,56	5,9	10	11,3	0,070	47,9
10	6,94	Ausência	-	0,31	3,2	8	8,8	0,066	44,9
15	6,93	Ausência	-	0,31	3,2	8	8,8	0,063	42,7

Tabela 243 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (VA = 10 cm/min)

R (%)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
5	6,90	1,650x10 ⁴	3,3	0,45	4,7	9	10,0	0,069	47,1
10	6,94	Ausência	-	0,30	3,1	8	8,8	0,066	44,9
15	6,93	Ausência	-	0,31	3,2	8	8,8	0,062	41,9

Tabela 244 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes (VA = 5 cm/min)

R (%)	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
5	6,90	1,650x10 ⁴	3,3	0,42	4,4	9	10,0	0,072	48,6
10	6,94	Ausência	-	0,28	2,9	8	8,8	0,064	43,4
15	6,93	Ausência	-	0,31	3,2	8	8,8	0,059	40,4

Tabela 245 – Número remanescente de partículas

R (%)	Faixa de Tamanhos das Partículas (µm)								
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	Total
5	4,627x10 ⁴	1,987x10 ⁴	8,733x10 ³	5,200x10 ³	4,533x10 ³	8,000x10 ²	5,330x10 ²	6,700x10 ¹	8,600x10 ⁴
10	1,280x10 ⁴	9,333x10 ³	4,200x10 ³	3,667x10 ³	2,400x10 ³	4,000x10 ²	4,000x10 ²	6,700x10 ²	3,327x10 ⁴
15	1,327x10 ⁴	5,267x10 ³	7,330x10 ²	4,000x10 ²	6,700x10 ¹	-	-	-	1,973x10 ⁴
Água Tipo II	1,935x10 ⁶	7,895x10 ⁵	1,693x10 ⁵	6,020x10 ⁴	3,900x10 ⁴	9,600x10 ³	3,267x10 ³	1,133x10 ³	3,007x10 ⁶

Tabela 246 – Porcentagem remanescente do número de partículas

R (%)	Faixa de Tamanhos das Partículas (μm)								Total
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	
5	2,4	2,5	5,2	8,6	11,6	8,3	16,3	5,9	2,9
10	0,7	1,2	2,5	6,1	6,2	4,2	12,2	5,9	1,1
15	0,7	0,7	0,4	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 20 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 5, 10 e 15 %

FIGURA 249 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 20 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 5, 10 e 15 %

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 250 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação

N: número remanescente de algas/L, No: número de algas/L inicial

FIGURA 251 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação

T: turbidez remanescente (uT), To: turbidez inicial (uT)

FIGURA 252 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação

FIGURA 253 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação

FIGURA 254 – Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função do Tamanho das Partículas e das Taxas de Recirculação

ANEXO N

Floto-Filtração

Série de Ensaaios XII

Série XII – Floto-Filtração – Água Tipo II

TABELA 247 – Características da água Tipo II na Série XII

Turbidez (uT)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	Alcalinidade Total (mg/L de CaCO ₃)	pH	Ind/L	Temperatura (°C)
9,0	80	0,135	71	7,96	5,000x10 ⁵	22 ± 1

TABELA 248 – Dosagens de produtos químicos utilizados na Série XII

Coagulante (Solução de Sulfato de Alumínio)	Alcalinizante (Solução de Hidróxido de Sódio)	Acidificante (Solução de Ácido Clorídrico)
DSA = 50 mg/L	-----	4,5

TABELA 249 – Parâmetros físicos utilizados no ensaio da Série XII

Mistura Rápida		Floculação		Flotação			
Tmr = 10 s	Gmr = 1000 s ⁻¹	Tf = 10 min	Gf = 20 s ⁻¹	Tsat = 8 min	P = 400 Pa	R = 15 %	VA = 15,10 e 5 cm/min
Filtração							
Tempo médio de coleta de amostra filtrada = 10, 20, 30 e 40 min							
Jarro 1 – Areia Tipo A (tamanho dos grãos de 0,297 a 0,42 mm)							
Jarro 2 – Areia Tipo B (tamanho dos grãos de 0,42 a 0,84 mm)							
Jarro 3 – Areia Tipo C (tamanho dos grãos de 0,59 a 1,41 mm)							
Espessura do meio filtrante = 15 cm							

TABELA 250 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de flotação (VA = 15 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/Ao)x100%
1	7,08	5,750.10 ³	1,2	0,40	4,5	9	11,5	0,071	52,8
2	7,06	Ausência	-	0,37	4,1	9	11,5	0,070	52,0
3	7,08	Ausência	-	0,36	3,9	9	11,5	0,070	51,1

TABELA 251 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de flotação (VA = 10 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/Ao)x100%
1	7,08	Ausência	-	0,33	3,7	9	11,5	0,071	52,8
2	7,06	Ausência	-	0,26	2,9	9	11,5	0,070	52,0
3	7,08	Ausência	-	0,32	3,6	9	11,5	0,070	52,0

TABELA 252 – Resultados do número de algas, absorvância, turbidez e cor aparente remanescentes e respectivas porcentagens remanescentes referentes ao ensaio de flotação (VA = 5 cm/min)

Jarro	pH	Ind/L	% Ind. (N/No)x100%	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/Ao)x100%
1	7,08	Ausência	-	0,30	3,3	8	10,1	0,071	52,8
2	7,06	Ausência	-	0,25	2,8	8	10,1	0,070	52,0
3	7,08	Ausência	-	0,30	3,3	8	10,1	0,070	52,0

TABELA 253 – Número remanescente de partículas referente ao ensaio de flotação

Jarro	Faixa de Tamanhos das Partículas (µm)								
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	Total
1	2,340x10 ⁴	6,800x10 ³	4,000x10 ²	4,000x10 ²	1,330x10 ²	-	-	-	3,113x10 ⁴
2	2,380x10 ⁴	8,133x10 ³	2,933x10 ³	1,733x10 ³	2,133x10 ³	3,330x10 ²	6,700x10 ¹	-	3,913x10 ⁴
3	1,813x10 ⁴	6,667x10 ³	1,933x10 ³	1,533x10 ³	1,800x10 ³	3,330x10 ²	6,700x10 ¹	1,330x10 ²	3,060x10 ⁴
Água Tipo II	1,935x10 ⁶	7,895x10 ⁵	1,693x10 ⁵	6,020x10 ⁴	3,900x10 ⁴	9,600x10 ³	3,267x10 ³	1,133x10 ³	3,007x10 ⁶

TABELA 254 – Porcentagem remanescente do número de partículas referentes ao ensaio de flotação

Jarro	Faixa de Tamanhos das Partículas (μm)								Total
	8 a 16	16 a 32	32 a 48	48 a 64	64 a 96	96 a 128	128 a 160	> 160	
1	1,2	0,9	0,2	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	1,0
2	1,2	1,0	1,7	2,9	5,5	3,5	2,1	0,0	1,3
3	0,9	0,8	1,1	2,5	4,6	3,5	2,1	11,7	1,0

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 20 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa,

R = 15 %

FIGURA 255 – Número Remanescente de Partículas em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação

FLOTAÇÃO **LEGENDA**

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹**Floculação:**

Tf = 10 min

Gf = 20 s⁻¹**Flotação:**

Tsat = 8 min

P = 400 kPa,

R = 15 %

P: número remanescente de partículas/L, Po: número de partículas/L inicial

FIGURA 256 – Porcentagem Remanescente do Número de Partículas em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação

FLOTAÇÃO

N: número de algas/L remanescente, No: número de algas/L inicial

FIGURA 257 – Porcentagem Remanescente do Número de Algas em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

$T_{mr} = 10$ s

$G_{mr} = 1000$ s⁻¹

Floculação:

$T_f = 10$ min

$G_f = 20$ s⁻¹

Flotação:

$T_{sat} = 8$ min

$P = 400$ kPa

$R = 15$ %

VA = 15, 10 e 5 cm/min

T: turbidez remanescente (uT), To: turbidez inicial (uT)

FIGURA 258 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

$T_{mr} = 10$ s

$G_{mr} = 1000$ s⁻¹

Floculação:

$T_f = 10$ min

$G_f = 20$ s⁻¹

Flotação:

$T_{sat} = 8$ min

$P = 400$ kPa

$R = 15$ %

VA = 15, 10 e 5 cm/min

FLOTAÇÃO

FIGURA 259 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação

FLOTAÇÃO

FIGURA 260 – Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função do Tamanho das Partículas Referente ao Ensaio de Flotação

FLOTAÇÃO

TABELA 255 – Resultados do ensaio de filtração (Tempo médio de coleta da amostra = 10 min)

Areia	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
A	0,26	2,9	8	9,6	0,065	48,1
B	0,23	2,6	9	11,0	0,066	48,9
C	0,24	2,7	9	11,0	0,067	49,7

TABELA 256 – Resultados do ensaio de filtração (Tempo médio de coleta da amostra = 20 min)

Areia	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
A	0,20	2,2	7	8,3	0,065	48,1
B	0,21	2,3	7	8,3	0,066	48,9
C	0,24	2,7	7	8,3	0,066	48,9

Tabela 257 – Resultados do ensaio de filtração (Tempo médio de coleta da amostra = 30 min)

Areia	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
A	0,18	1,9	7	8,3	0,062	45,6
B	0,19	2,1	7	8,3	0,064	47,3
C	0,23	2,6	7	8,3	0,065	48,1

Tabela 258 – Resultados do ensaio de filtração (Tempo médio de coleta da amostra = 40 min)

Areia	Turbidez (uT)	% da turbidez (T/To)x100%	Cor ap. (uC)	% da cor ap. (C/Co)x100%	Abs. (254nm)	% da Abs. (A/A ₀)x100%
A	0,17	1,8	7	8,3	0,061	44,8
B	0,15	1,7	7	8,3	0,062	45,6
C	0,17	1,8	7	8,3	0,062	45,6

T: turbidez remanescente (uT), To: turbidez inicial (uT)

FIGURA 261 – Porcentagem Remanescente da Turbidez em Função dos Tempos Médios de Coleta de Água Filtrada e dos Diferentes Tipos de Areia

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

Tmr = 10 s

Gmr = 1000 s⁻¹

Floculação:

Tf = 10 min

Gf = 20 s⁻¹

Flotação:

Tsat = 8 min

P = 400 kPa

R = 15 %

VA = 15, 10 e 5 cm/min

Filtração:

Coleta de amostra filtrada:

10, 20, 30 e 40 min

FILTRAÇÃO

FIGURA 262 – Porcentagem Remanescente da Cor Aparente em Função dos Tempos Médios de Coleta de Água Filtrada e dos Tipos de Areia

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

$T_{mr} = 10 \text{ s}$

$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$

Floculação:

$T_f = 10 \text{ min}$

$G_f = 20 \text{ s}^{-1}$

Flotação:

$T_{sat} = 8 \text{ min}$

$P = 400 \text{ kPa}$

$R = 15 \%$

$VA = 15, 10 \text{ e } 5 \text{ cm/min}$

Filtração:

Coleta de amostra filtrada:

10, 20, 30 e 40 min

FILTRAÇÃO

FIGURA 263 – Porcentagem Remanescente da Absorvância em Função dos Tempos Médios de Coleta de Água Filtrada e dos Diferentes Tipos de Areia

LEGENDA

DSA = 50 mg/L

DAC = 4,5 mg/L

Mistura Rápida:

$T_{mr} = 10 \text{ s}$

$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$

Floculação:

$T_f = 10 \text{ min}$

$G_f = 20 \text{ s}^{-1}$

Flotação:

$T_{sat} = 8 \text{ min}$,

$P = 400 \text{ kPa}$,

$R = 15 \%$

$VA = 15, 10 \text{ e } 5 \text{ cm/min}$

Filtração:

Coleta de amostra filtrada:

10, 20, 30 e 40 min

FILTRAÇÃO

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMITHARAJAH, A. (1989). *The Mechanisms of Coagulation*. Anais do Seminário nacional sobre coagulação e filtração direta, São Carlos.
- ARMITHARAJAH, A. & MILLS, K.M. (1982). *Rapid-Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation*. Journal AWWA, USA, April.
- BICUDO, C.E.M. & BICUDO, R.M.T. (1970). *Algas de Águas Continentais Brasileiras*. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências, São Paulo, SP.
- BRANCO, S.M. (1986). *Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária*. 3ª. edição, São Paulo, CETESB/ASCETESB.
- BRITO, S.A. (1998). *Influência da Velocidade de Sedimentação na Determinação dos Coeficientes de Agregação e Ruptura durante a Floculação*. Dissertação (Mestrado), EESC, USP.
- CENTURIONE FILHO, P. L. (1998). *Comparação da Eficiência da Remoção de Algas na Decantação com Mantas Sintéticas Não Tecidas e na Flotação de Água*. Relatório final de encaminhamento ao CNPq, São Carlos.
- CENTURIONE FILHO, P.L. (1999). *Ozonização, Coagulação, Floculação, Flotação e Filtração para Remoção de Algas*. Relatório final de encaminhamento à Fapesp, São Carlos.
- CETESB (2002). *Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba*. http://www.cetesb.sp.gov.br/InformacoesAmbientais/qualidade_dos_rios/ugrhis/UGRHI-05.pdf (9 jan.)
- DI BERNARDO, L. (1993). *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*, vol. 1. ABES, Rio de Janeiro, RJ.
- DI BERNARDO, L. (1995). *Algas e suas Influências na Qualidade das Águas e nas Tecnologias de Tratamento*. ABES, Rio de Janeiro, RJ.
- DI BERNARDO, L. (1998). *Optimización de la Flotación para Águas Coloreadas ó com Altas Concentraciones de Algas*. Seminario sobre Optimización de Plantas de Potabilización. Lima, Peru, 29 al 31 de octubre.

- DI BERNARDO, L.; PÁDUA, V.L.; DI BERNARDO, A.S. (2001). *Desenvolvimento de Instalação de Laboratório para Determinação da Dosagem de Coagulante na Filtração Direta*. Anais eletrônicos do IX SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Seguro, BA.
- 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*, Dissertação (Mestrado), EESC, USP.
- EDZWALD, J.K. et al. (1999). *Integrating High-Rate DAF Technology into Plant Design*. Journal AWWA, USA, Dec.
- GREGORY, R. (1997). *Summary of General Developments in DAF for Water Treatment since 1976*. In: Dissolved Air Flotation, International Conference, London, UK, Apr.
- HAARHOFF, J.; STEINBACH, S.(1997). *Towards the Maximal Utilization of Air in Dissolved Air Flotation*. In: Dissolved Air Flotation, International Conference, London, UK, Apr.
- HAHN, H. H. (1982). *Wastewater Treatment*. In: The Scientific Basis of Flotation (K.J. Ives, editor). Martinus Nijhoof, USA, 1984.
- HYDE, R. A. et al (1977). *Water Clarification by Flotation*. Journal AWWA, USA, July.
- LETTERMAN, R. D.; QUON, J. E.; GEMMELL, R. S. (1973). *Influence of Rapid-Mix Parameters on Flocculation*. Journal AWWA, Nov.
- MALLEY JR, J.P.; EDZWALD, J.K. (1991). *Laboratory Comparision of DAF with Conventional Treatment*. Journal AWWA, USA, Sep.
- MARTINS, H.B. (1979). *Interferências das Algas na Coagulação, Floculação e Decantação*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos-USP. p.158.
- PÁDUA, V.L. et al. (1998). *Optimizacion de Gradientes de Velocidad en la Floculación*. Seminario sobre Optimización de Plantas de Potabilización. Lima, Peru, 29 al 31 de Oct.
- PLUMMER, J.D.; EDZWALD, J.K.; KELLEY, M.B. (1995). *Removing Cryptosporidium by Dissolved Air Flotation*. Journal AWWA, USA, Sep.
- PROTIST INFORMATION SERVER (2002). *Biological Image Databases*. The Graduate University for Advanced Studies, Japan Science and Technology Corporation, Japão, <http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Protista> (28 fev.).
- RICHTER, C. A. (2001). *Clarificação de Água por Flotação a Ar Dissolvido*. Curso ministrado em Natal, RN, de 21 a 23 março.
- VALADE, M.T. et al. (1996). *Partical Removal by Flotation and Filtration: Pretreatment Effects*. Journal AWWA, USA, Dec.

- VLAŠKI, A.N.; VAN BREEMEN, A.N.; ALAERTS, G.J. (1997). *Algae Laden Water Treatment by Dissolved Air Flotation*. In: Dissolved Air Flotation, International Conference, London, UK, Apr.
- ZABEL, T.F. (1982). *Flotation in Water Treatment*. In: The Scientific Basis of Flotation (K.J. Ives, editor). Martinus Nijhoof, USA, 1984.
- ZABEL, T.(1985). *The Advantages of Dissolved Air flotation for Water Treatment*. Journal AWWA, USA, May.