

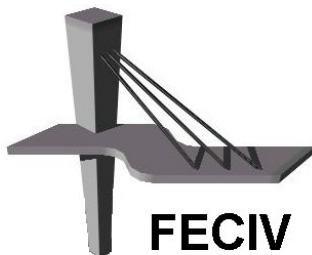


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Dissertação DE MESTRADO

Avaliação da eficiência de remoção de cor em
função da distribuição de tamanho dos flocos e no
fator de força

Marcelo Vandenberg Barbosa Borges



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Marcelo Vandenberg Barbosa Borges

**Avaliação da eficiência de remoção de cor em função da
distribuição de tamanho dos flocos e no fator de força**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz de Oliveira

Uberlândia, junho de 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

B732a
2018 Borges, Marcelo Vandemberg Barbosa, 1987-
Avaliação da eficiência de remoção de cor em função da distribuição
de tamanho dos flocos e no fator de força / Marcelo Vandemberg
Barbosa Borges. - 2018.
121 f. : il.

Orientador: André Luiz de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1144>
Inclui bibliografia.

1. Engenharia civil - Teses. 2. Cloreto férrico - Teses. 3. Floculação -
Teses. 4. Água -- Purificação - Teses. I. Oliveira, André Luiz de, . II.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 624

Maria Salete de Freitas Pinheiro – CRB6/1262



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGE

ATA Nº: 205/2018

CANDIDATO: Marcelo Vandemberg Barbosa Borges

Nº. Matrícula: 11612ECV009

ORIENTADOR: Prof. Dr. André Luiz de Oliveira

TÍTULO: "Avaliação da influência da dosagem de coagulante na força e sedimentabilidade de flocos formados a partir de água com cor".

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

LINHA DE PESQUISA: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

PROJETO DE PESQUISA: Tratamento convencional e avançado de Água de Abastecimento e Residuária

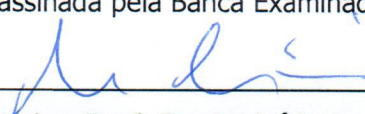
DATA DA DEFESA: 27 de abril de 2018

LOCAL: Sala de Reuniões Prof. Márcio Antônio Ribeiro da Silva, bloco 1Y.

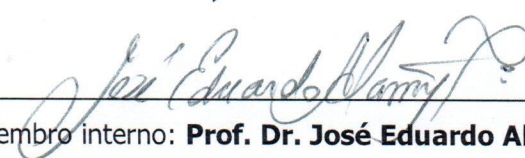
HORÁRIO INÍCIO/TÉRMINO: 14:00 / 16:30

Reuniu-se na **Sala de Projeções Prof. Celso Franco de Gouvêa, bloco 1Y - Campus Santa Mônica** da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do PPGE, assim composta: Professores Doutores: **José Eduardo Alamy Filho – FECIV/UFU; Rodrigo Braga Moruzzi – IGCE/UNESP e André Luiz de Oliveira – FECIV/UFU** orientador do candidato. Ressalta-se que o **Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi** participou da defesa por meio de vídeo conferência desde a cidade de Rio Claro/SP e os demais membros da banca e o aluno participaram in loco.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa **Prof. Dr. André Luiz de Oliveira** apresentou a Comissão Examinadora e concedeu ao discente a palavra para a exposição do trabalho. A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o candidato APROVADO. Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU. Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos e foi lavrada a presente ata que após lida e aprovada foi assinada pela Banca Examinadora.


Professor Orientador: **Prof. Dr. André Luiz de Oliveira – FECIV/UFU**


Membro externo: **Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi – IGCE/UNESP**


Membro interno: **Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho – FECIV/UFU**

Uberlândia, 24 de abril de 2018.

AGRADECIMENTOS

Esta etapa da minha caminhada não posso deixar de agradecer a Deus por toda força, ânimo e coragem que me ofereceu para ter alcançado minha meta.

A minha noiva Poliane, pois me incentivou e inspirou através de gestos e palavras a superar todas as dificuldades de cada momento.

Aos meus pais que me ajudaram a acreditar em mim quero deixar um agradecimento eterno, porque sem eles não teria sido possível.

Pela orientação do professor Dr. André Luiz de Oliveira pelo estímulo com muita paciência, que me deram meios e ferramentas para evoluir como pesquisador.

À Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil e as pessoas responsáveis pelo Laboratório de Saneamento quero deixar minha gratidão por ter me acolhido com toda alegria e todas as disposições que me possibilitou anos de aprendizagem.

Vandemberg, M. B. B. Avaliação da eficiência de remoção de cor em função da distribuição de tamanho dos flocos e no fator de força. 121 p. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

RESUMO

Após a formação dos flocos, os mesmos podem se deteriorar com o a intensificação de tensões de cisalhamento, modificando assim toda sua estrutura morfológica, diminuindo a eficiência do processo. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da concentração de cloreto férrico no fator de força e distribuição do tamanho dos flocos formados a partir de solução de água com cor. Preliminarmente foi elaborado o diagrama de coagulação/floculação da água de estudo para uma das condições de cor estudada. Após esta etapa foram tratadas amostras de diferentes cores, onde foi avaliando o fator de força do floco, a distribuição do tamanho das partículas (DTP) e a eficiência de remoção de cor antes e após a ruptura dos flocos. Assim os objetivos do presente trabalho foram avaliar a evolução da distribuição de tamanho de partículas formadas a partir de diferentes concentrações de coagulante e condições de cor; avaliar qual a distribuição de partículas é mais favorável à eficiência de remoção de cor, em função da dosagem de coagulante e avaliar o efeito da ruptura na distribuição dos tamanhos dos flocos. Pelos resultados foi possível observar, no geral, desenvolvimento de flocos entre 0,05 a 2,75 mm, deslocamento da distribuição do tamanho das partículas (DTP) para faixas de maiores tamanhos com o aumento da concentração de cloreto férrico e da cor e diminuição na eficiência do processo de 13%, em media, após a quebra.

Palavras-chave: Cloreto Férrico – Distribuição do tamanho das partículas – Floculação – Cor elevada - Flocos

Vandenberg, M. B. B. Evaluation of the color removal efficiency as a function of the size distribution of the flocs and in the force factor. 121 p. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2018.

ABSTRACT

After the formation of the flocs, they can deteriorate with the intensification of shear stresses, thus modifying all their morphological structure, reducing the efficiency of the process. The objective of this research was to evaluate the effect of ferric chloride concentration on the strength factor and size distribution of flocs formed from color water solution. Preliminarily, the coagulation / flocculation diagram of the study water was elaborated for one of the studied color conditions. After this step samples of different colors were treated, where it was evaluated the floc strength factor, the particle size distribution (DTP) and the color removal efficiency before and after the flakes rupture. Thus the objectives of the present work were to evaluate the evolution of the particle size distribution formed from different concentrations of coagulant and color conditions; to evaluate which particle distribution is more favorable to the color removal efficiency, as a function of the coagulant dosage and to evaluate the effect of the rupture in the distribution of the floc sizes. It was possible to observe, in general, the development of flakes between 0.05 and 2.75 mm, displacement of the particle size distribution (DTP) to larger size bands with increasing ferric chloride concentration and color and decrease in the process efficiency of 13%, on average, after the break.

Keywords: Ferric Chloride - Particle Size Distribution - Flocculation - High Color – Flocs

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das partículas presentes na água _____	19
Figura 2 - Estruturas básicas para formação do floco _____	24
Figura 3- Diagrama de coagulação com o cloreto férrico a temperatura de 25°C _____	27
Figura 4 - Esquema do equipamento Jar-test _____	35
Figura 5 - Fluxograma para obtenção do diagrama de coagulação _____	37
Figura 6 - Fluxograma para acompanhamento do processo de coagulação/floculação por meio de aquisição e análise de imagens dos flocos _____	38
Figura 7 - Esquema para aquisição de imagens do processo de floculação _____	40
Figura 8-Exemplo de recorte de uma imagem _____	41
Figura 9 - Processamento da imagem _____	42
Figura 10 – Cor remanescente de amostras para velocidades de sedimentação de 5 cm/min ____	44
Figura 11 - Diagrama de coagulação para velocidade de sedimentação de 5cm/min _____	45
Figura 12 - Diagrama de coagulação para velocidade de sedimentação de 2,5cm/min _____	46
Figura 13 - Diagrama de coagulação para velocidade de sedimentação de 1,0cm/min _____	46
Figura 14 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 20 Pt/L, concentração 2,5 mgFe/L e pH floculação de 6,10 _____	48
Figura 15 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 20 Pt/L-floculação 2,5 mgFe/L e pH de 6,10) _____	49
Figura 16 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 20 Pt/L- refloculação 2,5 mgFe/L e pH de 6,15) _____	49
Figura 17 - Evolução do diâmetro médio e o nº de flocos, para amostra com cor de 20 Pt/L, concentração 5,0 mgFe/L e pH de floculação de 6,25 _____	50
Figura 18 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 20 Pt/L-floculação 5,0 mgFe/L e pH de 6,25) _____	51
Figura 19 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 20 Pt/L- refloculação 5,0 mgFe/L e pH de 6,22) _____	51
Figura 20 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 20 Pt/L, concentração 7,5 mgFe/L e pH de floculação de 6,11 _____	52
Figura 21 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 20 Pt/L-floculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,11) _____	53
Figura 22 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 20 Pt/L- refloculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,07) _____	53

Figura 23 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 20 Pt/L, concentração 10,0 mgFe/L e pH de floculação 6,04	54
Figura 24 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 20 Pt/L-floculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,04)	55
Figura 25 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 20 Pt/L-refloculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,09)	55
Figura 26 - Evolução do diâmetro médio para amostra com cor de 20 Pt/L variando a concentração de cloreto férrico	56
Figura 27 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem dos flocos, para amostra com cor de 50Pt/L, concentração 2,5 mgFe/L e pH de floculação 6,02	57
Figura 28 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 50Pt/L-floculação 2,5 mgFe/L e pH de 6,02)	58
Figura 29 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 50Pt/L-refloculação 2,5 mgFe/L e pH de 5,98)	58
Figura 30 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 50 Pt/L, concentração 5,0 mgFe/L e pH de floculação 6,06	59
Figura 31 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 50 Pt/L-floculação 5,0 mgFe/L e pH de 6,06)	60
Figura 32 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 50 Pt/L-refloculação 5,0 mgFe/L e pH de 6,01)	60
Figura 33 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 50 Pt/L, concentração 7,5 mgFe/L e pH de floculação 6,03	61
Figura 34 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 50 Pt/L-floculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,03)	62
Figura 35 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 50 Pt/L-refloculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,07)	62
Figura 36 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 50 Pt/L, concentração 10,0 mgFe/L e pH de floculação de 6,15	63
Figura 37 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 50 Pt/L-floculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,15)	64
Figura 38 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 50 Pt/L-refloculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,12)	64
Figura 39 - Evolução do diâmetro médio para amostra com cor de 50Pt/L variando a concentração de coagulante	65
Figura 40 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 100Pt/L, concentração 2,5 mgFe/L e pH de floculação de 5,95	66

Figura 41 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 100Pt/L-floculação 2,5 mgFe/L e pH de 5,95)	67
Figura 42 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 100Pt/L-refloculação 2,5 mgFe/L e pH de 5,90)	67
Figura 43 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 100 Pt/L, concentração 5,0 mgFe/L e pH de floculação de 5,94	68
Figura 44 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 100 Pt/L-floculação 5,0 mgFe/L e pH de 5,94)	69
Figura 45 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 100 Pt/L-refloculação 5,0 mgFe/L e pH de 5,97)	69
Figura 46 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 100 Pt/L, concentração 7,5 mgFe/L e pH de floculação 6,13	70
Figura 47 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 100 Pt/L-floculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,13)	71
Figura 48 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 100 Pt/L-refloculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,10)	71
Figura 49 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 100 Pt/L, concentração 10,0 mgFe/L e pH de floculação de 6,16	72
Figura 50 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 100 Pt/L-floculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,16)	73
Figura 51 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 100 Pt/L-refloculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,12)	73
Figura 52 - Evolução do diâmetro médio para amostra com cor de 100Pt/L variando a concentração de coagulante	74
Figura 53 - Evolução do diâmetro médio e o nº de flocos, para amostra com cor de 150 Pt/L, concentração 5,0 mgFe/L e pH de floculação de 5,99	75
Figura 54 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 150 Pt/L-floculação 5,0 mgFe/L e pH de 5,99)	76
Figura 55 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 150 Pt/L-refloculação 5,0 mgFe/L e pH de 6,07)	76
Figura 56 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 150 Pt/L, concentração 7,5 mgFe/L e pH de floculação de 6,10	77
Figura 57 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 150 Pt/L-floculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,10)	78
Figura 58 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 150 Pt/L-refloculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,12)	78

Figura 59 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 150Pt/L, concentração 10,0 mgFe/L e pH de floculação 5,95	79
Figura 60 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 150 Pt/L- floculação 10,0 mgFe/L e pH de 5,95)	80
Figura 61 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 150 Pt/L- refloculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,07)	80
Figura 62 - Evolução do diâmetro médio para amostra com cor de 150Pt/L variando a concentração de coagulante	81
Figura 63 - Evolução da taxa de recuperação do floco após a quebra para diferentes concentrações de coagulante para a amostra de 20 Pt/L	82
Figura 64 - Evolução da taxa de recuperação do floco após a quebra para diferentes concentrações de coagulante para a amostra de 50Pt/L	82
Figura 65 - Evolução da taxa de recuperação do floco após a quebra para diferentes concentrações de coagulante para a amostra de 100Pt/L	83
Figura 66 - Evolução da taxa de recuperação do floco após a quebra para diferentes concentrações de coagulante para a amostra de 150Pt/L	83
Figura 67 - Eficiência de remoção de cor, variado a velocidade de sedimentação do floco e a concentração de coagulante, para amostra de 20Pt/L, após a floculação (20min) e após e regeneração (40min)	85
Figura 68 - Eficiência de remoção de cor, variado a velocidade de sedimentação do floco e a concentração de coagulante, para amostra de 50Pt/L, após a floculação (20min) e após e regeneração (40min)	86
Figura 69 - Eficiência de remoção de cor, variado a velocidade de sedimentação do floco e a concentração de coagulante, para amostra de 100 Pt/L, após a floculação (20min) e após e regeneração (40min)	87
Figura 70 - Eficiência de remoção de cor, variado a velocidade de sedimentação do floco e a concentração de coagulante, para amostra de 150Pt/L, após a floculação (20min) e após e regeneração (40min)	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Trabalhos anteriores sobre caracterização da floculação por meio de imagens.....	15
Tabela 2 - Tabela de padrão organoléptico de potabilidade.....	20
Tabela 3 - Ensaio Jar-Test com concentração de 5,0 mgFe/L.....	43
Tabela 4 - Ensaio Jar-Test com concentração de 0,1025 mgFe/L.....	99
Tabela 5 - Ensaio Jar-Test com concentração de 0,205 mgFe/L.....	100
Tabela 6 - Ensaio Jar-Test com concentração de 0,3075 mgFe/L.....	101
Tabela 7 - Ensaio Jar-Test com concentração de 0,4 mgFe/L.....	102
Tabela 8 - Ensaio Jar-Test com concentração de 0,5 mgFe/L.....	103
Tabela 9 - Ensaio Jar-Test com concentração de 1,0 mgFe/L.....	104
Tabela 10 - Ensaio Jar-Test com concentração de 1,5 mgFe/L.....	105
Tabela 11 - Ensaio Jar-Test com concentração de 2,0 mgFe/L.....	106
Tabela 12 - Ensaio Jar-Test com concentração de 2,5 mgFe/L.....	107
Tabela 13 - Ensaio Jar-Test com concentração de 3,0 mgFe/L.....	108
Tabela 14 - Ensaio Jar-Test com concentração de 3,5 mgFe/L.....	109
Tabela 15 - Ensaio Jar-Test com concentração de 4,0 mgFe/L.....	110
Tabela 16 - Ensaio Jar-Test com concentração de 4,5 mgFe/L.....	111
Tabela 17 - Ensaio Jar-Test com concentração de 5,5 mgFe/L.....	112
Tabela 18 - Ensaio Jar-Test com concentração de 6,0 mgFe/L.....	113
Tabela 19 - Ensaio Jar-Test com concentração de 6,5 mgFe/L.....	114
Tabela 20 - Ensaio Jar-Test com concentração de 7,0 mgFe/L.....	115
Tabela 21 - Ensaio Jar-Test com concentração de 7,5 mgFe/L.....	116
Tabela 22 - Ensaio Jar-Test com concentração de 8,0 mgFe/L.....	117
Tabela 23 - Ensaio Jar-Test com concentração de 8,5 mgFe/L.....	118
Tabela 24 - Ensaio Jar-Test com concentração de 9,0 mgFe/L.....	119

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SÍMBOLOS

G_{mr} – Gradiente de mistura rápida;

G_f - Gradiente de floculação ou mistura lenta;

T_f – Tempo de mistura lenta;

T_{mr} – Tempo de mistura rápida.

SIGLAS

DTP – Distribuição do tamanho das partículas

ETA –Estação de tratamento de água

PDA - Analisador de dispersão fotométrica

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	13
INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	13
CAPÍTULO 2.....	18
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO DE ÁGUA	18
2.2IMPUREZAS DA ÁGUA	19
2.5USO DO CLORETO FÉRRICO COMO COAGULANTE E DIAGRAMA DE COAGULAÇÃO	25
2.6CARACTERÍSTICAS E FORÇA DO FLOCO	28
2.7ACOMPANHAMENTO DA FLOCULAÇÃO POR MEIO DA DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS	31
CAPÍTULO 3.....	34
MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.1DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	34
3.1.1 <i>Equipamento Jar-test.....</i>	<i>34</i>
3.1.2 <i>Câmera fotográfica digital</i>	<i>35</i>
3.1.3 <i>Laser</i>	<i>35</i>
3.1.4 <i>Software de análise de imagens</i>	<i>35</i>
3.2PREPARAÇÃO DA ÁGUA DE ESTUDO	36
3.3PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	36
3.3.1 <i>Etapa 1 – Elaboração do diagrama de coagulação.....</i>	<i>36</i>
3.3.2 <i>Etapa 2 – Ensaios/floculação/sedimentação acompanhados por aquisição e análise de imagens dos flocos</i>	<i>37</i>
CAPÍTULO 4.....	43
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1DIAGRAMAS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO	43
4.2DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS	47
4.2.1 <i>Amostra de 20 Pt/L.....</i>	<i>48</i>
4.2.2 <i>Amostra de 50 Pt/L.....</i>	<i>56</i>
4.2.3 <i>Amostra de 100 Pt/L.....</i>	<i>65</i>
4.2.4 <i>Amostra de 150 Pt/L.....</i>	<i>74</i>
4.3TAXA DE RECUPERAÇÃO.....	81
4.4EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE COR.....	84
CAPÍTULO 5.....	89
CONCLUSÕES.....	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

APÊNDICES.....	99
-----------------------	-----------

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A água indicada ao consumo humano deve atender exigências mínimas para ser utilizada, conforme estabelecido na resolução CONAMA 430 (2011) e a portaria 2.914 do Ministério da saúde (2011), que estabelecem os procedimentos, padrões e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para proveito humano.

Adicionalmente, tem-se o Decreto nº 5440, de 04 de maio de 2005, da Presidência da República que “estabelece as definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano”. Conforme este decreto, os dados relativos à qualidade da água tratada e distribuída devem ser disponibilizados à população sob a forma de um relatório anual denominado “Relatório Anual da Qualidade da Água”.

Para atendimento aos padrões de qualidade da água existem diversos tipos de sistemas de tratamento compostos por etapas sequenciais responsáveis pela remoção das impurezas. Dentre estas, as etapas de floculação e coagulação são processos importantes que visam transformar pequenas partículas em agregados maiores para que possam sedimentar. Estas etapas configuram, portanto, passo essencial na remoção das impurezas presentes na água.

De acordo com Constantino (2008), uma alta agitação na água com flocos pode levar a ruptura dos mesmos e prejudicar etapas posteriores no tratamento. A água floculada passa por diversos dispositivos e unidades do sistema de tratamento como saída do floculador, entrada do decantador, flotador ou filtro, lugares onde pode haver uma variação de velocidades ocasionando desta forma a fratura dos flocos antes de sua remoção do sistema. Isto pode sobrecarregar etapas e diminuir o tempo de útil do processo.

Conhecer o comportamento da formação dos flocos, ou seja, a distribuição do tamanho das partículas (DTP), é um passo fundamental para a otimização das metodologias do tratamento de água atuais, melhorando assim a qualidade dos processos dentro da ETA. Além disso, a eficiência dos sistemas de tratamento está relacionada à resistência dos flocos.

Diante deste contexto, o presente trabalho, por meio da análise de imagens obtidas durante o acompanhamento do processo de floculação, busca relacionar a distribuição de tamanho de partículas e o efeito da quebra e recrescimento na sedimentabilidade dos flocos medidas em termos de eficiência de remoção.

Portanto, os objetivos geral e específicos deste trabalho são:

Geral:

- Avaliar a eficiência de remoção de cor em função da distribuição de tamanho dos flocos e no fator de força.

Específicos:

- Avaliar a influência da dosagem de coagulante e a distribuição do tamanho dos flocos;
- Avaliar a influência da dosagem de coagulante e o fator de força;
- Avaliar a eficiência de remoção de cor e antes e depois da quebra do floco.

Este trabalho está inserido no contexto de estudos do grupo de pesquisa formado por diversos pesquisadores e busca preencher uma lacuna ainda existente. Os trabalhos já conduzidos no âmbito deste grupo de pesquisa estão descritos na Tabela 1 na sequência.

(continua)

Tabela 1 - Trabalhos anteriores sobre caracterização da floculação por meio de imagens

Período	Autor (es)	Nível de Pesquisa	Objetivo	Trabalhos Publicados
2001 - 2004	Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi	Doutorado	Estudo de partículas e microbolhas por meio da análise de imagem digital em estação de tratamento em escala piloto	Moruzzi et al. (2004); Moruzzi (2005); Moruzzi e Reali (2007); Moruzzi e Reali (2010).
2012 - 2015	Prof. Dr. Marcelo de Júlio, Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi, Prof. Dr. John Gregory, Prof. Dr. Luiza Cintra Campos	Projeto de Pesquisa em parceria com Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), University College of London (UCL) e UNESP outorgado e financiado pelo edital FAPESP/SABESP	Implementação de sistema de monitoramento contínuo de partículas floculentas em estações de tratamento que empregam coagulação e floculação.	Moruzzi et al. (2016); Moruzzi et al. (2017).
2013 - 2014	Ma. Pamela Moreno	Mestrado	Aplicação da lama vermelha no tratamento de água e emprego de técnica dedicada de análise de imagem no desempenho da floculação.	Moreno, Moruzzi e Conceição (2013); Moreno (2014); Moreno et al. (2015); Moreno et al. (2016).
2014 - 2015	Prof. Dr. André Luiz de Oliveira	Pós-doutorado	Estudo de partículas floculentas e monitoramento contínuo da floculação.	Oliveira et al. (2014); Oliveira et al. (2015a); Oliveira et al. (2015b); Oliveira et al. (2016).
Período	Autor (es)	Nível de Pesquisa	Objetivo	Trabalhos Publicados
2013 - 2017	Me. Pedro Augusto Grava da Silva	Iniciação Científica e Mestrado	Avaliação da resistência, refloculação e geometria não euclidiana no tratamento de água.	Silva (2016); Silva (2017).
2015 - 2017	Me. Luan Serafim Mendes Gonçalves	Mestrado	Análise da evolução do diâmetro fractal de agregados formados na	Gonçalves (2017).

			floculação de água de baixa turbidez utilizando técnicas de obtenção e tratamento de imagem digital.	
2015 - 2017	Me. Ricardo Henrique de Andrade Dutra	Mestrado	Obtenção de parâmetros cinéticos de floculação utilizando técnicas de obtenção e tratamento de imagem digital.	Dutra (2017).
2015 - 2017	Me. Yuri Cardoso Mendes	Mestrado	Análise da evolução da Distribuição do Tamanho de Partículas na floculação de água de baixa turbidez.	Mendes (2017). (continua)
2015 - 2017	Juliana Carvalhinho Bull	Iniciação Científica	Investigação de parâmetro da floculação, utilizando o monitoramento contínuo da floculação por dispersão de luz.	Büll, Silva e Moruzzi (2016); Büll (2017).
2016 - 2017	Adolfo Freitas Terra Silva	Iniciação Científica	Avaliação da Distribuição de Tamanho de Partículas em água com cor aparente elevada empregando técnica de análise de imagens.	Silva (2017).
2016 - 2017	Thaís de Almeida	Iniciação Científica	Investigação da eficiência de separação sólido-líquido no tratamento de águas de abastecimento monitorado por análise de imagem e dispersão de luz.	Almeida (2017).
2016 - 2018	Ms. Alessandra da Silva Oliveira	Mestrado	Avaliação da morfologia e da distribuição do tamanho de partículas para pontos distintos do diagrama de coagulação/floculação	Oliveira (2018)

Fonte: autor (2018)

O presente trabalho foi desenvolvido em cinco capítulos, organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 1: Introdução e objetivos;
- Capítulo 2: Revisão bibliográfica;
- Capítulo 3: Metodologia;
- Capítulo 4: Resultados e discussões;
- Capítulo 5: Conclusões.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO DE ÁGUA

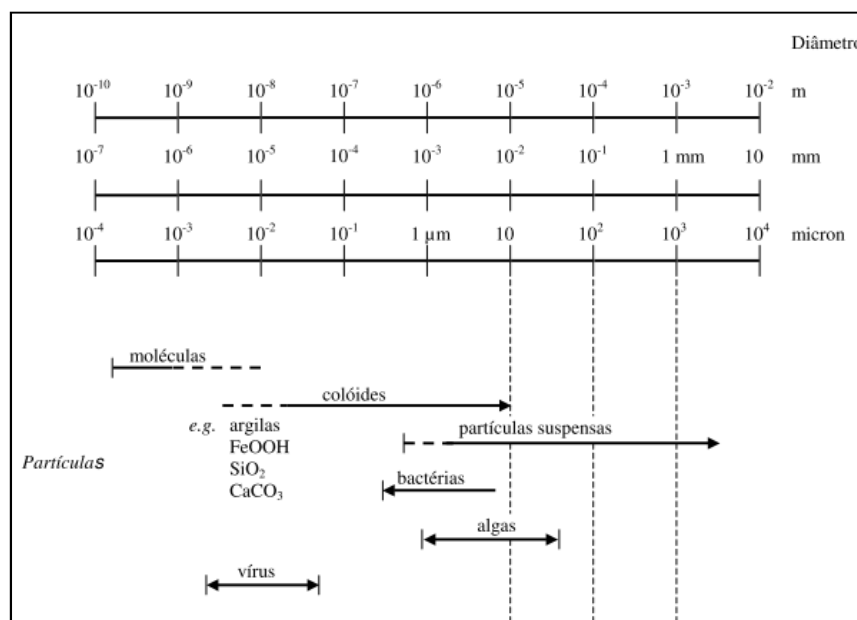
Podem ser utilizados diversos métodos para o tratamento da água de forma a torna-la adequada para o consumo humano. Conforme reportam Di Bernardo e Paz (2008), no Brasil, o sistema de tratamento mais utilizado é o do tipo convencional de ciclo completo. Apesar da referência ser antiga imagina-se ser esta a tecnologia ainda mais empregada atualmente. Neste tipo de sistema têm-se, normalmente, as seguintes etapas principais: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção/fluoretação. A etapa de coagulação consiste na formação de coágulos, através da reação do coagulante, promovendo um estado de equilíbrio eletrostaticamente instável das partículas no seio da massa líquida. A mesma depende de fatores como temperatura, pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, sólidos totais dissolvidos, força iônica do meio, tamanho das partículas, entre outros parâmetros (VAZ, 2009). A etapa de floculação acontece imediatamente após a coagulação e consiste no agrupamento das partículas eletricamente desestabilizadas (coágulos), de modo a formar outras partículas maiores denominados flocos, suscetíveis de serem removidos por decantação (ou flotação) seguido de filtração. Tem-se a remoção da maior parte de cor e turbidez, carga orgânica, organismos patogênicos passíveis de coagulação, eliminação de algumas substâncias que conferem sabor e odor, entre outros (SILVA, 2009). Na etapa de decantação ocorre a segregação (física) das partículas suspensas mais densas formadas durante o processo de floculação, as quais por forças gravitacionais passam por um deslocamento descendente, depositando-se no fundo dos tanques, formando o lodo (SILVA, 2009). A etapa de filtração resume-se na remoção das partículas suspensas, coloidais e de microorganismos existentes na água que escoam através de um meio filtrante, o qual pode ser composto de uma ou de várias camadas de areia com diferentes granulometrias, carvão (antracito) ou camadas alternadas de areia e carvão (BELLAMY, 1993). A desinfecção é um processo no qual se tem por objetivo a remoção ou inativação de microorganismos

patogênicos presentes na água capazes de causar várias doenças. Atualmente no mercado, os mais conhecidos e utilizados agentes desinfetantes são os produtos à base de cloro. Adicionalmente à desinfecção da água, tem-se ainda a etapa denominada fluoretação, tendo por objetivo básico a redução de incidência de cárie dentária, através da adição de produtos químicos à base de flúor à água (SILVA, 2009). Grande parte da remoção de agentes patogênicos no tratamento de água, em uma ETA, se dá nas fases iniciais (coagulação, floculação e decantação).

2.2 IMPUREZAS DA ÁGUA

De acordo com Santos (2004) as impurezas dos corpos hídricos são compostas por partículas sólidas de tamanhos pequenos e de difícil percepção visualmente. Podem ser classificadas pelas suas propriedades físicas: suspensões, colóides ou dissolvidas e também podem ser classificadas pela sua constituição química: inorgânicas (um mineral) ou orgânicas (origem de matéria animal ou vegetal). A Figura 1 ilustra a classificação das partículas conforme seu tamanho.

Figura 1 - Classificação das partículas presentes na água



Fonte: AWWA 1990 adaptado citado por Santos, 2004

Os principais indicadores das propriedades físicas da água são turbidez, cor aparente e cor verdadeira. A turbidez representa o grau de dificuldade de passagem de luz transversalmente

em uma seção, relacionada às partículas em suspensão. A cor é oriunda, basicamente, da matéria orgânica dissolvida no corpo hídrico, sendo a cor aparente aquela relacionada a amostras com turbidez e cor verdadeira relacionada a amostras sem turbidez.

A Tabela 2 ilustra os limites de alguns dos padrões de potabilidade exigidos pela Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde.

Tabela 2 - Tabela de padrão organoléptico de potabilidade

Parâmetro	CAS	Unidade	VMP ⁽¹⁾
Alumínio	7429-90-5	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	7664-41-7	mg/L	1,5
Cloreto	16887-00-6	mg/L	250
Cor Aparente ⁽²⁾	-	uH	15
1,2 diclorobenzeno	95-50-1	mg/L	0,01
1,4 diclorobenzeno	106-46-7	mg/L	0,03
Dureza total	-	mg/L	500
Etilbenzeno	100-41-4	mg/L	0,2
Ferro	7439-89-6	mg/L	0,3
Gosto e odor ⁽³⁾	-	Intensidade	6
Manganês	7439-96-5	mg/L	0,1
Monoclorobenzeno	108-90-7	mg/L	0,12
Sódio	7440-23-5	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	-	mg/L	1000
Sulfato	14808-79-8	mg/L	250
Sulfeto de hidrogênio	7783-06-4	mg/L	0,1
Surfactantes (como LAS)	-	mg/L	0,5
Tolueno	108-88-3	mg/L	0,17
Turbidez ⁽⁴⁾	-	uT	5
Zinco	7440-66-6	mg/L	5
Xilenos	1330-20-7	mg/L	0,3

NOTAS:

(1) Valor máximo permitido.

(2) Unidade Hazen (mgPt-Co/L).

(3) Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro livre, nesse caso por ser uma característica desejável em água tratada.

(4) Unidade de turbidez.

Fonte:BRASIL, anexo X, 2011 adaptado

2.3 COAGULAÇÃO

A coagulação é considerada a fase realizada através da incorporação de produtos químicos (coagulantes), possuindo função de desestabilização das partículas ocorrida após a eficácia da etapa de mistura rápida.

Dennett et al. (1996) trabalharam com os efeitos da coagulação na matéria orgânica dissolvida, utilizando a técnica de bombardeamento de átomos rápidos e variando a taxa de coagulante e pH. Os pesquisadores concluíram que a matéria orgânica era removida por

absorção dos precipitados na hidrólise do cloreto férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), já quando houve uma alta concentração de coagulante ou pH não houve eficácia na remoção.

A coagulação e fragmentação do floco ocorridas de forma simultânea por cisalhamento, entre partículas de fluido, são descobertas em processos que envolvem polimerização (BLATZ e TOBOLSKY, 1945), dispersão entre líquido em líquido (COULALOGLOU e TAVLARIDES, 1977), e floculação (LU e SPIELMAN, 1985).

Segundo Pavanelli (2004), a desestabilização da dispersão dos colóides se dá na etapa de coagulação, por meio de inclusão de um produto químico, o coagulante, adequado. Os principais mecanismos que atuam na coagulação são: a compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura e adsorção e formação de pontes.

Compressão da camada difusa

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005) na compressão da camada difusa quanto maior é a carga do íon positivo, menos é a parcela necessária para o início da coagulação, desequilibrando os colóides negativos, as concentrações molares dos metais, íons positivos Na^+ , Ca^{2+} e Al^{3+} , oscilam 1000: 10: 1.

Desta maneira a inclusão de um eletrólito distinto em um composto coloidal ocasionará um acréscimo na densidade das cargas da camada difusa, diminuindo desta forma a ação das partículas. Altas concentrações de íons positivos e negativos na água proporcionam um aumento do número de íons na camada difusa, condensando sua espessura, priorizando as forças de Van der Waals (SPINELLI, 2001).

Conforme Di Bernardo e Dantas (2005) é importante realçar dois pontos importantes sobre este tipo de mecanismo:

- a) a quantidade de eletrólitos para conseguir a coagulação é, praticamente, independente da concentração de partículas coloidais na água;

-
- b) independentemente da quantidade de eletrólitos adicionada, a reestabilização dos coloides é impossível, ou seja, as cargas (que passam a ser positivas) não são revertidas.

Adsorção e neutralização

Neste mecanismo a desestabilização das partículas consiste nas interações entre coagulante-coloide, coagulante-solvente e coloide-solvente. É comum a ocorrência deste mecanismo quando há utilização de espécies hidrolisadas de alumínio, ferro ou polímeros sintéticos catiônicos, causada pela interação entre coagulante e coloide. Este processo é altamente recomendável para estações de tratamento que trabalham com filtração direta uma vez que não há necessidade da geração de flocos para posterior sedimentação ou flotação, e as partículas desestabilizadas são retidas no meio granular dos filtros (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Suas principais diferenças em relação ao mecanismo de compressão da camada difusa são que as partículas coloidais são desestabilizadas com dosagens menores de coagulantes, é observada uma relação estequiométrica entre a razão da concentração de coloides e a quantidade necessária de espécies desestabilizantes por adsorção e a reversão da carga superficial dos coloides é possível mediante dosagem excessiva de espécies adsorvíveis.

Varredura

A varredura ocorre quando os sais de ferro ou alumínio são adsorvidos no precipitado do hidróxido, sendo uma técnica ideal para tratamentos de ciclo completo, onde há a necessidade da formação e crescimento do floco ao contrario da adsorção. (SLOBODA et al., 2008). Comparado com o mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, as velocidades de sedimentação são maiores e, portanto, a varredura vem sendo empregada em estações de tratamento de ciclo completo (PAVANELLI, 2001). As espécies hidrolisadas são formadas entre 1 e 7 segundos e, posteriormente, os precipitados de hidróxidos metálicos são formados, efetivando o mecanismo de varredura (FRANCO, 2009).

Adsorção e formação de pontes

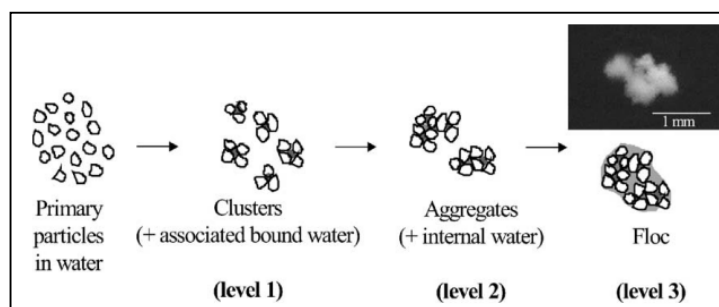
O processo por adsorção e formação de pontes acontece com auxílio de coagulantes a base de compostos orgânicos sintéticos ou naturais, apresentando sítios ionizáveis ao longo de grandes cadeias de moléculas, sendo classificados como catiônicos, aniônicos e anfóteros. (FURLAN, 2008). Conforme Amirtharajah e O'Melia (1990) a utilização de polímeros é baseada na capacidade de alguns grupos reativos da molécula em adsorver quimicamente partículas coloidais, seguida pela redução da carga ou pelo emaranhamento das partículas pelos polímeros. A coagulação é influenciada pelo fenômeno de adsorção em um ou mais pontos, de modo que o restante da cadeia polimérica fique livre, podendo se aderir em outro coloide, formando uma ponte molecular entre uma partícula e outra, possibilitando a formação dos flocos.

2.4 FLOCULAÇÃO

Na floculação ocorre o contato das partículas coloidais em suspensão, onde há uma agregação e aumento do floco e de sua distribuição granulométrica. Assim, busca-se o maior número de choques aumentando a massa do floco para facilitar sua remoção nas etapas posteriores. (FURLAN, 2008).

De acordo com Turchiuli e Fargues (2004), os flocos produzidos por algas são formados por grandes arranjos de partículas sólidas, precipitadas de hidróxido e água extraída durante o crescimento (floculação). Segundo ilustrado na Figura 2 a seguir, eles possuem configurações irregulares e natureza com grande capacidade de expansão, compostas por três unidades básicas correspondentes a três escalas de tamanho: grupos (clusters), agregados e flocos.

Figura 2 - Estruturas básicas para formação do floco



Fonte: Turchiuli e Fargues (2004)

A retirada de partículas pequenas da água e a recuperação de alguns produtos particulados úteis lodo microbiano, que podem ser utilizados como matéria prima para produtos na indústria, é muitas vezes facilitada pelo aumento do tamanho dos flocos pelo processo de floculação. (SHAMLOU e HOOKER, 1993).

Nos últimos anos, aparelhos como o detector de corrente foram usados para monitorar o potencial de superfície das partículas para determinar as condições ótimas de floculação. (CRITCHLEY et al. 2007).

Na floculação ocorrem duas etapas: transporte e atração. O transporte tem a função de condicionar as colisões, já a atração tem a propriedade de unir as partículas através de pequenas forças que são altamente variáveis.

A maioria dos floculadores trabalha sob cisalhamento, assegurando uma mistura completa e alta periodicidade de choques entre partículas e proporcionando o crescimento rápido dos flocos. Durante a floculação induzida por cisalhamento, um floculante é incorporado à suspensão para desestabilizá-la. No início, as partículas aumentam rapidamente por coagulação conduzida por cisalhamento. À medida que as partículas se tornam maiores, no entanto, tornam-se frágeis à quebra por interações entre fluido e partícula. (PARKER et al., 1972).

A maioria das partículas naturais que causam a turbidez em água são carregadas negativamente, o que impede as partículas de contato próximo ter agregação. A adição de floculantes, tais como alúmen de potássio ($KAl(SO_4)_2$) e sulfato de ferro ($FeCl_3$), podem

desestabilizar partículas e promover a sua floculação (AMIRTHARAJAH; O'MELIA, 1990).

Segundo Trento (2005) o transporte das partículas (translação) pode ocorrer de três seguintes formas: movimento browniano de partículas (floculação pericinética), gradiente de velocidade (floculação ortocinética) e as diferenças na velocidade de flotação (sedimentação diferencial).

a) Movimento browniano de partículas

O movimento browniano necessita da energia calorífica do fluido. A dinâmica apenas tem relevância para partículas menores que 1 μm onde as colisões são induzidas pela agitação térmica das partículas (TRENTO, 2005).

b) Gradiente de velocidade

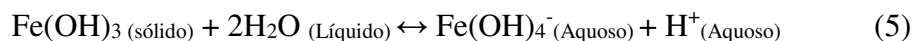
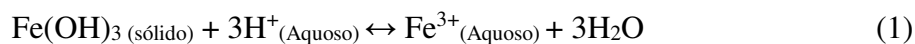
Quando as partículas são maiores que 1 μm a associação das partículas tem dependência da hidrodinâmica do escoamento denominado assim de floculação ortocinética (TRENTO, 2005 apud IVES e BOHLE, 1973).

c) Sedimentação diferencial

Já no mecanismo de sedimentação diferencial os choques das partículas coloidais são atribuídos pelas diferentes velocidades de sedimentação, ou seja, as partículas mais densas agregam as mais lentas, procedimento normalmente ocorrido em lagos de baixa velocidade e turbulência. (TSAI et al., 1987 citado por TRENTO, 2005).

2.5 USO DO CLORETO FÉRRICO COMO COAGULANTE E DIAGRAMA DE COAGULAÇÃO

A formação do cloreto férrico se confere a partir da reação entre o ácido clorídrico (HCl) com o minério de ferro (Fe_2O_3). Conforme Metcalf e Eddy (2003) são propostas as reações de hidrólise do cloreto férrico.



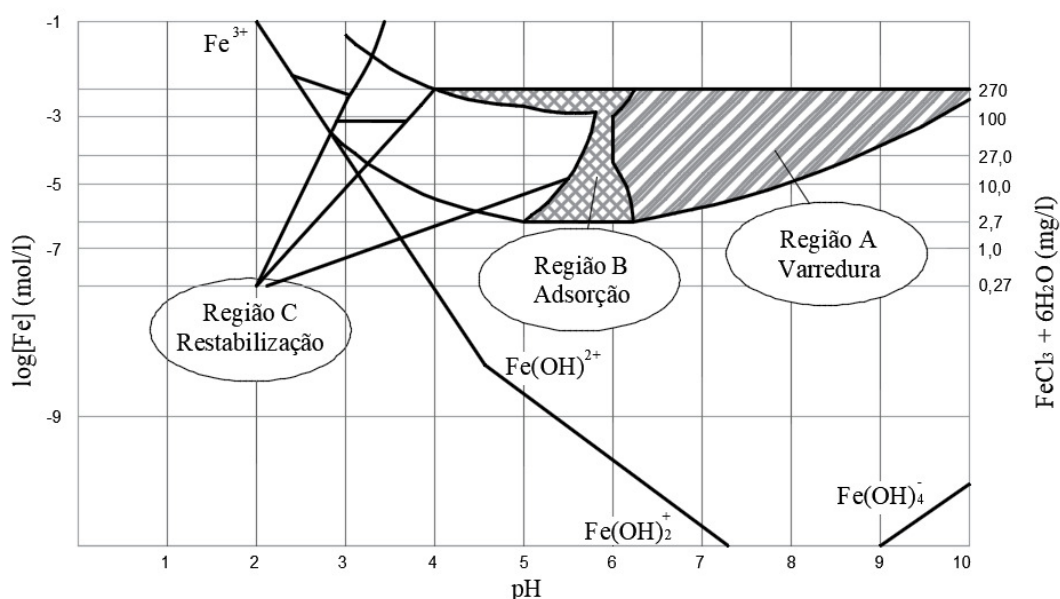
De acordo com Jiao et al. (2016) a natureza do coagulante interfere fortemente nos mecanismos de coagulação. Os mesmos são também afetados pela concentração de coagulante e as características das partículas coloidais, determinando assim diretamente a formação de flocos.

O diagrama de coagulação possui o objetivo de determinar a turbidez ou cor remanescente de uma água de estudo, diversificando a dosagem do coagulante e o pH de coagulação para diferentes velocidades de sedimentação.

Kang et al. (2003) desenvolveram um estudo para a remoção efetiva de antimônio, componente contaminante utilizado pelas indústrias como catalisadores, onde investigaram a dosagem de cloreto férrico e pH para maior eficácia para retirar o poluente. Como resultados obtiveram eficiência próxima a 97% na retirada de antimônio (40 mg Sb/L) para um pH de 5 e 56% para uma concentração de 6 mg Sb/L, para os dois casos a dosagem de cloreto férrico se manteve em 6,2 mg de Fe/L.

Segundo Di Bernado e Dantas (2005) e John e Amirtharajah (1983) para o cloreto férrico o diagrama é ilustrado na Figura 3 a seguir, onde se podem verificar três regiões distintas; a região A em que a coagulação ocorre primordialmente pelo método de varredura, onde o pH varia de 6 a 9 e a dosagem de coagulante gira em torno de 27 e 270 mg/L; a região B, onde a coagulação por adsorção e neutralização da carga se faz presente, com pH entre 4,5 a 6 e dosagem de dosagem de coagulante semelhante ao da região A; e por fim a região C onde há a predominância da reestabilização das partículas para pH inferior a 6 variando a dosagem de cloreto férrico.

Figura 3- Diagrama de coagulação com o cloreto férrico a temperatura de 25°C



Fonte: DI BERNADO E DANTAS (2005) modificado

Vaz et al. (2010) avaliaram a eficácia do cloreto férrico na remoção de cor e turbidez em efluente utilizado em galvanização de metais, onde as características do efluente eram: cor de 1608 mg PtCo/L, turbidez 264,8 NTU e pH de 6,45. Os pesquisadores concluíram que o processo perderá eficácia para uma concentração de 50 mg/L de coagulante, obtendo taxas de remoção de cor em torno de 30% variando o tempo de sedimentação (20 a 50 min).

Segundo Valverde et al. (2013), o diagrama de coagulação, foi levantado a partir do tratamento de uma amostra, com a combinação de Moringa Oleifera e o cloreto férrico, com os seguintes parâmetros: Cor aparente: 426 uH; Turbidez: 74,9 NTU e pH: 7,94 e obtendo taxas de remoção de cor acima de 80% para pH de 8 e concentração de coagulante igual a 6 mg/L.

Siéliéchi et al. (2008) e Xu et al. (2016) estudaram a variação da taxa de crescimento da partícula de ácido húmico durante o processo de coagulação com o cloreto férrico. Concluíram que com o aumento da concentração de coagulante a estruturação do floco se compromete devido o embate entre a taxa da reorganização das cadeias húmicas e a colisão entre as partículas desestabilizadas, no entanto este efeito é atenuado com a diminuição do gradiente hidráulico.

Chekli et al. (2015) desenvolveram um trabalho comparativo sobre o desempenho da coagulação mediante três coagulantes tetracloreto de titânio, polititânio tetracloreto e o cloreto férrico, desenvolvendo um estudo a partir de uma água sintética (15 a 25 NTU) com o ácido húmico. Em relação ao cloreto férrico o ponto ótimo de trabalho (cerca de 95% de remoção) foi o ponto de pH 7,0 e concentração de 0,15 mmol/L de coagulante, já para altas concentrações de cloreto férrico e baixo pH observou-se que não ocorreu floculação.

Xiao et al. (2009) trabalharam com a oscilação da mobilidade eletroforética (razão entre a velocidade da macromolécula e o potencial elétrico) na influência da coagulação com o cloreto férrico, no qual concluíram que as partículas coloidais do processo eram agregadas independente de sua carga elétrica. Neste caso houve formação de flocos para uma região cujo pH estava entre 6,0 e 10,0 e concentração de coagulante entre 3,5 e 5,0 mol/L de Fe. Para o pH abaixo de 5,0 ou acima de 11,0 observou-se a formação dos precipitados $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$, Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})^+$ e $\text{Fe}(\text{OH})^{4-}$.

Ferreira (2013) estudou o uso de diferentes coagulantes para o tratamento de lixiviado de aterro, no qual utilizando o cloreto férrico, obteve-se uma redução de 69% de turbidez para uma concentração de 500mg Fe^{3+} /L e pH 5,0.

Segundo Ching et al. (1994), quando os sais de ferro (III) são dissolvidos em água, o íon se hidrata juntamente com seis moléculas de água, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$, e a partir da hidrólise deste íon pode-se formar moléculas monoméricas e poliméricas dependendo do pH da solução.

Higashi et al. (2016), trabalharam com o uso do cloreto férrico para o tratamento de águas provenientes de sistemas lânticos. Os melhores resultados da remoção de cor para amostra bruta, caracterizada com 139 uH de cor e pH 7,0, foi de 46% de redução, os autores trabalharam com três tempos de sedimentação 3, 13 e 23 min.

2.6 CARACTERÍSTICAS E FORÇA DO FLOCO

A estrutura do floco pode ser demonstrada pelo tamanho de diferentes unidades básicas, pelo volume e pelo diâmetro fractal. A teoria do diâmetro fractal tem sido utilizada com sucesso

para explicar a diminuição da densidade do floco com diminuição do tamanho do mesmo (TURCHIULI e FARGUES, 2004).

De acordo com Silva (2016) o diâmetro fractal é um dos parâmetros utilizados atualmente para representação da estrutura morfológica dos flocos. Uma das medidas fractais é o diâmetro fractal D_f que relaciona a área do floco A e seu tamanho L , de acordo com a Equação 1:

Equação 1

$$A \propto L^{D_f}$$

Para Li et al. (2008) o valor de D_f para objetos com espaço finito é normalmente um número inteiro, no entanto, para os flocos os valores de D_f são fracionários, sendo que flocos mais justapostos possuem uma dimensão fractal maior, enquanto o contrário ocorre em flocos com estruturas com tensões menores.

De acordo com Yeung e Pelton (1996) as dimensões do floco estão relacionadas com a força para uma determinada percentagem de tensão de cisalhamento, Equação 2, onde d , C , G e γ são respectivamente, diâmetro máximo do floco, constante, gradiente de velocidade médio e o coeficiente de força do floco.

Equação 2

$$d = C \cdot G^{-\gamma}$$

Reescrevendo a equação 2 os valores de C e γ podem ser conseguidos a partir da Equação 3.

Equação 3

$$\ln d = \ln C - \gamma \cdot \ln G$$

Bache et al. (1999) trabalharam com a metodologia teórica, na qual a tensão aplicada por unidade de área pode ser estabelecida como σ de acordo com a Equação 4, onde ρ_w é densidade da água, ε é a percentagem de dissipação de energia cinética por unidade de massa, ν é viscosidade cinemática e d o diâmetro do floco.

Equação 4

$$\sigma = \frac{4\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{\rho_w \cdot \varepsilon^{\frac{3}{4}} \cdot d}{\nu^{\frac{1}{4}}}$$

A energia de formação do floco está correlacionada com a energia das ligações internas do floco e com as partículas que compõem o agregado (partículas coloidais). Neste caso haverá ruptura do floco quando a tensão aplicada na face do floco é maior que a resistência de ligação entre os mesmos (PARKER et al., 1972).

Outra forma de analisar a resistência do floco, segundo Silva (2017), é por meio da razão de recuperação (ou regeneração), que avalia o diâmetro médio antes (d_1) e depois da quebra (d_2), conforme Equação 5.

Equação 5

$$\text{Razão de recuperação} = \frac{d_2}{d_1}$$

Para se quantificar a resistência do floco existem duas abordagens principais, a macroscópica e a microscópica. A macroscópica faz a avaliação indiretamente da resistência através da perda de energia ou do gradiente de velocidade aplicado ao tamanho do floco formado. Já a microscópica propõe medir diretamente a resistência do floco trabalhando individualmente com o floco, ou seja, aplicando a tensão diretamente na superfície do floco e analisando sua resistência (JARVIS et al., 2005; BOLLER e BLASER, 1998).

Segundo Silva (2017) após a formação dos flocos, os mesmos podem se deteriorar com a intensificação de tensões de cisalhamento, modificando assim toda sua estrutura morfológica, e diminuindo a eficiência do processo. Desta forma a ruptura deve ser evitada, posteriormente a quebra do floco inicia-se a fase de regeneração (refloculação), na qual a morfologia do novo floco é dependente do tipo de coagulante, gradiente e tempo de mistura lenta.

Yukselen e Gregory (2002) trabalharam com água floculada ($t_f = 10 \text{ min}$), onde a mesma foi sujeita a ruptura e refloculação em vários momentos. Desta forma a ruptura ficou mais

clara para maiores gradientes e que os flocos se quebram em poucos segundos, recuperando seu tamanho para gradientes menores. Já para gradientes maiores observou-se que os flocos não recuperavam totalmente seu tamanho.

2.7 ACOMPANHAMENTO DA FLOCULAÇÃO POR MEIO DA DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS

As partículas na água são numerosas e cobrem um amplo espectro de tamanho, variando de colóides submicrônicas a de agregados de alguns milímetros. A evolução da distribuição do tamanho da partícula (DTP) com o tempo, induzido por coagulação, tem sido muito utilizado como uma ferramenta para caracterizar o processo de floculação (HUNT, 1982; ELIMELECH et al, 1995; THOMAS et al, 1999; LEE et al, 2000; LI e ZHANG, 2003; SHARP et al, 2006).

A determinação precisa da DTP para um sistema de floculação ainda é uma tarefa difícil. Isto é particularmente significativo para os aglomerados de partículas formadas por floculação com o alúmen de potássio no tratamento de água, pois os flocos formados por alúmen são altamente frágeis e vulneráveis à ruptura. A contagem e dimensionamento de partículas utilizando o método de detecção por eletro-zona, análise microscópica e técnica de dispersão de luz laser podem ser aplicados para obter detalhes da DTP (JACKSON et al, 1995).

Técnicas que envolvem procedimentos de medições externas, que exigem que grandes quantidades de amostras sejam retiradas, fazem com que os flocos se quebrem. Além disso para provar manuseamento, a diluição é outro processo que pode ser necessário antes da medição, o que também pode alterar a distribuição do tamanho de uma população de partículas (VAN GELDER et al, 1999).

Para Amirtharajah e Omelia (1990) a técnica jar-teste foi aplicada para prever o resultado global da floculação e de sedimentação para a remoção da turbidez da água. No entanto, a relação da dinâmica da DTP com as propriedades da superfície das partículas no tratamento da água não foi bem especificada na pesquisa. Da mesma forma, a correlação entre o

desenvolvimento DTP durante a floculação e os resultados jar-teste para a remoção de turbidez e compostos orgânicos não foi bem estabelecida.

Spicer e Pratsinis (1996) estudaram a simulação da distribuição do tamanho do floco em estado estacionário bem como o efeito da taxa de cisalhamento e a distribuição do tamanho do fragmento na forma do floco.

Li et al (2008) em trabalhos atuais vem estudando/utilizando imagens para a caracterização do DTP durante a floculação no tratamento de água. O procedimento que envolve uma câmera fotográfica que permite a caracterização detalhada da dinâmica DTP de flocos, para vários sistemas de partículas, que está diretamente ligado aos valores das cargas dos flocos.

O diâmetro do floco pode ser obtido por um analisador de dispersão fotométrica on-line (PDA) com base na técnica de "flutuação da turbidez", onde através do mesmo pode-se supor que a proporção do quadrado médio do sinal de flutuação da turbidez é aproximadamente proporcional ao tamanho do diâmetro da partícula. (MCCURDY et al. 2004).

Ching et al. (1994) estudaram a técnica que utiliza princípios ópticos para a discretização do processo de floculação, e afirmaram que partículas coloidais em suspensão quando eram iluminadas por um feixe de luz estreito e registradas por fotos um sinal elétrico sempre flutuava aleatoriamente entre um valor médio, dependendo da concentração de coagulante, tempo de mistura e pH. Desta maneira conseguiram acompanhar a evolução do processo de floculação.

Chekli et al. (2015) também observaram a variação do tamanho dos flocos para o processo de floculação, utilizando a dosagem ótima de cloreto férrico, observou-se a formação de partículas de diâmetro de até 750 μm para um tempo de 7 min de tratamento, já na região de quebra analisou-se partículas de 300 μm e tempo de 13min e na zona de regeneração obteve-se flocos de 400 μm após 20 min de tratamento.

Shen e Maa (2015) trabalharam com um novo modelo, método de momentos de quadratura (QMOM), aplicado no desenvolvimento a descrição e o crescimento de tamanho dos flocos em suspensão coloidal. Esta abordagem é utilizada para estimar a densidade das partículas

em solução, simplificando termos advectivos e difusivos da equação de balanço populacional de Marchisio. Os autores também desenvolveram um sistema de processamento de imagens para descrever a distribuição do tamanho dos flocos para ambientes marinhos, onde as dimensões do floco foram validadas e calibradas para diferentes variações de gradientes de mistura, concentração de coagulante e pH.

Vigil e Ziff (1989) estudaram numericamente a existência de uma distribuição de tamanho estável para várias formas de coagulação e taxas de fragmentação usando soluções passageiras para a equação do balanço de população do número de partículas.

Nasser (2014) demonstrou as características do floco como tamanho do floco e densidade para efluentes produzidos a partir da fabricação de papel, para isto utilizou imagens de alta resolução de uma coluna de sedimentação. O autor conclui que 15% dos flocos possuem diâmetro de 1000 μm para um pH de 9,8 utilizando concentração ótima de sulfato de ferro.

Wang et al. (2017) analisaram as extensões fractais dos flocos produzidos pelos diferentes tipos de coagulantes e coagulação. Através de um software analisador de imagens foi possível calcular as dimensões como diâmetro, perímetro e área dos flocos.

Zhao et al. (2014) abordaram as diferenças na distribuição no tamanho dos flocos utilizando o cloreto férrico (FeCl_3) o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e o tetracloreto de titânio (TiCl_4). A fonte de água utilizada no trabalho foi retirada do rio Xiaoqing na China, possuindo as seguintes características: turbidez 6,20-9,44 NTU e pH 7,95-8,46. Para o trabalho também foi utilizado o laser de difração com o objetivo de acompanhar a dinâmica da floculação. Nos primeiros 15 min de tratamento houve o crescimento do floco obtendo uma dimensão média de 400 μm , a partir deste há uma diminuição do diâmetro para 300 μm que se mantém até o final do ensaio.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentadas as descrições dos equipamentos, as características da água de estudo e os procedimentos experimentais.

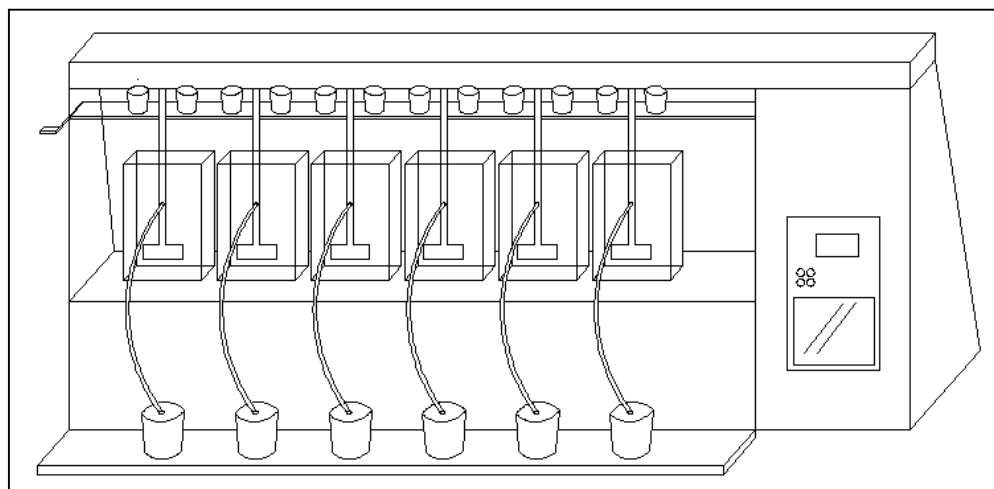
3.1 DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Neste trabalho foram utilizados o equipamento de bancada *Jartest* para simular os processos de coagulação, floculação e sedimentação, câmera digital para aquisição de imagens dos flocos, laser para estabelecimento do plano de aquisição das imagens e software *Image J Fiji* para tratamento das imagens e obtenção das características dos flocos.

3.1.1 Equipamento Jar-test

O equipamento de Jar test empregado nesta pesquisa possui paletas giratórias com ajuste de rotação e mostrador digital, capazes de imprimir gradientes entre 10 a 2000s⁻¹, possibilitando que a unidade seja empregada nas sub-etapas de tratamento mistura rápida (coagulação), mistura lenta (floculação) e sedimentação. O instrumento possui seis jarros com volume de trabalho de 2L nos quais são dispostos tubos de silicone com o objetivo de coleta e descarte de amostras. A altura é graduada, em cm, para possibilitar a coleta de amostras em diferentes velocidades de sedimentação.

A Figura 4 ilustra o esquema do equipamento *Jar-test* utilizado nos ensaios.

Figura 4 - Esquema do equipamento *Jar-test*

Fonte: Autor (2018)

3.1.2 Câmera fotográfica digital

Para a aquisição de imagens foi utilizada câmera Nikon modelo D5500 possuindo as seguintes características:

- 24,2 Mega-pixels
- Sensor ISO de até 25600;
- Capacidade de até 5 quadros por segundo;
- Registro de imagens em alta definição.

3.1.3 Laser

Para o plano de luz foi utilizado um laser monocromático do tipo caneta com as seguintes características:

- Potência de 200 mW;
- Cor verde;
- Dimensões do plano de luz: 15 x 15 x 0,5 cm.

3.1.4 Software de análise de imagens

No tratamento das imagens foi utilizado o software Image J Fiji de domínio público que possui o foco no processamento multidimensional de imagens para trabalhos científicos.

3.2 PREPARAÇÃO DA ÁGUA DE ESTUDO

A água de estudo foi preparada a partir de solução-mãe de ácido húmico 4%. A solução mãe era obtida misturando-se $4,0 \pm 0,002$ g em 100 ml de água deionizada, seguida de agitação e posterior sedimentação de partículas insolúveis. Após este processo, a solução passava por um processo de filtração. Para obtenção da cor desejada, ou seja, 20, 50, 100 e 150 mgPt/L (uH) ± 2 mgPt/L (uH) a solução-mãe era adicionada à água deionizada para o incremento de cor que era medida por espectrofotometria com comprimento de onda de 455 nm.

3.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Nesta sub-seção é descrita a metodologia da primeira etapa, para obtenção do diagrama de coagulação, e da segunda, onde houve o monitoramento da formação dos flocos por meio da aquisição e análise de imagens.

3.3.1 Etapa 1 – Elaboração do diagrama de coagulação

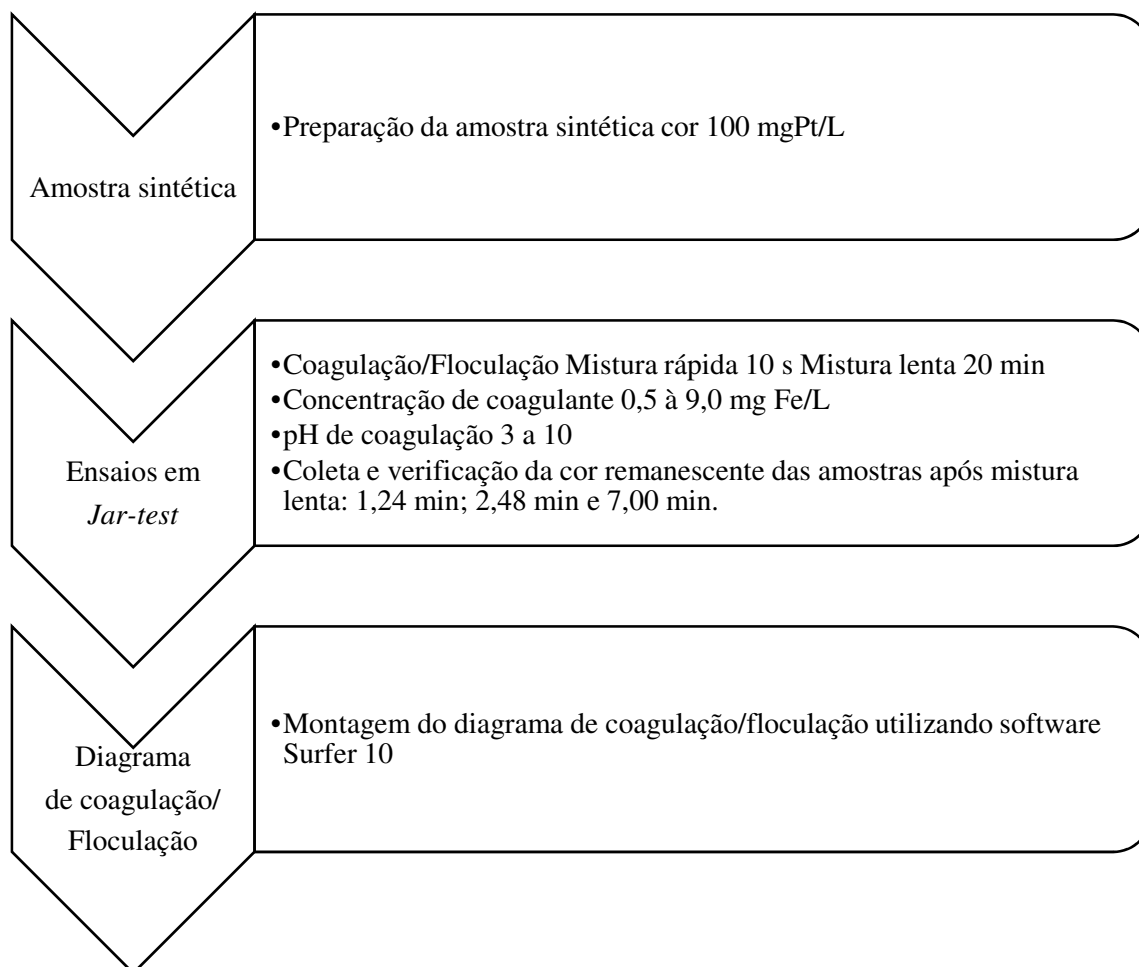
Em todos os experimentos foi utilizado o cloreto férrico (FeCl_3) como coagulante. Para verificação dos pares de valores de pH de coagulação x dosagem de coagulação que conferiam boa sedimentabilidade dos flocos foi elaborado um diagrama de coagulação em termos de cor remanescente da água. Nesta etapa foi utilizado o *Jar-test* para simulação dos processos.

Ressalta-se que o diagrama de coagulação/floculação foi realizado apenas para a cor de 100mgPt/L e que os demais valores de pH de coagulação x dosagem de coagulante para diversas cores avaliadas foram obtidos de trabalhos já conduzidos dentro do grupo de pesquisa além de outras referências como Di Bernardo e Dantas (2005).

Para diferentes ensaios foram fixos os tempos de mistura rápida ($T_{mr} = 10$ s), tempo de floculação ($T_f = 20$ min), gradiente de mistura rápida ($G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$) e gradiente de floculação ($G_f = 20 \text{ s}^{-1}$). Já a dosagem de coagulante foi variada de 0,5 em 0,5 mgFe/L de 0,5 a 9,0 mgFe/L. O pH de coagulação foi controlado através da adição de hidróxido de sódio (0,1Mol de NaOH) ou ácido clorídrico (0,1 Mol de HCl) buscando abranger os valores de pH entre 4 e 9. A partir dos resultados de cor remanescente para velocidades de sedimentação de 5, 2,5 e 1 cm/min, foram elaborados os diagramas com o auxílio do programa Surfer 10.

A Figura 5 ilustra o fluxograma utilizado nesta etapa do trabalho.

Figura 5 - Fluxograma para obtenção do diagrama de coagulação



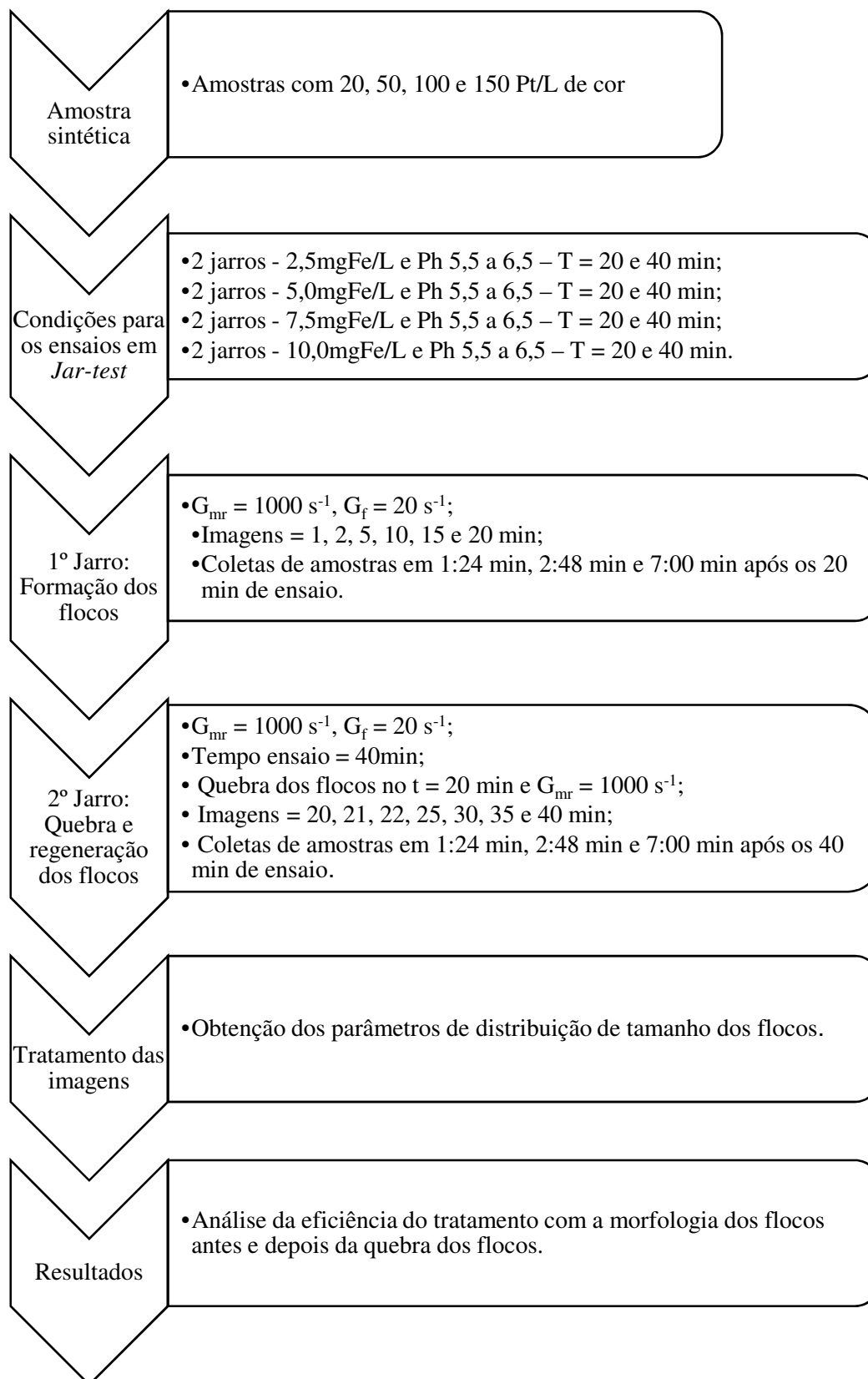
Fonte: Autor (2018)

3.3.2 Etapa 2 – Ensaio/floculação/sedimentação acompanhados por aquisição e análise de imagens dos flocos

Nesta etapa do trabalho foi utilizado o *Jar-test* para simulação dos processos, câmera digital para aquisição das imagens, luz laser para estabelecimento do plano de obtenção das imagens e software de análise de imagens específico.

A Figura 6 ilustra o fluxograma utilizado nesta etapa do trabalho.

Figura 6 - Fluxograma para acompanhamento do processo de coagulação/floculação por meio de aquisição e análise de imagens dos flocos



Fonte: Autor (2018)

3.3.2.1 Aquisição das imagens dos flocos

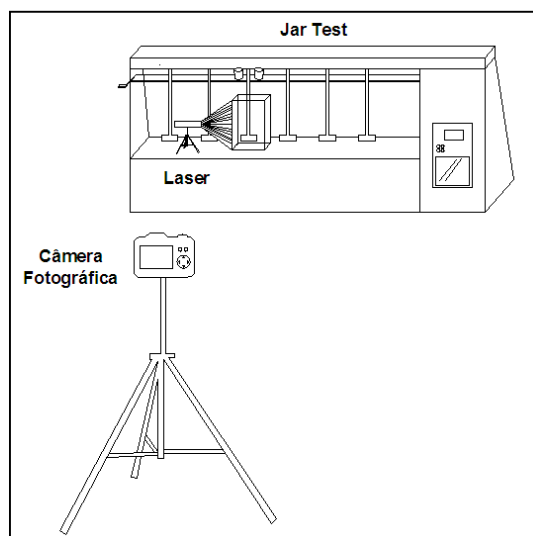
Nesta segunda parte do trabalho foram utilizadas amostras de água sintética com 20, 50, 100 e 150 mg Pt/L, onde para cada cor foram adquiridas imagens para quatro dosagens de coagulante (2,5; 5,0; 7,5 e 10 mgFe), mantendo o pH entre 5,5 e 6,5 (faixa ótima de trabalho obtida para a cor de 100 mg Pt/L).

Para cada dosagem de coagulante foram conduzidos dois ensaios em separado. No primeiro ensaio, cujo objetivo foi avaliar o desenvolvimento do processo de floculação sem realização de quebra dos flocos, foram registradas imagens nos tempos de 1, 2, 5, 10 e 20 min, ($G_f = 20 \text{ s}^{-1}$ e $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$), sendo registrados os valores de pH de floculação e da água bruta ao final do processo de mistura lenta (20min). Decorrido o tempo de floculação de 20 minutos iniciava-se o processo de sedimentação com coleta de amostras nas velocidades de sedimentação de 5,0; 2,5 e 1 cm/min. Já no segundo jarro ensaiado, todo o processo foi conduzido mantendo-se fixos os parâmetros e procedimentos metodológicos do ensaio 1 até serem concluídos 20 min de experimento. Neste momento era promovida a quebra dos flocos e registradas imagens após estes 20 minutos iniciais, onde após aplicação do $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ sucederam registros de imagens da mistura rápida e lenta nos tempos de 1, 2, 5, 10 e 20 min observando a regeneração do floco. Assim como no ensaio 1, decorrido o tempo de floculação 20 minutos (considerando a quebra como minuto 0) iniciava-se o processo de sedimentação com coleta de amostras nas velocidades de sedimentação de 5,0; 2,5 e 1 cm/min.

As imagens dos flocos foram obtidas a uma taxa de 4 fotografias por segundo, ou seja, foram obtidas 40 fotografias a cada momento de aquisição pré-estabelecido.

Para aquisição das imagens foi utilizada a câmera digital (Nikon D5500) com resolução de 20 megapixels e uma taxa de aquisição máxima de 4 fotografias por segundo na resolução mais alta. A aquisição das imagens foi feita a cerca de 50 cm do Jarro (*Jar-test*) no plano de luz estabelecido pelo laser perpendicular ao plano de aquisição das imagens. A Figura 7 ilustra o aparato para aquisição de imagens do processo de floculação.

Figura 7 - Esquema para aquisição de imagens do processo de floculação



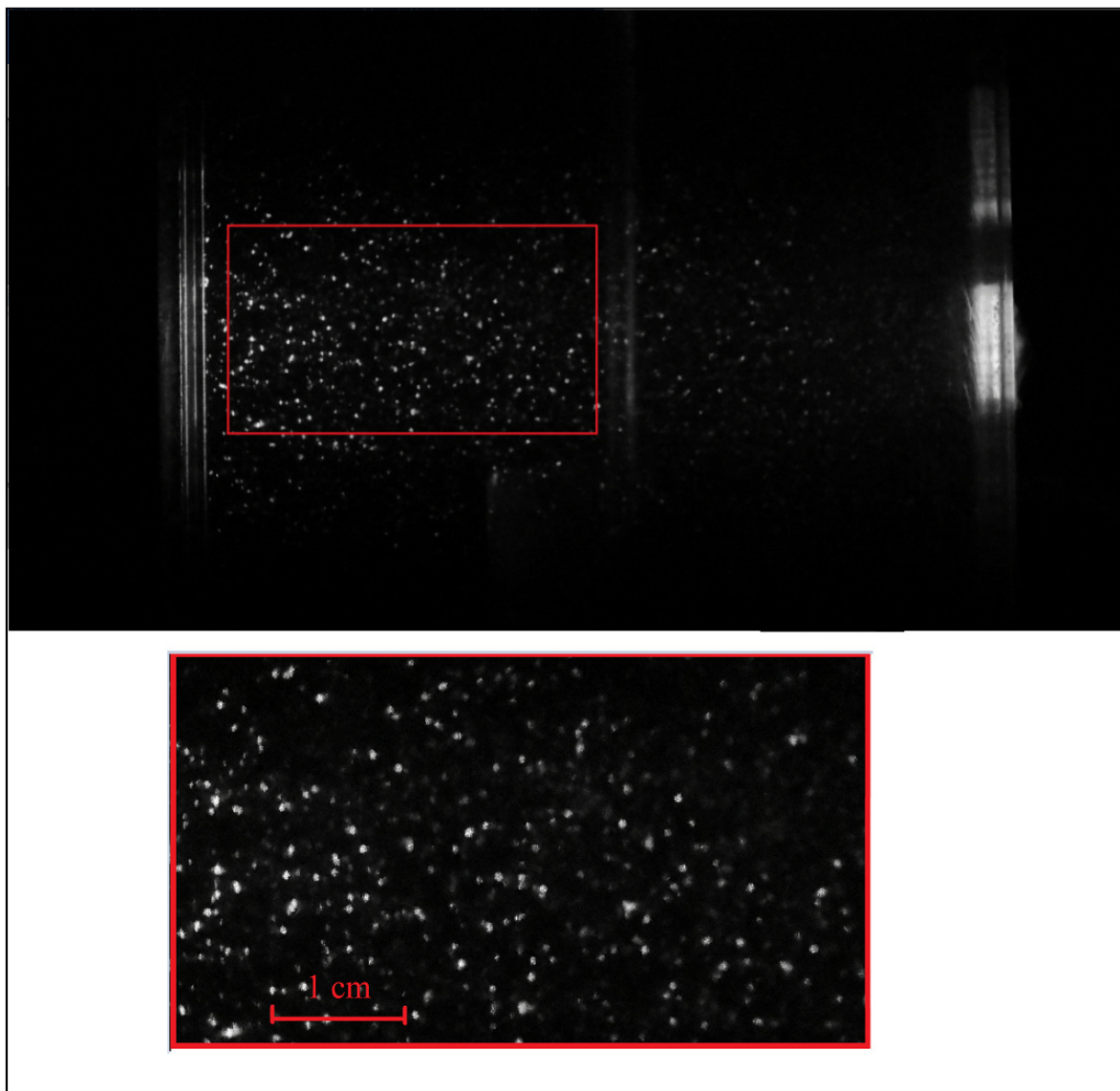
Fonte: Autor (2018)

3.3.2.2 Tratamento das imagens dos flocos

A análise das imagens foi realizada através do programa computacional *Image J*. O mesmo foi utilizado para edição e cortes das imagens (área fora da paletado Jar Test). No programa também foi realizado o processamento e análise de imagens. Foram realizados, portanto, procedimentos de aquisição, exibição, edição, análise, processamento, cópia e impressão das imagens. As funções de análise de imagem incluem as dimensões (distância, ângulo, perímetro, área) e medidas de escala cinza (ponto, linha e área de histograma com estatísticas), disponibilizando todos os resultados em planilhas .CSV, convertidas posteriormente em planilhas .xlsx.

A Figura 8, que se segue, ilustra o recorte de uma imagem, (51 x 45 mm), com o programa *Image J*, onde o mesmo executa a binarização e o processamento da imagem (transformação do fundo em branco e os flocos em preto), como é visto na Figura 9, com o fundo branco e os flocos em preto promovendo o processamento para cálculo das áreas e perímetro dos flocos maiores que 0,001 mm².

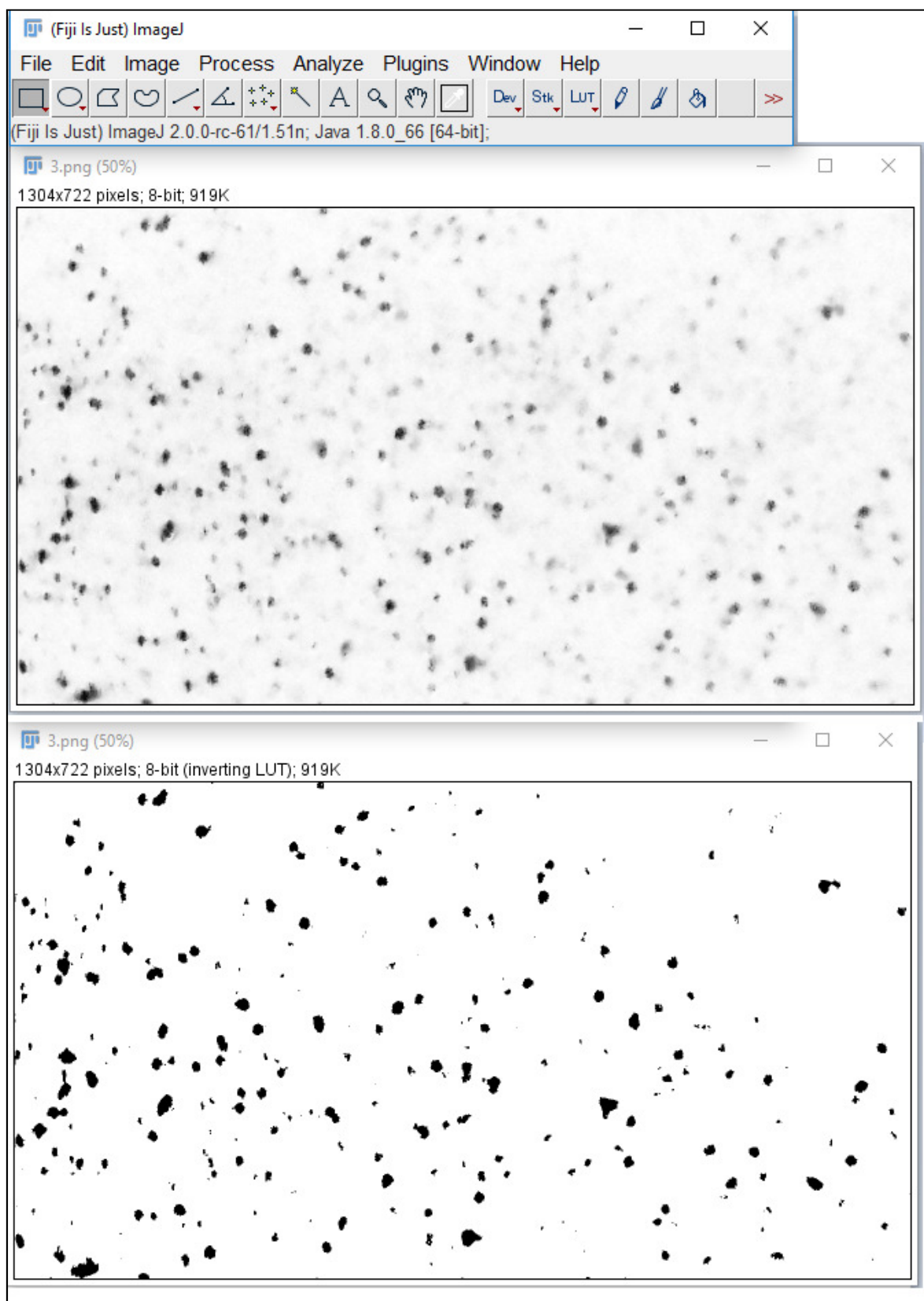
Figura 8—Exemplo de recorte de uma imagem



Fonte: Autor (2018), a partir do software Image J Fiji

Para o bom processamento da imagem foi necessário escolher uma área sem a borda lateral esquerda e a paleta do aparelho jar test e com melhor incidência da luz do laser. Todos os ensaios foram conduzidos em um ambiente com baixa luminosidade prevalecendo a iluminação da luz laser.

Figura 9 - Processamento da imagem



Fonte: Autor (2018), a partir do software Image J Fiji

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são demonstrados os resultados e discussões obtidos a partir deste trabalho experimental.

4.1 DIAGRAMAS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Mantendo-se fixas as condições da água bruta de estudo, ou seja, 100 mgPt/L, foram conduzidos experimentos para obtenção dos diagramas de coagulação/floculação variando-se o pH de coagulação (entre 3 a 10), a dosagem de coagulante (de 0,5 à 9,0 mgFe/ L). Para cada jarro foram coletadas amostras de flocos com velocidade de sedimentação de 5 cm/min, 2,5 cm/min e 1 cm/min. Após a sedimentação todas as amostras foram levadas ao espectrofotômetro para medição da cor residual. A Tabela 3 ilustra um exemplo utilizando-se concentração de 5 mgFe/L.

Tabela 3 - Ensaio *Jar-Test* com concentração de 5,0 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					5,0						
Cor Amostra Bruta -					100			Data: 27/jan			
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,40	-	-	-	0,5	1,0	9,1	135	137	137	8,16
2	4,81	-	-	-	0,5	0,8	6,8	132	134	133	8,16
3	4,98	-	-	-	0,5	0,5	4,6	131	136	133	8,16
4	5,44	-	-	-	0,1	1,0	1,8	49	42	40	8,16
5	5,60	-	-	-	-	-	-	20	20	15	6,58
6	5,93	0,1	0,5	1,0	-	-	-	23	18	13	6,58
7	6,13	0,1	1,5	3,0	-	-	-	33	25	15	6,58
8	6,37	0,1	3,0	6,0	-	-	-	138	142	139	6,58

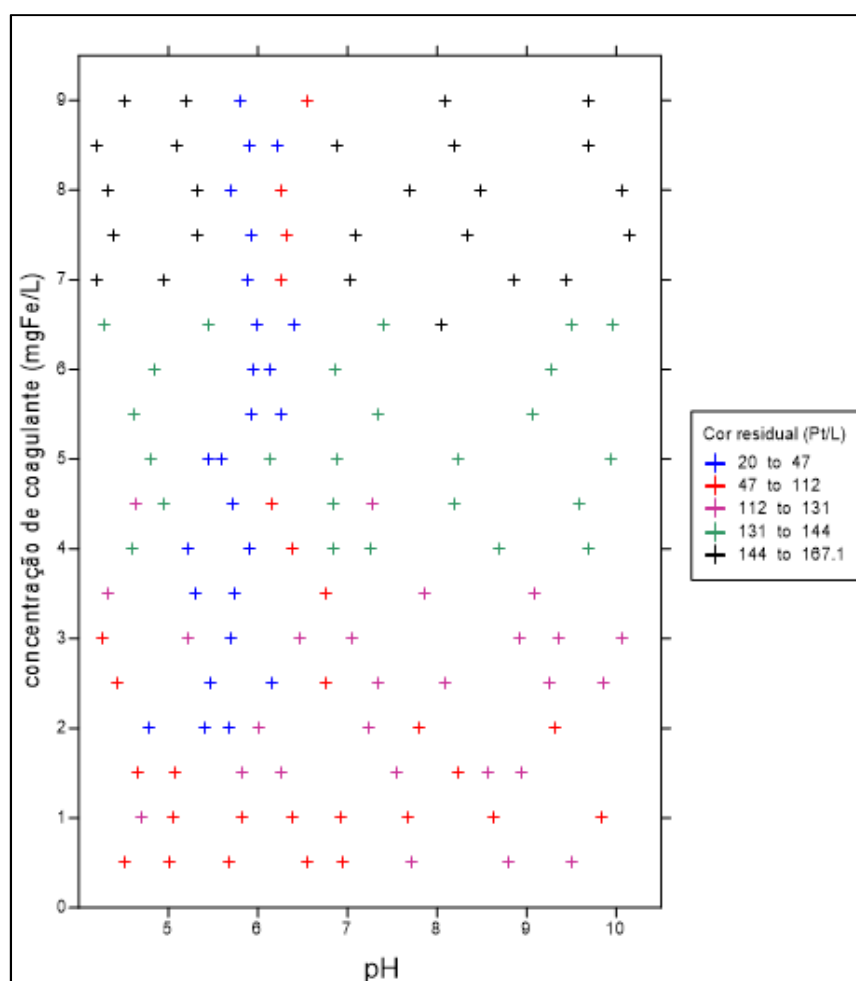
9	6,89	0,5	1,0	10,0	-	-	-	139	140	139	6,58
10	7,28	0,5	1,5	15,0	-	-	-	135	134	136	6,64
11	7,56	0,1	9,0	18,0	-	-	-	136	136	137	6,64
12	8,24	0,1	11,0	22,0	-	-	-	134	134	134	6,64
13	8,97	0,1	12,0	24,0	-	-	-	134	133	135	7,24
14	9,33	0,5	2,5	25,0	-	-	-	139	137	137	7,24
15	9,95	0,1	13,0	26,0	-	-	-	135	135	134	7,24
16	10,24	0,5	3,0	30,0	-	-	-	137	138	137	7,24

Fonte: Autor (2018)

As Tabelas de todos os ensaios são mostradas no Apêndice A.

A Figura 10 descreve um gráfico de dispersão determinado a partir da cor residual medida das amostras de 1:24 min de tempo de sedimentação, ou seja, velocidade de sedimentação de 5 cm/min.

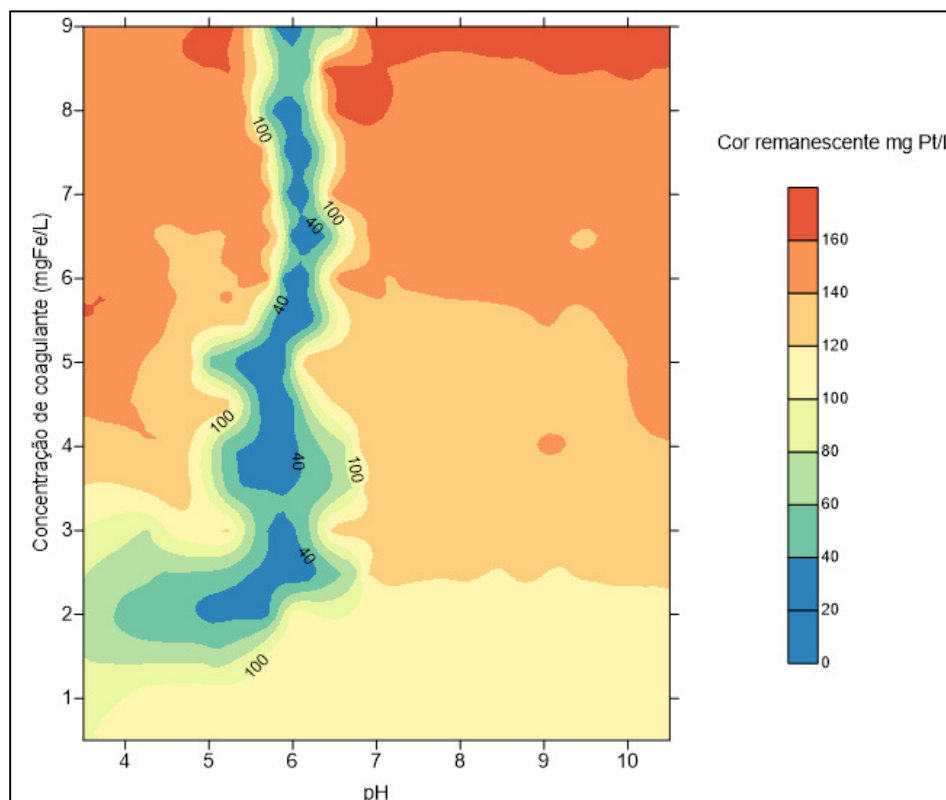
Figura 10 – Cor remanescente de amostras para velocidades de sedimentação de 5 cm/min



Fonte: Autor (2018), a partir do software Surfer 10

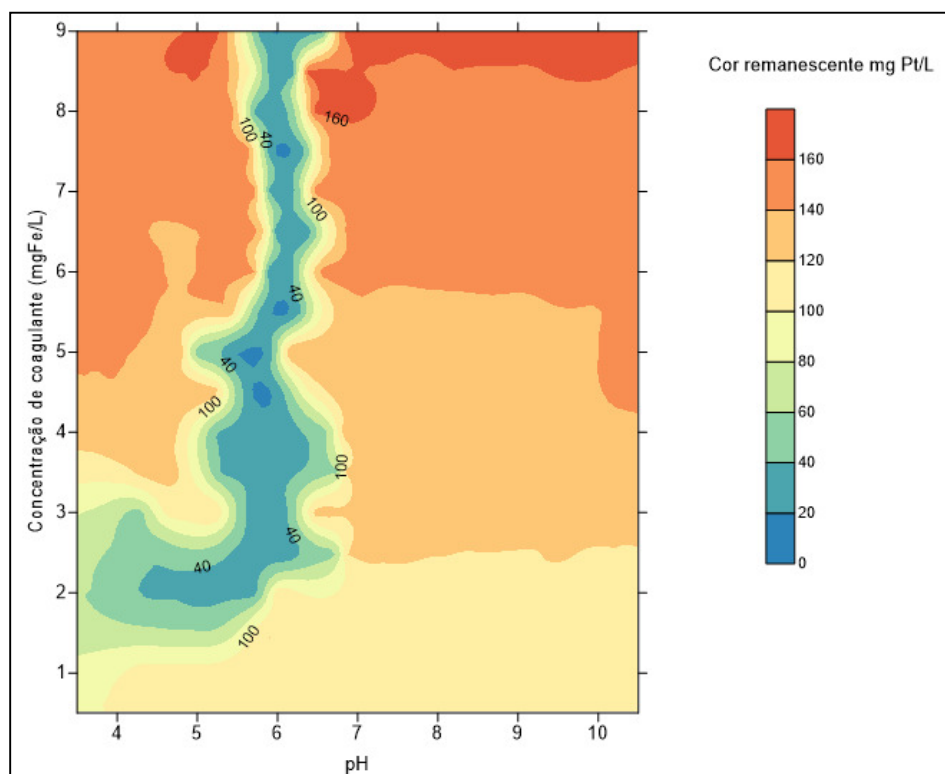
A partir dos dados medidos foram elaborados diagramas de coagulação (Figura 11, Figura 12 e Figura 13), no programa Surfer 10, para as três velocidades de sedimentação 5 cm/min, 2,5 cm/min e 1 cm/min respectivamente.

Figura 11 - Diagrama de coagulação para velocidade de sedimentação de 5cm/min



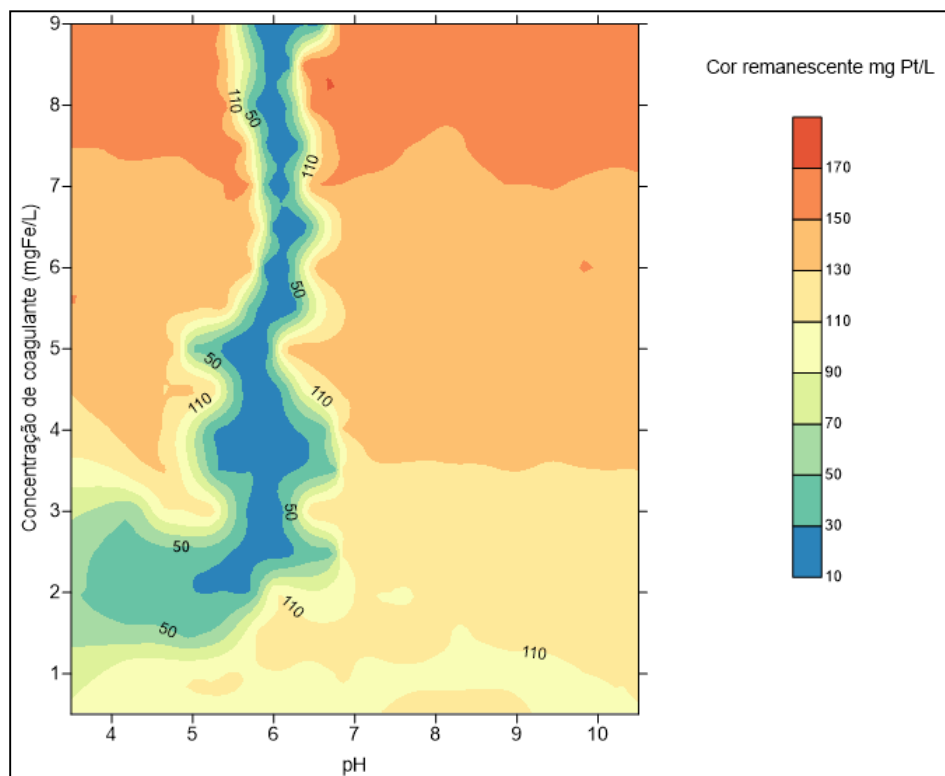
Fonte: Autor (2018), a partir do software Surfer 10

Figura 12 - Diagrama de coagulação para velocidade de sedimentação de 2,5cm/min



Fonte: Autor (2018), a partir do software Surfer 10

Figura 13 - Diagrama de coagulação para velocidade de sedimentação de 1,0cm/min



Fonte: Autor (2018), a partir do software Surfer 10

Pode-se observar que a partir de 2,0 mgFe/L de concentração de coagulante e entre valores de pH de 5,0 e 6,5, há de uma remoção de cor de 87%, podendo ser considerado como um dos pontos ótimos de trabalho a concentração de 5,0 mgFe/L. Comparando com o trabalho de Constantino (2008) o ponto ótimo de trabalho se manteve entre o pH 5,0 e 6,5, no entanto houve um aumento significativo na dosagem de cloreto férrico, cerca de 10 mgFe/L no entanto há de ressaltar que o estudo foi realizado com água bruta com presença de argila.

Para as concentrações entre 1,5 e 3,0 mgFe/L houve floculação para o pH menor que 4,0, o que não ocorreu nos ensaios posteriores. Uma explicação para esse fato pode ser o erro na leitura do pH ou mesmo a calibração do aparelho.

4.2 DISTRIBUIÇÃO DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS

Para as amostras obtidas a partir de cada cor testada (20, 50, 100 e 150 Pt/L) foram realizados oito ensaios variando a dosagem de cloreto férrico (2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 mgFe/L), visando a observação da formação dos flocos, com obtenção de imagens nos tempos de floculação de 1, 2, 5, 10, 15 e 20 minutos antes da quebra dos flocos e nos 20 minutos após a quebra também considerando os tempos de 1, 2, 5, 10, 15 e 20 minutos. O diâmetro médio equivalente foi calculado através da média do diâmetro calculado conforme equação 5.

Equação 5

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

Onde:

d = diâmetro médio do floco (mm);

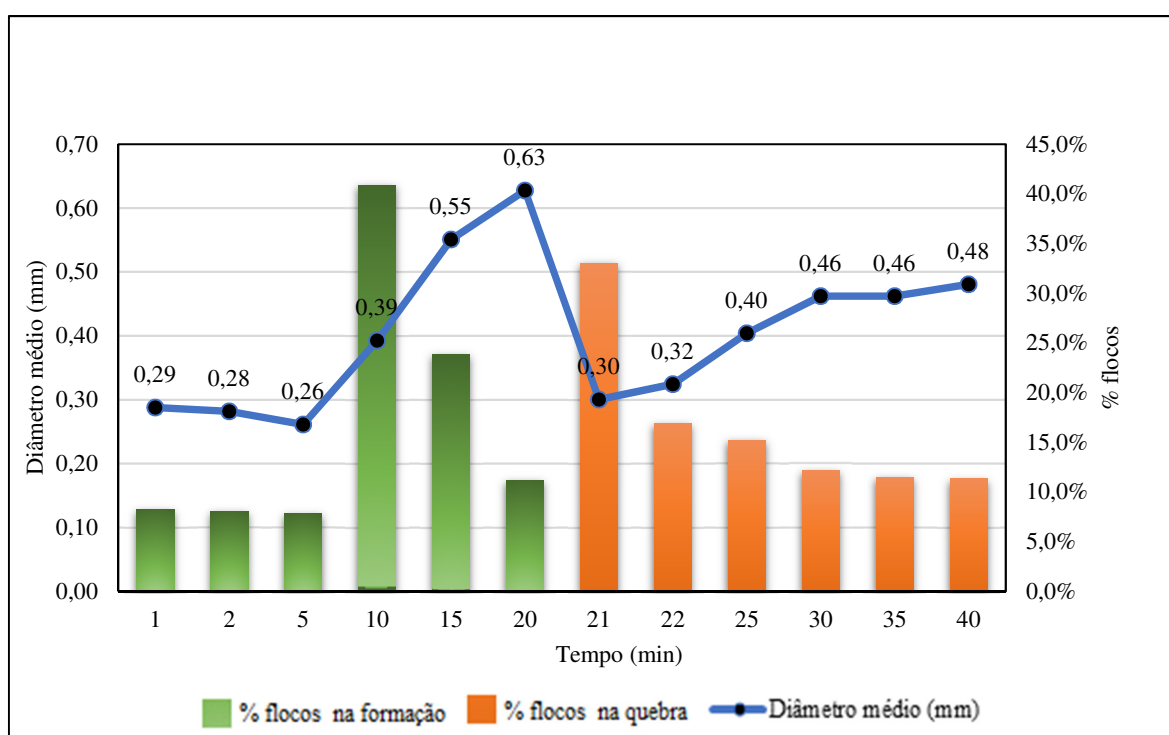
A = área média do floco (mm²), fornecida pelo programa Image J.

Para cada imagem foram obtidos a porcentagem de flocos a cada tempo, desta forma foram agrupados os dados de diâmetro médio e o número de flocos no decorrer do tempo de floculação. Para cada ensaio também foram obtidos dois histogramas para dez classes de tamanho da (DTP), o primeiro para a formação e segundo para a regeneração dos flocos.

4.2.1 Amostra de 20 Pt/L

A Figura 14 ilustra a evolução do diâmetro médio do floco para a amostra com cor de 20 Pt/L e concentração de 2,5 mgFe/L, simultaneamente tem-se o número de flocos com o decorrer do tempo de floculação. A quebra dos flocos foi provocada aos 20 minutos com o gradiente de mistura de 1000 s^{-1} .

Figura 14 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 20 Pt/L, concentração 2,5 mgFe/L e pH floculação de 6,10



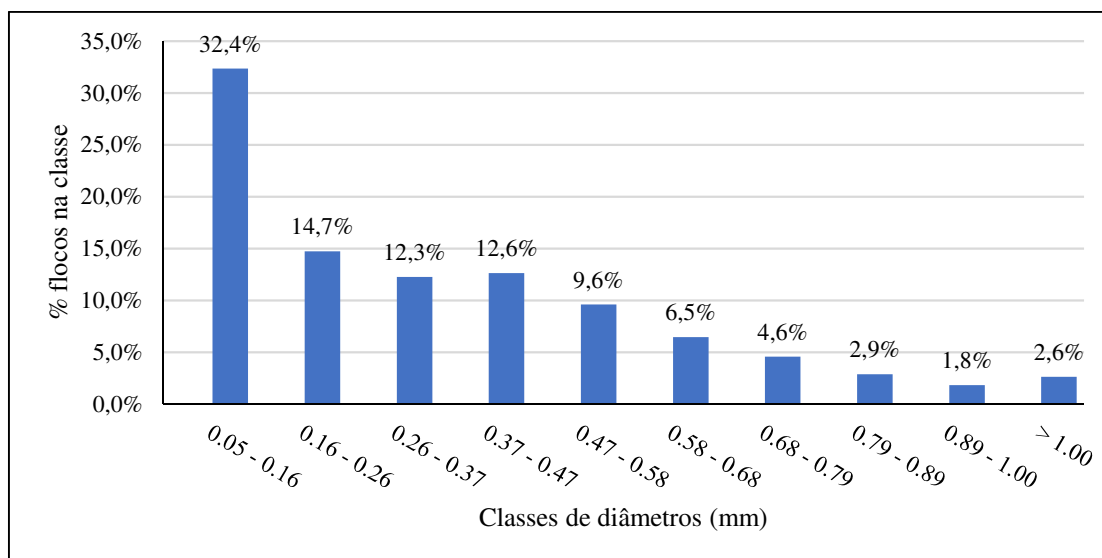
Fonte: Autor (2018)

No segundo minuto do tratamento verifica-se uma diminuição do diâmetro médio (0,29 para 0,28 mm), ao contrário percebe-se na maior parte do tempo de formação, ou seja, 0 a 20 minutos, um crescimento do diâmetro do floco (0,28 para 0,63 mm). Já na regeneração há uma redução do diâmetro médio acompanhado, com esperado, de um aumento do número de flocos no início da quebra com queda no número até o final do tempo de floculação.

As Figuras 15 e 16 que se seguem descrevem histogramas da (DTP) durante a formação dos flocos antes e após a quebra (regeneração). Observa-se um grande aumento do número de

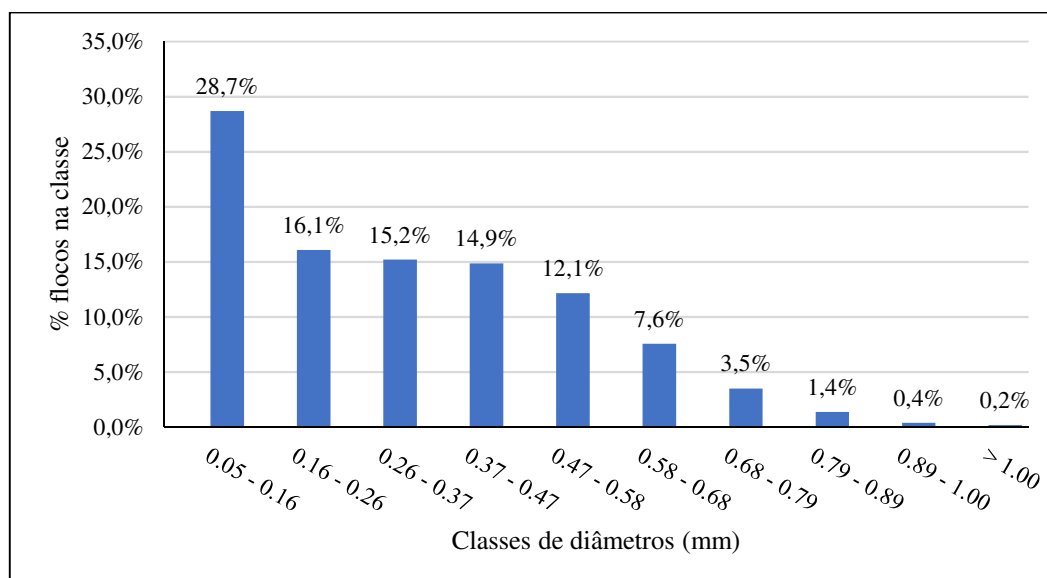
flocos depois da quebra e uma diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro.

Figura 15 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 20 Pt/L-floculação 2,5 mgFe/L e pH de 6,10)



Fonte: Autor (2018)

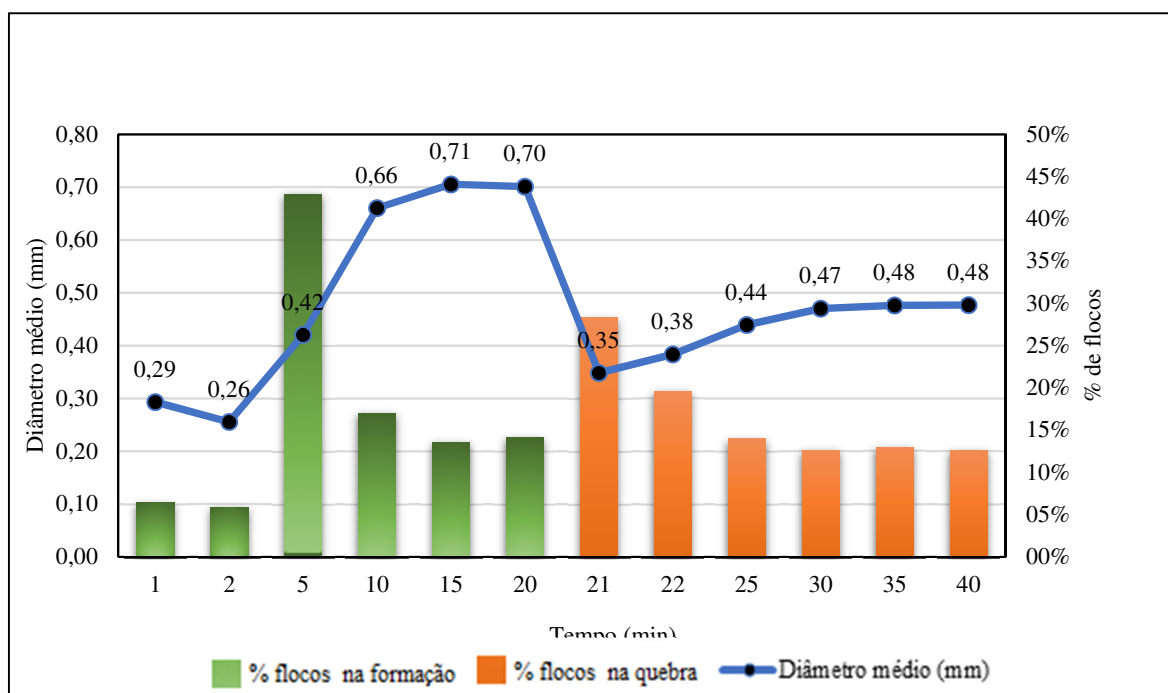
Figura 16 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 20 Pt/L-refloculação 2,5 mgFe/L e pH de 6,15)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 17 ilustra a evolução do diâmetro médio do floco para a amostra com cor de 20 Pt/L e concentração de 5,0 mgFe/L.

Figura 17 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 20 Pt/L, concentração 5,0 mgFe/L e pH de floculação de 6,25

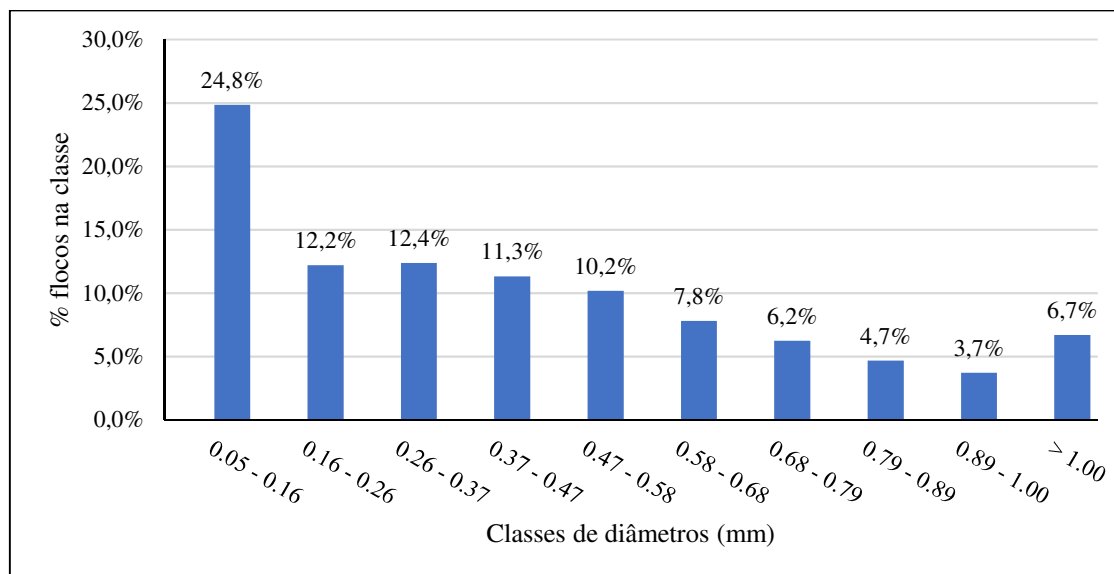


Fonte: Autor (2018)

Assim como para a concentração de 2,5 mgFe/L, no segundo minuto do tratamento verifica-se uma diminuição do diâmetro médio dos flocos, entretanto, observa-se na maior parte do tempo um aumento do diâmetro do floco (0,26 para 0,70 mm). Já na regeneração há uma redução do diâmetro médio, no entanto há um aumento do número de flocos no início da quebra e a partir daí há uma redução deste número até o final do tempo de floculação.

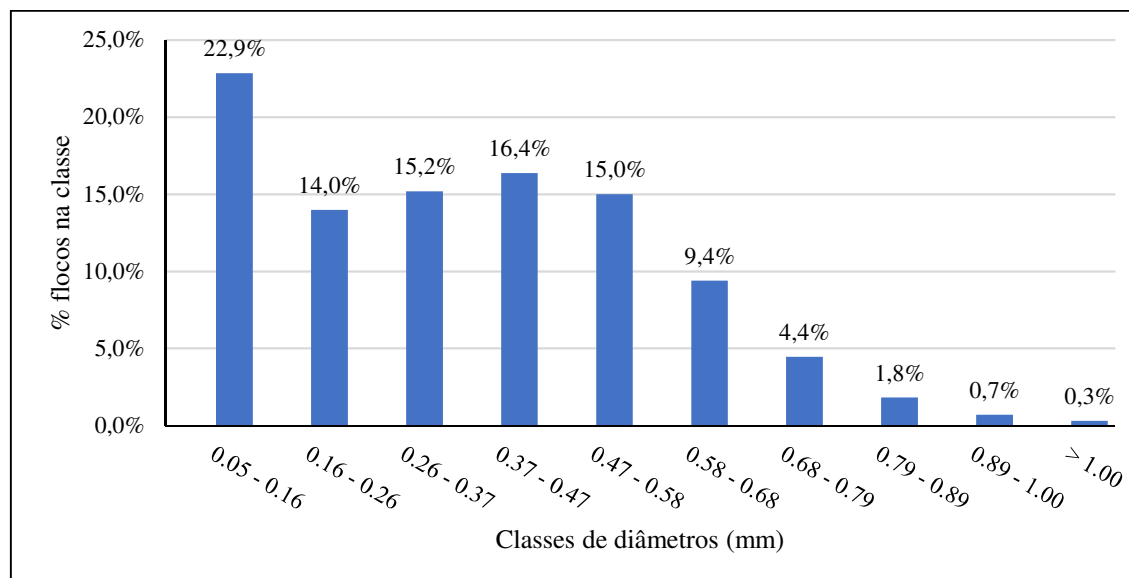
As Figuras 18 e 19 que se seguem descrevem histogramas da (DTP) para a formação e a refloculação (regeneração). Novamente observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e uma diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro.

Figura 18 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 20 Pt/L-floculação 5,0 mgFe/L e pH de 6,25)



Fonte: Autor (2018)

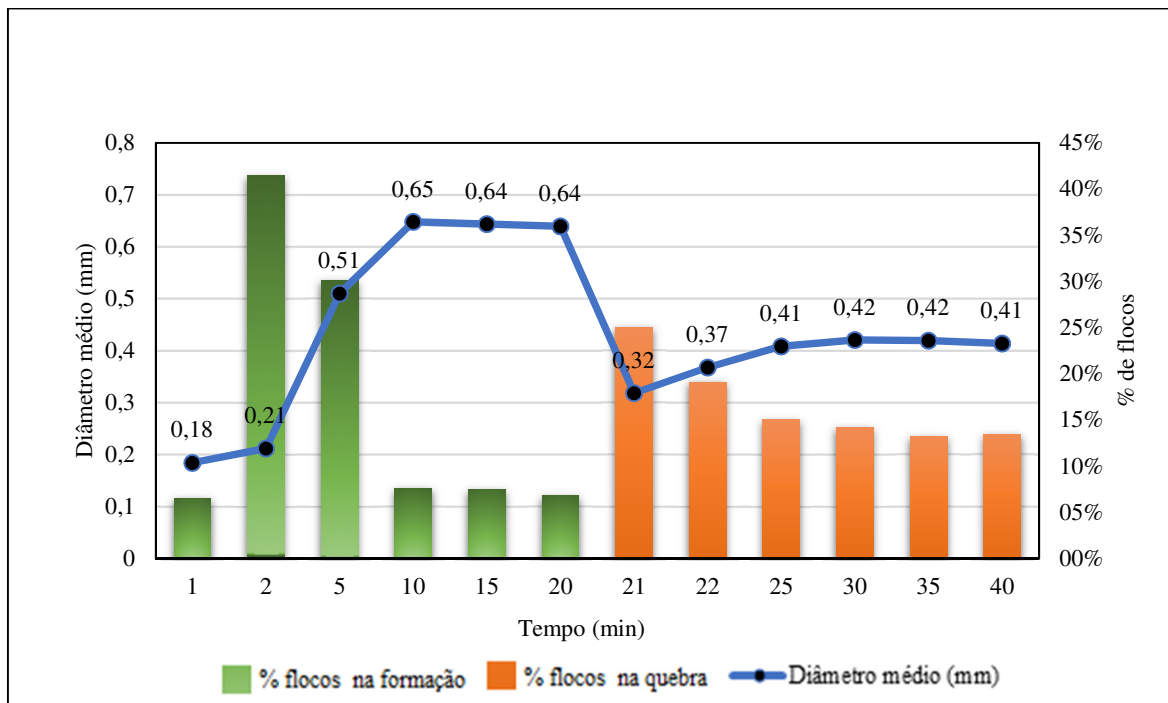
Figura 19 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 20 Pt/L-refloculação 5,0 mgFe/L e pH de 6,22)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 20 ilustra a evolução dos diâmetros médios dos flocos e o número flocos para a amostra com cor de 20 Pt/L e concentração de 7,5 mgFe/L no decorrer do tempo de floculação.

Figura 20 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 20 Pt/L, concentração 7,5 mgFe/L e pH de floculação de 6,11

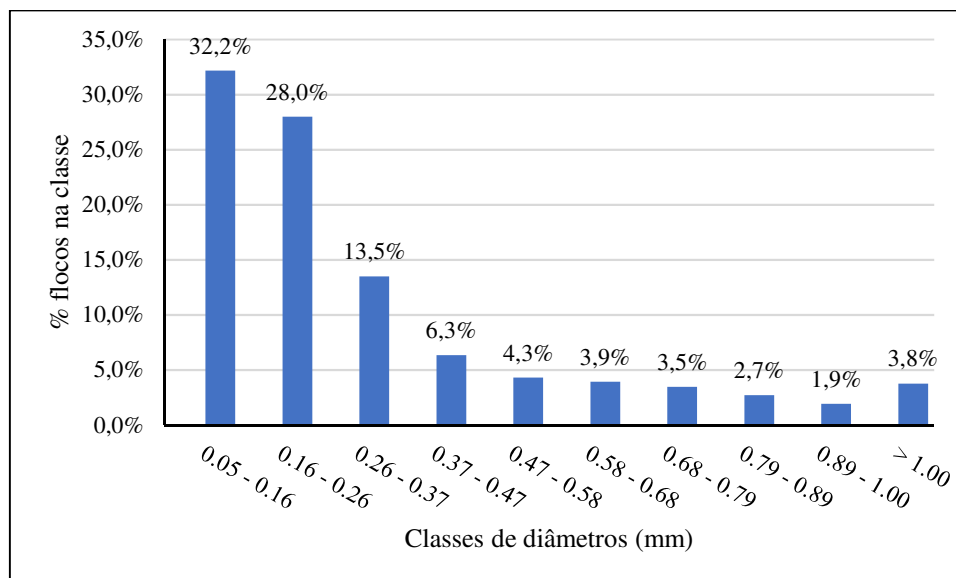


Fonte: Autor (2018)

Neste ensaio houve aumento do diâmetro do floco em toda a fase de formação, saindo de 0,18 para 0,70 mm. Já na regeneração houve uma certa estabilização nos valores de diâmetro médio dos flocos com aumento significativo do número de flocos e posterior estabilização em patamar inferior.

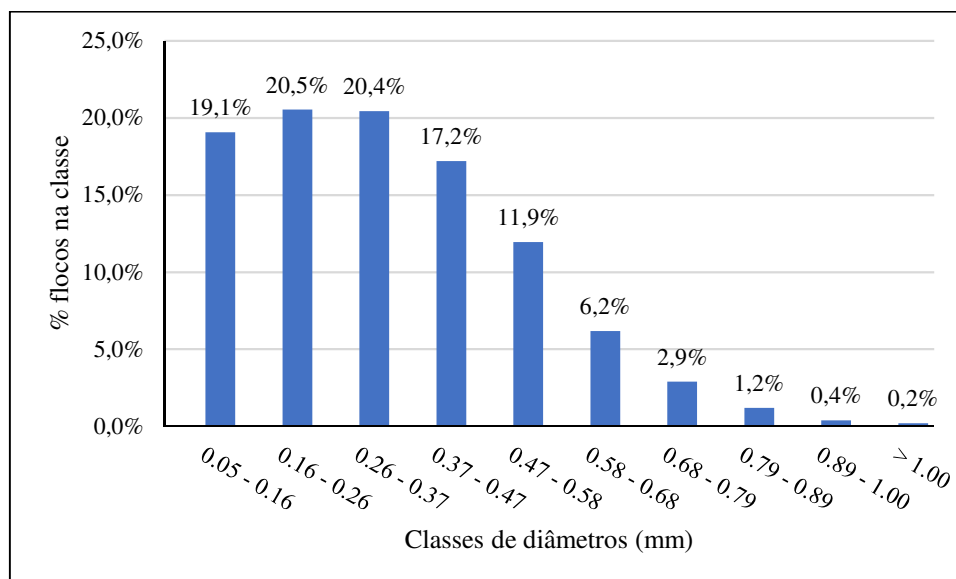
As Figuras 21 e 22 descrevem histogramas da (DTP) para a formação e a refloculação. Novamente observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e uma diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro (3,8 para 0,2% dos flocos).

Figura 21 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 20 Pt/L-floculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,11)



Fonte: Autor (2018)

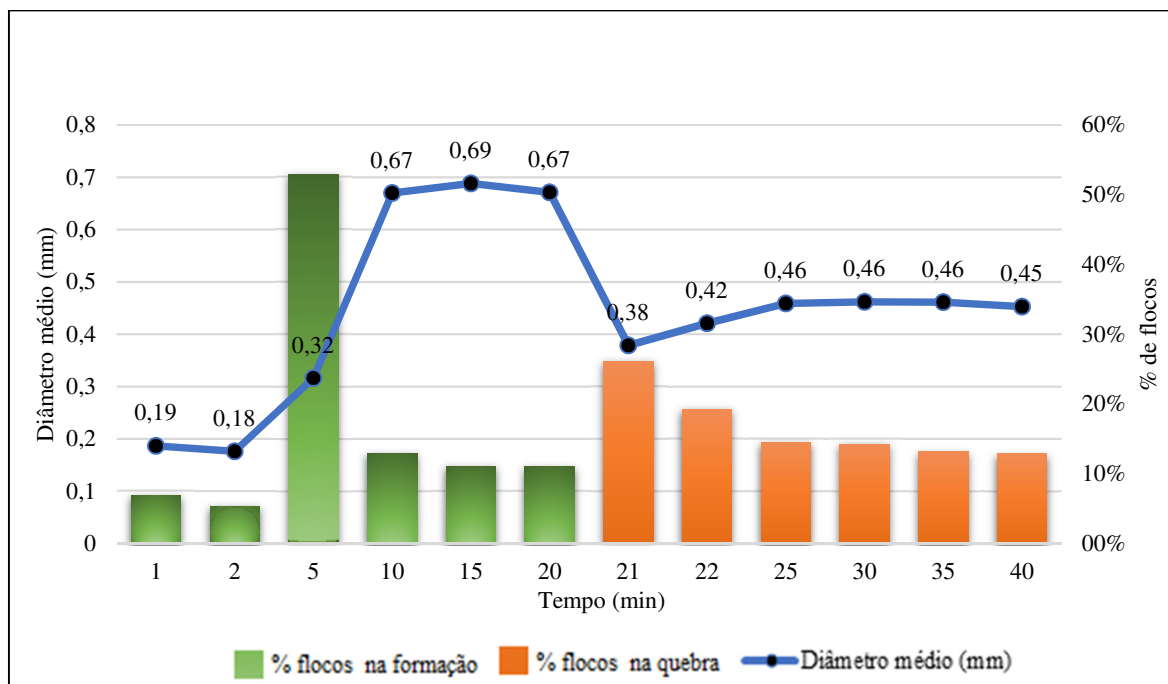
Figura 22 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 20 Pt/L-refloculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,07)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 20 ilustra a evolução dos diâmetros médios dos flocos e o número de flocos para a amostra com cor de 20 Pt/L e concentração de 10,0 mgFe/L no decorrer do tempo de floculação.

Figura 23 - Evolução do diâmetro médio e a percentagem de flocos, para amostra com cor de 20 Pt/L, concentração 10,0 mgFe/L e pH de floculação 6,04

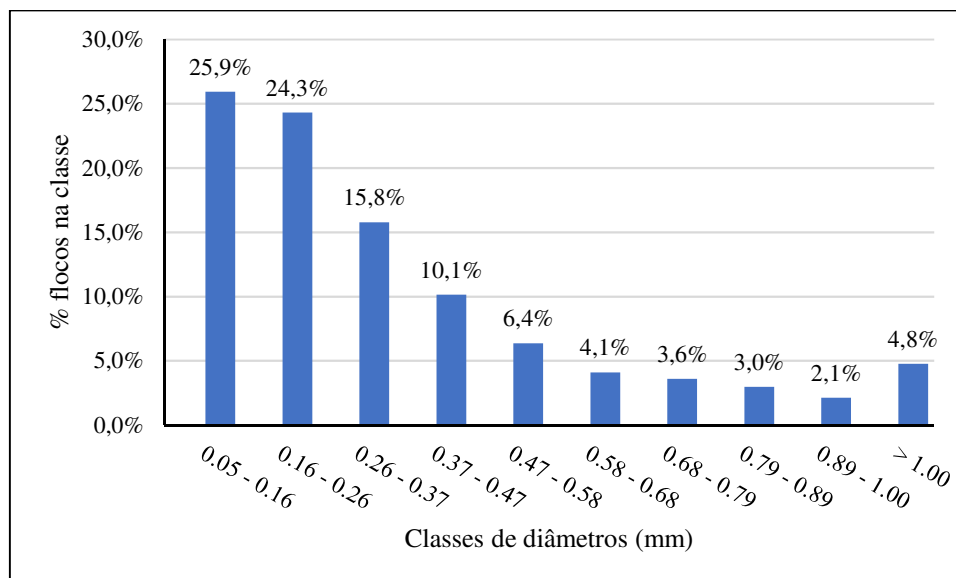


Fonte: Autor (2018)

No início do ensaio há um pequeno decréscimo no diâmetro médio (0,19 para 0,18 mm) e, posteriormente, aumento nos valores de diâmetro médio de 0,18 a 0,67 mm. Após a quebra dos flocos houve o estabelecimento de um patamar de estabilização com diâmetros médios dos flocos inferiores aos percebidos antes da quebra.

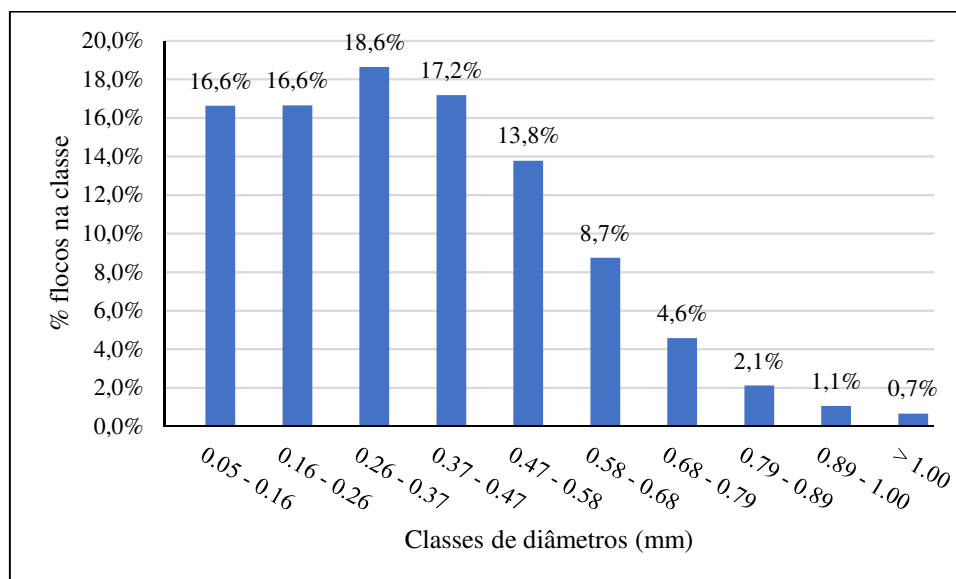
As Figuras 24 e 25 descrevem histogramas da DTP para a formação e a refloculação. Repetidamente observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e uma diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro (4,8 para 0,7% dos flocos).

Figura 24 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 20 Pt/L-floculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,04)



Fonte: Autor (2018)

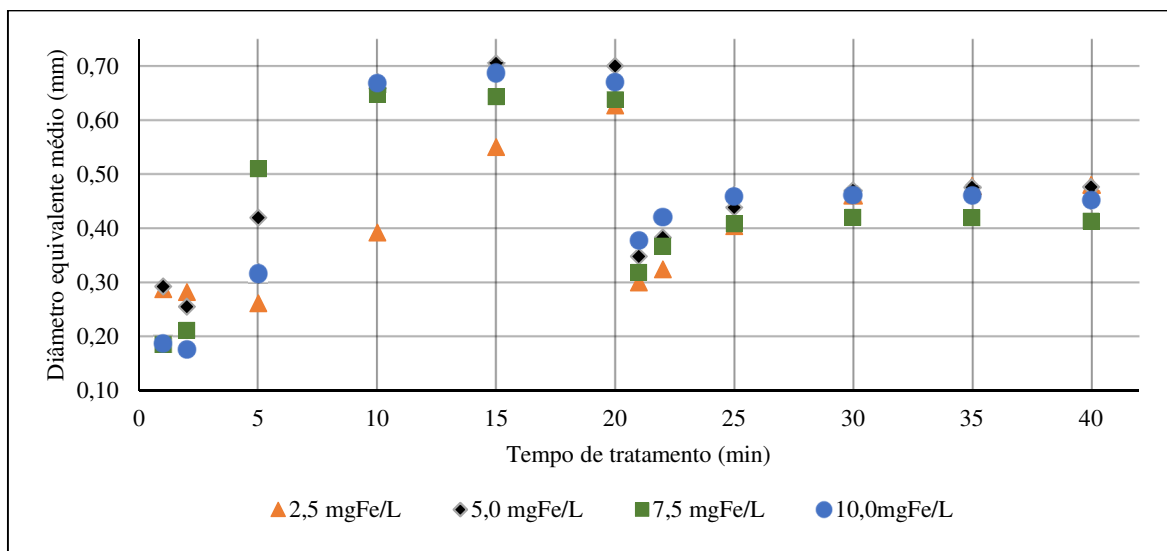
Figura 25 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 20 Pt/L-refloculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,09)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 26 ilustra a compilação dos dados obtidos nos ensaios conduzidos com água com cor de 20 Pt/L. Pode-se destacar que a concentração de 5,0 mgFe/L resultou no maior diâmetro médio na fase final da floculação e refloculação, 0,71 e 0,48 mm respectivamente.

Figura 26 - Evolução do diâmetro médio para amostra com cor de 20 Pt/L variando a concentração de cloreto férrico



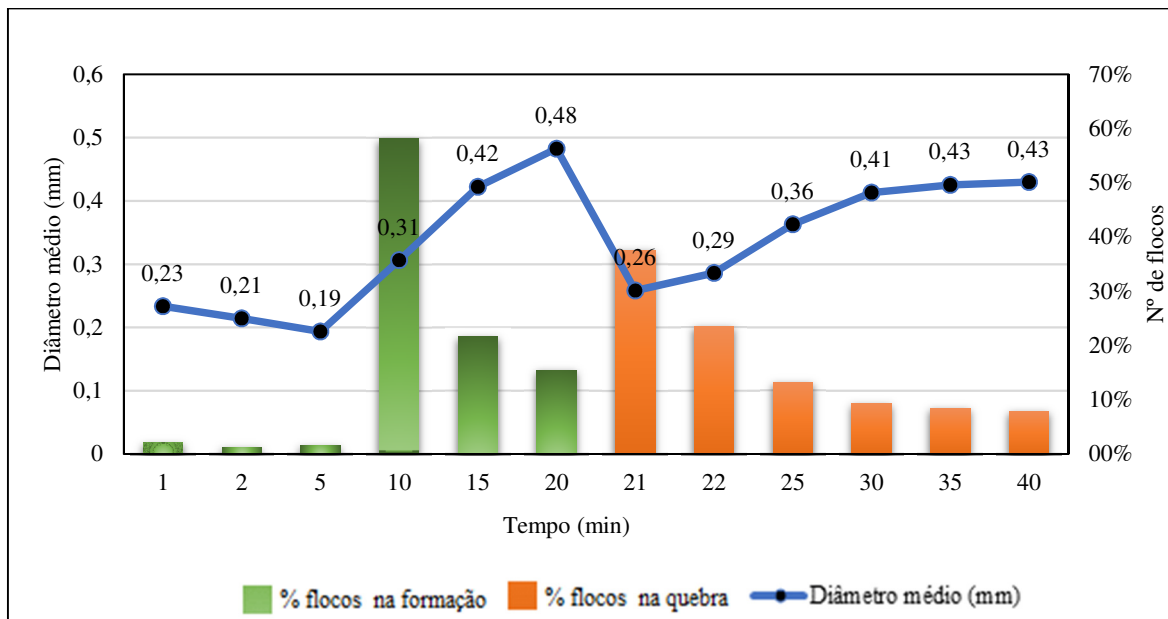
Fonte: Autor (2018)

Da mesma forma a concentração de 2,5 mgFe/L gerou menores valores de diâmetro na floculação enquanto a 7,5 mgFe/L originou os menores valores na refloculação. Foram observados comportamentos semelhantes entre os experimentos conduzidos com as diversas dosagens de coagulante, entretanto, com diferenças entre os patamares de estabilização dos diâmetros médios dos flocos.

4.2.2 Amostra de 50 Pt/L

A Figura 27 mostra a evolução do diâmetro médio do floco e do número de flocos durante o decorrer do tempo de floculação e refloculação para a amostra com cor de 50 Pt/L e concentração de 2,5 mgFe/L. A quebra deu-se no tempo de 20 minutos com gradiente de mistura de 1000 s^{-1} .

Figura 27 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem dos flocos, para amostra com cor de 50Pt/L, concentração 2,5 mgFe/L e pH de floculação 6,02

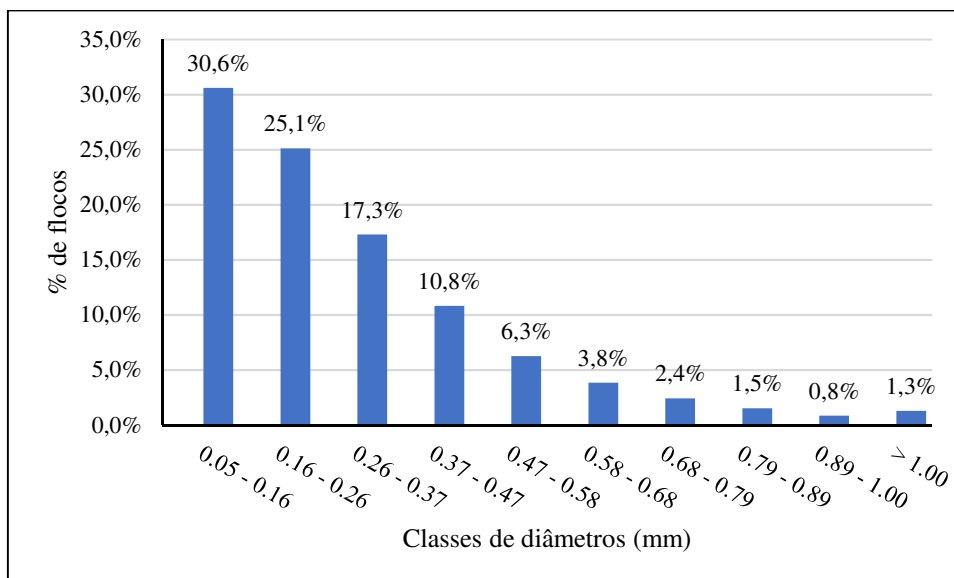


Fonte: Autor (2018)

No segundo minuto do tratamento verifica-se uma diminuição do diâmetro médio (0,23 para 0,19 mm), ao contrário percebe-se na maior parte do tempo de formação, ou seja, 0 a 20 minutos, um crescimento do diâmetro do floco (0,19 para 0,48 mm). Já na regeneração há uma redução do diâmetro médio acompanhado, com esperado, de um aumento do número de flocos no início da quebra com queda no número até o final do tempo de floculação.

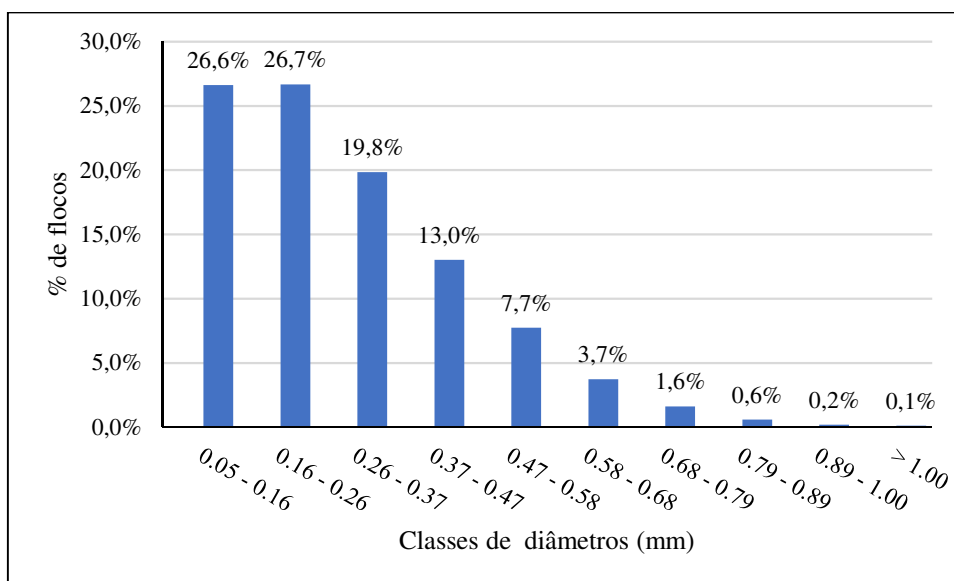
As Figuras 28 e 29 que se seguem descrevem histogramas da (DTP) durante a formação dos flocos antes e após a quebra (regeneração). Observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e uma diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro.

Figura 28 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 50Pt/L-floculação 2,5 mgFe/L e pH de 6,02)



Fonte: Autor (2018)

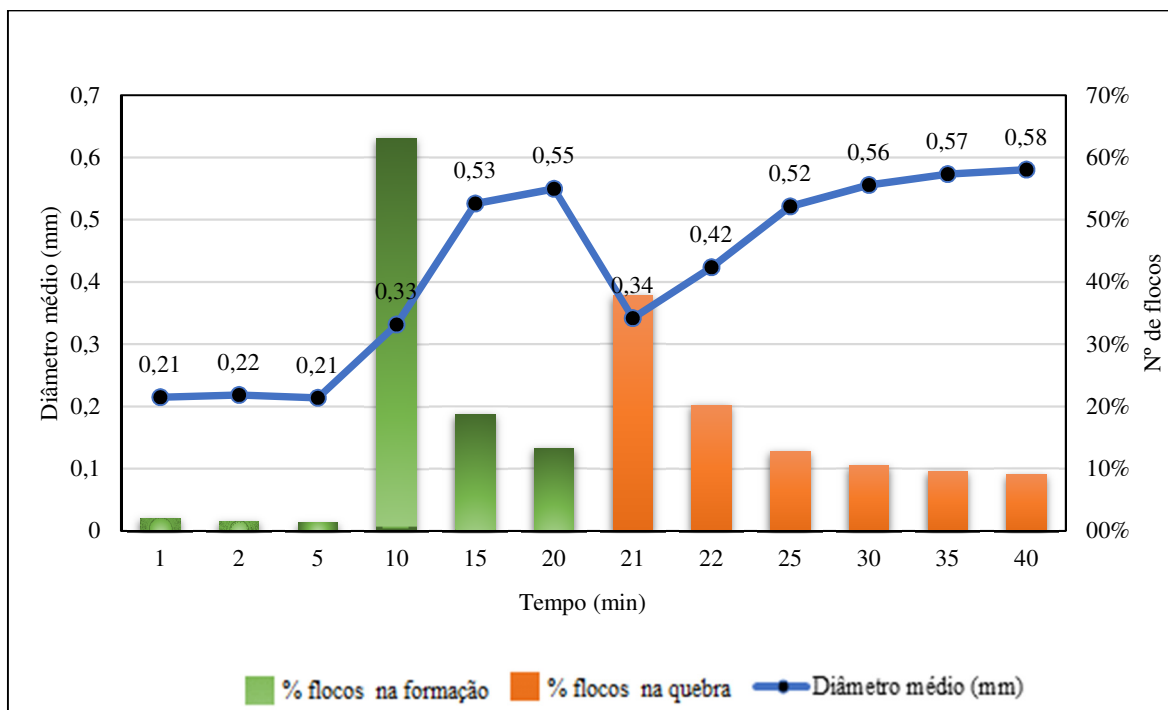
Figura 29 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 50Pt/L-refloculação 2,5 mgFe/L e pH de 5,98)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 30 ilustra a evolução do diâmetro médio do floco para a amostra com cor de 50 Pt/L e concentração de 5,0 mgFe/L.

Figura 30 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 50 Pt/L, concentração 5,0 mgFe/L e pH de floculação 6,06

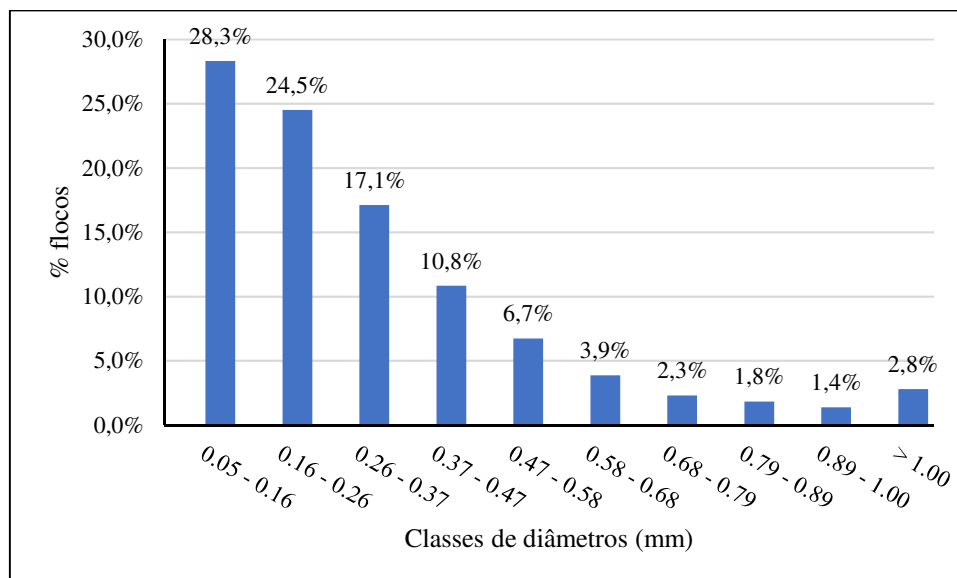


Fonte: Autor (2018)

Diferente da concentração de 2,5 mgFe/L, no segundo minuto do tratamento verifica-se um aumento do diâmetro médio dos flocos (0,21 para 0,55 mm). O mesmo ocorre na regeneração, gerando um diâmetro médio maior que no final da floculação, no entanto há um aumento do número de flocos no início da quebra e a partir daí há uma redução deste número até o final do tempo de floculação.

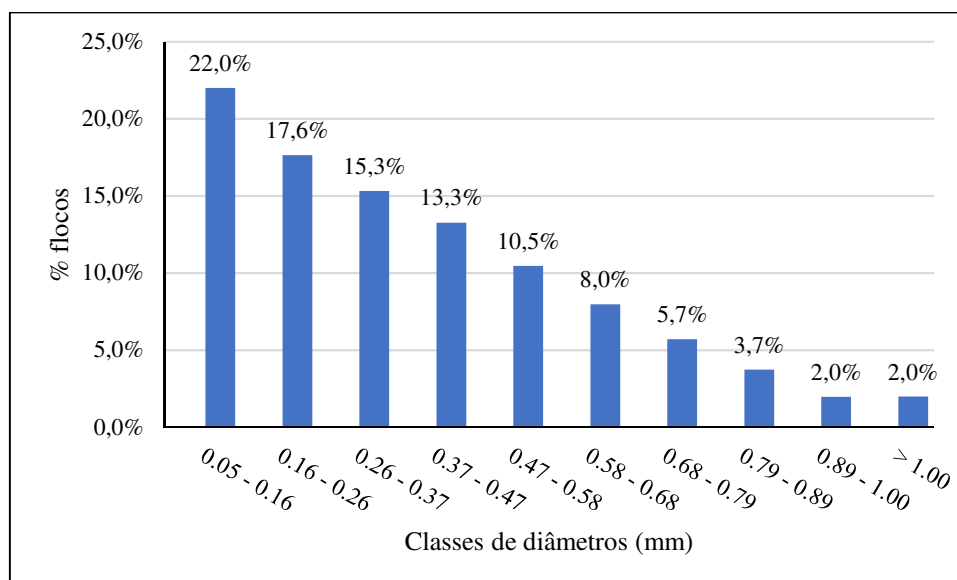
As Figuras 31 e 32 que se seguem descrevem histogramas da (DTP) para a formação e a refloculação (regeneração). Novamente observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e uma diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro.

Figura 31 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 50 Pt/L-floculação 5,0 mgFe/L e pH de 6,06)



Fonte: Autor (2018)

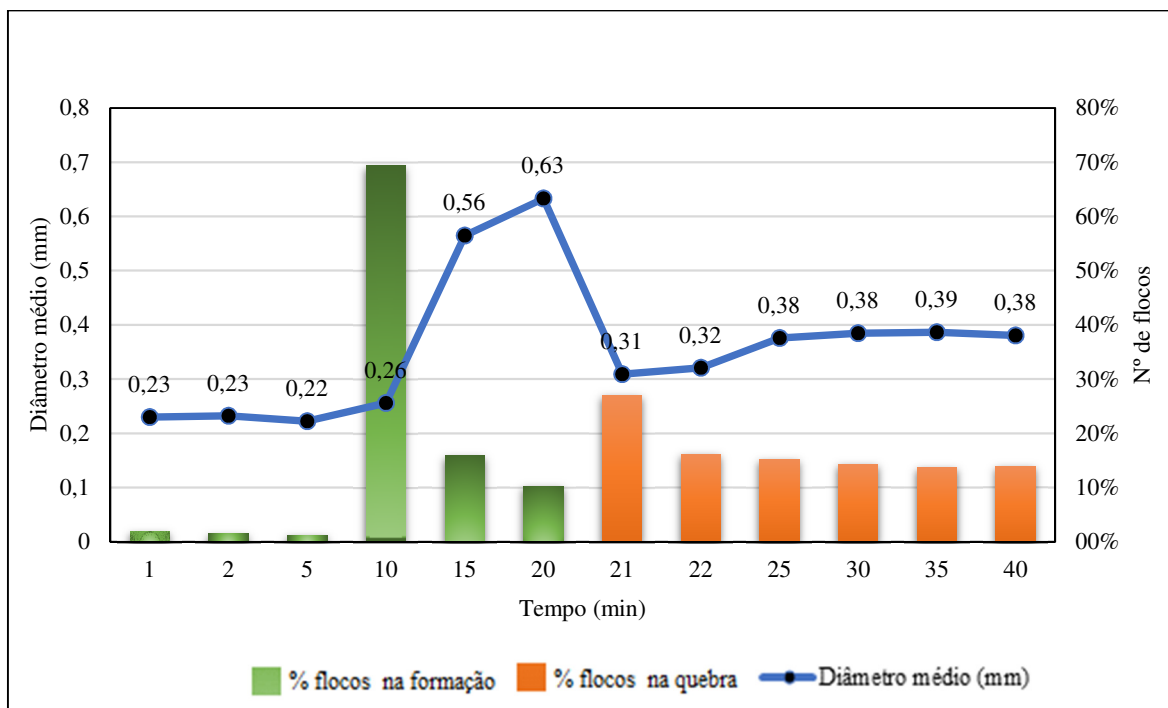
Figura 32 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 50 Pt/L-refloculação 5,0 mgFe/L e pH de 6,01)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 33 ilustra a evolução dos diâmetros médios dos flocos e o número flocos para a amostra com cor de 50Pt/L e concentração de 7,5 mgFe/L o decorrer do tempo de floculação.

Figura 33 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 50 Pt/L, concentração 7,5 mgFe/L e pH de floculação 6,03

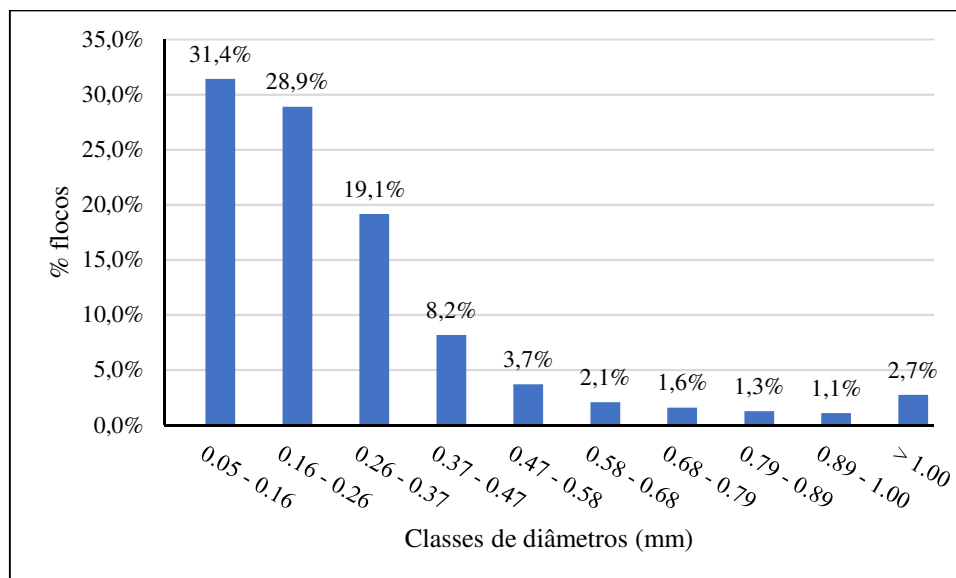


Fonte: Autor (2018)

Neste ensaio houve aumento do diâmetro do floco em toda a fase de formação, saindo de 0,23 para 0,63 mm. Já na regeneração houve uma certa estabilização nos valores de diâmetro médio dos flocos com aumento significativo do número de flocos e posterior estabilização em patamar inferior.

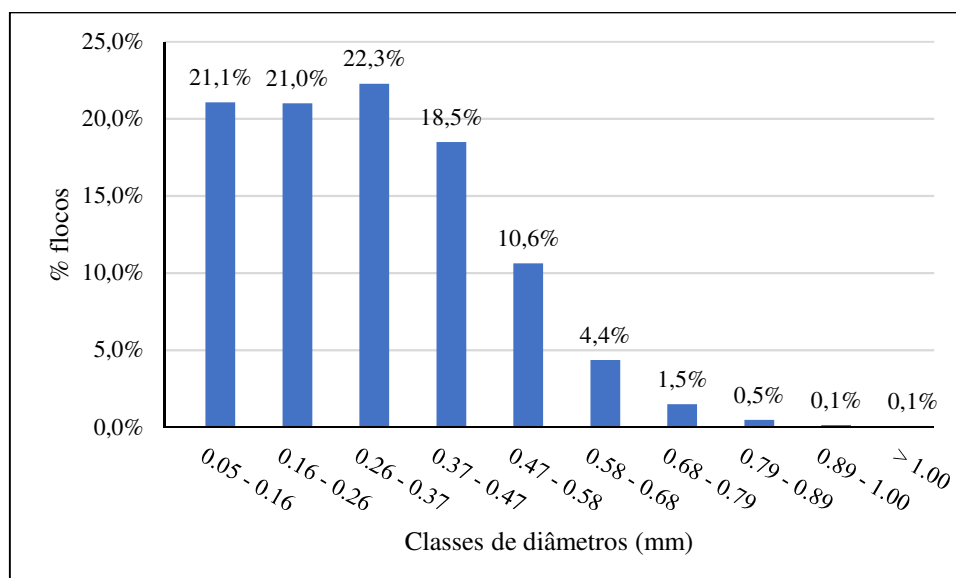
As Figuras 34 e 35 descrevem histogramas da (DTP) para a formação e a refloculação. Novamente observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e uma diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro (2,7 para 0,1% dos flocos).

Figura 34 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 50 Pt/L-floculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,03)



Fonte: Autor (2018)

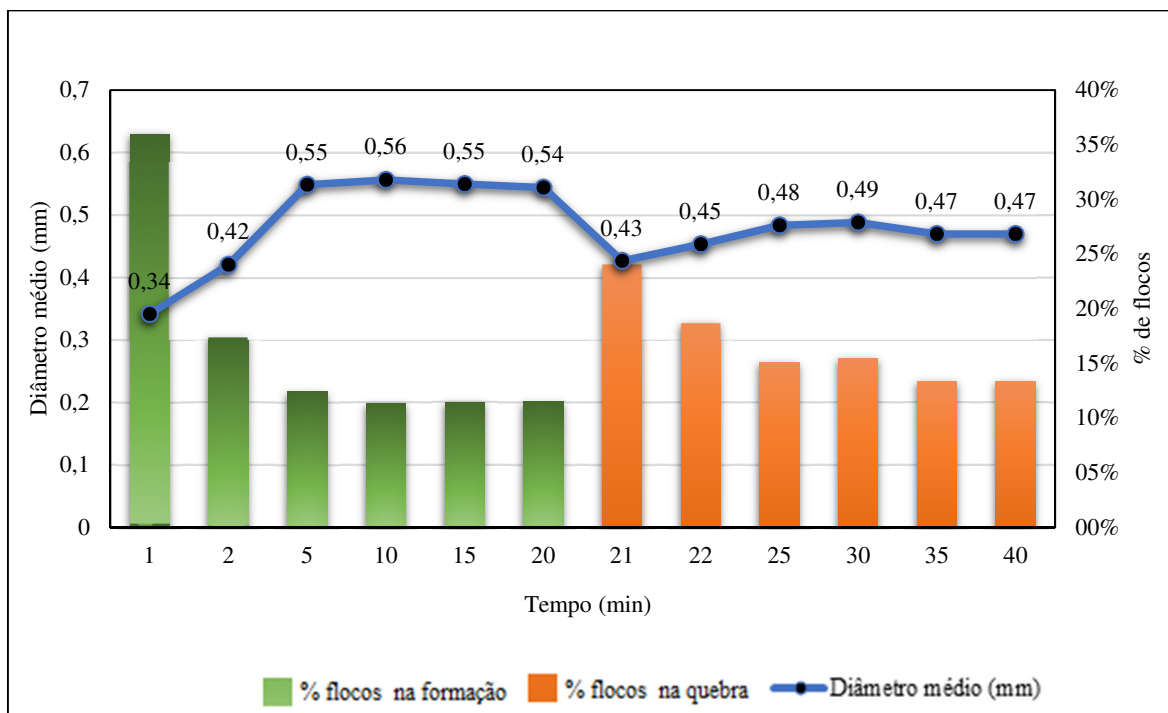
Figura 35 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 50 Pt/L-refloculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,07)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 36 ilustra a evolução dos diâmetros médios dos flocos e o número de flocos para a amostra com cor de 50 Pt/L e concentração de 10,0 mgFe/L no decorrer do tempo de floculação.

Figura 36 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 50 Pt/L, concentração 10,0 mgFe/L e pH de floculação de 6,15

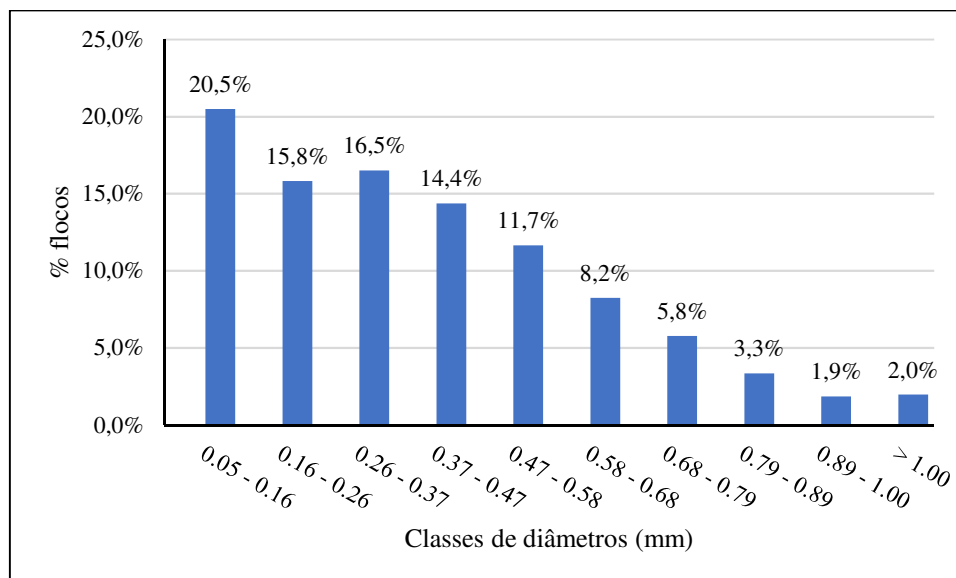


Fonte: Autor (2018)

No início do ensaio há um acréscimo no diâmetro médio (0,34 para 0,55 mm) e, posteriormente, há estabilização. Após a quebra dos flocos houve o estabelecimento de um patamar de estabilização com diâmetros médios dos flocos inferiores aos percebidos antes da quebra.

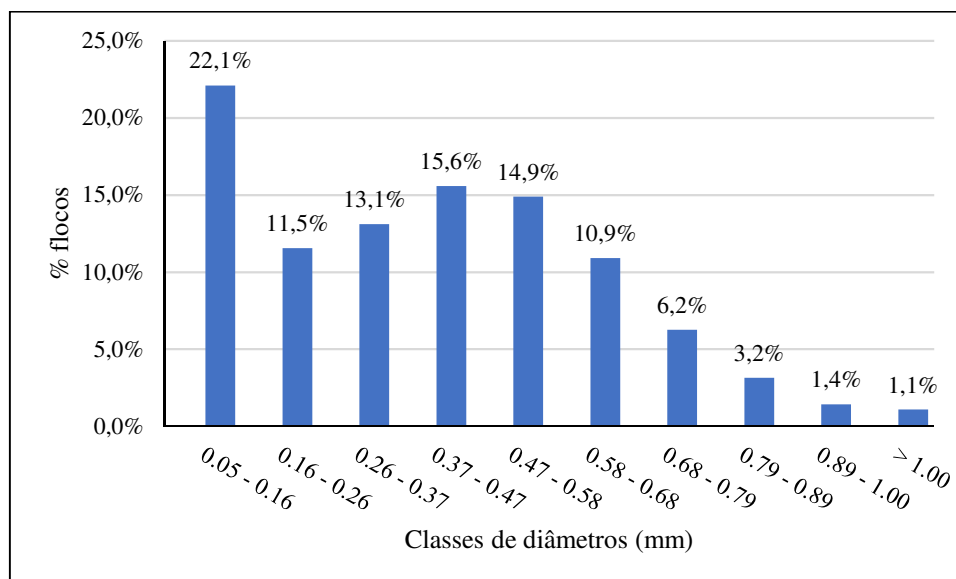
As Figuras 37 e 38 descrevem histogramas da DTP para a formação e a refloculação. Repetidamente observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e uma diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro (2,0 para 1,1% de flocos).

Figura 37 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 50 Pt/L-floculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,15)



Fonte: Autor (2018)

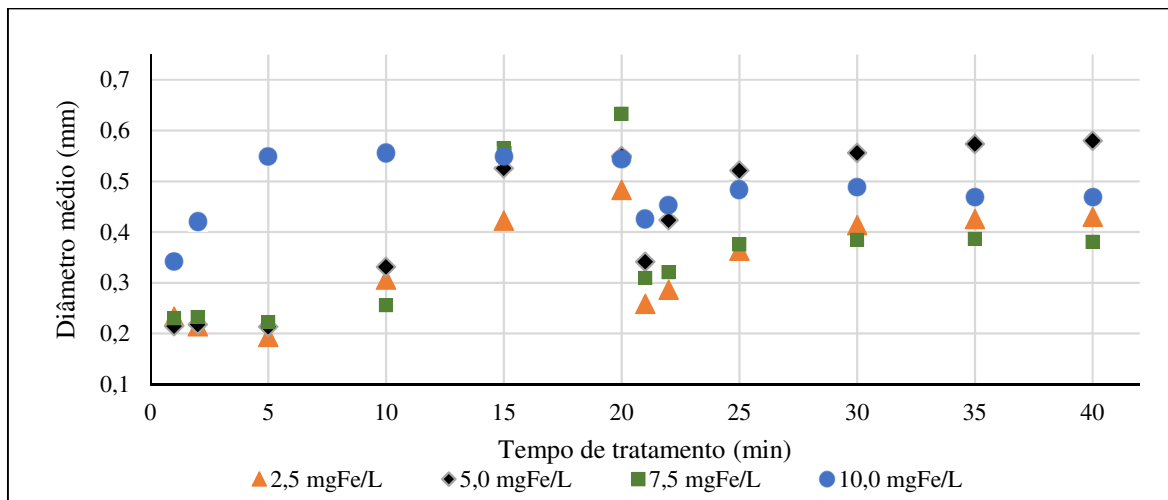
Figura 38 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 50 Pt/L- refloculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,12)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 39 ilustra a compilação dos dados obtidos nos ensaios conduzidos com água com cor de 50 Pt/L. Pode-se destacar que a concentração de 7,5 mgFe/L resultou no maior diâmetro médio na fase final da floculação, já na refloculação sobressai a concentração de 5,0 mgFe/L, com 0,58 mm de diâmetro.

Figura 39 - Evolução do diâmetro médio para amostra com cor de 50Pt/L variando a concentração de coagulante



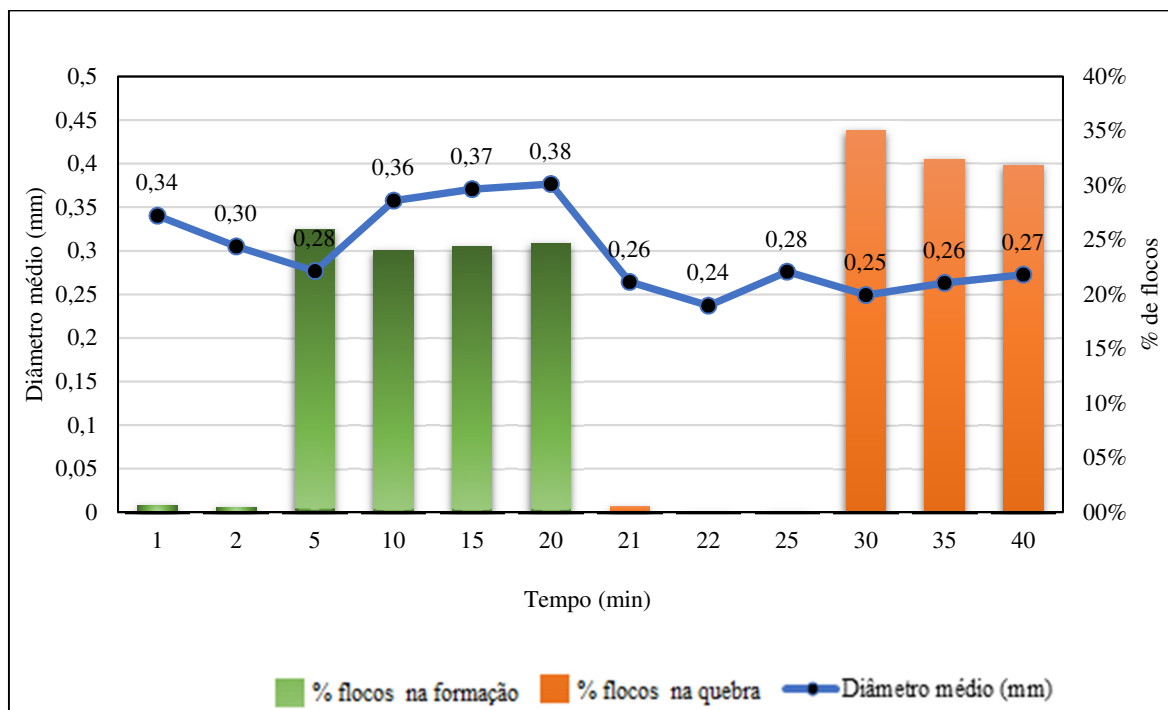
Fonte: Autor (2018)

Da mesma forma a concentração de 2,5 mgFe/L gerou menores valores de diâmetro na floculação enquanto a 7,5 mgFe/L originou os menores valores na refloculação. Foram observados comportamentos semelhantes entre os experimentos conduzidos com as diversas dosagens de coagulante, entretanto, com diferenças entre os patamares de estabilização dos diâmetros médios dos flocos.

4.2.3 Amostra de 100 Pt/L

A Figura 40 mostra a evolução do diâmetro médio do floco e do número de flocos durante o decorrer do tempo de floculação e refloculação para a amostra com cor de 100 Pt/L e concentração de 2,5 mgFe/L. A quebra deu-se no tempo de 20 minutos com gradiente de mistura de 1000 s^{-1} .

Figura 40 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 100Pt/L, concentração 2,5 mgFe/L e pH de floculação de 5,95

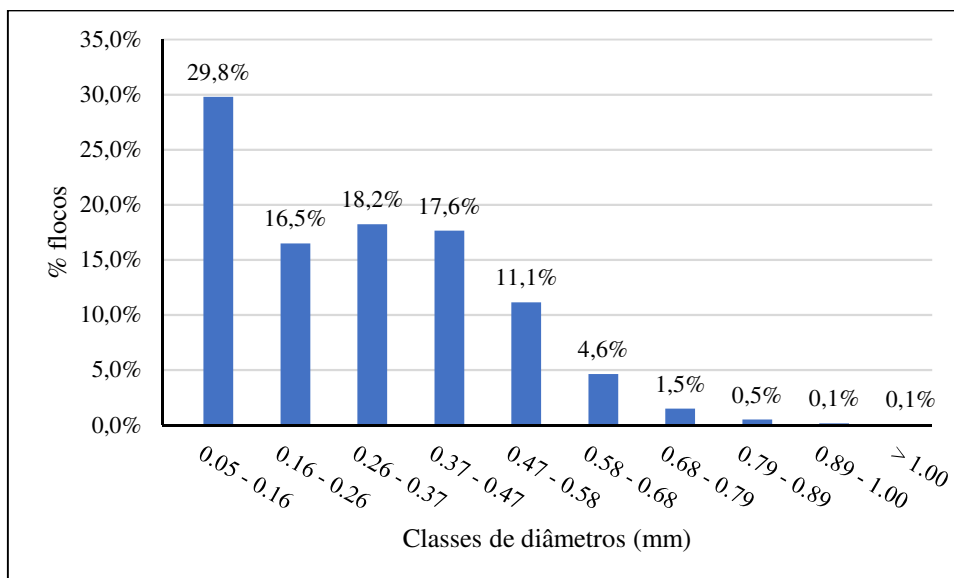


Fonte: Autor (2018)

Até o quinto minuto do tratamento verifica-se uma diminuição do diâmetro médio (0,34 para 0,28 mm), ao contrário percebe-se na maior parte do tempo de formação, ou seja, 5 a 20 minutos, um crescimento do diâmetro do floco (0,28 para 0,38 mm). Já na regeneração há uma redução do diâmetro médio acompanhado e uma grande diminuição do número de flocos no início da quebra.

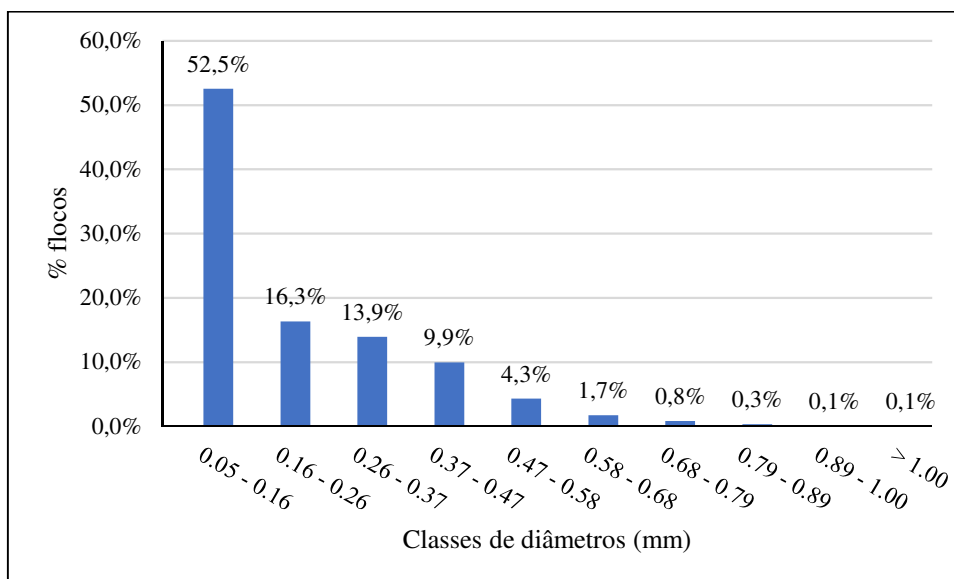
As Figuras 41 e 42 que se seguem descrevem histogramas da (DTP) durante a formação dos flocos antes e após a quebra (regeneração). Observa-se que para os flocos maiores que 1,0 mm houve uma estabilização em 0,1% do total de flocos, antes e depois da quebra.

Figura 41 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 100Pt/L-floculação 2,5 mgFe/L e pH de 5,95)



Fonte: Autor (2018)

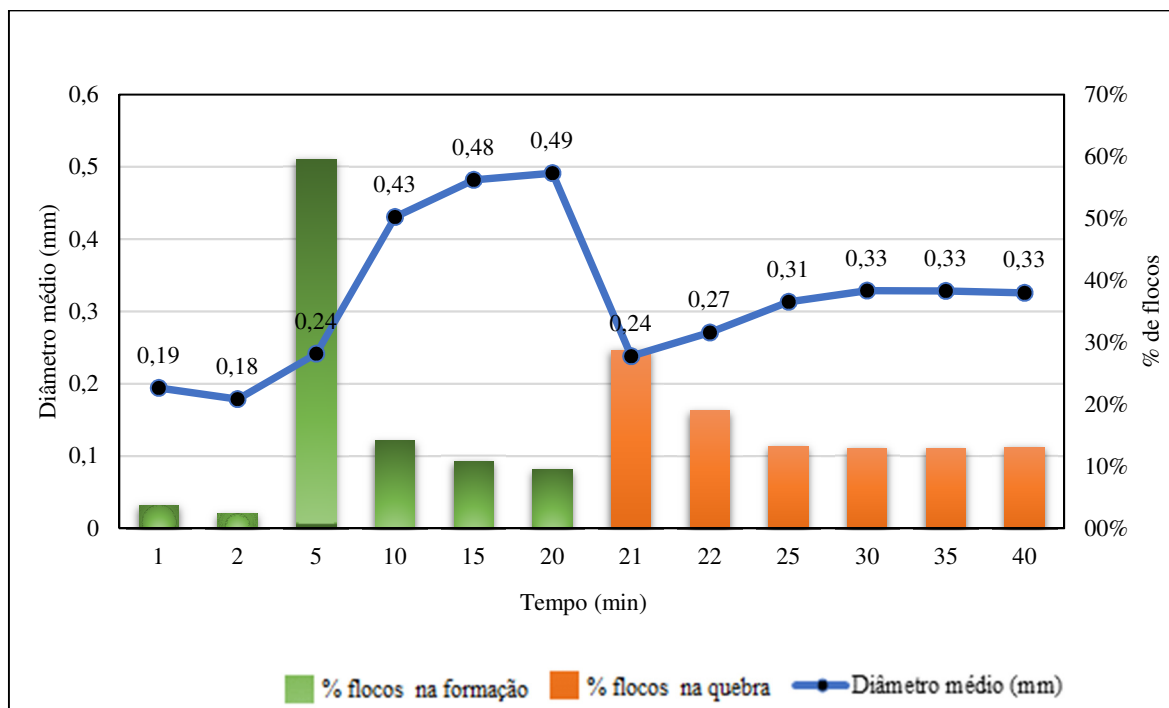
Figura 42 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 100Pt/L-refloculação 2,5 mgFe/L e pH de 5,90)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 43 ilustra a evolução do diâmetro médio do floco para a amostra com cor de 100Pt/L e concentração de 5,0 mgFe/L.

Figura 43 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 100 Pt/L, concentração 5,0 mgFe/L e pH de floculação de 5,94

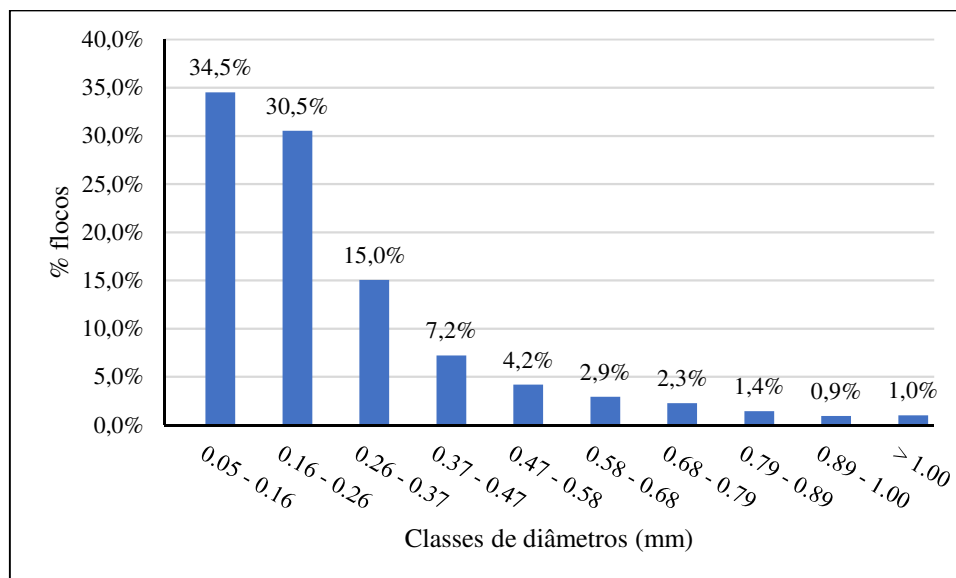


Fonte: Autor (2018)

Diferente da concentração de 2,5 mgFe/L, no segundo minuto do tratamento verifica-se uma diminuição do diâmetro médio dos flocos, entretanto, observa-se na maior parte do tempo um aumento do diâmetro do floco (0,18 para 0,49 mm). Já na regeneração há uma redução do diâmetro médio, no entanto há um aumento do número de flocos no início da quebra e a partir daí há uma redução deste número até o final do tempo de floculação.

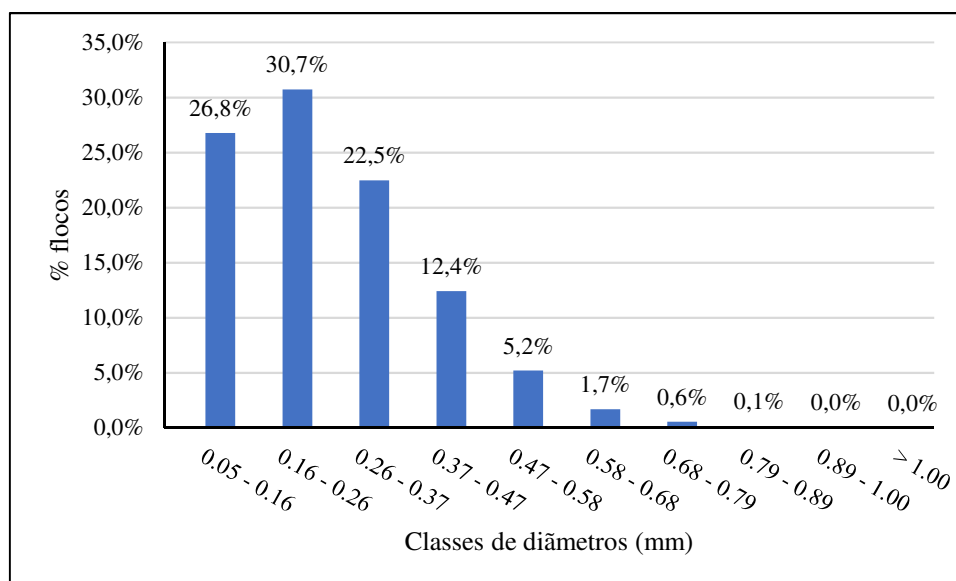
As Figuras 45 e 45 que se seguem descrevem histogramas da (DTP) para a formação e a refloculação (regeneração). Novamente observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e uma grande diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro.

Figura 44 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 100 Pt/L- floculação 5,0 mgFe/L e pH de 5,94)



Fonte: Autor (2018)

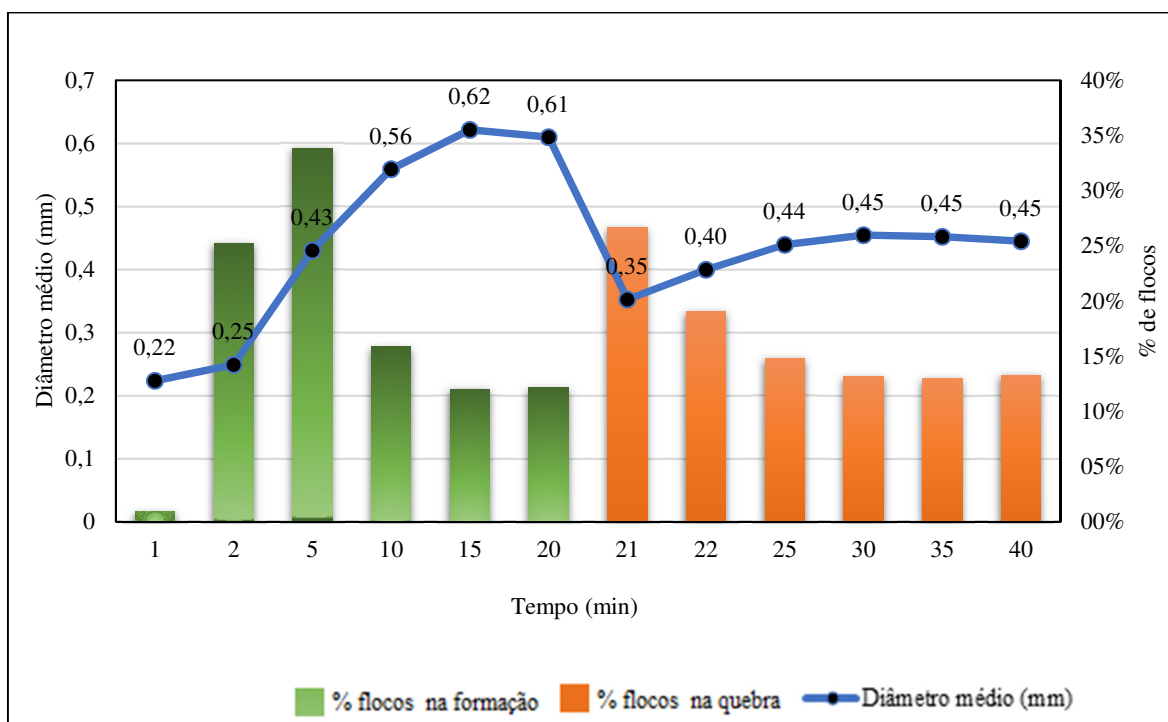
Figura 45 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 100 Pt/L- refloculação 5,0 mgFe/L e pH de 5,97)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 46 ilustra a evolução dos diâmetros médios dos flocos e o número flocos para a amostra com cor de 100Pt/L e concentração de 7,5 mgFe/L no decorrer do tempo de floculação.

Figura 46 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 100 Pt/L, concentração 7,5 mgFe/L e pH de floculação 6,13

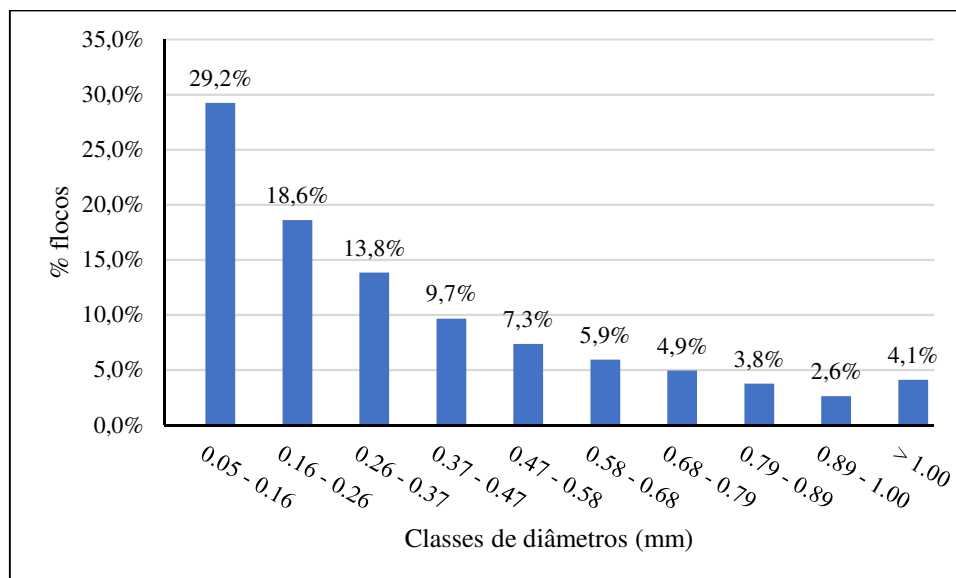


Fonte: Autor (2018)

Neste ensaio houve, na maior parte da floculação, aumento do diâmetro do floco, saindo de 0,22 para 0,62 mm. Já na regeneração houve uma certa estabilização nos valores de diâmetro médio dos flocos com aumento significativo do número de flocos e posterior estabilização em patamar inferior.

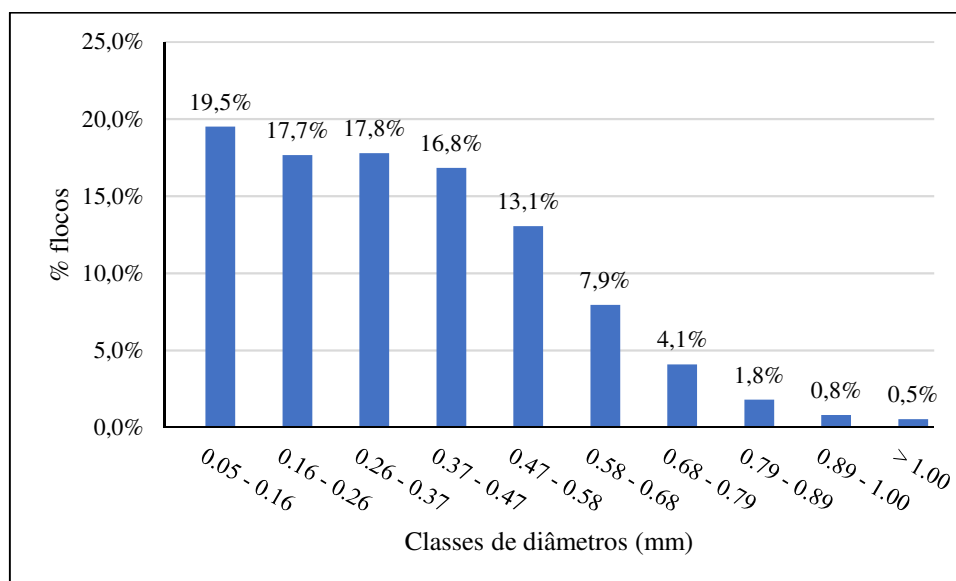
As Figuras 47 e 48 descrevem histogramas da (DTP) para a formação e a refloculação. Novamente observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e uma grande diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro (4,1% para 0,5% do total de flocos).

Figura 47 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 100 Pt/L- floculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,13)



Fonte: Autor (2018)

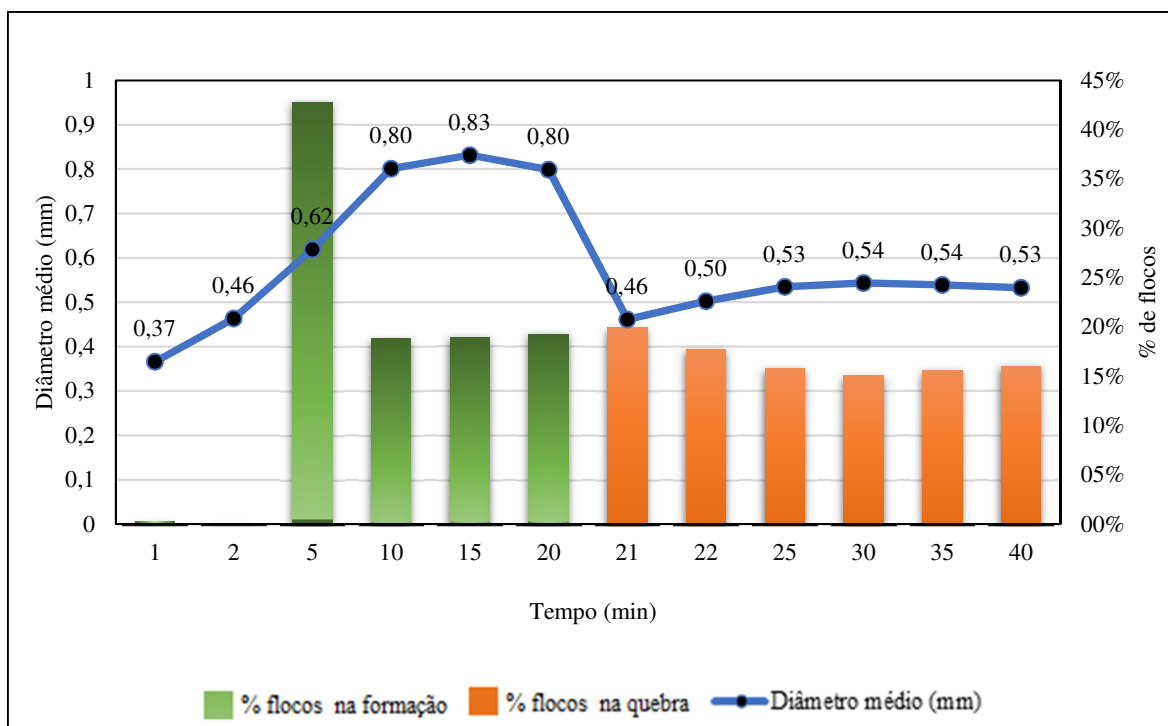
Figura 48 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 100 Pt/L- refloculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,10)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 49 ilustra a evolução dos diâmetros médios dos flocos e o número de flocos para a amostra com cor de 100Pt/L e concentração de 10,0 mgFe/L no decorrer do tempo de floculação.

Figura 49 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 100 Pt/L, concentração 10,0 mgFe/L e pH de floculação de 6,16

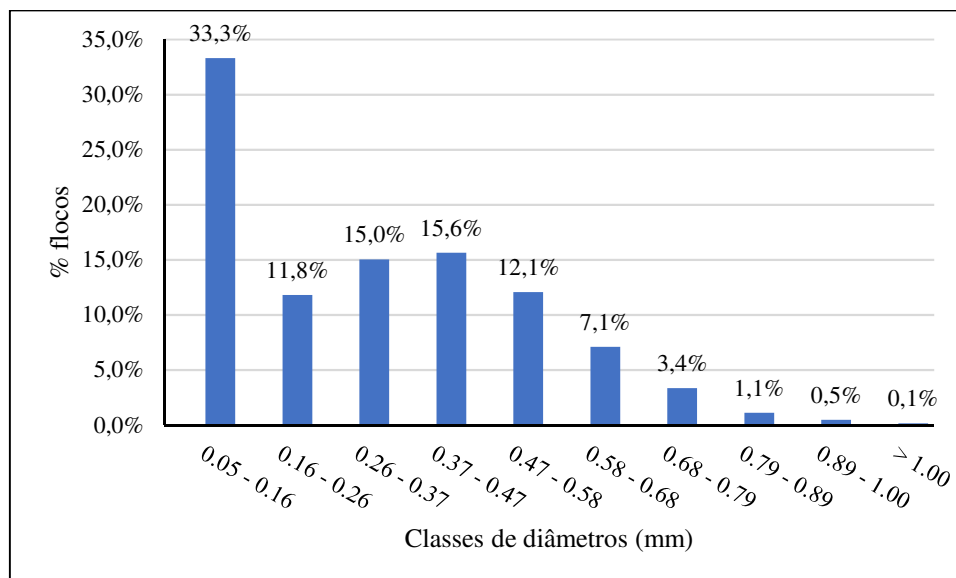


Fonte: Autor (2018)

Na maior parte do tempo de floculação há um acréscimo no diâmetro médio (0,37 para 0,83 mm). Após a quebra dos flocos houve o estabelecimento de um patamar de estabilização com diâmetros médios dos flocos inferiores aos percebidos antes da quebra.

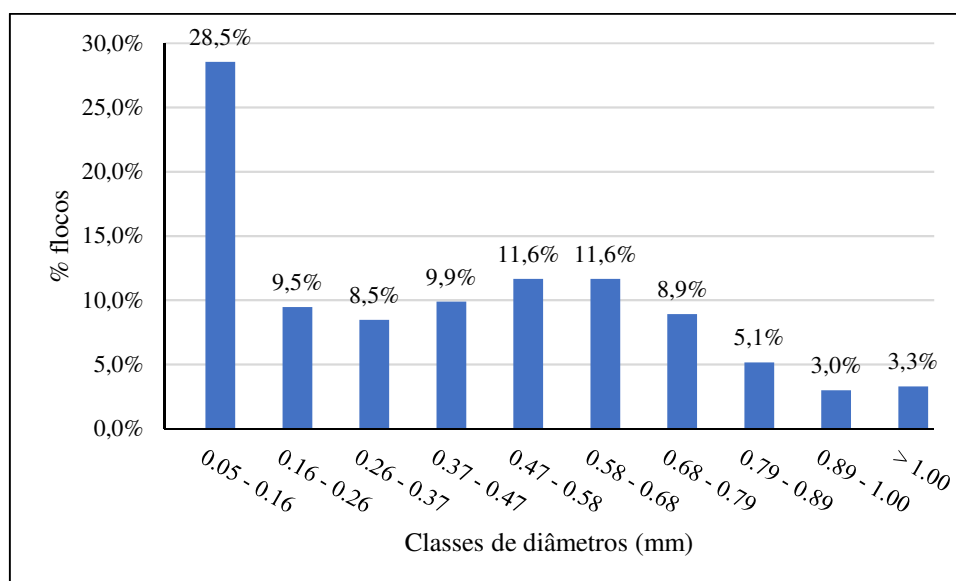
As Figuras 50 e 51 descrevem histogramas da DTP para a formação e a refloculação. Repetidamente observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e uma diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro (0,1% para 3,3% do total de flocos).

Figura 50 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 100 Pt/L- floculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,16)



Fonte: Autor (2018)

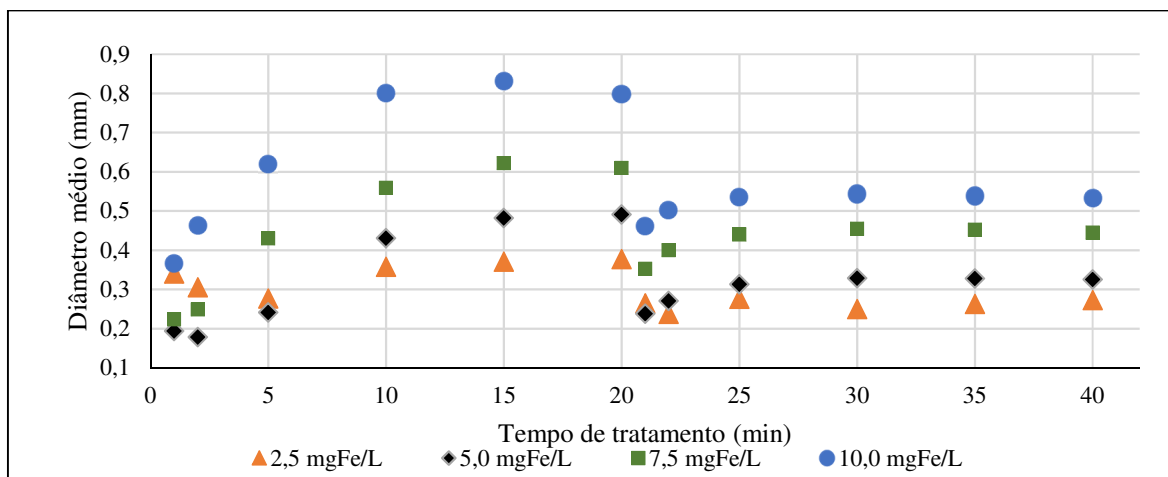
Figura 51 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 100 Pt/L- refloculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,12)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 52 ilustra a compilação dos dados obtidos nos ensaios conduzidos com água com cor de 100 Pt/L. Pode-se destacar que a concentração de 10,0 mgFe/L resultou no maior diâmetro médio na fase final da floculação e refloculação, 0,80 e 0,53 mm respectivamente.

Figura 52 - Evolução do diâmetro médio para amostra com cor de 100Pt/L variando a concentração de coagulante



Fonte: Autor (2018)

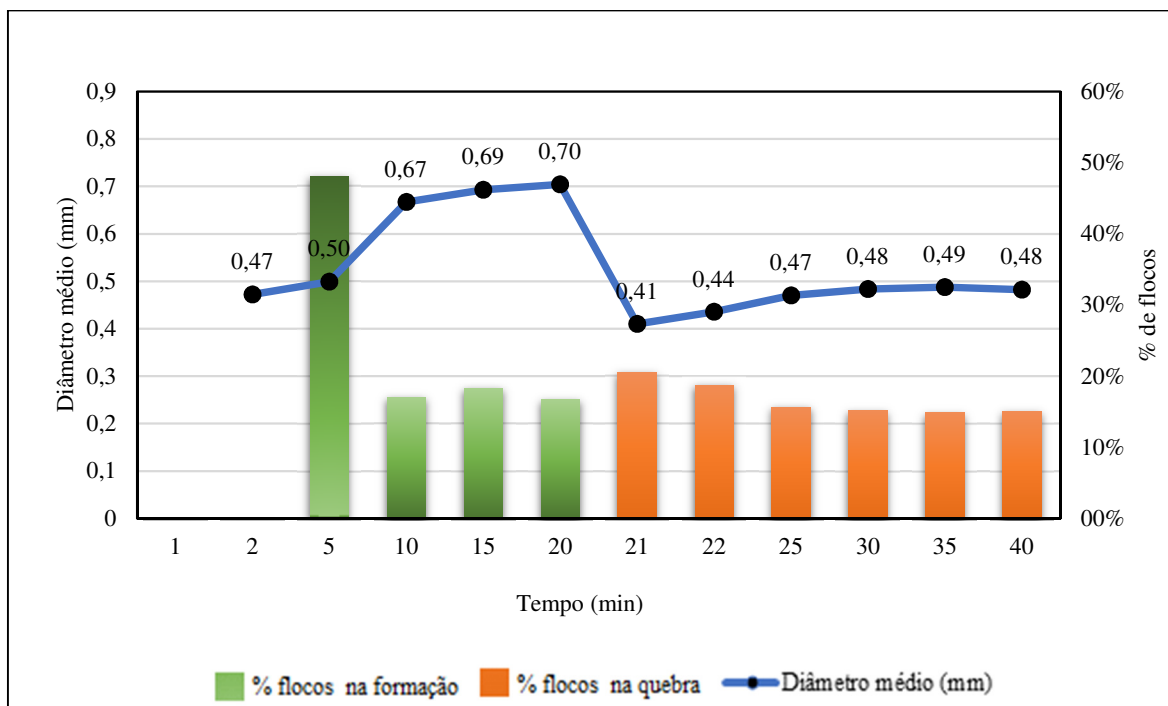
Da mesma forma a concentração de 2,5 mgFe/L gerou menores valores de diâmetro na floculação e refloculação. Foram observados comportamentos semelhantes entre os experimentos conduzidos com as diversas dosagens de coagulante, entretanto, com diferenças entre os patamares de estabilização dos diâmetros médios dos flocos.

4.2.4 Amostra de 150 Pt/L

Para amostra de 150 Pt/L e concentração de 2,5 mgFe/L não houve floculação, podendo ser em consequência da alta carga de cor e a baixa concentração de coagulante.

A Figura 53 ilustra a evolução do diâmetro médio do floco para a amostra com cor de 150Pt/L e concentração de 5,0 mgFe/L.

Figura 53 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 150 Pt/L, concentração 5,0 mgFe/L e pH de floculação de 5,99

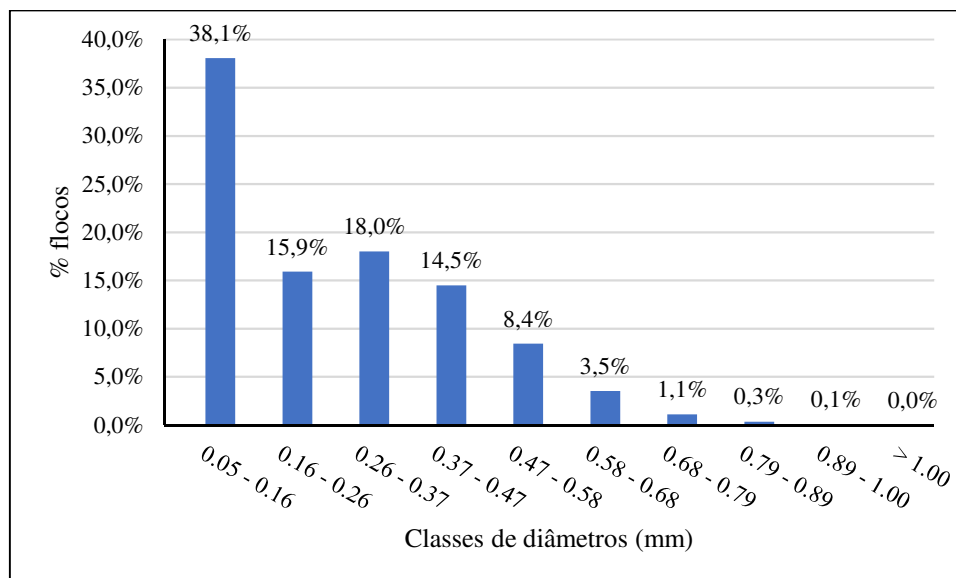


Fonte: Autor (2018)

Em toda a floculação houve um aumento do diâmetro médio dos flocos (0,47 para 0,70 mm), no entanto, a geração de flocos sucedeu apenas depois do segundo minuto. Já na regeneração há uma redução do diâmetro médio, no entanto há um aumento do número de flocos no início da quebra e a partir daí há uma redução deste número até o final do tempo de floculação.

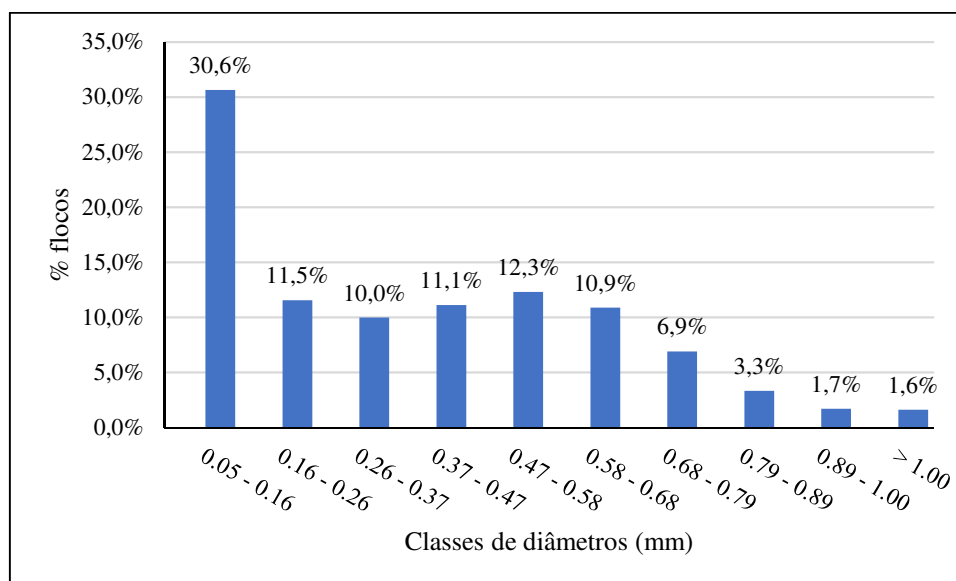
As Figuras 54 e 55 que se seguem descrevem histogramas da (DTP) para a formação e a refloculação (regeneração). Novamente observa-se um grande aumento do número de flocos e do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro depois da quebra.

Figura 54 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 150 Pt/L- floculação 5,0 mgFe/L e pH de 5,99)



Fonte: Autor (2018)

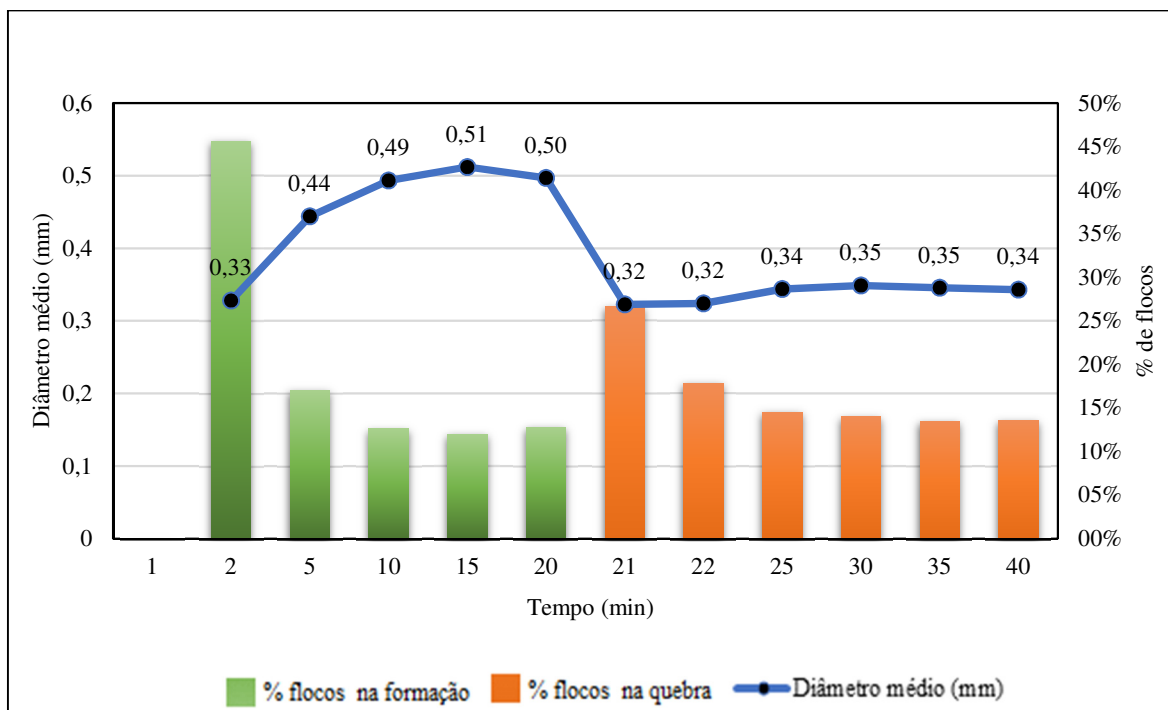
Figura 55 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 150 Pt/L- refloculação 5,0 mgFe/L e pH de 6,07)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 56 ilustra a evolução dos diâmetros médios dos flocos e o número flocos para a amostra com cor de 150Pt/L e concentração de 7,5 mgFe/L no decorrer do tempo de floculação.

Figura 56 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 150 Pt/L, concentração 7,5 mgFe/L e pH de floculação de 6,10

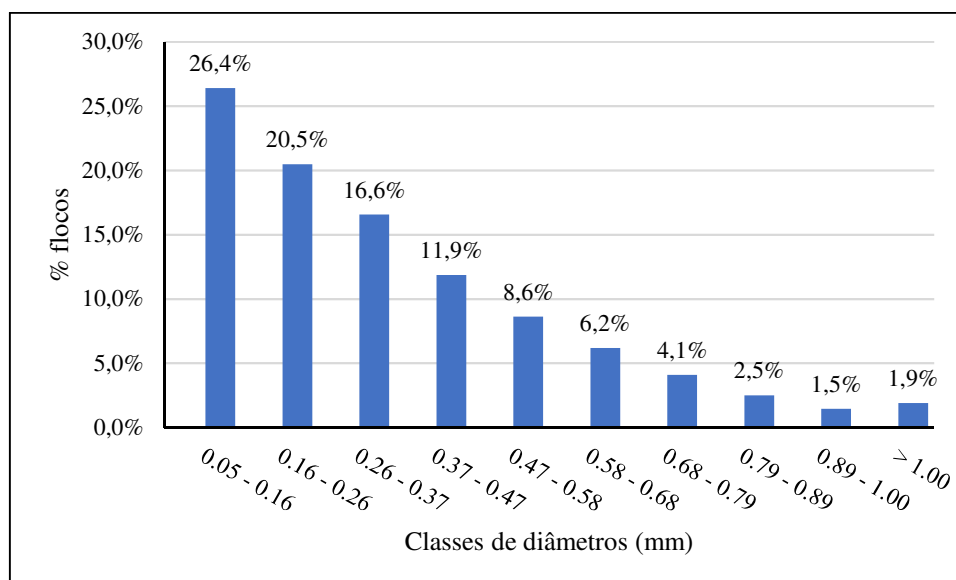


Fonte: Autor (2018)

Neste ensaio houve, na maior parte da floculação, aumento do diâmetro do floco, saindo de 0,33 para 0,51 mm, no entanto, a geração de flocos sucedeu apenas depois do segundo minuto. Já na regeneração houve uma certa estabilização nos valores de diâmetro médio dos flocos com aumento significativo do número de flocos e posterior estabilização em patamar inferior.

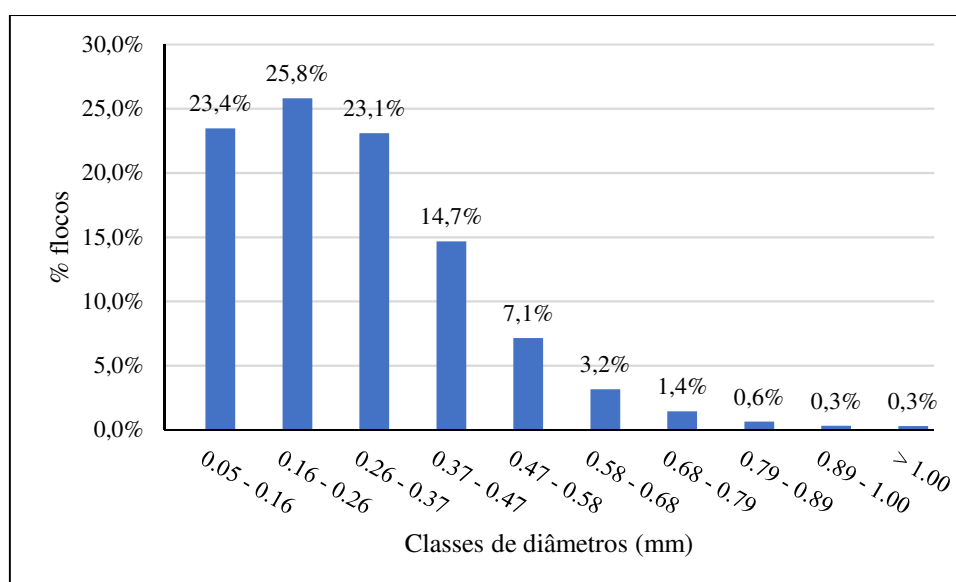
As Figuras 57 e 58 descrevem histogramas da (DTP) para a formação e a refloculação. Novamente observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e grande uma diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro (1,9% para 0,3% do total de flocos).

Figura 57 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 150 Pt/L- floculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,10)



Fonte: Autor (2018)

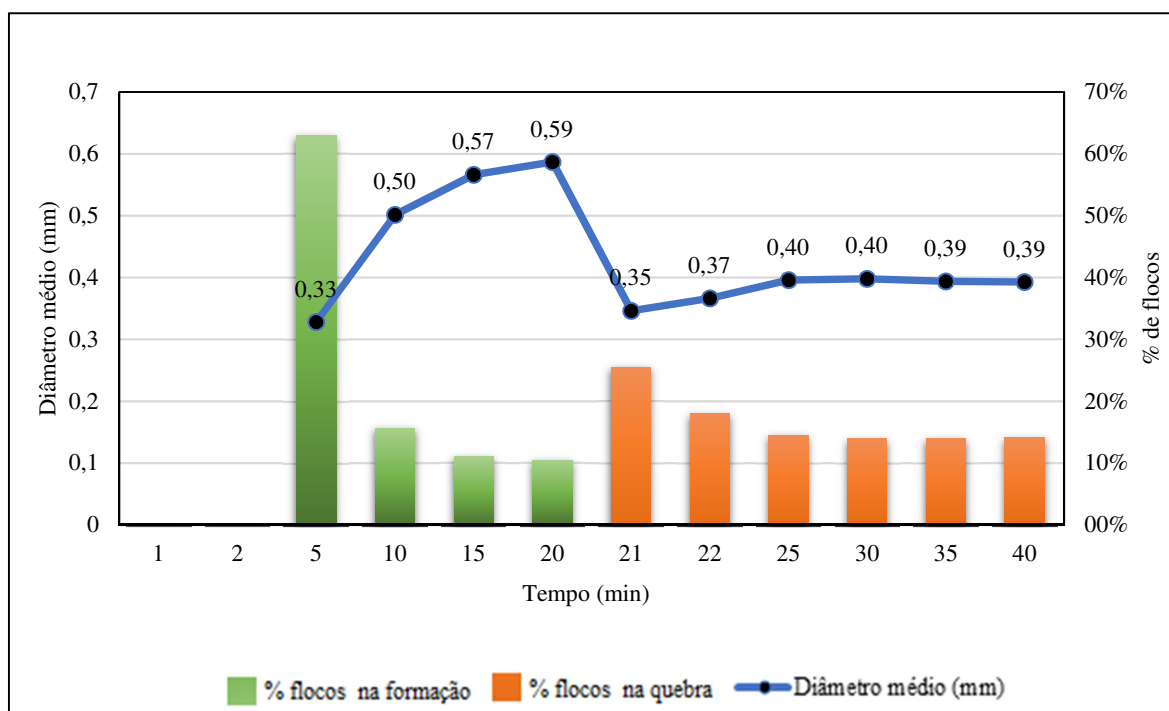
Figura 58 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 150 Pt/L- refloculação 7,5 mgFe/L e pH de 6,12)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 59 ilustra a evolução dos diâmetros médios dos flocos e o número de flocos para a amostra com cor de 150Pt/L e concentração de 10,0 mgFe/L no decorrer do tempo de floculação.

Figura 59 - Evolução do diâmetro médio e a porcentagem de flocos, para amostra com cor de 150Pt/L, concentração 10,0 mgFe/L e pH de floculação 5,95

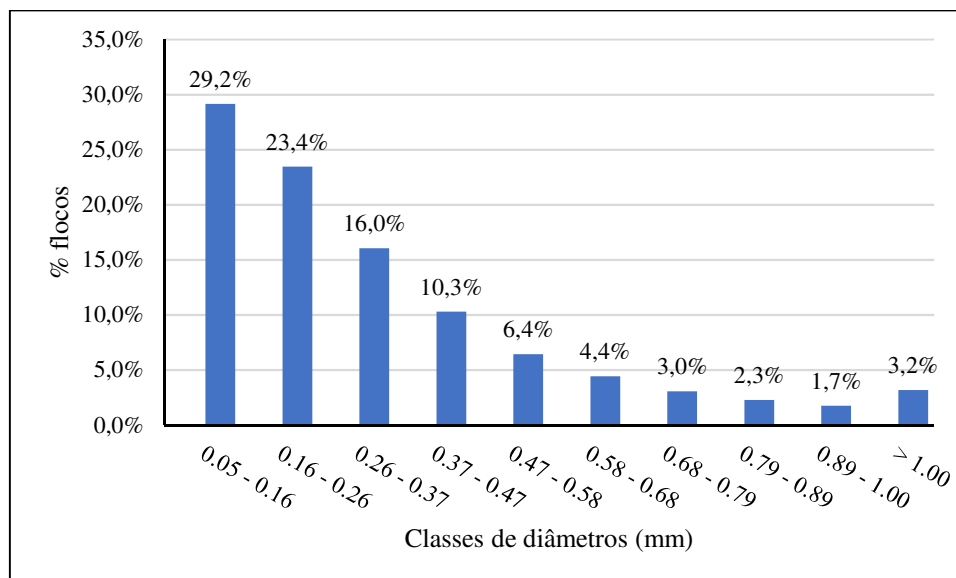


Fonte: Autor (2018)

Na maior parte do tempo de floculação há um acréscimo no diâmetro médio (0,33 para 0,59 mm), no entanto, a geração de flocos sucedeu apenas depois do quinto minuto. Após a quebra dos flocos houve o estabelecimento de um patamar de estabilização com diâmetros médios dos flocos inferiores aos percebidos antes da quebra.

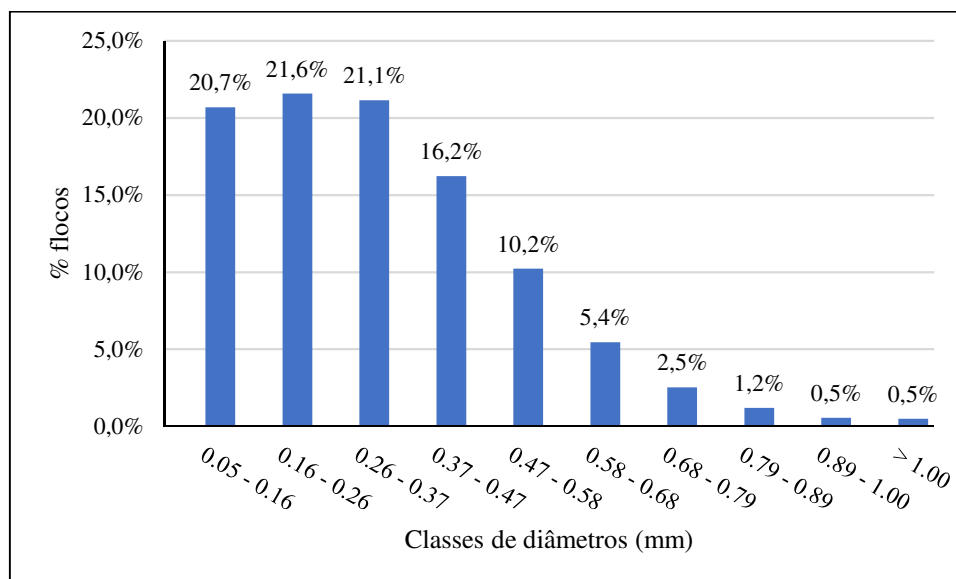
As Figuras 60 e 61 descrevem histogramas da DTP para a formação e a refloculação. Repetidamente observa-se um grande aumento do número de flocos depois da quebra e uma diminuição do número de flocos com mais de 1 mm de diâmetro (3,2% para 0,5% do total de flocos).

Figura 60 - Distribuição do tamanho das partículas na floculação 0 - 20min (cor 150 Pt/L- floculação 10,0 mgFe/L e pH de 5,95)



Fonte: Autor (2018)

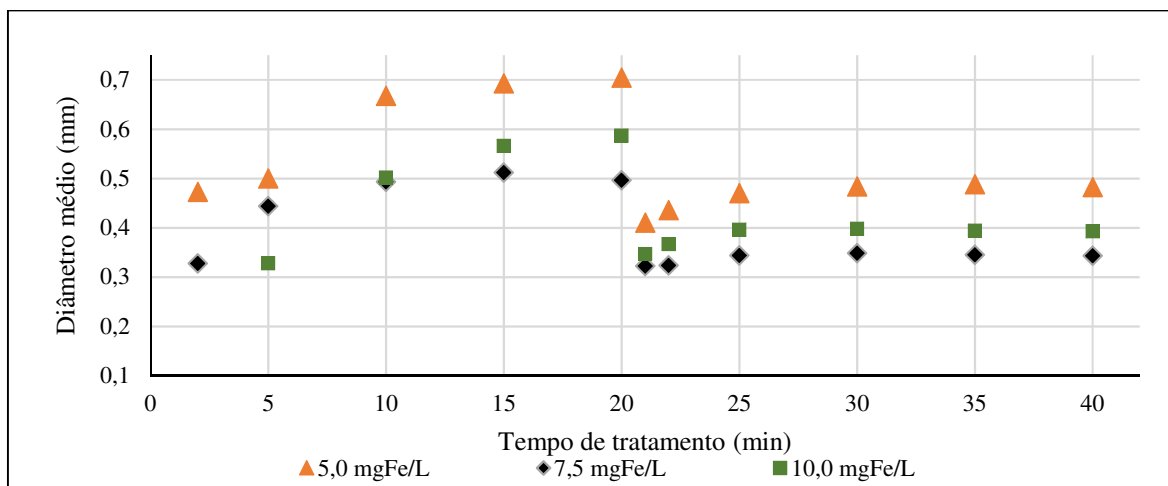
Figura 61 - Distribuição do tamanho das partículas na refloculação 21 - 40min (cor 150 Pt/L- refloculação 10,0 mgFe/L e pH de 6,07)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 62 ilustra a compilação dos dados obtidos nos ensaios conduzidos com água com cor de 150 Pt/L. Pode-se destacar que a concentração de 5,0 mgFe/L resultou no maior diâmetro médio na fase final da floculação e refloculação, 0,70 e 0,48 mm respectivamente.

Figura 62 - Evolução do diâmetro médio para amostra com cor de 150Pt/L variando a concentração de coagulante



Fonte: Autor (2018)

Da mesma forma a concentração de 7,5 mgFe/L gerou menores valores de diâmetro na floculação e refloculação. Foram observados comportamentos semelhantes entre os experimentos conduzidos com as diversas dosagens de coagulante, entretanto, com diferenças entre os patamares de estabilização dos diâmetros médios dos flocos.

4.3 TAXA DE RECUPERAÇÃO

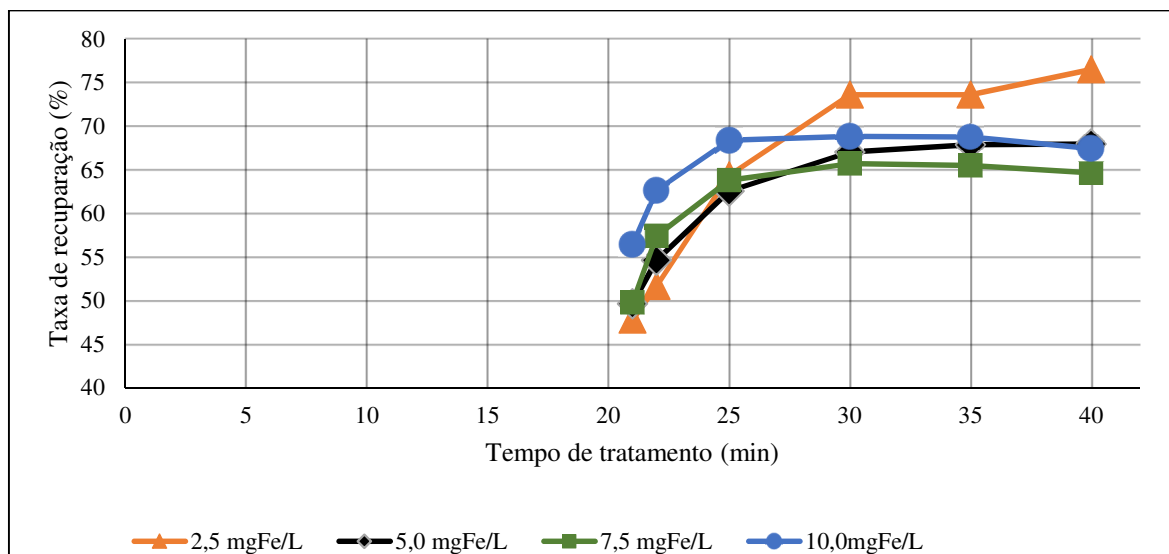
A taxa de reruperação ou regeneração (T) foi calculada a partir da relação dos diâmetros formados na refloculação ($d_{21}; d_{22}; d_{25}; d_{30}; d_{35}; d_{40}$) pelo diâmetro médio medido no tempo de floculação de 20 minutos (d_{20}), antes da quebra, dada pela Equação 6 a seguir.

Equação 6

$$T = \frac{d_{21...40}}{d_{20}} \cdot 100$$

A Figura 63 mostra a evolução da taxa de recuperação para diferentes concentrações de cloreto férrico para amostras de cor 20 Pt/L. Observa-se que para a concentração de 10,0 mgFe/L é verificada a maior taxa de recuperação inicial (56%), enquanto a recuperação máxima, de 77% foi obtida para a dosagem de 2,5 mgFe/L.

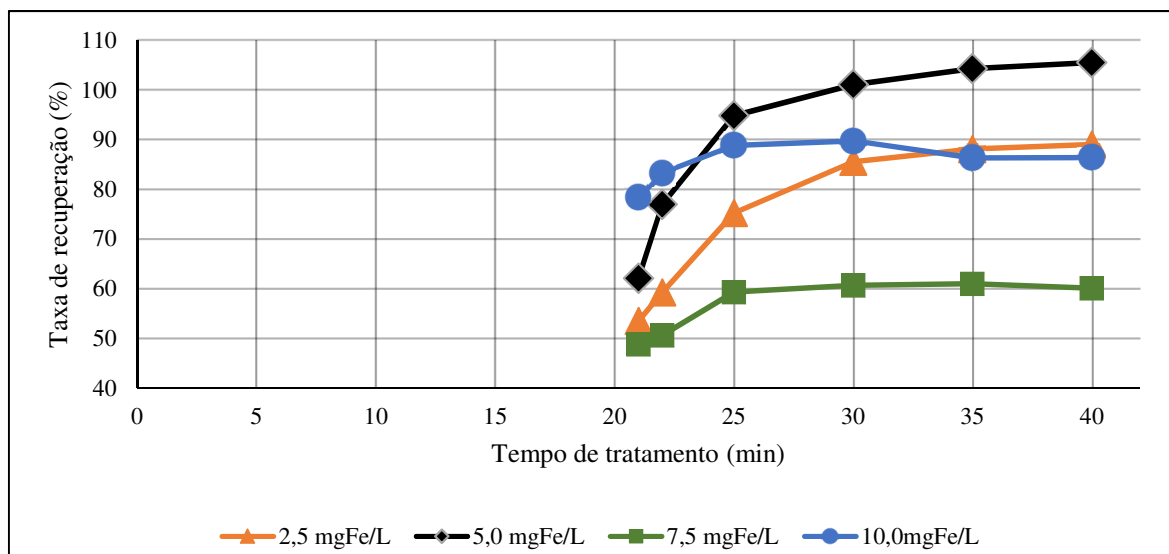
Figura 63 - Evolução da taxa de recuperação do floco após a quebra para diferentes concentrações de coagulante para a amostra de 20 Pt/L



Fonte: Autor (2018)

A Figura 64 mostra a evolução da taxa de recuperação para diferentes concentrações de cloreto férrico para amostras de cor 50 Pt/L. Observa-se que para a concentração de 10,0 mgFe/L é verificada a maior taxa de recuperação inicial (78%), enquanto a recuperação máxima, de 106% foi obtida para a dosagem de 5,0 mgFe/L.

Figura 64 - Evolução da taxa de recuperação do floco após a quebra para diferentes concentrações de coagulante para a amostra de 50Pt/L

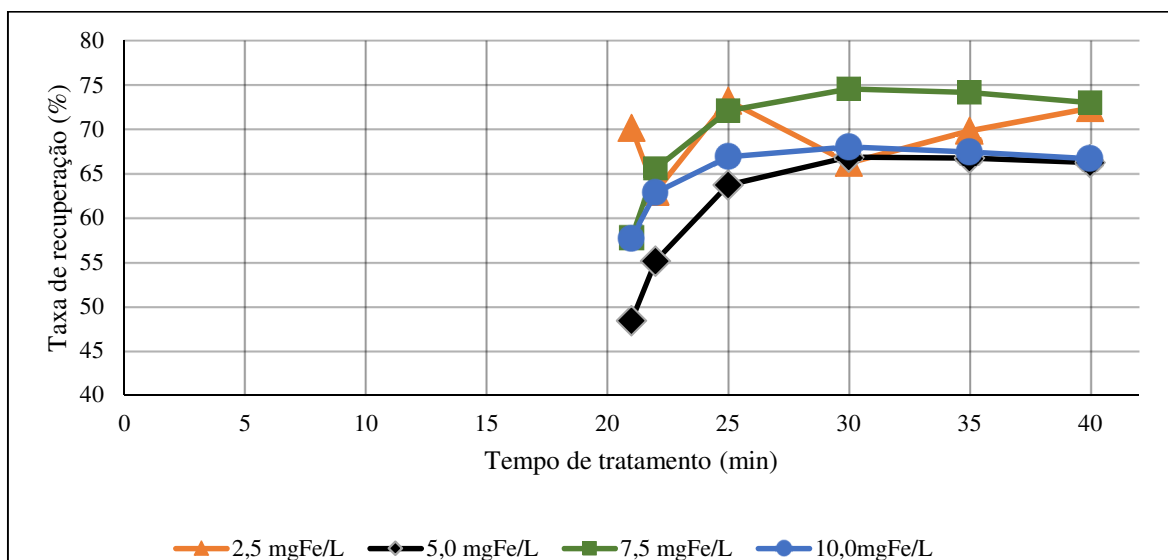


Fonte: Autor (2018)

A Figura 65 mostra a evolução da taxa de recuperação para diferentes concentrações de cloreto férrico para amostras de cor 100 Pt/L. Observa-se que para a concentração de 2,5

mgFe/L é verificada a maior taxa de recuperação inicial (70%), enquanto a recuperação máxima, de 75% foi obtida para a dosagem de 7,5 mgFe/L.

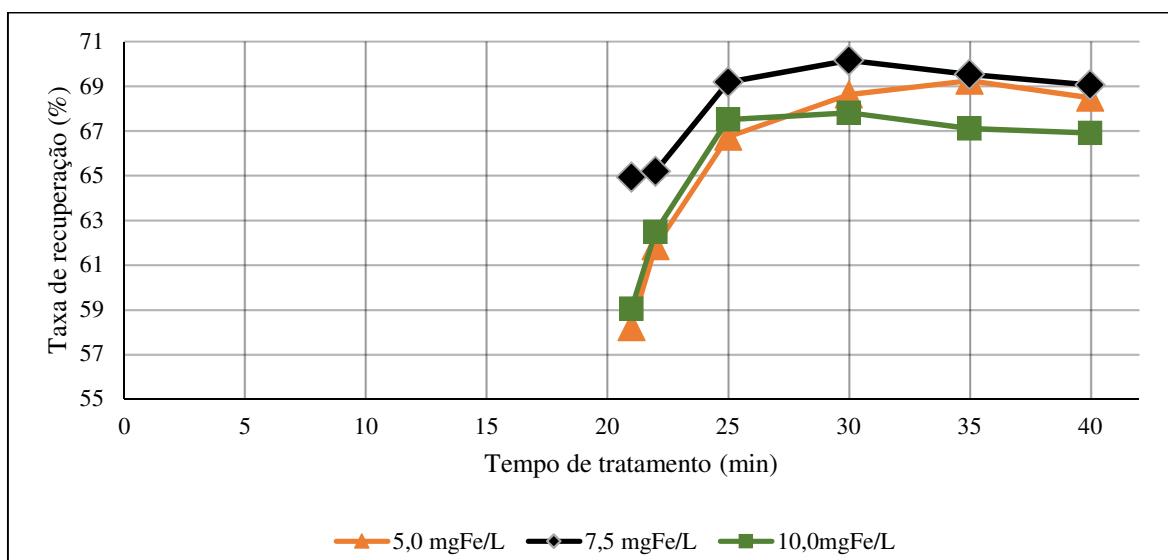
Figura 65 - Evolução da taxa de recuperação do floco após a quebra para diferentes concentrações de coagulante para a amostra de 100Pt/L



Fonte: Autor (2018)

A Figura 66 mostra a evolução da taxa de recuperação para diferentes concentrações de cloreto férrico para amostras de cor 150 Pt/L. Observa-se que para a concentração de 7,5 mgFe/L é verificada a maior taxa de recuperação inicial (65%), enquanto a recuperação máxima foi de 70% para a mesma dosagem.

Figura 66 - Evolução da taxa de recuperação do floco após a quebra para diferentes concentrações de coagulante para a amostra de 150Pt/L



Fonte: Autor (2018)

4.4 EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE COR

A eficiência de remoção de cor foi obtida através de amostras coletadas depois do tempo de floculação (20 minutos) e posterior a etapa de refloculação (40 minutos). Foram coletadas amostras para as velocidades de sedimentação de 5,0; 2,5 e 1 cm/min. A eficiência (E), dada pela Equação 7, é calculada pela relação da cor remanescente (C_{final}) com a cor inicial da amostra antes do ensaio ($C_{inicial}$).

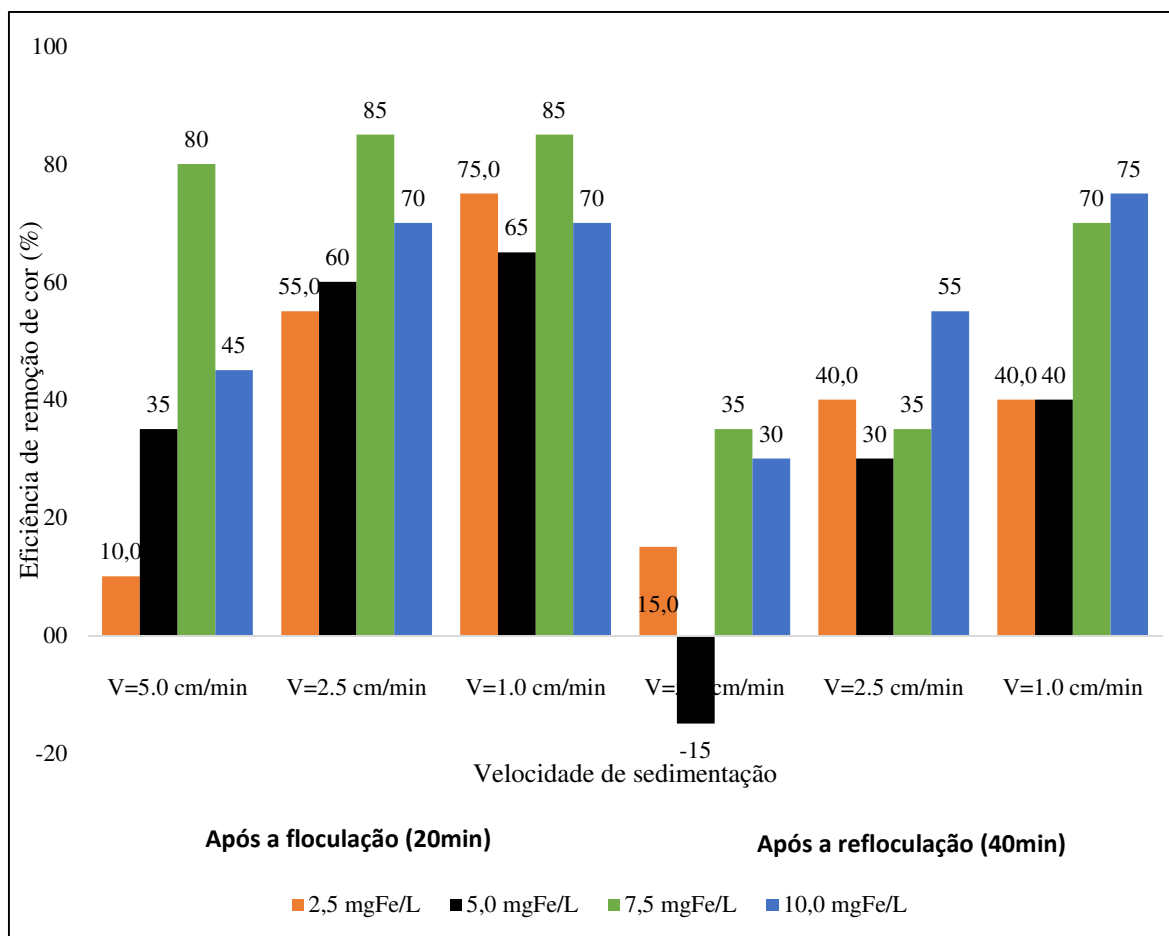
Equação 7

$$E = \frac{C_{final}}{C_{inicial}} \cdot 100$$

Dados de eficiência para amostras com flocos mesma velocidade foram reunidos, sendo do lado esquerdo referência da etapa de floculação, já a os dados refloculação se encontra a direita.

A Figura 67 ilustra a eficiência de remoção de cor para amostras de cor 20 Pt/L, onde pode ser verificado, de maneira geral, uma melhor eficiência na floculação antes da quebra. Uma exceção é a amostra com concentração de 2,5 mgFe/L, em que para flocos com velocidade de 5,0 cm/min, houve uma superior remoção de cor. Detaca-se também, na maior parte dos casos, uma melhor eficiência para amostras com concentração de 7,5 mgFe/L.

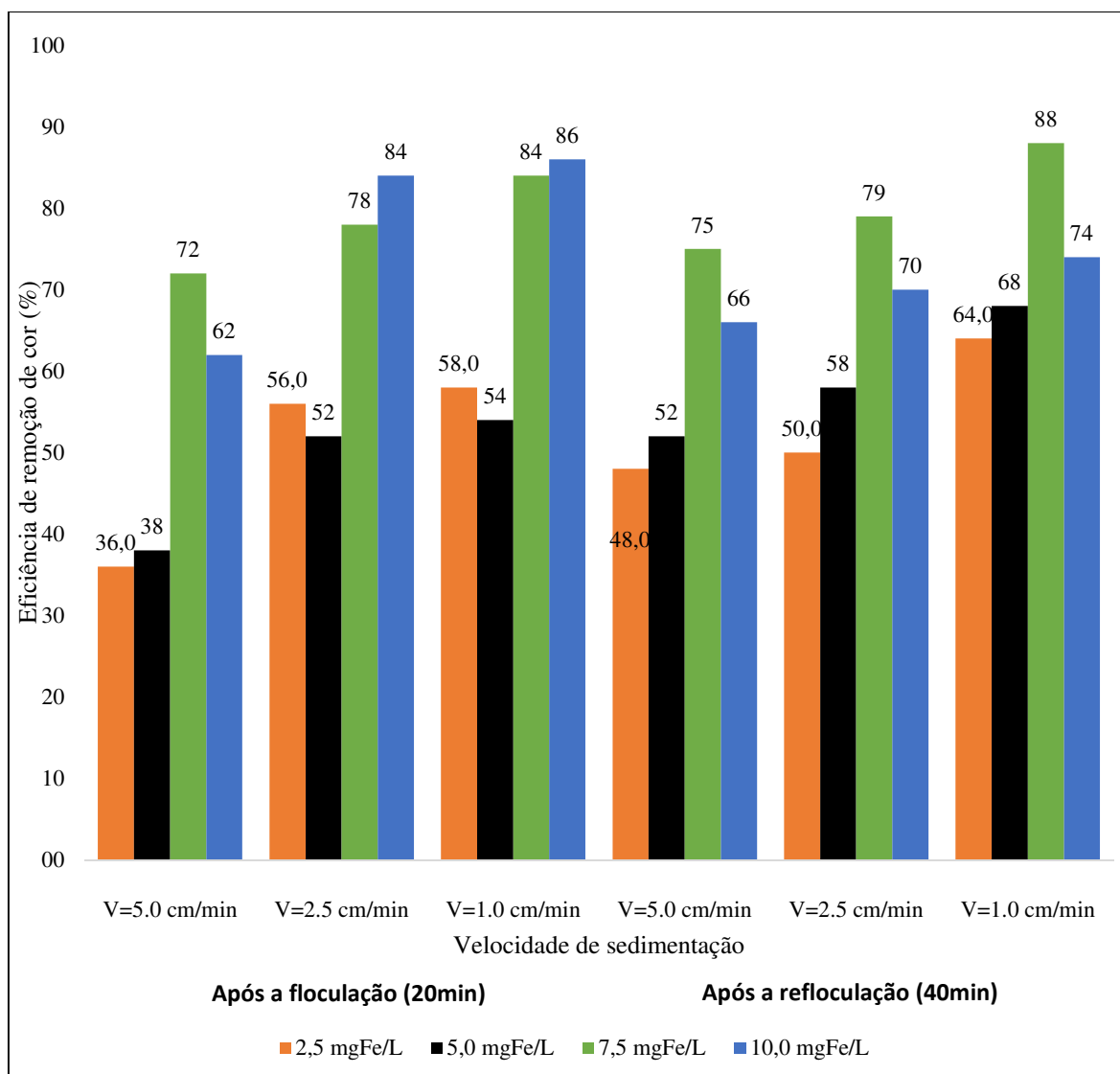
Figura 67 - Eficiência de remoção de cor, variado a velocidade de sedimentação do floco e a concentração de coagulante, para amostra de 20Pt/L, após a floculação (20min) e após e regeneração (40min)



Fonte: Autor (2018)

Já a Figura 68 descreve um cenário diferente, a eficiência de remoção de cor para amostras de cor 50 Pt/L, onde pode ser analisado, de maneira geral, uma leve superior eficiência depois da refloculação. Novamente destaca-se, na maior parte dos casos, uma superior eficiência para amostras com concentração de 7,5 mgFe/L.

Figura 68 - Eficiência de remoção de cor, variado a velocidade de sedimentação do floco e a concentração de coagulante, para amostra de 50Pt/L, após a floculação (20min) e após e regeneração (40min)

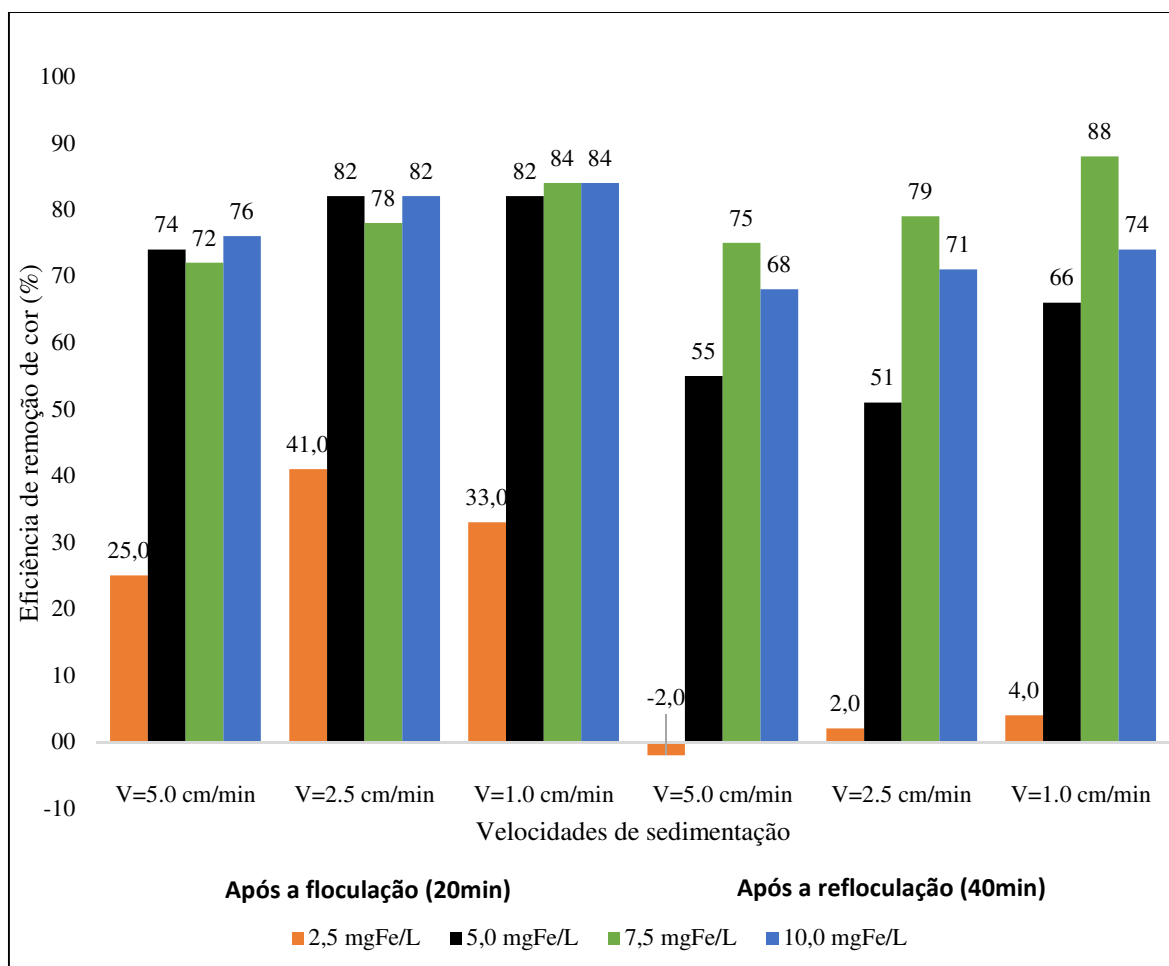


Fonte: Autor (2018)

Na Figura 69, eficiência de remoção para amostras com cor de 100 Pt/L, adiante mostra uma perspectiva diferente que a anterior, onde para amostras com concentração de 2,5; 5,0 e 10,0 mgFe/L houve eficiência maior posterior a floculação, no entanto, para a mostra com 7,5 mgFe/L ocorreu o oposto, sendo mais eficiente depois do período de regeneração.

Salienta-se que para amostra com concentração de 2,5 mgFe/L após os 40 minutos de tratamento, existiu uma leve remoção de cor ou até mesmo o aumento da cor inicial.

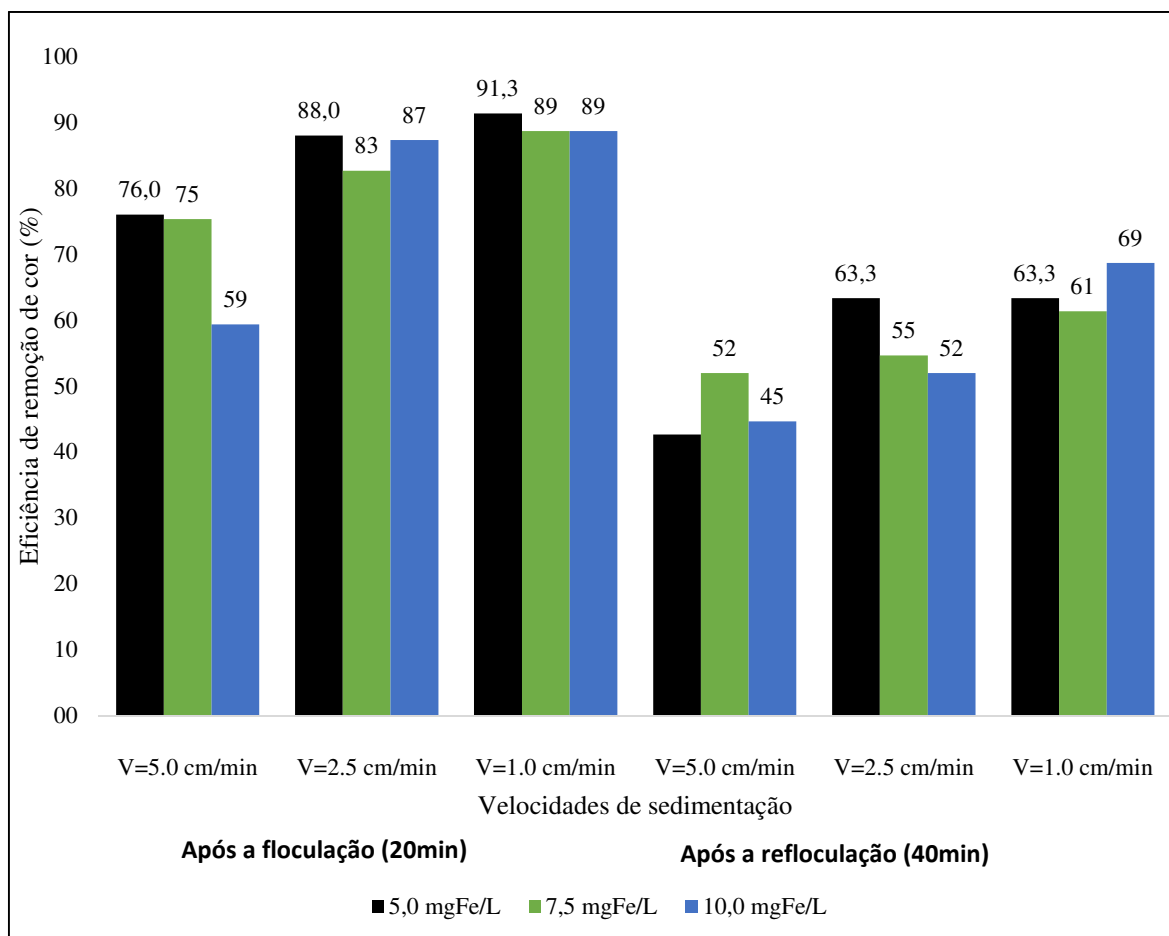
Figura 69 - Eficiência de remoção de cor, variado a velocidade de sedimentação do floco e a concentração de coagulante, para amostra de 100 Pt/L, após a floculação (20min) e após e regeneração (40min)



Fonte: Autor (2018)

A Figura 70 ilustra a eficiência de remoção de cor para amostras de cor 150Pt/L, onde pode ser analisado uma maior eficiência na floculação antes da quebra. Ressalta-se também, na maior parte dos casos, uma melhor eficiência para amostras com concentração de 5,0 mgFe/L.

Figura 70 - Eficiência de remoção de cor, variado a velocidade de sedimentação do floco e a concentração de coagulante, para amostra de 150Pt/L, após a floculação (20min) e após e regeneração (40min)



Fonte: Autor (2018)

De modo geral a remoção de cor foi maior antes da quebra (13% em média), dando ênfase para eficiência de amostras com concentração de 7,5 mgFe/L, nas fases posteriores a floculação (média de 70,7%) e a refloculação (média de 62,5%).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Houve o desenvolvimento de flocos entre 0,05 a 2,75 mm de diâmetro, de maneira geral, no início de cada processo (floculação e refloculação) sendo observado um número maior de flocos no início do processo em comparação ao término o que colabora com o aumento dos diâmetros médios dos flocos no decorrer do processo. Para a maioria das amostras (a dosagem ótima Fe aumentou com o aumento da cor, gerando desta forma maiores diâmetros médios, formação de maior número de flocos com diâmetros maiores que 1,0 mm e boa eficiência na remoção de cor.

A estabilização da distribuição de tamanho ocorreu, geralmente, após dez minutos do início dos ensaios. Após a quebra houve sempre redução dos diâmetros médios dos flocos com patamar de estabilização sempre inferior ao de antes da quebra. Tal comportamento foi observado em diversos trabalhos do grupo de pesquisa no qual se insere esta pesquisa, como, por exemplo, no trabalho desenvolvido por Silva (2017).

O fator de força, ou seja, a taxa de recuperação no início da refloculação, para maioria dos casos, se mostrou maior com o aumento da dosagem de coagulante. Já para a taxa de recuperação máxima, de maneira geral, observou-se um comportamento inverso.

Na maioria dos ensaios os diâmetros médios dos flocos foram maiores com o aumento da concentração de cloreto férrico e com o aumento de cor da água de estudo. Pode ser observado que o crescimento dos flocos nos minutos iniciais da etapa de refloculação foi maior que na floculação apesar de estabilizaram em patamares inferiores, isso pode ser devido à presença inicial dosal de ferro prontamente disponível para as reações de agregação.

Já em relação ao fator de força/regeneração, como observado em outros trabalhos, não houve 100 % de reestruturação do tamanho, pois a quebra ocorre em pontos mais frágeis do floco

diminuindo área efetiva de agregação e, conseqüentemente, são formados flocos menores, em sua maioria menos sedimentáveis. O resultado da refloculação, poranto, foi a redução da eficiência de remoção de cor após a quebra, no entanto, não houve em todas as situações uma relação direta entre o tamanho do floco e a remoção de cor. Os maiores valores de remoção foram observados para cor de 150 Pt/L, entretanto, maiores diâmetros médios foram observados nos ensaios com cor de 100 Pt/L.

Para a maioria dos casos não foram observadas relações de comportamento entre a taxa de recuperação dos flocos (fator de força) e eficiência de remoção de cor, com exceção da amostra de 150 Pt/L, onde se observou a maior eficiência de remoção de cor no trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, T. Avaliação do desempenho de sedimentação e sua relação com distribuição do tamanho de partículas (DTP) e com agregados fractal. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2017.

AMIRTHARAJAH, A. e O'MELIA, C. R. Coagulation processes: Destabilization, mixing, and flocculation. *Water quality and treatment*, 4th Ed., Journal American Water Works Association, McGraw-Hill, New York, p. 269–365, 02 de mar. de 1990.

Bache, D.H., Johnson, C., McGilligan, J.F., Rasool, E. A conceptual view of floc structure in the sweep floc domain. *Water Sci. Technol.* 36, 49–56, 1997
<https://doi.org/10.2166/wst.1997.0084>

BARROSO, M. M. Problemática dos metais sólidos no tratamento de água (Estação convencional de ciclo completo) e nos resíduos gerados. São Carlos, V 1 2002. P.26.

Bellamy, W.D.; Cleasby, J.L.; Logsdon, G.S.; Alle, M.J. Assessing treatment plant performance. *Journal of the American Water Works Association*, 85(12):34-38, 1993.
<https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1993.tb06116.x>

BLATZ, P. J. e TOBOLSKY A. V. Note on the Kinetics of Systems Manifesting Simultaneous Polymerization Depolymerization Phenomena, *Journal of Physical Chemistry*, V49, P.77 .1945.

Boller, M., Blaser, S. Particles under stress. *Water Sci. Technol.* 37 (10), 9–29 (1998).
<https://doi.org/10.2166/wst.1998.0367>

Bouyer, D.; Coufort, C.; L, A., e DO-QUANG, Z. Ex-perimental analysis of floc size distributions in a 1-L jar under different hydrodynamics and physicochemical conditions. *Journal of Colloid and Interface Science*. V.292, P.413, 2005.
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.06.011>

BRASIL. Ministério da saúde. Portaria 2914. de 12 de dezembro de 2011, procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Publicado no D.O.U. de 27 janeiro 2012.

BRASIL, Resolução CONAMA nº430, de 13 de maio de 2011. Condições e padrões de lançamento de efluentes. Publicado no D.O.U. de 16 maio 2011.

Büll, J. C. Determinação da força e recrescimento do floco de águas de abastecimento. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2017.

Büll, J. C.; Silva, P. A. G; Moruzzi, R. B. Determinação da força do floco e da refloculação de águas de abastecimento. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 27., 2016, Rio Claro. Anais... Rio Claro, SP: UNESP, 2016. p. 1.

Chekli, L.; Galloux, J.; Zhao, Y. X.; Gao, B. Y. e Shon, H. K. Coagulation performance and floc characteristic of polytitanium tetrachloride (PTC) compared with titanium tetrachloride (TiCl₄) and iron salts in humic acid-kaolin synthetic water treatment. *Separation and Purification Technology*, V.142, p.155-161, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.12.043>

Cheng, P. W.; Chang, J. N.; Chen, P. H.; Yu, R. F.; Huang, Y. W. e Hsieh, Y. J. Monitoring floc formation to achieve optimal flocculation in water treatment plants. *Environmental Engineering Science*. V.27, P.523, 2010.

<https://doi.org/10.1089/ees.2010.0065>

Ching, H. W.; Tanaka, T. S. e Elimelech, M. Dynamics of coagulation of kaolin particles with ferric chloride. *Water Environment Research*. V.28, p.559-569, 1994.

[https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)90007-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)90007-8)

CONSTANTINO L. T. Ruptura e recrescimento de flocos em água com substâncias húmicas aquáticas coagulada com sulfato de alumínio e cloreto férrico. São Carlos, 2008. 186 p. Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Paulo.

<https://doi.org/10.11606/D.18.2008.tde-22102008-193848>

Coulaloglou, C. A. e Tavlarides L. L. Description of Interaction Processes. in *Agitated Liquid-Liquid Dispersions*. *Chemical Engineering Science*, V.32, P.1289 1977.

[https://doi.org/10.1016/0009-2509\(77\)85023-9](https://doi.org/10.1016/0009-2509(77)85023-9)

Critchley, R. F.; Smith, E. O. e Pettit, P. Automatic coagulation control at water-treatment plants in the north-west region of England. *Water Environment Research*. V.4, P.535, 2007.

<https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1990.tb01467.x>

Dennett, K. E.; Amiratharajah, A.; Moran, T. F. e Gould, J. P. Coagulation: its effect on organic matter. *American Water Works Association Journal*, V.88, p.129-142, 1996.

<https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1996.tb06539.x>

Di Bernardo, L.; Dantas, A. Di B. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2. ed. São Carlos: Rima, 2005. v. 2, 1984 p.

Di Bernardo, L.; Paz, L. P. S. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. São Carlos: LDIBE LTDA, 2008. v. 1, 878 p.

Dutra, R. H. A. Obtenção dos parâmetros cinéticos da floculação com utilização de técnica de análise por imagem. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

ELIMELECH, M.; GREGORY, J.; JIA, X. e WILLIAMS, R. A. Particle deposition and aggregation: Measurement, modelling and simulation, Butterworth-Heinemann, Woburn, Mass., 9-63, p.261–289, mar. 1995.

Ferrari, T. N.; De Julio Marcelo e De Julio Sakamoto, T. Emprego do sulfato de alumínio e do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade da água que abastece o município de São José dos Campos-SP. *Engenharia Ambiental*. V.8, P.119, 2011.

FERREIRA, D. S. Estudo comparativo da coagulação/floculação e eletrocoagulação no tratamento de lixiviado de aterro. Rio de Janeiro, 2013. 126p. Tese (Mestrado) – Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Franco, E. S. Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água. 2009. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

Furlan, F. R. Avaliação da eficiência do processo de coagulação-floculação e adsorção no tratamento de efluentes têxteis. Florianópolis, 2008. 151p. Tese (Mestrado) – Departamento de engenharia química e engenharia de alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina.

Gonçalves, L. S. M. Evolução do diâmetro fractal de agregados formados a partir de água com baixa turbidez. 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

HIGASHI, V. Y.; THEODORO JOSEANE. D. P.; PEREIRA, E. R. e THEODORO PAULO, S. Uso de coagulantes químico (cloreto férrico) e orgânico (moringa de oleífera) no tratamento de águas provenientes de sistema lêntico. Trabalho apresentado no Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 29 ago. a 01 de set. 2016.

HUNT, J. R. Self-similar particle-size distributions during coagulation: Theory and experimental verification. *Journal of Fluid Mechanics*, 122, p.169–185, ago. 1982.

JACKSON, G. A.; LOGAN, B. E.; ALLDREDGE, A. L.; and DAM, H. G. Combining particle size spectra from a mesocosm experiment measured using photographic and aperture impedance (Coulter and Elzone) techniques. *Deep-Sea Research, Part II*, V.42, p.139–157, abr. de 1995.

Jarvis P., Jefferson B. and Parsons, S. A. Breakage, Regrowth, and Fractal Nature of Natural Organic Matter Flocs. *Environ. Sci. Technol.*, no. 39, p. 2307-2314 (2005).
<https://doi.org/10.1021/es048854x>

Jiao, R.; Fabris, R.; Chow, C. W. K.; Drikas, M., Leeuwen, J. V. e Wang, D. Roles of coagulant species and mechanisms on floc characteristics and filterability. *Chemosphere*. V.150, p.211-218, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.02.030>

JOHN, P. N e AMIRTHARAJAH, A. Ferric chloride and alum as single and dual coagulants. *Journal Research and Technology*. p.232-239, mai. 1983.

Kang, M., Kamei, T. e Magara, Y. Comparing polyaluminum chloride and ferric chloride for antimony removal. *Water Research*, V.37, p.4171-4179, 2003.
[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00351-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00351-8)

LEE, D. G.; BONNER, J. S.; GARTON, L. S.; ERNEST, A. N. S. e AUTENRIETH, R. L. Modeling coagulation kinetics incorporating fractal theories: A fractal rectilinear approach. *Water Research*, V.34, p.1987–2000, 13 de set. 2000.

LI, X. Y. e ZHANG, J. J. Numerical simulation and experimental verification of particle coagulation dynamics for a pulsed input. *Journal of Colloid and Interface Science*, 262, p.149–161, jun de 2003.

LI X.; ZHAI X.; CHU H. P. e ZHANG J. Characterization of the Flocculation Process from the Evolution of Particle Size Distributions. *Journal of Environmental Engineering*, 134, p.369-375, jul. de 2008.

Lu, C. F.e Spielman L. A.Kinetics of Floc Breakage and Aggregation in Agitated Fluid Suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*. V.103. P.95 1985.
[https://doi.org/10.1016/0021-9797\(85\)90080-3](https://doi.org/10.1016/0021-9797(85)90080-3)

Mccurdy, K.; Carlson, K., e Gregory, D. Floc morphology and cyclic shearing recovery: comparison of alum and poly-aluminum chloride coagulants. *Water Research*. V.38, P.486, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.005>

Mendes, C. G. N. Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis. São Carlos, 1989. 144p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Paulo.

Mendes, Y. C. Evolução da Distribuição do Tamanho de Partículas na floculação de água de baixa turbidez. 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017

MORENO, P.; MORUZZI, R. B.; CONCEIÇÃO, F.T. Investigação da aplicação da lama vermelha 'red mud' na mistura rápida como nucleador de flocos visando sua remoção por sedimentação. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE AIDIS, 28., 2013, Tegucigalpa. Anais... Tegucigalpa, HN: AIDIS, 2013.

Moreno, P. Emprego de técnica dedicada de análise de imagem na avaliação do produto GT no desempenho da floculação. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, 2014.

Moreno, P. et al. Investigação do efeito do Número de Camp (NC) na distribuição de tamanho de partículas (DTP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2015, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2015.

METCALF E EDDY. *Waste Engineering*, Nova Iorque, McGraw Hill, th. ed. 1334 p., 2003.

Moruzzi, R. B. et al. Aplicabilidade das técnicas de determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, p. 291- 300, out./dez. 2004.
<https://doi.org/10.1590/S1413-41522004000400005>

Moruzzi, R. B. Avaliação da influência da Distribuição do Tamanho de Partículas e do binômio de velocidade/tempo de detenção na zona de reação no desempenho da flotação com utilização de sonda ultrasônica e técnica de análise por imagem. 2005. 240 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

Moruzzi, R. B.; Reali, M. A. P. Método para determinação da distribuição do tamanho de microbolhas (DTMB) em sistemas flotação (FAD) para tratamento de águas utilizando a análise de imagem digital. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 3, p. 273-283, jul./set. 2007.

<https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000300007>

Moruzzi, R. B.; Reali, M. A. P. Characterization of micro-bubble size distribution and flow configuration in DAF contact zone by a non-intrusive image analysis system and tracer tests. *Water Science and Technology*, v. 61, n. 1, p. 253-262, jan. 2010.

<https://doi.org/10.2166/wst.2010.784>

Moruzzi, R. B. et al. Flocculação: considerações a partir da análise clássica e da avaliação direta da distribuição do tamanho de partículas. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 4, p. 817-824, out./dez. 2016.

<https://doi.org/10.1590/s1413-41522016144959>

Moruzzi, R. B. et al. Fractal dimension of large aggregates under different flocculation conditions. *Science of the Total Environment*, v.609, p. 807-814, dec. 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.194>

Murtha, N. A. e Heller, L. Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. V.8, P.257, 2003.

Nasser, M. S. Characterization of floc size and effective floc density of industrial papermaking suspensions. *Separation and Purification Technology*, V.122, p.495-505, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.12.008>

Oliveira, A. S. Avaliação da morfologia e da distribuição do tamanho de partículas para pontos distintos do diagrama de coagulação/flocculação. 154 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

Oliveira, A. L. et al. Avaliação da melhor distribuição de tamanho de partículas para a sedimentação mantendo-se fixo o número de Camp. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 34., 2014, Monterrey. Anais... Monterrey: AIDIS, 2014. p. 1.

Oliveira, A. L. et al. Análise da distribuição do tamanho de partículas em função do tempo de flocculação. In: 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 28., 2015, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2015a.

Oliveira, A. L. et al. Avaliação de parâmetros representativos da distribuição de tamanho de partículas presentes em coleções hídricas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 4, p. 1084-1092, out./dez. 2015b.

<https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p1084-1092>

Oliveira, A. L. et al. Effects of the fractal structure and size distribution of flocs on the removal of particulate matter. *Desalination and Water Treatment*, v. 57, n. 36, p. 1672116732, aug. 2016.

Parker, D. S., KAUFMANW. J.e JENKINS D., Floc breakup in turbulent flocculation processes, *Journal Sun. Engineering Diu.: Proc. ASCE*, V.98, P.79 1972.

PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. São Carlos, 2001. 216p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
<https://doi.org/10.11606/D.18.2001.tde-21012003-084719>

Santos, E. P. C. C. Coagulação da água da represa Vargem das Flores visando tratamento por filtração direta. Belo Horizonte, 2004. 146p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de engenharia sanitária e ambiental, departamento de engenharia hidráulica e recursos hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais.

Santos, H. R., Prado, G. S., Moruzzi, R. B., Campos, J. R. Aplicabilidade das técnicas determinação de tamanho de partículas em sistemas de tratamento de água e esgoto sanitário. *Engenharia Sanitária Ambiental*. V.9, P.292, 2004.
<https://doi.org/10.1590/S1413-41522004000400005>

Shen, X., Maa, J. P. A camera and image processing system for floc size distributions of suspended particles. *Marine Geology*. V.376, p.132-146, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2016.03.009>

Shen, X., Maa, J. P. Modeling floc size distribution of suspended cohesive sediments using quadrature method of moments. *Marine Geology*. V.359, p.106-119, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.11.014>

Shamlou, P. A., e Hooker N. T., Turbulent Aggregation and Breakup of particles in liquids in stirred vessels, in processing of solid-Liquid suspensions, P. A. Shamlou, ed., Butterworth Heinemann, Oxford 1993.

Sharp, E. L.; Jarvis, P.; Parsons, S. A.; and Jefferson, B. The impact of zeta potential on the physical properties of ferric-NOM flocs. *Environmental Science Technology*, 40, p. 3934–3940, mai. de 2006.

Siéliéchi, J. M., Lartiges, B. S., Kayem, G. J., Hupont, S., Frochot, C., Thieme, J., Ghanbaja, J., Caillerie, J. B., Barrès, O., Kamga, R., Levitz, P. e Michot, L. J. Changes in humic acid conformation during coagulation with ferric chloride: Implications for drinking water treatment. *Water Research*, V.42, p.2111-2123, 2008.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.11.017>

SILVA P. A. G. Estudo da resistência do floco e da refloculação visando o tratamento de águas de abastecimento utilizando técnica de monitoramento por análise de imagem digital e dispersão de luz, Rio Claro, 2017, 35 p. (Tese de mestrado) Instituto de Geociências e ciências exatas, Universidade Federal Paulista.

SILVA D. R. Tratamento de drenagens ácidas de minas de carvão pelo processo NFSL – Neutralização, floculação e sedimentação lamelar. Porto Alegre, 2009, 103 p. (Tese de mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Spicer, T. P e PRATSINIS, S. E. Coagulation and fragmentation: universal steady-state particle-size distribution. *AIChE Journal*. V.42, P.1613, Jun. 1996.
<https://doi.org/10.1002/aic.690420612>

Spinelli V. A. Quitosana, polieletrólito natural para o tratamento da água potável. Florianópolis, 2001, 146 p. (Tese de mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina.

Tchobanoglous, G. Particle size characterization: the next frontier. *Journal of Environmental Engineering, ASCE*. v.121, p. 844-845, 1995.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1995\)121:12\(844\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1995)121:12(844))

THOMAS, D. N., JUDD, S. J., FAWCETT, N. Flocculation modelling: A review. *Water Research*, 33, p.1579–1592, 20 de set. 1999.

TRENTO, A. E. Dinâmica da floculação no transporte de sedimentos finos. Rio de Janeiro, 2005. 170.p, Dissertação (Doutorado) – Departamento de engenharia civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Tundisi J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. *Ciência e Cultura*. V.55 nº4, p. 31-33, Dez. 2003.

Turchiuli C. e Fargues C. Influence of structural properties of alum and ferric flocson sludge dewaterability. *Chemical Engineering Jornal*, p. 123-131, V.103, 5 Mai. 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2004.05.013>

VALVERDE, K. C., DOS SANTOS, O. A., BERGAMASCO, R. Avaliação do processo de clarificação da água bruta por meio de diagramas de coagulação, empregando a associação *Moringa Oleifera* Lam e cloreto férrico. IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, V.9, p.61, 2013.
<https://doi.org/10.17271/198008279112013558>

Van Gelder, A. M.; Chowdhury, Z. K., Lawler, D. F. Conscientious particle counting. *Journal American Water Works Association*, 91, p. 64–76, out. de 1999.

VAZ, L. G . L. Performace do processo de coagulação/floculação no tratamento de efluente líquido gerado na galvanoplastia, Toledo, 2009, 83 P. (tese de mestrado), departamento de engenhariaquímica, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Vaz, L. G. L., Klen, M. R. F., Veit, M. T., Silva, E. A., Barbiero, T. A.; Bergamasco, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. *Eclética Química*, V.35, nº4, 2010.
<https://doi.org/10.1590/S0100-46702010000400006>

Vigil, R. D.;Ziff R. M. On the Stability of Coagulation fragmentation population balances.*Journal of Colloid and Interface Science*, V.133, P.257, 1989.
[https://doi.org/10.1016/0021-9797\(89\)90300-7](https://doi.org/10.1016/0021-9797(89)90300-7)

Von SPELING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 240 p.

Vuitik, G. A., Malkowski, B. L. e Wiecheteck, G. K. Eficiência dos processos de clarificação de água aplicados no sistema de tratamento de Ponta Grossa (PR). *Engenharia e Tecnologia*. V.2, P.77, 2010.

Xiao, F., Zhang, X.; Ma, J. Indecisiveness of electrophoretic mobility determination in evaluating Fe (III) coagulation performance. Separation and Purification Technology, V.68, p.273-278, 2009.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2009.06.001>

Xu, Y., Cui, T. C. F.; Shi, W. Effect of reused alum-humic-flocs on coagulation performance and floc characteristics formed by aluminum salt coagulants in humic-acid water. Chemical Engineering Journal, V.287, p.255-232, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.017>

Wang, B., Shui, Y., He, M.; Liu, P. Comparison of flocs characteristics using before and after composite coagulants under different coagulation mechanisms. Biochemical Engineering Journal. V.121, p.107-117, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.bej.2017.01.020>

Yeung, A.K., Pelton, R., Micromechanics: a new approach to studying the strength and breakup of flocs. Journal of Colloid Interface Science V.184, p. 579–585, 1996

<https://doi.org/10.1006/jcis.1996.0654>

YUKSELEN, M.A. ; GREGORY, J. (2002) Breakage and re-formation of alum flocs.

Environmental Engineering Science, n.4, v.19, p.229-236, 2002

<https://doi.org/10.1089/109287502760271544>

Zhao, Y. X., Gao, B. Y., Zhang, G. Z., Qi, Q. B., Wang, Y., Phuntsho, S., Kim, J. H., Shon, H. K., Yue, Q. Y.; Li, Q. Coagulation and sludge recovery using titanium tetrachloride as coagulant for real water treatment: A comparison against traditional aluminum and iron salts. Separation and purification technology, V.130, p. 19-27, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.04.015>

APÊNDICES

APÊNDICE A – Quadros providos dos ensaios de *jar-test* para promoção dos diagramas de coagulação/floculação

Tabela 4 - Ensaio Jar-Test com concentração de 0,1025 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					0,1025						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	11/jan		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			Jarro (Nº)
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,10	-	-	-	0,5	2,6	23,7	90	88	87	7,75
2	4,36	-	-	-	0,5	2,3	21,0	92	93	92	7,75
3	4,55	-	-	-	0,1	9,5	17,3	92	93	94	7,75
4	5,07	-	-	-	0,1	9,0	16,4	92	89	91	8,13
5	5,31	-	-	-	0,1	8,0	14,6	91	91	95	8,13
6	5,72	-	-	-	0,5	1,3	11,9	105	103	102	7,75
7	5,96	-	-	-	0,5	1,0	9,1	104	103	103	7,75
8	6,23	-	-	-	0,1	4,8	8,8	94	95	100	8,13
9	6,32	-	-	-	0,1	4,5	8,2	98	96	100	8,13
10	6,89	-	-	-	0,5	0,8	7,3	99	99	98	7,75
11	6,92	-	-	-	0,1	3,5	6,4	98	99	98	7,75
12	7,08	-	-	-	-	-	-	99	100	100	7,75
13	7,40	0,1	1,4	2,8	-	-	-	102	104	101	7,75
14	7,93	0,1	1,6	3,2	-	-	-	106	106	106	8,13
15	8,27	0,1	1,8	3,6	-	-	-	103	102	104	8,13
16	8,52	0,5	0,4	4,0	-	-	-	103	100	99	7,75
17	8,80	0,5	0,5	5,0	-	-	-	108	107	104	8,13
18	8,90	0,5	0,6	6,0	-	-	-	106	106	105	8,13
19	9,20	0,5	0,7	7,0	-	-	-	102	100	102	8,13
20	9,43	0,5	1,1	11,0	-	-	-	107	104	103	8,13

Fonte: autor (2018)

Tabela 5 - Ensaio Jar-Test com concentração de 0,205 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) - 0,205											
Cor Amostra Bruta -					100		Data:	10/jan			
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	3,95	-	-	-	1,0	1,5	27,4	91	90	90	7,03
2	4,61	-	-	-	0,5	2,5	22,8	98	98	95	7,03
3	4,65	-	-	-	1,0	1,0	18,3	92	92	92	7,03
4	4,60	-	-	-	0,1	8,9	16,2	96	95	92	7,75
5	5,51	-	-	-	0,5	1,8	16,0	101	100	100	7,03
6	5,65	-	-	-	1,0	0,8	13,7	100	102	99	7,03
7	5,75	-	-	-	0,5	1,2	11,0	104	102	101	7,75
8	6,57	-	-	-	0,5	0,5	4,6	106	109	108	7,03
9	6,60	-	-	-	0,5	0,8	6,8	109	109	109	7,03
10	6,73	-	-	-	1,0	0,5	9,1	104	103	103	7,03
11	6,54	-	-	-	0,1	3,0	5,5	103	102	102	7,75
12	7,52	-	-	-	0,1	2,0	3,7	100	100	100	7,03
13	7,65	-	-	-	-	-	-	106	103	100	7,02
14	7,81	0,1	0,5	1,0	-	-	-	102	102	101	7,03
15	8,41	0,1	1,5	3,0	-	-	-	105	105	105	7,03
16	8,90	0,5	0,5	5,0	-	-	-	104	106	104	7,02
17	9,24	0,5	0,8	7,5	-	-	-	104	109	107	7,02
18	9,37	0,5	1,0	10,0	-	-	-	107	107	107	7,02
19	9,71	0,5	1,5	15,0	-	-	-	112	111	110	7,03
20	9,93	0,5	1,8	17,5	-	-	-	111	111	111	7,02
21	10,03	0,5	2,0	20,0	-	-	-	112	110	112	7,02

Fonte: autor (2018)

Tabela 6 - Ensaio Jar-Test com concentração de 0,3075 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) - 0,3075								Data: 12/jan			
Cor Amostra Bruta - 100											
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,19	-	-	-	0,5	2,5	22,8	95	98	98	6,20
2	4,38	-	-	-	0,5	2,2	20,1	98	97	97	6,20
3	4,54	-	-	-	0,1	9,5	17,3	94	94	93	6,20
4	4,92	-	-	-	0,1	8,2	15,0	97	95	95	7,36
5	5,31	-	-	-	0,1	7,1	13,0	94	94	94	7,36
6	5,63	-	-	-	0,5	1,2	11,0	98	98	98	6,20
7	5,97	-	-	-	0,1	5,5	10,0	99	99	98	7,36
8	6,59	-	-	-	0,5	1,0	9,1	102	101	101	6,74
9	6,71	-	-	-	0,5	0,7	6,4	105	104	102	6,74
10	6,76	-	-	-	0,1	3,0	5,5	100	104	102	6,74
11	7,00	-	-	-	-	-	-	102	101	100	6,74
12	7,19	0,1	1,0	2,0	-	-	-	99	98	98	7,36
13	7,72	0,1	1,2	2,4	-	-	-	104	103	103	7,08
14	7,93	0,1	1,7	3,4	-	-	-	108	106	101	7,08
15	8,19	0,1	1,9	3,8	-	-	-	109	104	100	7,08
16	8,27	0,1	2,0	3,9	-	-	-	107	106	107	6,91
17	8,91	0,1	2,0	4,0	-	-	-	108	106	106	6,91
18	8,92	0,5	0,5	5,0	-	-	-	103	102	100	6,91
19	9,22	0,5	1,0	10,0	-	-	-	102	108	107	7,08
20	9,60	0,5	1,2	12,0	-	-	-	109	106	109	7,54
21	9,88	0,5	1,5	15,0	-	-	-	108	107	105	6,91

Fonte: autor (2018)

Tabela 7 - Ensaio Jar-Test com concentração de 0,4 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					0,4						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	13/jan		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,23	-	-	-	0,5	2,3	21,0	97	98	100	7,94
2	4,35	-	-	-	0,5	2,0	18,3	98	101	96	7,94
3	4,62	-	-	-	0,1	9,0	16,4	97	97	98	7,94
4	5,10	-	-	-	0,1	8,0	14,6	95	98	100	7,94
5	5,67	-	-	-	0,1	7,0	12,8	102	105	102	7,41
6	6,16	-	-	-	0,1	6,5	11,9	104	104	109	7,41
7	6,84	-	-	-	0,5	1,2	11,0	105	99	102	6,74
8	6,91	-	-	-	0,5	0,7	6,4	106	108	105	6,74
9	6,92	-	-	-	0,1	3,0	5,5	101	102	107	6,74
10	7,27	-	-	-	-	-	-	105	104	106	6,74
11	7,60	0,1	2,0	4,0	-	-	-	107	109	109	6,92
12	7,86	0,1	2,5	5,0	-	-	-	110	110	111	7,41
13	8,18	0,1	3,0	6,0	-	-	-	111	108	105	6,92
14	8,95	0,5	1,0	10,0	-	-	-	113	109	109	6,92
15	9,35	0,1	6,0	12,0	-	-	-	116	114	111	7,41
16	9,59	0,5	1,5	15,0	-	-	-	110	112	112	6,92

Fonte: Autor (2018)

Tabela 8 - Ensaio Jar-Test com concentração de 0,5 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					0,5						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	16/jan		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,52	-	-	-	0,5	2,3	21,0	104	102	100	8,10
2	4,70	-	-	-	0,5	2,0	18,3	102	101	101	8,10
3	5,01	-	-	-	0,5	1,8	16,0	103	105	104	8,10
4	5,68	-	-	-	0,5	1,5	13,7	108	106	103	6,69
5	6,10	-	-	-	0,5	1,0	9,1	102	105	102	6,69
6	6,55	-	-	-	0,5	0,8	6,8	104	104	109	6,69
7	6,73	-	-	-	0,5	0,5	4,6	105	99	102	6,69
8	6,95	-	-	-	-	-	-	103	104	103	8,10
9	7,27	0,1	2,0	4,0	-	-	-	109	111	110	6,66
10	7,71	0,1	2,5	5,0	-	-	-	115	114	112	6,66
11	8,15	0,1	3,0	6,0	-	-	-	114	113	113	6,66
12	8,79	0,5	1,0	10,0	-	-	-	115	114	116	6,66
13	9,40	0,1	6,0	12,0	-	-	-	111	113	108	7,65
14	9,50	0,1	6,5	13,0	-	-	-	112	112	109	7,65
15	9,62	0,1	7,0	14,0	-	-	-	110	112	108	7,65
16	9,79	0,5	1,5	15,0	-	-	-	115	110	107	7,65

Fonte: Autor (2018)

Tabela 9 - Ensaio Jar-Test com concentração de 1,0 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					1,0						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	17/jan		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,27	-	-	-	0,5	2,3	21,0	113	109	109	8,21
2	4,71	-	-	-	0,5	2,0	18,3	110	108	109	8,21
3	5,06	-	-	-	0,5	1,8	16,0	109	112	112	8,21
4	5,46	-	-	-	0,5	1,5	13,7	109	111	108	8,21
5	5,82	-	-	-	0,1	7,0	12,8	107	108	107	8,24
6	6,38	-	-	-	0,1	6,0	11,0	107	107	110	8,24
7	6,78	-	-	-	0,5	1,0	9,1	114	114	115	7,10
8	6,85	-	-	-	0,5	0,8	6,8	110	112	112	7,10
9	6,92	-	-	-	0,5	0,5	4,6	109	109	106	7,10
10	7,04	-	-	-	-	-	-	110	106	109	7,10
11	7,53	0,1	2,0	4,0	-	-	-	106	105	109	7,08
12	7,67	0,1	2,5	5,0	-	-	-	106	108	108	7,08
13	8,09	0,1	3,0	6,0	-	-	-	108	106	107	7,08
14	8,64	0,5	1,0	10,0	-	-	-	106	109	106	7,08
15	9,22	0,1	6,0	12,0	-	-	-	110	109	110	8,24
16	9,84	0,5	1,5	15,0	-	-	-	111	109	109	8,24

Fonte: Autor (2018)

Tabela 10 - Ensaio Jar-Test com concentração de 1,5 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					1,5						
Cor Amostra Bruta -					100			Data: 18/jan			
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,22	-	-	-	0,5	2,3	21,0	73	66	55	8,07
2	4,65	-	-	-	0,5	2,0	18,3	73	63	56	8,07
3	4,95	-	-	-	0,5	1,8	16,0	74	63	40	8,07
4	5,07	-	-	-	0,5	1,5	13,7	63	60	47	8,07
5	5,32	-	-	-	0,1	7,0	12,8	77	66	55	7,68
6	5,82	-	-	-	0,1	6,0	11,0	112	117	114	7,68
7	5,85	-	-	-	0,5	1,0	9,1	120	120	121	6,67
8	6,27	-	-	-	0,5	0,8	6,8	114	115	111	6,67
9	6,45	-	-	-	0,5	0,5	4,6	114	112	112	6,67
10	6,72	-	-	-	-	-	-	108	110	112	6,67
11	7,54	0,1	0,5	1,0	-	-	-	115	115	115	7,81
12	8,12	0,1	1,0	2,0	-	-	-	113	113	113	7,81
13	8,24	0,1	2,0	4,0	-	-	-	109	113	108	8,46
14	8,50	0,1	2,5	5,0	-	-	-	109	110	111	8,46
15	8,57	0,1	3,0	6,0	-	-	-	112	113	111	8,46
16	8,94	0,5	1,0	10,0	-	-	-	112	109	113	8,46
17	9,42	0,1	6,0	12,0	-	-	-	113	113	113	7,81
18	9,61	0,5	1,5	15,0	-	-	-	113	112	113	7,81

Fonte: Autor (2018)

Tabela 11 - Ensaio Jar-Test com concentração de 2,0 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					2,0						
Cor Amostra Bruta -					100			Data: 19/jan			
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,06	-	-	-	0,5	2,3	21,0	50	43	36	7,50
2	4,42	-	-	-	0,5	2,0	18,3	41	37	35	7,50
3	4,78	-	-	-	0,5	1,8	16,0	42	38	35	7,50
4	5,03	-	-	-	0,5	1,5	13,7	34	31	30	7,50
5	5,41	-	-	-	0,1	7,0	12,8	37	35	31	7,10
6	5,67	-	-	-	0,1	6,0	11,0	32	31	26	7,10
7	5,74	-	-	-	0,5	1,0	9,1	40	34	30	7,10
8	6,01	-	-	-	0,5	0,8	6,8	114	116	114	7,10
9	7,07	-	-	-	0,5	0,5	4,6	117	113	113	7,00
10	7,23	-	-	-	-	-	-	115	110	112	7,00
11	7,25	0,1	2,0	4,0	-	-	-	110	110	108	7,00
12	7,36	0,1	2,5	5,0	-	-	-	110	112	110	7,00
13	7,61	0,1	3,0	6,0	-	-	-	108	110	108	7,06
14	7,79	0,5	1,0	10,0	-	-	-	110	107	111	7,06
15	8,47	0,1	6,0	12,0	-	-	-	109	110	113	7,06
16	9,12	0,1	6,5	13,0	-	-	-	116	113	111	8,36
17	9,32	0,1	7,0	14,0	-	-	-	110	110	112	8,36
18	9,75	0,1	8,0	16,0	-	-	-	112	110	112	8,36
19	9,98	0,1	9,0	18,0	-	-	-	113	114	114	8,36

Fonte: Autor (2018)

Tabela 12 - Ensaio Jar-Test com concentração de 2,5 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					2,5						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	20/jan		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,19	-	-	-	0,5	2,0	18,3	72	59	43	8,12
2	4,44	-	-	-	0,5	1,8	16,0	59	41	40	8,12
3	4,93	-	-	-	0,5	1,5	13,7	57	55	39	8,12
4	5,47	-	-	-	0,5	1,0	9,1	41	36	29	8,12
5	6,16	-	-	-	0,1	4,0	7,3	23	25	19	7,74
6	6,58	-	-	-	0,5	0,8	6,8	60	56	46	6,71
7	6,75	-	-	-	0,1	3,0	5,5	60	50	34	6,71
8	6,82	-	-	-	0,1	2,0	3,7	122	122	124	6,71
9	6,87	-	-	-	0,1	1,0	1,8	120	122	122	6,71
10	7,31	-	-	-	-	-	-	123	122	124	6,84
11	7,32	0,1	2,0	4,0	-	-	-	123	121	123	6,84
12	7,34	0,1	2,5	5,0	-	-	-	122	122	121	6,84
13	7,42	0,1	3,0	6,0	-	-	-	123	124	123	6,84
14	7,63	0,5	1,0	10,0	-	-	-	122	124	121	8,11
15	8,09	0,1	6,5	13,0	-	-	-	123	121	119	8,11
16	8,49	0,1	7,0	14,0	-	-	-	119	120	118	7,74
17	8,72	0,1	8,0	16,0	-	-	-	123	120	119	8,11
18	9,25	0,1	9,0	18,0	-	-	-	119	119	119	7,74
19	9,42	0,1	10,0	20,0	-	-	-	122	125	124	8,11
20	9,85	0,1	11,0	22,0	-	-	-	124	119	119	7,74

Fonte: Autor (2018)

Tabela 13 - Ensaio Jar-Test com concentração de 3,0 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					3,0						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	20/jan		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,27	-	-	-	0,5	1,8	16,0	78	50	50	6,82
2	4,62	-	-	-	0,5	1,5	13,7	112	107	109	6,82
3	5,22	-	-	-	0,5	1,0	9,1	126	123	125	6,82
4	5,70	-	-	-	0,5	0,8	6,8	39	24	23	6,82
5	6,11	-	-	-	0,1	3,0	5,5	44	33	25	6,72
6	6,46	-	-	-	0,1	1,0	1,8	124	127	128	6,72
7	6,62	-	-	-	-	-	-	127	126	124	6,72
8	7,04	0,1	2,5	5,0	-	-	-	123	122	124	6,72
9	7,37	0,1	4,0	8,0	-	-	-	121	127	123	6,83
10	7,81	0,1	6,0	12,0	-	-	-	125	126	126	6,83
11	8,43	0,1	7,0	14,0	-	-	-	123	123	126	6,83
12	8,93	0,1	7,5	15,0	-	-	-	121	128	124	7,83
13	9,35	0,1	8,0	16,0	-	-	-	124	126	125	7,83
14	9,56	0,1	9,0	18,0	-	-	-	126	126	126	6,83
15	9,87	0,1	10,0	20,0	-	-	-	121	127	124	7,83
16	10,06	0,1	10,5	21,0	-	-	-	125	124	125	7,83

Fonte: Autor (2018)

Tabela 14 - Ensaio Jar-Test com concentração de 3,5 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) - 3,5											
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	23/jan		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,33	-	-	-	0,5	1,5	13,7	125	127	125	8,38
2	4,68	-	-	-	0,5	1,0	9,1	132	130	132	8,38
3	5,30	-	-	-	0,5	0,8	6,8	42	36	30	8,38
4	5,75	-	-	-	0,1	2,0	3,7	40	35	31	8,38
5	6,35	-	-	-	0,1	1,5	2,7	51	43	32	7,84
6	6,76	-	-	-	0,1	1,0	1,8	82	57	42	6,60
7	6,87	-	-	-	-	-	-	131	134	133	6,60
8	6,98	0,1	2,5	5,0	-	-	-	128	128	127	6,60
9	7,16	0,1	4,0	8,0	-	-	-	126	127	127	6,60
10	7,50	0,1	6,0	12,0	-	-	-	126	130	128	6,85
11	7,87	0,1	7,5	15,0	-	-	-	128	129	127	6,85
12	8,42	0,1	8,0	16,0	-	-	-	126	127	129	7,84
13	8,62	0,1	9,0	18,0	-	-	-	124	127	129	6,85
14	9,09	0,1	10,0	20,0	-	-	-	130	129	130	7,84
15	9,41	0,1	10,5	21,0	-	-	-	125	128	127	7,84

Fonte: Autor (2018)

Tabela 15 - Ensaio Jar-Test com concentração de 4,0 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					4,0						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	24/jan		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,59	-	-	-	0,5	1,0	9,1	139	135	133	8,18
2	5,23	-	-	-	0,5	0,8	6,8	44	38	29	8,18
3	5,67	-	-	-	0,5	0,5	4,6	35	27	16	8,18
4	5,91	-	-	-	0,1	1,5	2,7	31	24	18	8,18
5	6,38	-	-	-	0,1	1,0	1,8	65	44	35	7,81
6	6,64	-	-	-	0,1	0,5	0,9	75	56	40	7,81
7	6,84	-	-	-	-	-	-	136	137	132	6,64
8	7,00	0,1	1,5	3,0	-	-	-	138	136	136	6,64
9	7,02	0,1	3,0	6,0	-	-	-	138	137	134	6,64
10	7,25	0,1	5,0	10,0	-	-	-	133	133	133	6,64
11	7,53	0,1	7,0	14,0	-	-	-	134	135	137	6,96
12	7,94	0,1	9,0	18,0	-	-	-	136	137	137	6,96
13	8,69	0,1	11,0	22,0	-	-	-	138	138	135	6,96
14	9,07	0,1	11,5	23,0	-	-	-	143	137	140	7,81
15	9,46	0,1	12,0	24,0	-	-	-	139	136	137	7,81
16	9,70	0,1	12,5	25,0	-	-	-	138	138	137	6,96

Fonte: Autor (2018)

Tabela 16 - Ensaio Jar-Test com concentração de 4,5 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					4,5						
Cor Amostra Bruta -					100			Data: 25/jan			
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,63	-	-	-	0,5	1,0	9,1	129	128	129	7,67
2	4,95	-	-	-	0,5	0,8	6,8	132	136	135	8,12
3	5,23	-	-	-	0,5	0,5	4,6	133	132	133	8,12
4	5,72	-	-	-	0,1	1,0	1,8	22	14	14	8,12
5	5,96	-	-	-	-	-	-	27	21	16	8,12
6	6,15	0,1	0,5	1,0	-	-	-	74	54	40	7,67
7	6,37	0,1	1,0	2,0	-	-	-	111	99	100	7,67
8	6,84	0,1	1,5	3,0	-	-	-	135	136	134	6,71
9	7,08	0,1	3,0	6,0	-	-	-	134	134	133	6,71
10	7,12	0,5	1,0	10,0	-	-	-	134	133	133	6,71
11	7,27	0,5	1,5	15,0	-	-	-	130	130	131	6,71
12	7,68	0,1	9,0	18,0	-	-	-	133	132	130	7,01
13	8,19	0,1	11,0	22,0	-	-	-	132	128	131	7,01
14	8,69	0,1	12,0	24,0	-	-	-	129	130	132	7,67
15	9,18	0,5	2,5	25,0	-	-	-	134	132	132	7,01
16	9,59	0,1	13,0	26,0	-	-	-	133	135	133	7,01

Fonte: Autor (2018)

Tabela 17 - Ensaio Jar-Test com concentração de 5,5 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					5,5						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	30/jan		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,28	-	-	-	0,5	1,0	9,1	153	148	140	7,65
2	4,61	-	-	-	0,5	0,8	6,8	134	133	133	7,65
3	4,93	-	-	-	0,5	0,5	4,6	133	135	136	7,65
4	5,40	-	-	-	0,1	1,0	1,8	138	139	138	7,65
5	5,71	-	-	-	-	-	-	48	48	41	6,53
6	5,93	0,1	0,5	1,0	-	-	-	20	18	17	6,53
7	6,09	0,1	1,5	3,0	-	-	-	22	14	13	6,53
8	6,25	0,1	3,0	6,0	-	-	-	34	29	18	6,53
9	6,98	0,5	1,0	10,0	-	-	-	139	138	135	6,71
10	7,34	0,5	1,5	15,0	-	-	-	134	132	135	6,71
11	7,64	0,1	9,0	18,0	-	-	-	134	134	133	6,71
12	8,15	0,1	11,0	22,0	-	-	-	135	136	133	6,71
13	8,66	0,1	12,0	24,0	-	-	-	137	138	140	7,15
14	9,07	0,5	2,5	25,0	-	-	-	141	135	143	7,15
15	9,44	0,1	13,0	26,0	-	-	-	136	139	140	7,15
16	9,95	0,5	3,0	30,0	-	-	-	145	138	137	7,15

Fonte: Autor (2018)

Tabela 18 - Ensaio Jar-Test com concentração de 6,0 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					6,0						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	31/jan		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,23	-	-	-	0,5	1,0	9,1	157	152	143	7,77
2	4,50	-	-	-	0,5	0,8	6,8	139	141	140	7,77
3	4,85	-	-	-	0,5	0,5	4,6	137	138	139	7,77
4	5,30	-	-	-	0,1	1,0	1,8	137	140	141	7,77
5	5,49	-	-	-	-	-	-	147	147	147	6,50
6	5,74	0,1	0,5	1,0	-	-	-	145	141	145	6,50
7	5,87	0,1	1,0	2,0	-	-	-	30	25	16	7,77
8	5,95	0,1	1,5	3,0	-	-	-	25	20	14	6,50
9	6,06	0,1	2,0	4,0	-	-	-	40	23	15	7,77
10	6,14	0,1	3,0	6,0	-	-	-	22	25	17	6,50
11	6,41	0,1	3,5	7,0	-	-	-	118	111	106	7,77
12	6,56	0,1	4,0	8,0	-	-	-	151	149	148	7,77
13	6,87	0,5	1,0	10,0	-	-	-	142	145	143	6,63
14	7,16	0,5	1,5	15,0	-	-	-	139	143	144	6,63
15	7,39	0,1	9,0	18,0	-	-	-	142	143	141	6,63
16	7,84	0,1	11,0	22,0	-	-	-	145	144	142	6,63
17	8,27	0,1	12,0	24,0	-	-	-	145	143	146	7,14
18	8,85	0,5	2,5	25,0	-	-	-	147	144	144	7,14
19	9,28	0,1	13,0	26,0	-	-	-	142	145	145	7,14
20	9,85	0,5	3,0	30,0	-	-	-	152	151	152	7,14

Fonte: Autor (2018)

Tabela 19 - Ensaio Jar-Test com concentração de 6,5 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) - 6,5					6,5						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	02/fev		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
0	4,28	-	-	-	0,5	1,0	9,1	141	143	140	7,87
2	4,45	-	-	-	0,5	0,8	6,8	138	138	138	7,87
3	4,79	-	-	-	0,5	0,5	4,6	140	139	139	7,87
4	5,14	-	-	-	0,1	1,0	1,8	138	140	141	7,87
5	5,45	-	-	-	-	-	-	143	142	143	6,70
6	5,72	0,1	0,5	1,0	-	-	-	146	147	142	6,70
7	5,86	0,1	1,0	2,0	-	-	-	117	117	113	6,70
8	5,99	0,1	1,5	3,0	-	-	-	21	19	17	6,70
9	6,04	0,1	2,0	4,0	-	-	-	25	18	15	6,76
10	6,15	0,1	3,0	6,0	-	-	-	32	25	16	6,76
11	6,28	0,1	3,5	7,0	-	-	-	34	23	18	6,76
12	6,41	0,1	4,0	8,0	-	-	-	39	33	23	6,76
13	6,93	0,5	1,0	10,0	-	-	-	145	151	143	6,60
14	7,24	0,5	1,5	15,0	-	-	-	142	145	142	6,60
15	7,41	0,1	9,0	18,0	-	-	-	142	145	142	6,60
16	8,04	0,1	11,0	22,0	-	-	-	144	146	143	6,60
17	8,54	0,1	12,0	24,0	-	-	-	140	140	140	7,79
18	9,13	0,5	2,5	25,0	-	-	-	141	143	143	7,79
19	9,50	0,1	13,0	26,0	-	-	-	138	141	142	7,79
20	9,96	0,5	3,0	30,0	-	-	-	141	143	142	7,79

Fonte: Autor (2018)

Tabela 20 - Ensaio Jar-Test com concentração de 7,0 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					7,0						
Cor Amostra Bruta -					100			Data: 03/fev			
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,21	-	-	-	0,5	1,0	9,1	144	148	147	7,75
2	4,54	-	-	-	0,5	0,8	6,8	146	145	148	7,75
3	4,64	-	-	-	0,5	0,5	4,6	146	147	146	7,75
4	4,95	-	-	-	0,1	1,0	1,8	146	144	145	7,75
5	5,34	-	-	-	-	-	-	149	147	147	6,46
6	5,73	0,1	1,0	2,0	-	-	-	152	152	153	6,46
7	5,88	0,1	2,0	4,0	-	-	-	42	36	33	6,46
8	6,13	0,1	4,0	8,0	-	-	-	24	25	19	6,46
9	6,25	0,5	1,0	10,0	-	-	-	57	46	41	6,67
10	6,46	0,1	6,0	12,0	-	-	-	145	151	151	6,67
11	6,61	0,1	7,0	14,0	-	-	-	155	152	151	6,67
12	7,03	0,1	9,0	18,0	-	-	-	149	149	147	6,67
13	7,48	0,1	11,0	22,0	-	-	-	149	148	148	6,82
14	8,20	0,1	13,0	26,0	-	-	-	150	148	149	6,82
15	8,85	0,1	15,0	30,0	-	-	-	149	150	150	6,82
16	9,44	0,1	16,0	32,0	-	-	-	151	151	151	6,82

Fonte: Autor (2018)

Tabela 21 - Ensaio Jar-Test com concentração de 7,5 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) - 7,5											
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	08/fev		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,39	-	-	-	0,5	0,8	6,8	154	150	151	7,81
2	4,70	-	-	-	0,5	0,5	4,6	147	150	151	7,81
3	4,94	-	-	-	0,1	1,0	1,8	151	153	151	7,81
4	5,25	-	-	-	-	-	-	153	149	152	7,81
5	5,33	0,1	1,0	2,0	-	-	-	152	153	155	6,60
6	5,62	0,1	2,0	4,0	-	-	-	157	159	156	6,60
7	5,92	0,1	3,0	6,0	-	-	-	29	20	20	6,60
8	6,16	0,1	4,0	8,0	-	-	-	26	19	19	6,60
9	6,33	0,5	1,0	10,0	-	-	-	56	29	25	6,54
10	6,53	0,1	6,0	12,0	-	-	-	128	122	122	6,54
11	6,73	0,1	7,0	14,0	-	-	-	151	150	148	6,54
12	7,10	0,1	9,0	18,0	-	-	-	149	149	151	6,54
13	7,64	0,5	2,4	24,0	-	-	-	146	148	150	6,42
14	8,23	0,5	2,7	27,0	-	-	-	150	147	148	7,61
15	8,33	0,5	3,0	30,0	-	-	-	151	150	150	6,42
16	8,99	0,5	3,2	32,0	-	-	-	150	149	152	7,61
17	9,84	0,5	3,8	38,0	-	-	-	152	153	154	7,61
18	10,15	0,5	4,0	40,0	-	-	-	153	151	152	7,61
19	10,23	0,5	4,2	42,0	-	-	-	154	151	152	6,42

Fonte: Autor (2018)

Tabela 22 - Ensaio Jar-Test com concentração de 8,0 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					8,0						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:		10/fev	
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,33	-	-	-	0,5	0,8	6,8	155	153	155	7,65
2	4,66	-	-	-	0,5	0,5	4,6	157	155	156	7,65
3	4,98	-	-	-	0,1	1,0	1,8	154	156	156	7,65
4	5,33	-	-	-	-	-	-	156	156	158	7,65
5	5,40	0,1	1,0	2,0	-	-	-	159	163	163	6,74
6	5,70	0,1	2,0	4,0	-	-	-	40	35	34	6,74
7	5,94	0,1	3,0	6,0	-	-	-	31	25	20	6,74
8	6,11	0,1	4,0	8,0	-	-	-	36	38	23	6,74
9	6,25	0,5	1,0	10,0	-	-	-	83	64	47	6,79
10	6,46	0,1	6,0	12,0	-	-	-	159	167	167	6,79
11	6,59	0,1	7,0	14,0	-	-	-	166	165	165	6,79
12	6,77	0,1	9,0	18,0	-	-	-	165	163	163	6,79
13	7,70	0,5	2,0	20,0	-	-	-	149	154	154	7,74
14	8,18	0,5	2,1	21,0	-	-	-	154	152	151	7,74
15	8,33	0,5	2,2	22,0	-	-	-	156	153	154	7,74
16	8,49	0,5	2,4	24,0	-	-	-	152	148	152	7,74
17	8,79	0,5	2,7	27,0	-	-	-	154	151	154	7,51
18	9,29	0,5	3,0	30,0	-	-	-	155	157	154	7,51
19	10,06	0,5	3,4	34,0	-	-	-	156	156	157	7,51
20	10,30	0,5	3,7	37,0	-	-	-	157	156	159	7,51

Fonte: Autor (2018)

Tabela 23 - Ensaio Jar-Test com concentração de 8,5 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) -					8,5						
Cor Amostra Bruta -					100			Data: 13/fev			
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,20	-	-	-	0,5	0,8	6,8	154	157	154	7,82
2	4,43	-	-	-	0,5	0,5	4,6	158	159	157	7,82
3	4,84	-	-	-	0,1	1,0	1,8	159	160	161	7,82
4	5,10	-	-	-	-	-	-	159	159	160	7,82
5	5,27	0,1	1,0	2,0	-	-	-	162	158	161	6,71
6	5,70	0,1	2,0	4,0	-	-	-	105	95	76	6,71
7	5,91	0,1	3,0	6,0	-	-	-	36	32	22	6,71
8	6,06	0,1	4,0	8,0	-	-	-	46	23	20	6,71
9	6,22	0,1	5,0	10,0	-	-	-	37	23	17	7,67
10	6,34	0,1	6,0	12,0	-	-	-	161	165	168	7,67
11	6,52	0,1	7,0	14,0	-	-	-	166	165	166	7,67
12	6,88	0,1	9,0	18,0	-	-	-	160	159	160	7,67
13	7,18	0,5	2,4	24,0	-	-	-	159	158	160	7,67
14	7,64	0,5	2,8	28,0	-	-	-	154	156	157	6,64
15	8,19	0,5	3,2	32,0	-	-	-	158	160	160	6,64
16	8,73	0,5	3,6	36,0	-	-	-	158	159	159	6,64
17	9,17	0,5	3,7	37,0	-	-	-	161	159	160	7,44
18	9,69	0,5	3,8	38,0	-	-	-	160	161	161	7,44
19	10,06	0,5	3,9	39,0	-	-	-	162	161	160	7,44
20	10,26	0,5	4,0	40,0	-	-	-	160	160	162	7,44

Fonte: Autor (2018)

Tabela 24 - Ensaio Jar-Test com concentração de 9,0 mgFe/L

Concentração Fe (mg/l) - 9,0					9,0						
Cor Amostra Bruta -					100			Data:	16/fev		
Jarro (Nº)	pH Coagulação Medido após mistura rápida (10s)	Base NaOH			Ácido HCl			Cor Remanescente após mistura lenta (20min)			pH Amostra Bruta
		Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	Molaridade (M)	Volume (ml)	Conce. (mg/L)	00:01:24	00:02:48	00:07:00	
1	4,51	-	-	-	0,5	0,5	4,6	158	157	160	7,67
2	4,75	-	-	-	0,1	1,0	1,8	159	159	163	7,67
3	5,08	-	-	-	-	-	-	162	161	162	7,67
4	5,20	0,1	1,0	2,0	-	-	-	165	164	165	7,67
5	5,27	0,1	2,0	4,0	-	-	-	167	166	168	6,39
6	5,57	0,1	3,0	6,0	-	-	-	106	91	78	6,39
7	5,81	0,1	4,0	8,0	-	-	-	33	23	17	6,39
8	6,00	0,1	5,0	10,0	-	-	-	28	19	13	6,39
9	6,33	0,1	6,0	12,0	-	-	-	68	33	29	6,34
10	6,56	0,1	9,0	18,0	-	-	-	47	30	20	6,34
11	6,82	0,5	2,0	20,0	-	-	-	159	167	167	6,34
12	7,53	0,5	2,6	26,0	-	-	-	169	163	165	6,34
13	8,10	0,5	2,8	28,0	-	-	-	163	162	165	6,92
14	8,61	0,5	3,0	30,0	-	-	-	165	165	165	6,92
15	9,13	0,5	3,2	32,0	-	-	-	165	165	165	6,92
16	9,69	0,5	3,4	34,0	-	-	-	167	165	167	6,92

Fonte: Autor (2018)