

**THALES SCHWANKA TREVISAN**

**COAGULANTE TANFLOC SG COMO ALTERNATIVA AO USO DE  
COAGULANTES QUÍMICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA NA ETA  
CAFEZAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2014**

**THALES SCHWANKA TREVISAN**

**COAGULANTE TANFLOC SG COMO ALTERNATIVA AO USO DE  
COAGULANTES QUÍMICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA NA ETA  
CAFEZAL**

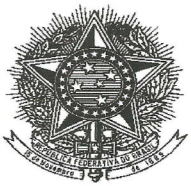
Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro.

Orientadora: Profa. Dra. Joseane Debora  
Peruço Theodoro

Co-orientadora: Profa. Dra. Edilaine Regina  
Pereira

**LONDRINA**

**2014**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia Ambiental



## TERMO DE APROVAÇÃO

Coagulante Tanfloc SG como uma alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal

por

Thales Schwanka Trevisan

Trabalho de conclusão de curso apresentado no dia 14 de Fevereiro de 2014 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

\_\_\_\_\_  
Prof. MSc. Bruno Oliveira de Freitas  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Joseane Peruço Theodoro  
(UTFPR)  
Orientadora

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Joseane Peruço Theodoro  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente não irei me lembrar de todos os que me apoiaram por fazer parte dessa fase importante da minha vida. Portanto, desde já peço minhas sinceras desculpas se essas pessoas não estarão presentes entre essas palavras, mas tenham a certeza que possuem a minha eterna gratidão.

Agradeço primeiramente a minha orientadora, a professora Dra. Joseane Peruço Theodoro pela sua dedicação e orientação pelo trabalho. Não menos importante, agradeço também a professora Dra. Edilaine Regina Pereira.

Agradeço também ao professor Joelmir Borssoi pelo fundamental auxílio e orientação que teve em me ajudar e ensinar a realizar a análise estatística do trabalho.

À Sanepar pela ajuda no trabalho, permitindo a realização das coletas dentro da unidade e pela disponibilização de materiais para utilização nos ensaios.

Agradeço aos professores da banca examinadora pela contribuição e atenção dada a esse estudo.

Agradeço também a todos os meus amigos, em especial ao George, Danielle e Iago pela fundamental ajuda para a realização desse trabalho.

Por fim, agradeço aos os meus familiares que sempre se esforçaram para me manter em Londrina e tiveram toda a compreensão para que pudesse permitir que eu vencesse mais esse desafio.

## RESUMO

TREVISAN, Thales S. Análise do coagulante Tanfloc SG como alternativa ao uso de coagulantes químicos no tratamento de água na ETA Cafezal. 130 f. 2014. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

A proposta deste trabalho foi utilizar o coagulante natural Tanfloc SG como alternativa de eliminar partículas presentes na água bruta da ETA Cafezal, localizada no município de Londrina e responsável por parte do abastecimento de água dessa, por processos de coagulação/floculação/sedimentação em comparação a dois coagulantes químicos, o sulfato de alumínio e o cloreto férrico. Sendo este, o utilizado atualmente na respectiva ETA. Simulou-se com o jar-teste as mesmas condições de mistura rápida e de floculação utilizados na ETA. Os valores do gradiente de mistura consistiam em um tempo de mistura rápida,  $450\text{ s}^{-1}$ , e quatro decaimentos,  $90\text{ s}^{-1}$ ,  $52\text{ s}^{-1}$ ,  $40\text{ s}^{-1}$  e finalizando com  $30\text{ s}^{-1}$ . Após o ensaio, realizou-se um estudo comparativo quanto à remoção de turbidez, cor aparente e variação de pH após 0, 10, 20 e 30 minutos de sedimentação. Uma análise comparativa de sólidos totais e suspensos entre o coagulante natural e o cloreto férrico também foi realizada. As águas em estudo foram coletadas dias antes dos ensaios e apresentaram duas características distintas: uma com valores turbidez e cor aparente baixos, e outra com valores relativamente elevados para os dois parâmetros físicos da água. Nos ensaios realizados com a água em condições chuvosas, somente a concentração de  $25\text{ mg/L}$  dos coagulantes químicos foram efetivas, enquanto que para o coagulante natural, além a dosagem de  $25\text{ mg/L}$ , a de  $45\text{ mg/L}$  também apresentou bom desempenho. Para a água com características normais, com baixos valores de cor e turbidez, apenas a concentração de  $10\text{ mg/L}$  do cloreto férrico apresentou bom rendimento. Para o Tanfloc SG, além desta dosagem, a de  $8\text{ mg/L}$  também teve um bom desempenho. Certas particularidades foram observadas, pois verificou-se que uma redução de sólidos suspensos na água em estudo não necessariamente indicou uma redução nos sólidos totais presentes na mesma. Constatou-se que o coagulante natural apresentou uma variação pouco significativa no parâmetro pH, uma situação boa pelo fato de se poder evitar o uso de produto químicos para correção de pH. Observou-se que o mesmo formou flocos maiores e que se sedimentaram mais rapidamente se comparados aos formados pelos dois coagulantes metálicos. Os resultados dos percentuais de remoção e a análise estatística indicaram um grande potencial para o Tanfloc SG quando comparado aos dois coagulantes químicos pelo fato do mesmo também ter obtido valores dos parâmetros analisados dentro dos valores máximos permitidos pela Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde e, portanto, pode substituir o cloreto férrico na respectiva ETA.

Palavras-chave: Coagulação, floculação, sedimentação, tratamento de água, coagulante químico, coagulante natural.

## ABSTRACT

TREVISAN, Thales S. Analysis of the coagulant Tanfloc SG as an alternative to the use of chemical coagulants for water treatment in Cafezal ETA. 130 p. 2014. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

The purpose of this study was to use the natural coagulant Tanfloc SG as an alternative to eliminate particles in the raw water of ETA Cafezal, located in the municipality of Londrina and partially responsible for this water supply by coagulation / flocculation / sedimentation compared to two chemical coagulants, aluminum sulfate and ferric chloride. This being the currently used on its ETA. Was simulated with the jar -test the same conditions of rapid mixing and flocculation used in ETA. The values of gradient in a mixture consisting of rapid mixing time  $450 \text{ s}^{-1}$ , and decays four  $90 \text{ s}^{-1}$   $52 \text{ s}^{-1}$   $40 \text{ s}^{-1}$  and ending with  $30 \text{ s}^{-1}$ . After the test was carried out as a comparative study to remove turbidity, color, and apparent pH change after 0, 10, 20 and 30 minutes of settling. A comparative analysis of total and suspended between the natural and ferric chloride coagulant solids was also performed. The waters in the study were collected days prior to testing and showed two distinct characteristics: one with low turbidity and apparent color, and other values with relatively high values for the two physical parameters of the water. In tests conducted with water in rainy conditions, only the concentration of  $25 \text{ mg} / \text{L}$  of chemical coagulants were effective, whereas for the natural coagulant, besides the dosage of  $25 \text{ mg} / \text{L}$  to  $45 \text{ mg} / \text{L}$  also showed good performance. For water with normal characteristics, with low values of color and turbidity, only the concentration of  $10 \text{ mg} / \text{L}$  of ferric chloride showed good yield. For Tanfloc SG, beyond this dosage to  $8 \text{ mg} / \text{L}$  also had a good performance. Certain characteristics were observed, as it was found that a reduction of suspended solids in the water under study does not necessarily indicate a reduction in total solids present in it. It was found that the natural coagulant showed a negligible change in pH parameter, a good situation because if you can avoid using chemical products for pH correction. It was observed that even larger flocs formed and are sedimented faster compared to those formed by two metal coagulants. The results of percentage removal and statistical analysis indicated a significant potential for Tanfloc SG when compared to the two chemicals because the same have also obtained values of the parameters analyzed within the maximum permitted by the Ordinance of the Ministry of Health Potability coagulants and therefore You can replace the ferric chloride in the respective ETA.

Keywords: coagulation, flocculation, sedimentation, water treatment, chemical coagulant, natural coagulant.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Distribuição dos sólidos totais presentes nas águas naturais.....	18
FIGURA 2: Situação do reservatório de cloreto férrico na estação ETA Cafezal.....	30
FIGURA 3: Estrutura química da quitina e da quitosana.....	32
FIGURA 4: Acácla Negra.....	32
FIGURA 5: Estrutura química do Tanfloc.....	34
FIGURA 6: ETA Cafezal e local da coleta da água bruta.....	37
FIGURA 7: Etapas das análises da água bruta.....	38
FIGURA 8: Soluções dos coagulantes.....	39
FIGURA 9: Filtração das amostras em papel de fibra de vidro.....	42
FIGURA 10: Restrições do modelo.....	43
FIGURA 11: Características visuais da água no estado inicial do ensaio do dia 24/10/2013.....	46
FIGURA 12: Característica da água bruta após os ensaios no jar-teste do dia 24/10/2013.....	47
FIGURA 13: Porcentagens de redução do parâmetro turbidez com o uso do coagulante sulfato de alumínio.....	47
FIGURA 14: Porcentagens de redução do parâmetro turbidez com o uso do coagulante Tanfloc SG.....	48
FIGURA 15: Porcentagens de redução do parâmetro cor com o uso do coagulante Sulfato de Alumínio.....	49
FIGURA 16: Porcentagens de redução do parâmetro cor com o uso do coagulante Sulfato de Alumínio.....	50
FIGURA 17: Variação do pH da água de acordo com a concentração utilizando o Sulfato de Alumínio.....	51
FIGURA 18: Variação do pH da água de acordo com a concentração utilizando o Tanfloc SG.....	52
FIGURA 19: Estado “in natura” da água bruta antes do ensaio do dia 08/11/2013...59	59
FIGURA 20: Imagens dos ensaios realizados com os coagulantes e características dos seus respectivos flocos formados.....	60
FIGURA 21: Porcentagens de redução do parâmetro turbidez com o uso do coagulante cloreto férrico no ensaio do dia 08/11/2013.....	61
FIGURA 22: Porcentagens de redução do parâmetro turbidez com o uso do coagulante Tanfloc SG no ensaio do dia 08/11/2013.....	61
FIGURA 23: Porcentagens de redução do parâmetro cor com o uso do coagulante cloreto férrico no ensaio do dia 08/11/2013.....	63
FIGURA 24: Porcentagens de redução do parâmetro cor com o uso do coagulante Tanfloc SG no ensaio do dia 08/11/2013.....	63
FIGURA 25: Variação do pH da água de acordo com a concentração utilizando o Cloreto Férrico no ensaio do dia 08/11/2013.....	64
FIGURA 26: Variação do pH da água de acordo com a concentração utilizando o Tanfloc SG no ensaio do dia 08/11/2013.....	65
FIGURA 27: Estado inicial da água bruta antes do ensaio do dia 22/11/2013.....	72

FIGURA 28: Imagens dos ensaios realizados no dia 22/11/2013 com os coagulantes e características dos seus respectivos flocos formados.....	73
FIGURA 29: Porcentagens de remoção do parâmetro turbidez com o uso do coagulante cloreto férrico no ensaio do dia 22/11/2013.....	74
FIGURA 30: Porcentagens de remoção do parâmetro turbidez com o uso do coagulante Tanfloc SG no ensaio do dia 22/11/2013.....	75
FIGURA 31: Porcentagens de remoção do parâmetro cor com o uso do coagulante cloreto férrico no ensaio do dia 22/11/2013.....	76
FIGURA 32: Porcentagens de remoção do parâmetro cor com o uso do coagulante Tanfloc SG no ensaio do dia 22/11/2013.....	76
FIGURA 33: Variação do pH da água de acordo com a concentração utilizando o Cloreto Férrico no ensaio do dia 22/11/2013.....	78
FIGURA 34: Variação do pH da água de acordo com a concentração utilizando o Tanfloc SG no ensaio do dia 22/11/2013.....	78



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Tipo de tratamento necessário para cada classe de águas doces.....	20
TABELA 2 – Valor máximo permitido dos parâmetros da água de acordo com a classe do corpo de água.....	20
TABELA 3 – Principais características dos coagulantes usualmente utilizados.....	26
TABELA 4 – Valores de mistura rápida e mistura lenta adotados.....	40
TABELA 5 – Modelo Adotado para organizar os resultados obtidos com a análise de variância.....	44
TABELA 6 – Caracterização das águas em estudo.....	45
TABELA 7 – Resultados da análise de variância para a turbidez no tempo zero no ensaio do dia 24/10/2013.....	53
TABELA 8 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – Turbidez -no ensaio do dia 24/10/2013.....	54
TABELA 9 – Resultados da análise de variância para a cor no tempo zero no ensaio do dia 24/10/2013.....	56
TABELA 10 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos, Cor-aparente do dia 24/10/2013.....	57
TABELA 11 – Resultados da Análise de Variância para a Turbidez no tempo zero no ensaio do dia 08/11/2013.....	66
TABELA 12 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – Turbidez -no ensaio do dia 08/11/2013.....	66
TABELA 13 – Resultados da análise de variância para o parâmetro cor aparente no tempo zero no ensaio do dia 08/11/2013.....	69
TABELA 14 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos, Cor-aparente no dia 08/11/2013.....	70
TABELA 15 – Resultados da análise de variância para o parâmetro turbidez no tempo zero no ensaio do dia 22/11/2013.....	79
TABELA 16 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos, Turbidez- no ensaio do dia 22/11/2013.....	80
TABELA 17 – Resultados da análise de variância do parâmetro cor aparente no tempo zero no ensaio do dia 22/11/2013.....	82
TABELA 18 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos, Cor-aparente no ensaio do dia 22/11/2013.....	82

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

uT	Unidades de Turbidez
uH	Unidades de Cor
[FeCl <sub>3</sub> ]	Concentração de cloreto férrico em mg/L
[Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ]	Concentração de sulfato de alumínio em mg/L
[Tanfloc SG]	Concentração de Tanfloc SG em mg/L
Sanepar	Companhia de Saneamento do Paraná
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
ETA	Estação de tratamento de água
pH	Potencial Hidrogeniônico
APHA	American Public Health Association
FeCl <sub>3</sub>	Cloreto férrico
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Sulfato de alumínio
L	litro (volume)
mg	miligramas (peso)
mg/L	miligramas por litro (concentração)
OMS	Organização Mundial da Saúde

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	14
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	14
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
3.1 SITUAÇÃO HÍDRICA A CRITÉRIO NACIONAL E INTERNACIONAL .....	15
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA.....	16
3.2.1 Características Físicas .....	16
3.2.2 Características Químicas .....	18
3.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE O TRATAMENTO E QUALIDADE DA ÁGUA .....	19
3.3.1 Classificação do Ribeirão Cafezal.....	21
3.4 PROCESSOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA.....	22
3.5 COAGULANTES QUÍMICOS .....	25
3.5.1 Sulfato de Alumínio .....	27
3.5.2 Cloreto Férrico.....	29
3.6 COAGULANTES NATURAIS .....	31
3.6.1 Tanfloc SG .....	33
3.7 COMPARAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES QUÍMICOS, (SULFATO DE ALUMÍNIO E CLORETO FÉRRICO), E NATURAL (TANFLOC SG) NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....	34
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	37
4.1 LOCAL DA COLETA .....	37
4.2 MÉTODO DE AMOSTRAGEM.....	38
4.3 ENSAIO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO.....	38
4.4 COR APARENTE .....	41
4.5 TURBIDEZ .....	41
4.6 pH.....	41
4.7 SÓLIDOS TOTAIS .....	41
4.8 SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS .....	42
4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	42
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	45
5.1 CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS COLETADAS .....	45
5.2 AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO ENTRE O SULFATO DE ALUMÍNIO E O TANFLOC SG .....	46
5.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ENSAIO REALIZADO NO DIA 24/10/2013 COM O USO DO COAGULANTE QUÍMICO SULFATO DE ALUMÍNIO ( $Al_2(SO_4)_3$ ) E O COAGULANTE NATURAL TANFLOC SG (Ta).....	53
5.3.1 Análise de Variância em relação a Turbidez para os coagulantes sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) e Tanfloc SG (Ta) .....	53
5.3.2 Análise de Variância em relação a Cor Aparente para os coagulantes sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) e Tanfloc SG (Ta) .....	56
5.4 AVALIAÇÃO DO ENSAIO NA REDUÇÃO DOS PARÂMETROS DE TURBIDEZ, COR E VARIAÇÃO DE pH NA ÁGUA BRUTA ENTRE O CLORETO FÉRRICO E O TANFLOC SG .....	58
5.4.1 Ensaio Realizado com Água Bruta em Condições Chuvosas .....	58

5.4.2 Análise de Variância em relação a Turbidez para os coagulantes cloreto férrico (FeCl <sub>3</sub> ) e Tanfloc SG (Ta) do ensaio realizado no dia 08/11/2013 .....	65
5.4.3 Análise de Variância em relação a Cor Aparente para os coagulantes cloreto férrico (FeCl <sub>3</sub> ) e Tanfloc SG (Ta) o ensaio realizado no dia 08/11/2013 .....	69
5.4.4 Ensaio Realizado com Água Bruta em Condições de Período Seco .....	71
5.4.5 Análise de Variância em relação a Turbidez para os coagulantes cloreto férrico (FeCl <sub>3</sub> ) e Tanfloc SG (Ta) do ensaio realizado no dia 22/11/2013 .....	79
5.4.6 Análise de Variância em relação a Cor Aparente para os coagulantes cloreto férrico (FeCl <sub>3</sub> ) e Tanfloc SG (Ta) do ensaio realizado no dia 22/11/2013 .....	81
5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PARÂMETRO pH NOS TRÊS ENSAIOS REALIZADOS.....	83
5.6 ANÁLISE DE SÓLIDOS DOS ENSAIOS COM CLORETO FÉRRICO E TANFLOC SG .....	84
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89
APÊNDICES.....	96

## 1 INTRODUÇÃO

Ao se utilizar da água de mananciais para abastecimento humano, como para uso doméstico, a mesma necessita apresentar uma determinada qualidade dentro dos padrões de potabilidade. No entanto, segundo Vanâcor (2005), com a escassez das águas superficiais e subterrâneas e da sua progressiva degradação, se faz necessário um tratamento de água que implica cada vez mais custos para que a mesma se torne potável.

Dentro do processo de tratamento de água, mais especificamente nas tecnologias que compreendem a fase de clarificação da água bruta, existe o processo de coagulação das partículas presentes na água (DI BERNARDO E DANTAS, 2005). Especificamente nesta etapa, são convencionalmente empregados coagulantes inorgânicos, de origem química, constituído por sais de alumínio e ferro, como o sulfato de alumínio, o cloreto férrico e o sulfato férrico. Estes são eficientes na remoção de uma ampla variedade de impurezas da água, incluindo partículas coloidais e substâncias orgânicas dissolvidas (CORAL et al., 2009).

A respeito dos coagulantes químicos, o mais vastamente utilizado é o sulfato de alumínio. Apesar das vantagens citadas anteriormente, a utilização desse coagulante químico no processo de tratamento de água está gerando discussão, pois a presença de alumínio residual na água decorrente do tratamento se vem associando um certo risco à saúde devido a um possível surgimento de doenças neurológicas nos humanos (ROSALINO, 2011).

Na água bruta a ser coletada que se localiza em uma estação de tratamento de água da Companhia de Tratamento de água do Paraná em Londrina, o coagulante utilizado é o cloreto férrico. Uma grande vantagem deste coagulante é que o mesmo é efetivo em uma ampla faixa de pH (SPINELLI, 2001). No entanto, ele precisa de uma série de cuidados e atenção para manuseá-lo, além de utilizar recipientes anticorrosivos para o seu armazenamento (FRANCO, 2009).

Segundo Cruz (2004), os produtos convencionalmente empregados para correção do pH são agentes inorgânicos não biodegradáveis que acrescentam elementos químicos à água ou ao lodo dificultando seu tratamento e disposição final.

Assim, é desejável que coagulantes alternativos, ambientalmente mais aceitáveis e com custos mais acessíveis sejam utilizados para complementar, ainda

que não substituir, os sais de alumínio e ferro (RAMOS, 2005). O uso de coagulantes de origem natural, de acordo com Siqueira (2009), é uma alternativa viável para a substituição dos coagulantes químicos, principalmente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixa produção de lodo residual.

Dentre os coagulantes naturais existentes, de acordo com Coral et al. (2009), a utilização de compostos derivados de taninos vegetais tem se mostrado eficiente no tratamento de efluentes e águas destinadas ao consumo humano.

O Tanfloc SG, um produto produzido pela empresa TANAC que se localiza no Estado do Rio Grande do Sul, pode atuar como coagulante natural ou auxiliar de floculação (TANAC, 1999). Este coagulante vegetal é efetivo em uma ampla faixa de pH, elimina o uso de alcalinizantes (como soda ou cal), não acrescenta metais ao processo e proporciona uma redução no volume de lodo a ser descartado (CRUZ, 2004).

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho dos coagulantes, natural Tanfloc SG em comparação com os metálicos, cloreto férrico e sulfato de alumínio, no processo de coagulação/floculação no tratamento de água através da avaliação de parâmetros físicos e químicos na água de captação da ETA Cafezal localizada no município de Londrina.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho foi avaliar o desempenho dos coagulantes natural Tanfloc SG e os metálicos cloreto férrico e sulfato de alumínio, no processo de coagulação/floculação no tratamento de água por meio da avaliação de parâmetros físicos e químicos da água de captação da ETA Cafezal localizada no município de Londrina – PR.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar uma dosagem para o coagulante químico, no caso o cloreto férrico, que atenda os parâmetros turbidez, cor e pH de potabilidade
- Determinar uma dosagem para o coagulante natural, no caso o Tanfloc SG, que atenda os parâmetros turbidez, cor e pH de potabilidade
- Determinar uma dosagem para o coagulante químico, no caso o sulfato de alumínio, que atenda os parâmetros turbidez, cor e pH de potabilidade
- Comparar a eficiência da redução dos parâmetros cor e turbidez em relação ao uso dos coagulantes químico e natural.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 SITUAÇÃO HÍDRICA A CRITÉRIO NACIONAL E INTERNACIONAL

A água constitui um elemento essencial à vida animal e vegetal. Segundo Oliveira (1973), o homem tem necessidade de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para todas as suas necessidades, não só para proteção de sua saúde, como também para seu desenvolvimento econômico.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) (2003) um dos direitos básicos do ser humano é ter acesso a água potável. No entanto, essa situação não ocorre, pois de acordo com Nunes et al. (2009), apesar do planeta ser constituído essencialmente por água, apenas uma pequena parcela apresenta potabilidade. Ademais, a disponibilidade de água não está distribuída uniformemente na superfície terrestre o que acarreta que em certos locais do planeta a demanda de água é maior do que a disponibilidade da mesma.

Além da distribuição de água potável não ser uniforme, para Barros e Amin (2007), o crescimento populacional e econômico vem acelerando a degradação ambiental e, por consequência, tornando-a imprópria para o consumo. Na atualidade Bongiovani et al. (2010) afirma que os principais recursos hídricos utilizados para abastecimento público são mananciais superficiais cuja qualidade da água, na maioria das vezes, se encontra degradada. Isso acarreta um sério impacto ambiental e também social, pois segundo a OMS, 70% dos leitos hospitalares, ocupados no mundo inteiro, abrigam pessoas portadores de doenças de origem ou transmissão hídricas e suas consequências, provenientes da ausência de serviços adequados de abastecimento de água (BORBA, 2001).

O Brasil, no contexto de disponibilidade de água, segundo Rebouças (2003) se enquadra em uma classe de países ricos de água doce das Nações Unidas por possuir um potencial da ordem de 34.000 m<sup>3</sup> de água doce por habitante. No entanto, afirma que o desperdício e a poluição água disponível acarreta em crises de



abastecimento nas cidades brasileiras. Para Santos<sup>2</sup> (2003 apud SILVA, 2004), um dos problemas em relação à disponibilidade hídrica no Brasil é que a mesma é afetada pela degradação do recurso causado pela poluição de origem doméstica, industrial e agrícola e também pelas altas taxas de perdas físicas no sistema de abastecimento. Por isso, devido a estas causas, Di Bernardo e Dantas (2005) comentam que o tratamento de água destinado ao consumo humano se torna indispensável.

### 3.2 CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA

A respeito do tratamento de água se faz necessário inicialmente um conhecimento das características da água. Segundo Libânio (2010), a água apresenta características químicas, físicas e biológicas que traduzem uma série de processos que ocorrem na bacia hidrográfica e no corpo hídrico. Devido aos objetivos do presente trabalho será dado enfoque a quatro características físicas e a uma característica química.

#### 3.2.1 Características Físicas

As características físicas das águas de abastecimento se apresentam como as que possuem o impacto imediato ao consumidor e pode fazer, em certos casos, que ocorra a recusa da água distribuída pela concessionária (LIBÂNIO, 2010). As principais características físicas da água são: cor, turbidez, sabor e odor, temperatura, sólidos totais e condutividade elétrica (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Dentre as características físicas, devido aos objetivos do presente trabalho, é relevante comentar sobre a cor e a turbidez. A cor da água é provocada por

---

<sup>2</sup> SANTOS, R.M. Princípio Poluidor-Pagador e a Gestão de Recursos Hídricos: A Experiência Europeia e Brasileira. In: MAY, P.H et al. **Economia do Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Campus, 2003, p. 291-312.

compostos orgânicos de origem vegetal, que pelas atividades dos microorganismos e pelo resíduo das atividades humanas, se decompõem (PAVANELLI, 2001).

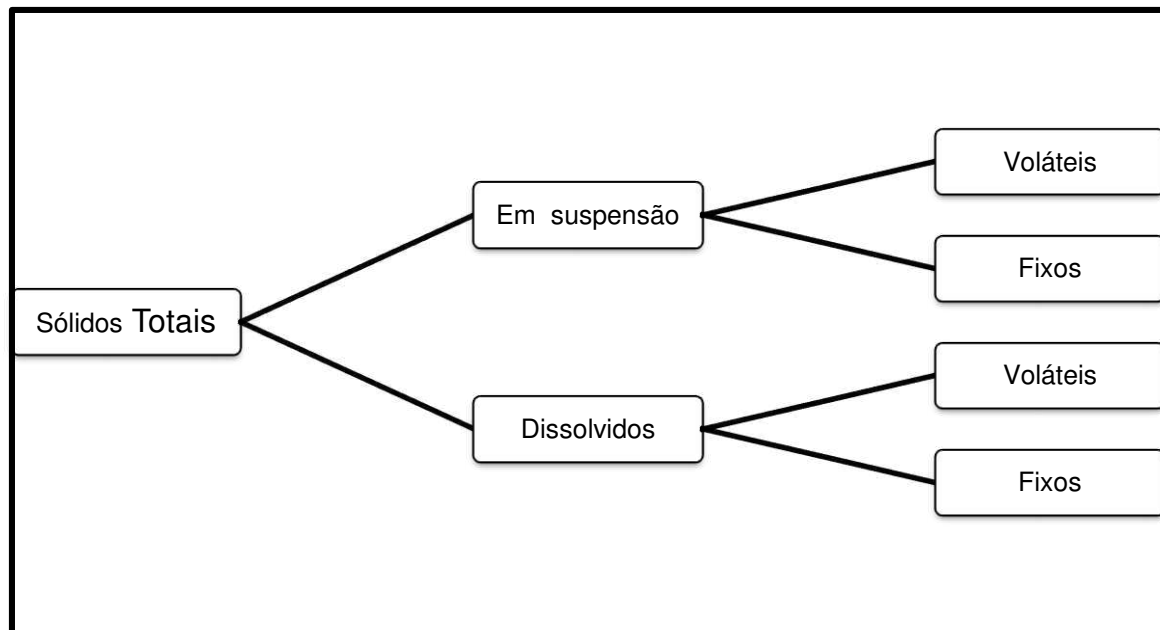
De modo geral, a cor nas águas naturais é decorrente da presença de matéria orgânica originada da decomposição de plantas e animais, denominada substância húmica (DI BERNARDO E DANTAS, 2005). A cor verdadeira é definida como a cor que a água apresenta após a remoção da turbidez presente na mesma. Já a cor aparente seria aquela que inclui não somente as substâncias que estão dissolvidas na água, mas também as que estão em suspensão (APHA, 2012). A determinação da intensidade da cor da água é medida em unidades de cor (uC) ou unidade de Hazen (uH) quando a amostra é comparada com um padrão de cobalto-platina (GASPAROTTO, 2011).

Outra característica física da água é a turbidez. Esta, segundo Oliveira (1973), é uma característica decorrente da presença de substâncias em suspensão, ou seja, de sólidos suspensos finamente divididos ou em estado coloidal e de organismos microscópicos. A mesma pode ser expressa por meio de unidades de turbidez (uT). Para Heller e Pádua (2006), a turbidez da água a ser tratada possui grande importância, pois ela é considerada um dos principais parâmetros para a seleção de tecnologia de tratamento e controle operacional dos processos de tratamento.

A turbidez, somente, não traria inconveniente sanitário, não fosse a presença da natureza química de certos sólidos em suspensão que podem estar presentes, bem como a possível patogenicidade que pode estar associada a esses compostos (VIANNA<sup>3</sup>, 1992 apud CARVALHO, 2008). Por isso é intrínseca a correlação entre a turbidez e a concentração de sólidos suspensos, estes que fazem uma parcela da concentração de sólidos totais (LIBÂNIO, 2010). Segundo Macedo (2007), todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos recursos hídricos. Os mesmos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e características químicas. A Figura 1 mostra como é a distribuição dos sólidos totais.

---

<sup>3</sup> VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. Belo Horizonte: Instituto de Engenharia Aplicada, 1992. 2 ed. 344 p.



**Figura 1: Distribuição dos sólidos totais presentes nas águas naturais.**  
Fonte: Di Bernardo e Dantas (2010).

### 3.2.2 Características Químicas

As características químicas da água possuem grande importância em se tratando de tratamento, pois determinadas substâncias podem inviabilizar o uso de um tipo de tecnologia (HELLER e PÁDUA, 2006).

Dentre as características existentes, para o trabalho é relevante comentar sobre o potencial hidrogeniônico (pH). Este, segundo Silveira (2007) é utilizado para determinar a concentração de íons de hidrogênio nas águas e, a partir disso, é possível determinar se a água está apresentando condições ácidas ou alcalinas. Segundo Brown e Holme (2009), a escala de pH varia de 0 a 14 sendo que valores menores que 7 são considerados condições ácidas, iguais a 7 condições neutras e superiores a 7 são condições básicas ou alcalinas.

O pH é considerado um parâmetro importante, na etapa de coagulação. Além disso, nos sistemas de abastecimento, águas que possuam pH com características ácidas tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais e paredes de concreto, enquanto que as águas que tenham características alcalinas tendem a formar incrustações (LIBÂNIO, 2010).

### 3.3 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE A QUALIDADE E O TRATAMENTO DA ÁGUA

A respeito do tratamento de água e qualidade, a critério nacional, a Portaria Nº 2.914 de 12 de Dezembro de 2011 do Ministério da Saúde é a que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Sobre essa respectiva Portaria, os valores máximos permitidos das características da água potável que foram analisadas no trabalho, cor, turbidez, pH e sólidos totais são as seguintes:

- Sobre a cor, no anexo X da Portaria ela possui um valor máximo permitido (VMP) de 15 uH.
- A respeito da turbidez, o VMP é de 5 uT.
- O pH recomenda-se que no sistema de distribuição se mantenha na faixa de 6 a 9,5.
- Em relação aos sólidos totais, existe um valor máximo permitido para os sólidos dissolvidos totais que é de 1000 mg/L.

Além desses padrões que devem ser considerados no tratamento da água, outra legislação a ser considerada é a Resolução Nº 357 de 17 de Março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Nesta, está a classificação dos corpos de água e quais são as diretrizes ambientais para o seu enquadramento além de outras providências. Segundo ela, os corpos de água existentes no território nacional: as águas doces, salinas e salobras são classificados por critério de qualidade de água, em treze classes distintas.

De acordo com a Resolução Conama Nº 357, as águas doces, com exceção da classe IV, são as destinadas para o consumo humano. Para que isto ocorra, é necessário que a água a ser utilizada passe por um tratamento. De acordo com o Art. 4º, conforme pode ser visto na Tabela 1, é demonstrado qual é o tipo de tratamento necessário.

**Tabela 1 – Tipo de Tratamento Necessário para cada classe de águas doces**

<b>Classe</b>	<b>Tipo de Tratamento</b>
Classe especial	Processo de desinfecção
Classe I	Tratamento simplificado
Classe II	Tratamento convencional
Classe III	Tratamento convencional ou avançado

**Fonte: Art. 4º da Resolução Nº 357 do CONAMA**

Além disso, os parâmetros de qualidade que foram analisados no presente trabalho, a turbidez, cor e pH, possuem um valor máximo permitido de acordo com a classe do corpo de água. A Tabela 2 ilustra esses valores.

**Tabela 2 – Valor máximo permitido dos parâmetros da água de acordo com a classe do corpo de água.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Classe I</b>	<b>Classe II</b>	<b>Classe III</b>
Cor verdadeira	-	75 mg Pt/L	75 mg Pt/L
Turbidez	40 uT	100 uT	100 uT
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L	500 mg/L	500 mg/L

**Fonte: Resolução Nº 357 do Conama.**

Ademais, para águas destinadas especificamente para o abastecimento público, existe também a NBR Nº 12216 válida a partir do dia 30 de maio de 1992 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Na mesma é tratado os procedimentos para o projeto de estações de tratamento de água para abastecimento público. Nesta Norma, as águas naturais são classificadas em quatro categorias de acordo com a sua qualidade que podem ser visualizadas abaixo:

- Tipo A: Águas subterrâneas ou superficiais, proveniente de bacias sanitariamente protegidas, e que atendem ao padrão de potabilidade.
- Tipo B: Águas subterrâneas ou superficiais, proveniente de bacias não protegidas, e que atendem ao padrão de potabilidade com tecnologias de tratamento que não exijam coagulação.
- Tipo C: Águas superficiais provenientes de bacias não protegidas, e que

exigem tecnologias com coagulação química para atender ao padrão de potabilidade.

- Tipo D: Águas superficiais de bacias não protegidas, sujeitas a fonte de poluição, exigindo processos especiais de tratamento.

Segundo Libânio (2010), ao restringir os fatores intervenientes apenas às características da água bruta, a Norma da ABNT e a Resolução CONAMA Nº 357 fazem com que o tratamento da água para abastecimento público termine por convergir para linha de tratamento convencional da água.

### 3.3.1 Classificação do Ribeirão Cafezal

O município de Londrina está inserido totalmente na bacia hidrográfica do rio Tibagi, um importante afluente do rio Paranapanema. Na cidade, existem 16 sub-bacias principais, dentre as quais, na área urbana do município tem cerca de 70 cursos d'água, entre córregos e ribeirões. Estes levam suas águas até os córregos dessas sub-bacias e seus cursos de maior ordem correm de oeste para leste, até alcançarem o rio Tibagi (SILVA, 2011).

Dentre as sub-bacias principais, o presente trabalho vai utilizar a água pertencente a bacia hidrográfica do Ribeirão Cafezal. Segundo o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Londrina (2012), essa bacia possui fundamental importância para o abastecimento público, pois responde por 40% da água captada tratada e distribuída pelo município. O restante é captado diretamente no rio Tibagi.

A respeito da classificação do Ribeirão Cafezal, considerando o Art. 1º da Portaria da Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SUREHMA Nº 03 válida a partir de 21 de Março de 1991, o mesmo é classificado como classe II. Portanto, segundo a legislação CONAMA nº 357, o mesmo necessita de um tratamento convencional de água se dentre os usos houver abastecimento público.

### 3.4 PROCESSOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA

A água dos rios utilizados para o abastecimento e consumo humano deve ser incapaz de transmitir qualquer malefício para a população. Por isso, para tornar a água potável deve-se atender as especificações da Portaria 2.914/11, informada no capítulo 2.3. As tecnologias de tratamento apresentam, basicamente, três fases: clarificação, filtração e desinfecção (LIBÂNIO, 2010).

Segundo Kawamura (2000), o processo de tratamento de água mais comum seria um sistema que combine as etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Devido aos objetivos do trabalho o enfoque será dados nas etapas de coagulação, floculação e decantação que compreendem a fase de clarificação.

O processo de coagulação, para Kawamura (2000), é definido essencialmente como a desestabilização das partículas coloidais e sólidos suspensos, incluindo bactérias e vírus, por um coagulante. Historicamente, a idéia inicial era devido a necessidade de melhorar o aspecto visual da água, pois o objetivo principal do uso de coagulante é elevar significativamente a velocidade de sedimentação do aglomerado para proporcionar a remoção da cor e da turbidez (LIBÂNIO, 2010). A situação é que, como as partículas coloidais presentes na água bruta possuem um tamanho reduzido, demorariam muito tempo para sedimentar e por isso se adiciona coagulantes (PAVANELLI, 2001).

Importante salientar que as impurezas que precisam ser removidas da água bruta nas ETAs apresentam grande variação de tamanho. Segundo Heller e Pádua (2010a), as impurezas que causam a turbidez na água são conhecidas como matéria particulada e as que são responsáveis pela coloração da água são as substâncias dissolvidas.

O processo de coagulação, quimicamente, ocorre para diminuir as forças de repulsão das partículas coloidais com cargas negativas com adição de coagulantes com cargas positivas e, após isso, se faz uma agitação rápida para se acelerar o processo de aglomeração das partículas (Pavanelli, 2001). É importante para entender os mecanismos de coagulação, compreender o que é o potencial zeta.

O potencial zeta é conhecido como uma lei fundamental da natureza, e a sua finalidade é controlar a estabilidade dos colóides existentes na natureza. A estabilidade do colóide é o resultado da adsorção de íons, e o potencial zeta é a medida dessa adsorção (SILVA, 1999).

A partir disso, os principais mecanismos que ocorrem no processo de coagulação são:

- Compressão da camada difusa: nesse mecanismo de coagulação ocorre a desestabilização das partículas coloidais, pois, ao se adicionar íons de carga contrária às partículas, a grande concentração de cargas positivas causam excesso de íons na camada difusa e fazem com que se reduza o volume da esfera para manter-se eletricamente neutra (PAVANELLI, 2001).
- Adsorção e neutralização da carga: nesse processo, após a dispersão do coagulante, ocorrem interações entre o coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente que desestabilizam uma dispersão coloidal (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). De acordo com Pavanelli (2001), em regiões onde não se tem picos de turbidez, típico em épocas de estiagem, a estação poderá utilizar esse mecanismo de coagulação.
- Varredura: esse mecanismo é utilizado para tecnologias convencionais de tratamento de água que incluem as etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração. Os flocos que serão formados com o mecanismo da varredura devem ter densidade suficiente para serem sedimentados nos decantadores (SANTOS et al., 2007).
- Adsorção e formação de pontes: esse mecanismo ocorre quando há a adição de polímeros orgânicos reduzindo assim as dosagens de coagulantes. Nessa situação, a coagulação pode ocorrer por intermédio das formação das pontes químicas quando as partículas coloidais são adsorvidas na superfície das diversas cadeias dos polímeros (LIBÂNIO, 2010).



Na operação do tratamento de água das ETAs, os operadores precisam estar conscientes de que aumentar simplesmente a dosagem do coagulante não é suficiente para melhorar a coagulação. Para Heller e Pádua (2010b), é extremamente importante determinar o pH e a dosagem apropriadas do coagulante para a água a ser tratada. Ou seja, nota-se que a composição química do manancial interfere na coagulação e por isso é necessário realizar testes para encontrar a dosagem apropriada.

Após a adição de coagulante na água bruta, a dispersão do coagulante ocorre nas unidades de mistura rápida dentro do processo de tratamento da água. Após isso, para que ocorram choques entre as impurezas para se aglomerarem e assim formarem flocos na unidade de floculação, o processo de agitação é lento (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Esta, tem o propósito de acelerar a taxa de colisão de partículas coloidais anteriormente desestabilizadas causando assim a aglomeração das mesmas em tamanhos sedimentáveis e filtrável (KAWAMURA, 2000). A finalidade então da floculação, segundo Heller e Pádua (2010, b), seria acondicionar a água que será encaminhada aos decantadores ou aos filtros da ETA com as partículas em tamanhos maiores para facilitar a remoção das mesmas.

Para as estações convencionais de tratamento, segundo Libânio (2010), a eficiência no êxito da floculação está relacionada pelas características da água decantada, através de monitoramento nos parâmetros turbidez e cor aparente. Os fatores que interferem na variação dos valores desses parâmetros estão relacionados ao tempo de detenção ou tempo de floculação no tanque de floculação e o gradiente de velocidade.

Destaca-se ainda que, de acordo com Padilha *et al.* (2011), outros fatores interferentes no processo são o tipo de coagulante a ser utilizado, a alcalinidade e o pH da água bruta. Libânio *et al.* (1997) justifica que a escolha do coagulante adequado será baseada nas características da água bruta, nos custos e na configuração de uma ETA. No entanto, salienta-se que a adaptabilidade da água ao produto pode ser considerada de grande importância, visto que o coagulante poderá não surtir efeito algum se não forem respeitadas as peculiaridades do manancial.

O gradiente de velocidade está relacionado com uma intensidade rápida de agitação da massa líquida, necessária para garantir a adequada dispersão do coagulante utilizado e posteriormente outra intensidade lenta para que se promova a

agregação das partículas e assim formem-se flocos (HELLER e PÁDUA, 2006). O tempo de floculação, por sua vez, seria o tempo necessário para reduzir o número das partículas desestabilizadas através do choque promovidas no processo de mistura lenta (LIBÂNIO, 2010).

Depois das etapas de coagulação e floculação, a última etapa do processo de clarificação da água é a decantação. A importância dos processos anteriores a decantação, segundo Heller e Pádua (2010b), seria possibilitar a obtenção de partículas com maior velocidade de sedimentação, viabilizando assim a construção de unidades de decantação mais compactas. Portanto a eficiência nas unidades de decantação está diretamente relacionada com um bom funcionamento dos processos anteriores, a coagulação e a floculação.

A velocidade de sedimentação dos flocos formados pela floculação dependem principalmente da qualidade da água bruta, das características químicas da coagulação e dos parâmetros físicos da floculação. Devido as dificuldades de se prever a velocidade de sedimentação dessas partículas por meio de modelagem matemática são realizados ensaios em laboratórios geralmente em aparelhos de jar-teste para se encontrar qual é a dosagem mais apropriada de produtos químicos e valores de pH de coagulação e, também, para se obter as características físicas da mistura rápida e da floculação e sedimentabilidade dos flocos (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

As unidades de decantação são projetadas através da taxa de aplicação superficial da água (TAS) que está relacionada com a velocidade de sedimentação das partículas suspensas na água. Ela é calculada dividindo-se a vazão afluyente ao decantador pela sua área em planta. Relevante salientar que a redução na TAS possibilita melhoria na qualidade da água decantada mas em contrapartida exige unidades de decantação maiores (HELLER E PÁDUA, 2010b).

### 3.5 COAGULANTES QUÍMICOS

A escolha do tipo de coagulante para a água residuária ou efluente a serem tratados são muito importantes para que haja um bom funcionamento do processo de coagulação. Para Kawamura (2000), a seleção do coagulante é extremamente

importante por dois aspectos:

- 1) Definir quais serão os critérios para projetar as unidades de mistura rápida.
- 2) Para um eficiente funcionamento da floculação e do processo de clarificação como um todo.

A definição de qual coagulante utilizar dependerá principalmente das características da água ou efluente a ser tratado, da tecnologia do tratamento e do custo do coagulante (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Os coagulantes mais comuns utilizados nos processos de tratamento de água são os químicos: sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato férrico (KAWAMURA, 2000). As principais características dos mesmos são apresentadas na Tabela 3, abaixo.

**Tabela 3 – Principais características dos coagulantes usualmente utilizados**

Nome comercial	Composição típica	Dosagens usuais aplicadas em estações de tratamento (mg/L)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Disponibilidade
Sulfato de Alumínio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$	10 a 60	600 a 1400	Sólido ou líquido
Cloreto Férrico	$FeCl_3 \cdot 6 H_2O$	5 a 40	1425	Sólido ou Líquido
Sulfato Férrico	$FeSO_4 \cdot 9 H_2O$	5 a 40	1530 a 1600	Sólido ou Líquido

**Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).**

É de fundamental importância para a escolha do tipo de coagulante a ser utilizado, se considerar a quantidade e as características do lodo gerado no tratamento, pois estas dependem das características da água a ser tratada e do coagulante utilizado (Libânio, 2010). Além disso, a dosagem apropriada de coagulante como já dito anteriormente, depende das características da água a ser tratada, do custo com produtos químicos e dos valores de parâmetros de cor e turbidez que se deseja alcançar.

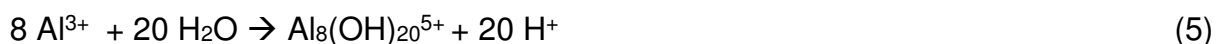
### 3.5.1 Sulfato de Alumínio

O sulfato de alumínio possui fórmula  $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$ , conforme pode ser visualizado na Tabela 3. Segundo Carvalho (2008), ele é o coagulante mais usado no tratamento de água devido a sua boa eficiência, ser de fácil transporte e manejo, possuir baixo custo e ser produzido em várias regiões brasileiras. Essa situação não é única no Brasil, já que no Canadá, por exemplo, a porcentagem de utilização do sulfato de alumínio como coagulante no tratamento de água corresponde a 97,2%. (NIQUETTE *et al.*, 2004).

Quando adicionado à água, esse coagulante químico sofre um processo de hidrólise formando uma série de reações complexas de hidrólise (Kawamura, 2000). De acordo com Rosalino (2011), ao estar dissolvido em água, o sulfato de alumínio logo se dissocia formando a seguinte reação visualizada na equação 1:



Assim, com esses íons presentes na água, o alumínio reage com a água de diferentes maneiras com a fórmula molecular da água ( $H_2O$ ), formando diferentes bases da hidrólise. Pavanelli (2001) demonstra as reações de formação de algumas dessas bases em temperatura de  $25^{\circ}C$  que podem ser visualizadas nas equações 2, 3, 4 e 5.



Conforme ocorrem as reações de hidrólise, nota-se que são formados íons  $H^+$  que, a partir do momento em que sua quantidade aumenta na água, o pH da mesma diminui, tornando-a mais ácida. Assim que o pH da mesma torna-se mais ácido, forma-se menos precipitado e por isso se diminui a eficiência da coagulação do sulfato de alumínio na água. O sulfato de alumínio, dessa maneira, em valores de pH, é eficiente entre 5,5 a 8,5. Abaixo de 5,5 e acima de 8,5 os íons de alumínio se

tornam solúveis em água e por isso não precipitam tornando ineficiente a coagulação (ROSALINO, 2011). Em estudos realizados por Di Bernardo e Dantas (2005), para a remoção da turbidez, os melhores resultados obtidos foi quando o pH da água sendo analisada estava na faixa entre 7,5 a 8,5.

Em relação a eficiência da coagulação do alumínio na água, segundo Piantá (2008), o alumínio é bastante eficiente na redução da cor, turbidez e Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), diminuindo os valores iniciais desses parâmetros em até 43%.

No entanto, a utilização de sulfato de alumínio como coagulante no tratamento de água possui certas críticas, já que sua presença na água vem sendo associado a ocorrência de doenças neurológicas no ser humano. No Brasil, o valor máximo permitido de alumínio na água para consumo humano, segundo a Portaria 2914/11, é de 0,2 mg/L. Como sua eficiência como coagulante depende diretamente do pH, a presença anormal de alumínio residual está relacionado com as problemas no tratamento.

De acordo com Bratby (2006), a otimização do pH de coagulação vai ocasionar uma redução nos níveis de alumínio solúvel na água e por consequência a água terá menos alumínio residual. No entanto, é importante considerar que além do pH de coagulação, os níveis de alumínio residual na água também estão relacionados com as características da água a ser tratada, como a temperatura, a quantidade de substâncias húmicas e sulfatos presentes na mesma. Além disso, outra razão para o aumento da concentração de alumínio na água tratada está normalmente associada com problemas operacionais nas estações de tratamento (VANÂCOR, 2005).

Outro problema a respeito desse coagulante é que o lodo proveniente das descargas de fundo do decantador e das retrolavagens do filtro não é biodegradável, e por isso existe um problema sério em relação a dificuldade de tratamento e disposição do tratamento do lodo gerado (CARVALHO, 2008).

Segundo Piantá (2008), para os seres humanos, dependendo da dosagem, o sulfato de alumínio é tóxico e pode provocar doenças de demência e coordenação motora, devido a deficiência renal em filtrar os metais de sangue que são levados ao cérebro e podem provocar Alzheimer, Mal de Parkinson e Síndrome de Down. De acordo com Altmann et al. (1999), em seu artigo, se comenta sobre um incidente que ocorreu em uma cidade na Inglaterra em 1988, que foi exposta acidentalmente

a altos níveis de alumínio na água. Os sintomas que apareceram na população foram náusea, vômito, diarreia, úlceras na pele, entre outros sintomas. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) (2003), o risco de doenças neurológicas com a utilização de coagulantes contendo alumínio existe mas qual é o real risco em números para a população ainda não pode ser calculado com precisão.

Por esses motivos, estudos vem sendo realizados para desenvolver e utilizar outros coagulantes na água para substituição do sulfato de alumínio como coagulante no tratamento de água.

### 3.5.2 Cloreto Férrico

Representado pela fórmula molecular  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , o cloreto férrico é amplamente utilizado no tratamento de efluentes industriais. Todavia, devido a suas propriedades corrosivas, sua manipulação exige certos cuidados especiais, como a utilização de equipamentos de segurança e recipientes anticorrosivos para seu armazenamento (Libânio, 2010). Em estações de tratamento de água, a utilização desse coagulante não é muito difundida (FILHO e RITA, 2002).

Segundo Pavanelli (2001), a utilização de cloreto férrico como coagulante diminui drasticamente a turbidez e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), além de remover fosfatos. Em geral, os coagulantes férricos são efetivos em uma extensa faixa de pH, que, para Di Bernardo e Dantas (2005), está compreendida entre 5 a 11 e, conforme a tabela 3, o mesmo pode ser encontrado na forma sólida ou líquida.

Quando é adicionado à água ocorre o processo hidrólise, formando os complexos de ferro com cargas positivas. A agregação das partículas presentes na água tratada que resultam na floculação, ocorre através da neutralização das partículas de sólidos com cargas negativas presentes na água pelos complexos de ferro dotados de carga positiva (FRANCO, 2009).

A partir da adição do coagulante químico nas estações de tratamento de água, algumas espécies hidrolisadas poderão estar presentes dependendo do valor do pH. Em seguida, é mostram-se algumas reações de hidrólise em temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$ , nas equações 6, 7, 8, 9 e 10 (PAVANELLI, 2001).



Para Libânio (2010), destaca-se que apesar de vantagens do cloreto férrico em relação ao sulfato de alumínio, como os flocos se apresentarem mais densos, mais resistentes ao cisalhamento e com maior sedimentabilidade, cuidados relativos à possibilidade de corrosão das tubulações devem ser tomados. A Figura 2, a seguir, mostra como fica o reservatório da solução de cloreto férrico pronto para ser utilizado na água bruta na ETA Cafezal.



**Figura 2: Situação do reservatório de cloreto férrico na estação ETA Cafezal.**

Além disso, outros cuidados devem ser tomados pois a Portaria N<sup>o</sup> 2914/11 do Ministério da Saúde mostra que o valor máximo permitido de residual ferro na água potável é de 0,3mg/L. Segundo Franco (2009), o ferro em excesso na água pode dar gosto e problemas na distribuição de água.

### 3.6 COAGULANTES NATURAIS

Devido a riscos a saúde humana pela utilização de sulfato de alumínio no tratamento de água que segundo a OMS (2003) não podem ser desconsiderados, e também, devido a geração de lodo com difícil tratamento e disposição final, estudos vem sendo realizados para o desenvolvimento de coagulantes naturais. Segundo Diaz et al. (1999), ao utilizar coagulantes naturais é possível que se tenha economia na utilização de produtos químicos e com o tratamento do lodo gerado com o coagulante. Para Bongiovani et al. (2010), os coagulantes naturais se apresentam como alternativa aos químicos devido ao fato de serem biodegradáveis e não-tóxicos.

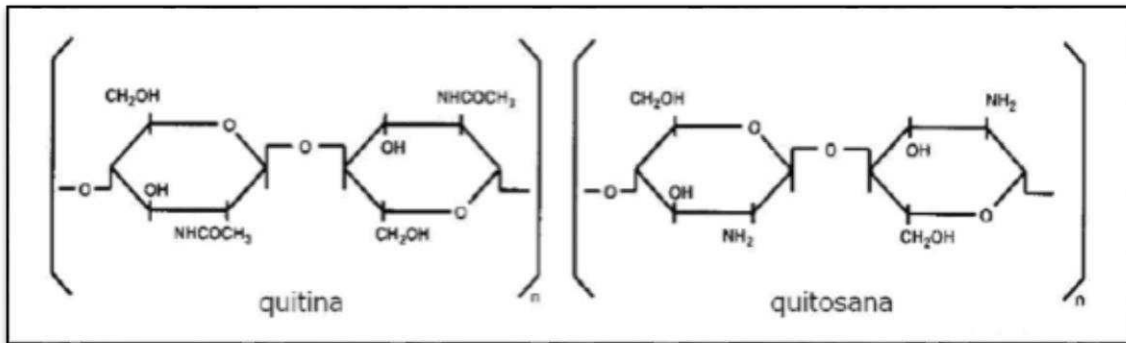
Já existem estudos sendo desenvolvidos com alguns tipos de coagulantes naturais. Os coagulantes de origem orgânico-naturais conhecidos universalmente como polieletrólitos, são representados por compostos constituídos de grandes cadeias moleculares, dotados de sítios com cargas positivas ou negativas (BORBA, 2001). O polímero que atua como coagulante, floculante e auxiliar de coagulação no tratamento de águas em geral é o que possui carga positiva, denominado de catiônico, por ser efetivo em uma ampla faixa de pH (MACEDO, 2007).

Segundo Heller e Pádua (2006), a utilização de polímeros no tratamento da água bruta, dependendo da qualidade desta, pode possibilitar certas vantagens como: aumentar a duração da carreira de filtração, reduzir gastos com produtos químicos, diminuir o volume de lodo gerado, aumentar a eficiência na remoção de cor e turbidez, entre outros.

Ali *et al.* (2010) realizou um estudo utilizando sementes da planta *Moringa oleifera*, sendo que esta não apresenta toxicidade a saúde humana, e indicou que é possível utilizá-la no tratamento de água destinada ao consumo humano.

Outro tipo de coagulante natural que pode ser aplicado no tratamento de água é a quitosana. Esta, é um polímero natural obtido da quitina. Por sua vez, é importante considerar que a quitina é o segundo biopolímero mais abundante no mundo (CAPELLETE, 2011). Ela é o principal componente do exosqueleto de crustáceos e alguns fungos (BINA et al., 2009) e sua estrutura química pode ser vista na Figura 3.





**Figura 3 : Estrutura química da quitina e da quitosana**  
**Fonte: Capelette (2011).**

Entre outros coagulantes naturais, a aplicação destes à base de tanino no tratamento da água no lugar de sulfato de alumínio, tanto no tratamento de água para abastecimento humano quanto para efluentes industriais, tem sido realizada em indústrias químicas e petroquímicas do Brasil e da Europa (PIANTÁ, 2008).

Segundo Coral et al. (2009), os taninos são extraídos da casca de vegetais, como a Acácia Negra (*Acacia mearnsii*). Os mesmos são polímeros que possuem a capacidade de atuar em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre as partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e conseqüentemente sedimentação. Compostos derivados de taninos vegetais têm se mostrado eficientes no tratamento de efluentes e águas destinadas ao consumo humano. A Acácia Negra pode ser visualizada na Figura 4.



**Figura 4: Acácia negra**  
**Fonte: Silva (1999).**

### 3.6.1 Tanfloc SG

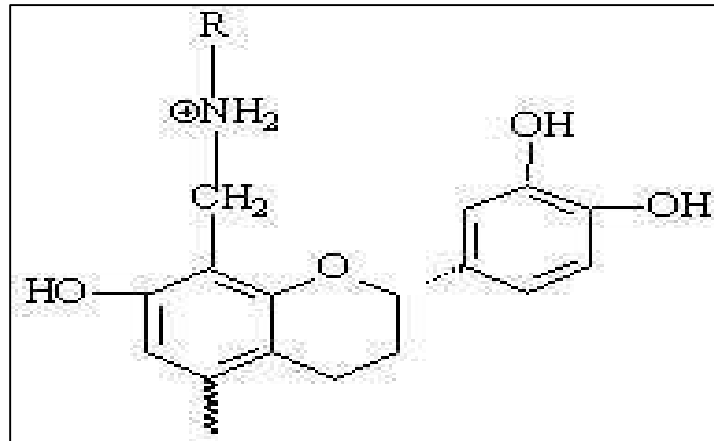
O Tanfloc é um produto produzido pela empresa TANAC que possui sede na cidade de Montenegro no Estado do Rio Grande do Sul. Segundo o registro no ministério da saúde (1999), o Tanfloc apresenta as seguintes características:

O Tanfloc é extraído da casca da *Acacia mearnsii* (Acácia Negra), sendo portanto um tanino. Por ser um produto extremamente natural, não agride a natureza. Além disso, ele é biodegradável e não consome a alcalinidade do meio e, por isso, não altera o pH da água.

A empresa TANAC informa em seu site que são produzidos cinco tipos diferentes de Tanfloc: Tanfloc SG, Tanfloc SG 1500, Tanfloc SG 1530, Tanfloc SL e Tanfloc SS. Devido aos objetivos do trabalho, será dado enfoque às características do Tanfloc SG.

O Tanfloc SG é um polímero orgânico catiônico, de baixo peso molecular e que pode atuar como coagulante ou auxiliar de coagulação. Uma das vantagens da utilização desse produto como coagulante é devido ao fato de que ele pode contribuir para melhorar as condições de tratamento dos resíduos gerados nas estações, pois ele é biodegradável. No entanto, importante citar que devido à sua biodegradabilidade se associa um crescimento de microorganismos que em quantidade excessiva podem resultar em colmatção nos diferentes compartimentos de uma estação de tratamento de água (CASTRO-SILVA et al., 2004).

Na Figura 5 há uma representação da estrutura química do tanino utilizado para a produção do Tanfloc comercial.



**Figura 5: Estrutura química do Tanfloc**  
**Fonte: Di Bernardo et al. (2002).**

Além disso, segundo Vanâcor (2005), o Tanfloc SG é também conhecido como tanato quaternário de amônio, sendo solúvel em água fria. Sua dosagem na água bruta depende de fatores como turbidez, cor, dureza, entre outros e experiências demonstraram que o produto quanto mais diluído é mais eficiente. O produto da empresa TANAC pode ser aplicado em um amplo espectro e recomenda-se testes preliminares em Jar-testes para avaliar sua eficiência, mas cita-se que mesmo é efetivo em uma faixa de pH que varia de 4,5 a 8 (TANAC, 1999).

Em relação a saúde humana, como o Tanfloc SG é um tanino, danos hepáticos e da mucosa de animais de experimentação estão relacionados com uma dieta rica em taninos. No entanto, em um ensaio realizado com ratos albinos que receberam água tratada por um polietrólito catiônico vegetal (como é o caso do Tanfloc SG), não foram observados alteração toxicológica visível com concentração de taninos até 110 ppm (Jong<sup>4</sup> et al., 2001 apud Vanâcor, 2005).

### 3.7 COMPARAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES QUÍMICOS (SULFATO DE ALUMÍNIO E CLORETO FÉRRICO) E NATURAL (TANFLOC SG) NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Devido à gama de produtos químicos e à natureza distinta das águas brutas,

<sup>4</sup> JONG, E.V.; NOLL, I.B.; LAMB, L.; GOSMAN, M. 2001. Taninos: novas tendências no tratamento para águas de abastecimento. In: Simpósio de toxicologia – agricultura e preservação da qualidade da água; artigo arquivado como folheto (F1309) na biblioteca do ICTA/UFRGS.

é essencial a realização de experimentos em instalação-piloto ou jar-teste, para definir as condições adequadas de coagulação e mistura rápida. Segundo Heller e Pádua (2010), a escolha do tipo de coagulante dependerá de uma criteriosa avaliação técnica e econômica. Destaca-se que quando a etapa de coagulação não é realizada de modo adequado, compromete-se o desempenho de todas as unidades de tratamento a jusante, aumentando os riscos sanitários da água produzida.

A diferença entre os coagulantes metálicos e os polímeros catiônicos, segundo Kawamura (2000), é a reação de hidrólise com a água. Os metálicos submetem-se ao processo da hidrólise quando são adicionados a água, enquanto que com os polímeros isso não ocorre. A hidrólise dos sais metálicos produzem hidróxidos como  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  e são formados em um pequeno período de tempo, geralmente em menos de um segundo.

A respeito do floco formado, a utilização de sulfato de alumínio como coagulante forma um floco ligeiramente pesado, enquanto que o floco gerado com o uso do Tanfloc SG possui uma forma mais irregular mas com uma área de contato maior que o do sulfato de alumínio. Esta situação faz com que o uso de Tanfloc SG tenha uma eficiência maior no processo de clarificação da água com valores finais menores de cor e turbidez (VANÂCOR, 2005). Sobre o floco formado do cloreto férrico, Libânio (2010) afirma que o mesmo se apresentarem mais densos, mais resistentes ao cisalhamento e com maior sedimentabilidade em relação ao sulfato de alumínio.

Sobre a adição de produtos químicos, como a adição de alcalinizantes, em ensaios realizados por Libânio et. al (1997) entre o cloreto férrico e o sulfato de alumínio, os mesmos destacaram que o primeiro gera uma menor quantidade de lodo, uma melhor qualidade da água decantada e uma menor dosagem de alcalinizante para correção de pH.

Em relação a algumas vantagens dos coagulantes naturais, como é o caso do Tanfloc SG, de acordo com Kawamura<sup>5</sup> (1991) apud Bongiovani *et al.* (2010), eles apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos por serem biodegradáveis e não-tóxicos, e ainda produzirem lodo em menor quantidade e com menores teores de metais.

---

<sup>5</sup> KAWAMURA, S. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. **Journal American Water Works Association**, v. 83, n. 10, p. 88-91, 1991.

De acordo com Borba (2001), quando a coagulação/floculação é realizada por polieletrólitos, acredita-se que o processo pode acontecer sem a ocorrência do fenômeno químico, não havendo reações de neutralização entre o coagulante e a água, para formar complexos gelatinosos, como ocorre com os coagulantes derivados de sais de alumínio e ferro. Esse acontecimento é devido ao fato deles já serem constituídos de complexos dotados de grandes cadeias moleculares, que apresentam pontos (sítios) com cargas positivas ou negativas, que têm grande capacidade de adsorção de partículas ao seu redor, Por esse motivo, a coagulação/floculação com polieletrólitos, praticamente, independe da alcalinidade da água, podendo ocorrer numa grande faixa de valores de pH (entre 4 e 12).

Sobre a qualidade do lodo, enquanto o oriundo do Sulfato de Alumínio é gelatinoso e mais volumoso, o lodo formado pelo polímero orgânico é mais denso, sendo mais fácil de ser desidratado, o que faz com que se tenha uma maior facilidade no seu manuseio e disposição final (FILHO E RITA, 2002). Além disso, outros motivos para uma maior facilidade no tratamento se deve ao fato de que o uso de uma matéria prima renovável, tal como os taninos vegetais, geram menos massa de lodo, uma menor contribuição de ânions sulfatos ao lodo final e por isso se obtém um lodo orgânico com maior facilidade de eliminação (CRUZ et al., 2005).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente trabalho de conclusão de curso adotou-se a pesquisa descritiva bibliográfica, por meio de livros e bancos eletrônicos de dados na internet para se aprofundar no tema, como os tipos de coagulantes utilizados no processo de tratamento de água. Relevante destacar que na pesquisa bibliográfica foi utilizado literaturas com método também quantitativo, pois pretendeu-se buscar quais foram as concentrações utilizados para os três coagulantes que foram analisados objetivando assim adotar dosagens condizentes para a água.

As análises dos parâmetros físicos e químicos da água, assim como o ensaio de coagulação/floculação/sedimentação foram realizadas no laboratório de saneamento, localizado no Campus Londrina da UTFPR.

### 4.1 LOCAL DA COLETA

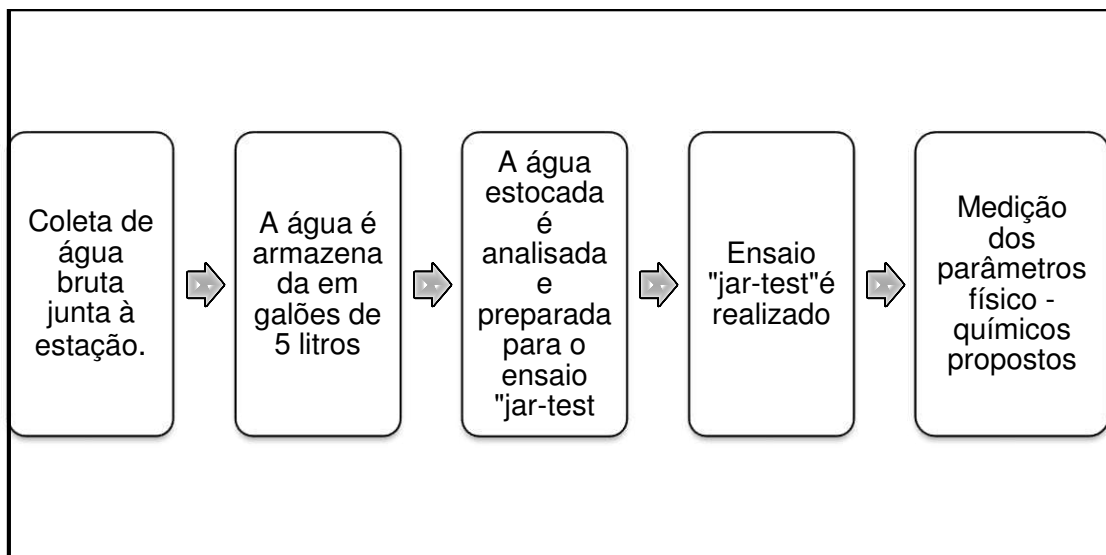
A água bruta testada no ensaio foi coletada dentro da estação de tratamento de água, denominada de ETA Cafezal da SANEPAR, é localizada na rua Juscelino Kubitschek, nº 1132, na cidade de Londrina-PR. O local da coleta possui localização geográfica de 23°18'711" Sul e 51°10'254" Oeste. O mesmo pode ser visualizado na Figura 6:



Figura 6: ETA Cafezal e local da coleta da água bruta.

## 4.2 MÉTODO DE AMOSTRAGEM

Apesar de ser realizada mais de uma coleta para a realização dos ensaios, as mesmas foram efetivadas ao acaso, sendo realizadas somente quando observado se apresentavam características relevantes para os objetivos do trabalho. Por isso, foi realizado o método de amostragem denominado de instantâneo. A Figura 7 apresenta o fluxograma que simplifica as etapas para a obtenção dos dados.



**Figura 7: Etapas das análises da água bruta.**

## 4.3 ENSAIO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/SEDIMENTAÇÃO

Após a coleta da água realizaram-se ensaios de coagulação/floculação, segundo um planejamento experimental, na qual utilizou-se o sulfato de alumínio e o cloreto férrico como coagulantes químicos, e o Tanfloc SG, como coagulante natural. Convém destacar que este último citado, foi utilizado no ensaio devido a disponibilidade proveniente de doação da cervejaria Colônia localizada no município de Toledo, no Estado do Paraná.

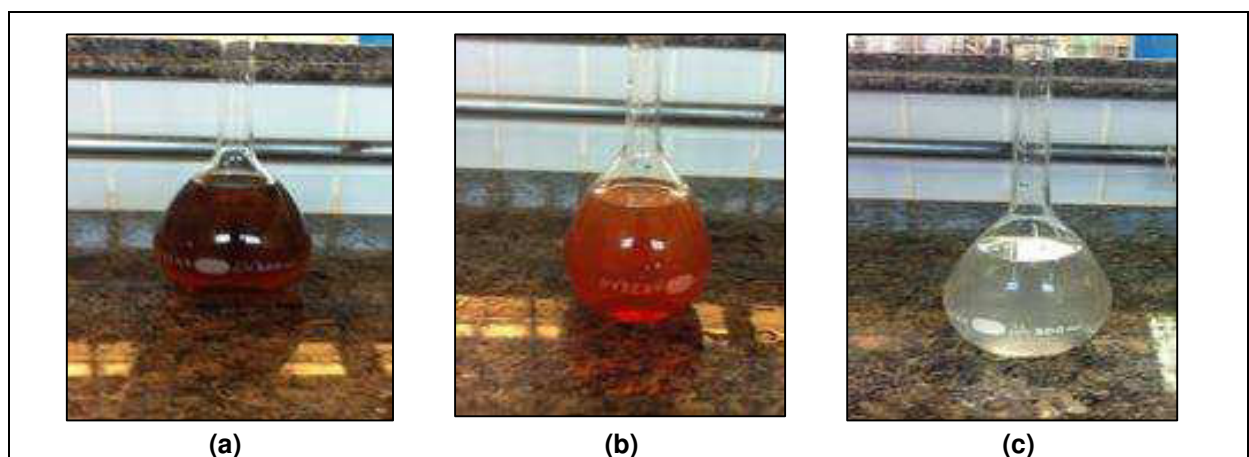
A respeito dos ensaios de coagulação/floculação, utilizou-se um aparelho de

jar-teste seguindo a opção sugerida pela OMS (2008), para se determinar a melhor dosagem e o valor de pH mais apropriado para a água a ser analisada. O modelo do jar-teste é o 218 – 6LDB, da marca Nova Ética de seis provas com regulador de rotação das hastes misturadoras.

Nos três coagulantes escolhidos para o experimento, as dosagens dos mesmos variaram de acordo com a característica da água bruta coletada. A água coletada apresentou duas condições:

- Duas coletas realizadas em dias diferentes após uma forte chuva, simulando um período chuvoso, portanto apresentando altos valores de cor e turbidez. No caso, em um dia se utilizou o cloreto férrico e em outro o sulfato de alumínio como coagulante químico.
- Uma coleta realizada após um período de estiagem, apresentando valores de cor e turbidez considerados normais e rotineiros dentro da estação de tratamento de água.

Essas dosagens foram obtidas a partir do preparo das soluções de coagulantes. Em ambos a mesma foi uma solução de 1g de coagulante para 1L de água destilada. A Figura 8 mostra as respectivas soluções preparadas.



**Figura 8: Soluções dos coagulantes. Sendo que: (a) é solução de Tanfloc SG; (b) é a solução de cloreto férrico; (c) é a solução de sulfato de alumínio.**

Sobre os valores dos tempos no equipamento jar-teste, foi adotado os mesmos que são utilizados na estação de tratamento de água. O processo de tratamento consiste na mistura rápida seguido de um sistema de decaimento em



quatro etapas de mistura lenta nos flocladores. Neste processo, se considerou como variáveis o gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ ) e o tempo de detenção em minutos. A sequência pode ser visualizado na Tabela 4:

**Tabela 4 – Valores de mistura rápida e mistura lenta adotados**

Mistura Rápida		Mistura Lenta 1		Mistura Lenta 2		Mistura Lenta 3		Mistura Lenta 4	
Gradiente/Tempo		Gradiente/Tempo		Gradiente/Tempo		Gradiente/Tempo		Gradiente/Tempo	
450	00:10	90	02:00	52	02:35	40	02:40	30	05:40

Fonte: Sanepar (2013).

Após o ensaio de coagulação/floculação adotou-se um tempo para sedimentação de 30 minutos, no qual realizaram-se os ensaios de cor, turbidez e pH desde o tempo de zero minutos até o tempo final de sedimentação em intervalos de 10 em 10 minutos para avaliar a variação dos mesmos em cada tempo. Importante dizer que os testes realizaram-se em duplicata para cada coagulante, e considerando que eram repetidos uma vez, portanto havia quatro valores para cada concentração.

Relevante destacar que as condições de dosagem adotadas para o sulfato de alumínio, o cloreto férrico e o Tanfloc SG foram escolhidas com base em estudos realizados por Franco (2009), Pavanelli (2001), Santos (2011), Coral et al. (2009), Moraes (2009) e Carvalho (2008). Após adotar as concentrações, foi realizada uma pesquisa com funcionários da Sanepar para analisar as dosagens escolhidas para o cloreto férrico eram condizentes com as adotadas pela empresa.

Para os dois primeiros ensaios, com água com características chuvosas, adotou-se as concentrações de 25mg/L, 45mg/L e 65 mg/L para os coagulantes adotados no ensaio. No terceiro ensaio, com a água em condições de estiagem, utilizou-se as concentrações de 5mg/L, 8mg/L e 10mg/L para o cloreto férrico e o Tanfloc SG.

Os parâmetros físicos e químicos que foram analisados na água em estudo foram: a cor aparente, a turbidez, o pH, os sólidos totais e os sólidos suspensos totais.

#### 4.4 COR APARENTE

A cor aparente foi medida por meio do espectrofotômetro DR 2000 seguindo metodologia 2120 C. recomendado no Standard Methods (APHA, 2012).

#### 4.5 TURBIDEZ

A turbidez foi determinada usando um Turbidímetro portátil, modelo AP 2000, fabricado pela empresa TecnoPON seguindo metodologia 2130 B. recomendado no Standard Methods (APHA, 2012).

#### 4.6 pH

O pH foi determinado por meio de um pH – metro, modelo mPA-210P, fabricado pela empresa Policontrol, seguindo metodologia 4500-H<sup>+</sup> B. recomendado no Standard Methods (APHA, 2012).

#### 4.7 SÓLIDOS TOTAIS

Os sólidos totais foram determinados pelo método gravimétrico, de acordo com os procedimentos recomendados no Standard Methods, 2540 B. (APHA, 2012).

#### 4.8 SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS

Os sólidos suspensos totais foram determinados pelo método gravimétrico,

de acordo com os procedimentos recomendados no Standard Methods, 2540 D (APHA, 2012). A Figura 9 mostra um dos procedimentos para a obtenção dos sólidos suspensos totais.



**Figura 9: Filtração das amostras em Membrana de fibra de vidro.**

#### 4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O modelo estatístico utilizado para a análise dos valores obtidos nos três ensaios, foi delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3. O modelo estatístico considerou, além do efeito dos fatores Coagulante (em dois níveis) e Concentração (em três níveis), o efeito da interação entre os fatores.

Assim, o modelo estatístico multiplicativo fica dado pela equação 11:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + e_{ijk} \quad (11)$$

em que:

- $Y_{ijk}$  = observação correspondente à  $r$ -ésima unidade experimental submetida ao  $i$ -ésimo nível do fator Coagulante e  $j$ -ésimo nível do fator Concentração;

- $\mu$  = média global comum a todas as observações;
- $\alpha_i$  = efeito do  $i$ -ésimo nível do fator Coagulante;
- $\beta_j$  = efeito do  $j$ -ésimo nível do fator Concentração;
- $\alpha\beta_{ij}$  = é o efeito de interação entre o  $i$ -ésimo nível do fator Coagulante e o  $j$ -ésimo nível do fator Concentração;
- $e_{ijk}$  = componente do erro aleatório associado à observação  $Y_{ijk}$ .

O modelo está sujeito às seguintes restrições visualizadas na Figura 10:

$$\begin{array}{cccc} 2 & & 3 & & 2 & & 3 \\ & i = 0 & & j = 0 & & ij = 0 & & ij = 0 \\ i=1 & & j=1 & & i=1 & & j=1 & \end{array}$$

**Figura 10: Restrições do modelo.**

Sobre as restrições da Figura 10, considerou-se que:

- $i = 1, 2$  (número de níveis de  $\alpha$  : coagulante);
- $j = 1, 2, 3$  (número de níveis de  $\beta$  : concentração do coagulante);
- $k = 1, 2, 3, 4$  (número de repetições);

As suposições associadas ao modelo são que os erros,  $e_{ijk}$ , são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (IID), com distribuição normal de probabilidade, com média zero e variância constante (homoscedasticidade) –  $e_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ .

Para a realização da análise de variância e comparação das médias nos três parâmetros, considerou-se um nível de significância de 5%. Os resultados da análise de variância foram agrupados em uma tabela conforme proposto por Martins (2006). A Tabela 5 apresenta o modelo utilizado no trabalho.

**Tabela 5 – Modelo Adotado para organizar os resultados obtidos com a análise de variância**

	GL	SQ	QM	Fc	Valor-P
Coagulante					
Concentração					
Coag x Concent					
Resíduo					
Total					

**Notas:**

- 1) GL = Grau de Liberdade
- 2) SQ = Soma dos Quadrados
- 3) QM = Quadrados Médios
- 4)  $F_c$  = F Calculado

Em relação a Tabela 5, a variável a se destacar para analisar se a interação entre os fatores coagulante e concentração considerando o nível de significância adotado é o Valor-P. Se o valor do mesmo for menor que 0,05 que representa o nível de significância, significa que a interação entre os dois fatores é significativa.

Além disso, foram elaborados gráficos box-plot, também com o software Sisvar, com os quatro valores obtidos devido as repetições de cada concentração com cada parâmetro da água medido no trabalho. Segundo Morettin (2011), os gráficos box-plot geram um retângulo no qual estão representados a mediana e, no caso do trabalho, os valores de cada parâmetro estão compreendidos nos limites do mesmo

As comparações de médias foram realizadas fixando-se um fator e comparando as médias dentro do outro fator, e vice-versa (desdobramentos) e foi utilizado o teste de Tukey para compará-las.

A respeito do teste de Tukey, o mesmo é utilizado para testar todo e qualquer contraste entre as médias e se baseia na diferença mínima significativa ( $\Delta$ ). A estatística é dada através da seguinte fórmula visualizada na equação 12:

$$\Delta = q \sqrt{\frac{QM_{res}}{r}} \quad (12)$$

Em que:

- $q$  : é a amplitude total estudentizada (tabelado);
- $QM_{res}$ : é o quadrado médio do resíduo;
- $r$ : representa o número de repetições;

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS COLETADAS

A água bruta do rio Cafezal, coletada no momento da chegada à ETA Cafezal, foi caracterizada de acordo com seus parâmetros físicos e químicos. As análises realizadas foram de cor aparente, turbidez, sólidos totais, sólidos suspensos totais e pH.

Foram realizadas três coletas da água em estudo e se utilizou o processo de coagulação/floculação/sedimentação para o tratamento da mesma. As características físicas e químicas iniciais da água em estudo nas três coletas são mostradas na Tabela 6.

**Tabela 6 – Caracterização das águas em estudo**

Água em estudo	Dia 22/10/2013	Dia 05/11/2013	Dia 19/11/2013
Turbidez (uT)	336	377	31
Cor aparente (uH)	641	948	94
pH	6,58	7,00	7,28
Sólidos Totais (mg/L)	-	293,33	113,33
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	-	220	60

Sobre os ensaios feitos em cada água bruta caracterizada na Tabela 6, foi feito o tratamento de água em questão avaliando o desempenho do Tanfloc SG e do cloreto férrico para os dias 04 de Novembro de 2013 e 19 de Novembro de 2013. Já para o dia 22 de Outubro de 2013 utilizou-se o respectivo coagulante natural com o sulfato de alumínio.

## 5.2 AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO ENTRE O SULFATO DE ALUMÍNIO E O TANFLOC SG

No ensaio realizado no dia 24 de Outubro de 2013, portanto, dois dias após a coleta de água bruta, relevante salientar que a mesma foi coletada no período da manhã, no dia seguinte a uma chuva que ocorreu no dia anterior. Segundo dados diários do IAPAR, a precipitação total nesse dia foi de 21,8 mm. A Figura 11 mostra as características visuais da mesma, na qual se observa que a mesma se apresentava com uma cor marrom e relativamente turva.



**Figura 11: Características visuais da água no estado inicial do ensaio do dia 24/10/2013.**

A caracterização da água em estudo foi realizada e pode ser observada na Tabela 5. Para os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação, utilizou-se como coagulante químico o sulfato de Alumínio e o Tanfloc SG como natural.

Os dados dos ensaios referentes à caracterização da variação dos parâmetros em cada tempo de sedimentação, se encontram no Apêndice A. Além disso, as características visuais da água após os ensaios com os dois coagulantes pode ser visualizada na Figura 12, a seguir.



Figura 12a: Ensaio com sulfato de alumínio.



Figura 12b: Ensaio com Tanfloc SG

Figura 12: Característica da água bruta após os ensaios no jar-teste no dia 24/10/2013.

Destaca-se que durante os ensaios, observou-se que os flocos formados pelo Tanfloc SG foram relativamente maiores e se sedimentaram em um tempo menor se comparado com os do sulfato de alumínio.

As figura 13 e 14 mostram, respectivamente, os percentuais de remoção de turbidez com cada concentração utilizada no decorrer dos tempos de sedimentação para o sulfato de alumínio e para o Tanfloc SG.

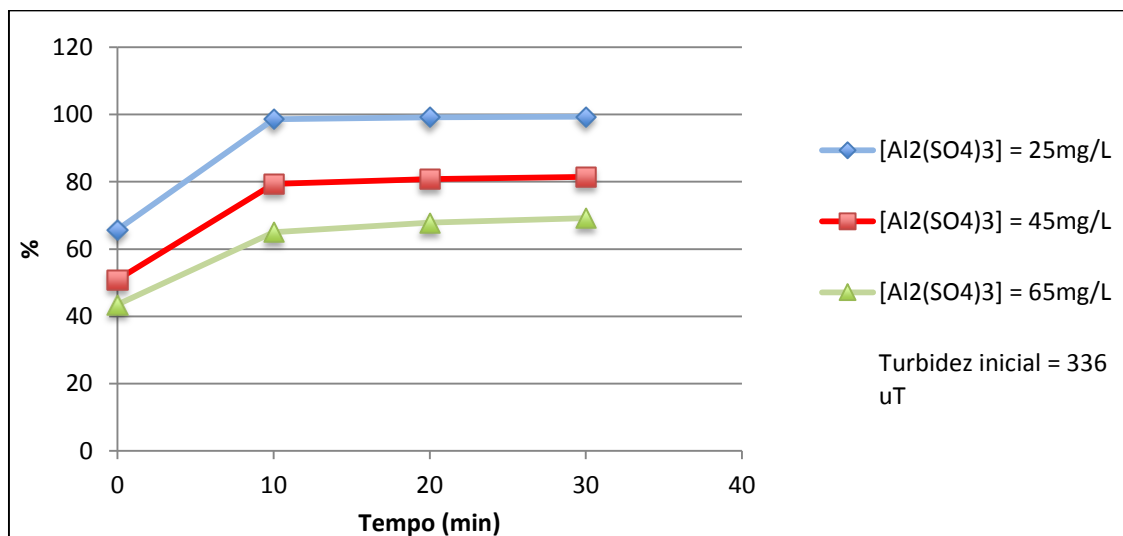
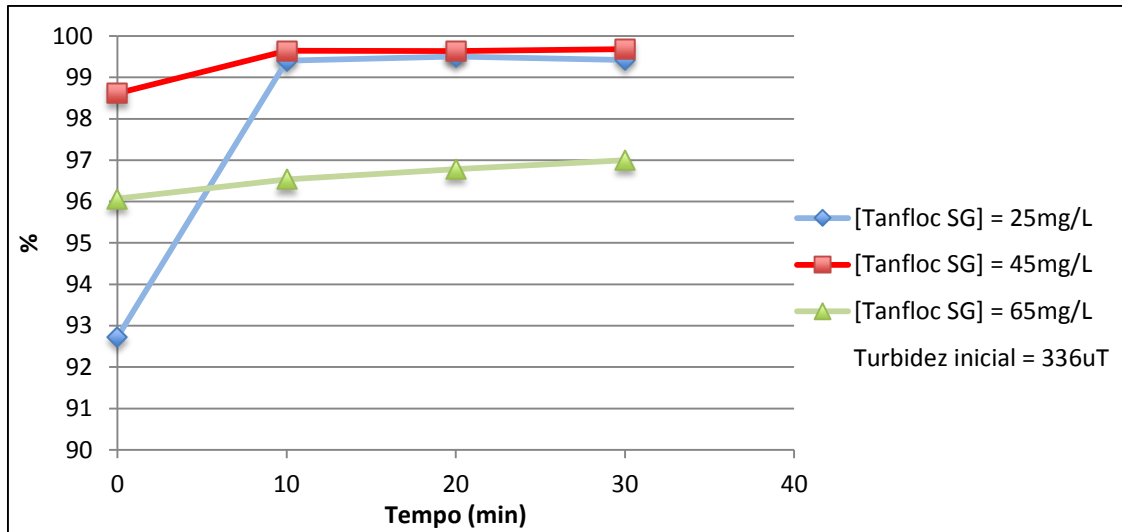


Figura 13: Porcentagens de redução do parâmetro turbidez com o uso do coagulante sulfato de alumínio.





**Figura 14: Porcentagens de redução do parâmetro turbidez com o uso do coagulante Tanfloc SG do dia 24/10/2013.**

Ao analisar as Figuras 13 e 14, observa-se que para os coagulantes utilizados, os melhores resultados de turbidez foram obtidos com a concentração de 25mg/L para o sulfato de alumínio e 45mg/L para o Tanfloc SG. As porcentagens de redução de turbidez, as quais atingiram valores dentro dos padrões organolépticos de potabilidade da Portaria N<sup>o</sup> 2914, foram, respectivamente, de 98,62% e 99,64% no tempo de 10 minutos. Os melhores resultados de turbidez residual, no entanto foram obtidos no tempo de 30 minutos para ambos os coagulantes com 2,24 uT, o coagulante químico, e 1,07 uT, o coagulante natural.

Além disso, salienta-se que a dosagem de 25mg/L de Tanfloc SG apresentou também um percentual de redução de turbidez de mais de 99% e também atendeu o parâmetro de potabilidade no tempo de 10 minutos. Sua turbidez residual atingiu um melhor resultado no tempo de 20 minutos com um valor de 1,67 uT. No entanto, é possível que o Tanfloc SG tenha a mesma eficiência que o sulfato de alumínio em uma dosagem menor, pois de acordo com Torres *et al.* (2010), em seu trabalho comparando os dois coagulantes, obtiveram dosagens ótimas para os mesmos valores de turbidez com uma quantidade menor para o coagulante natural.

Embora a concentração de 65mg/L deste coagulante natural tenha indicado uma porcentagem de redução deste parâmetro em aproximadamente 97%, não se atendeu o valor da Portaria de potabilidade. A mesma situação ocorreu nas concentrações de 45mg/L e 65mg/L do sulfato de alumínio.

O fato da dosagem de 45mg/L ter obtido melhor resultado do que a de 25mg/L do Tanfloc SG mostrou que o coagulante pode obter melhores

desempenhos com uma maior concentração, mas se for considerado critérios econômicos, a menor concentração mostrou ser eficiente para atender a Portaria N<sup>o</sup> 2914. Siqueira (2009), utilizando Tanfloc SG em água bruta de uma estação em Maringá com características de semelhantes ao ensaio realizado, obteve uma porcentagem de remoção de turbidez superiores a 99% com uma dosagem de 55mg/L.

Moraes (2009), utilizando também água bruta na chegada de uma estação de tratamento de água em Maringá, obteve valores de porcentagem de redução de turbidez entre 95 a 98% com concentração próxima a 20mg/L, embora a concentração de 45mg/L também obteve bons valores de redução de turbidez acima de 90%. Em relação ao sulfato de alumínio, o mesmo autor, após realizar ensaios com água com cor e turbidez relativamente altas, encontrou que a melhor região para redução dos valores desses parâmetros foi para uma dosagem acima de 15mg/L, tendo uma eficiência de até 98% para a turbidez.

Em um trabalho realizado com a água bruta da ETA funil que abastece a cidade de Mariana e um Distrito de Ouro Preto em Minas Gerais, Franco (2009) encontrou uma dosagem ótima entre 25mg/L a 30mg/L para o coagulante químico com valores de turbidez semelhantes usados no experimento do trabalho.

As figura 15 e 16 apresentam os percentuais de remoção do parâmetro cor aparente em função do tempo para os coagulante adotados no ensaio.

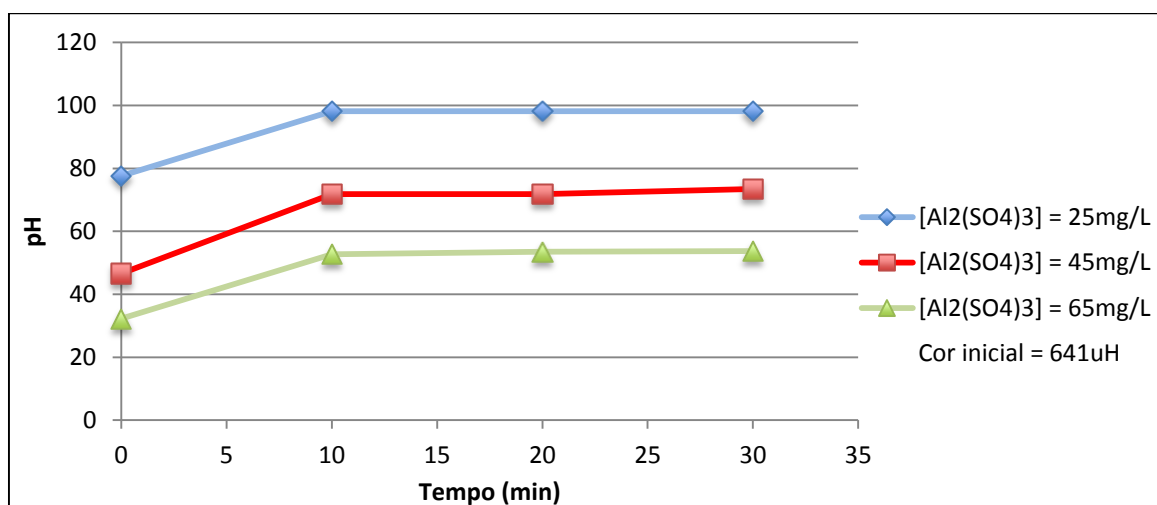
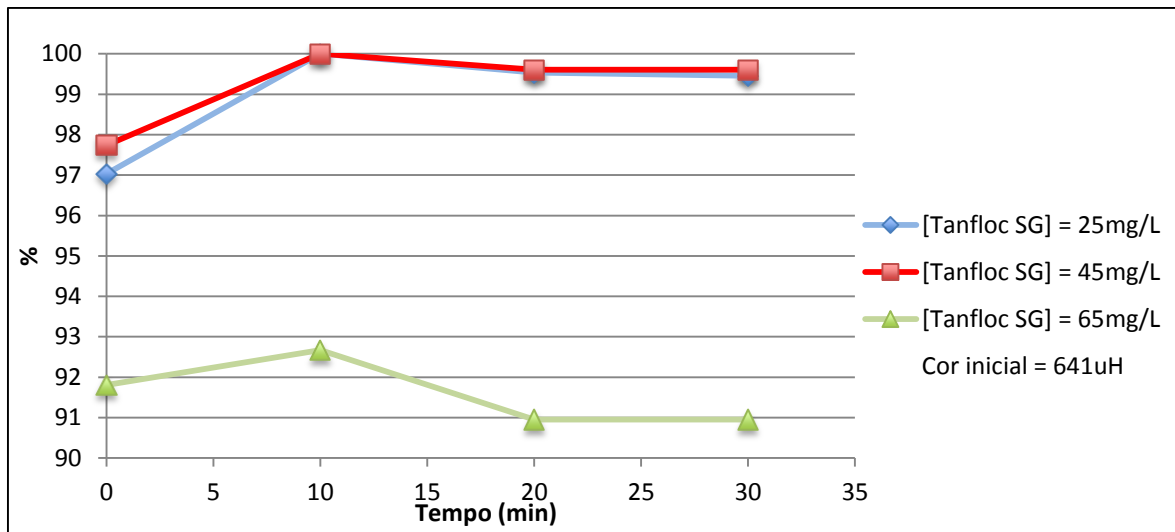


Figura 15: Porcentagens de redução do parâmetro cor aparente com o uso do coagulante Sulfato de Alumínio.



**Figura 16: Porcentagens de redução do parâmetro cor aparente com o uso do coagulante Tanfloc SG do dia 24/10/2013.**

A Figura 16 indica que, para as três concentrações utilizadas para o respectivo coagulante natural, os percentuais de remoção de cor foram acima de 90%. No entanto, a dosagem de 65mg/L não atendeu o parâmetro cor de potabilidade da Portaria de potabilidade. Destaca-se que no tempo de 10 minutos, as concentrações de 25mg/L e 45mg/L atingiram a remoção de 100% de cor aparente.

O desempenho do sulfato de alumínio para o parâmetro cor, visualizando a Figura 15, mostra que a dosagem de 25mg/L obteve o melhor percentual de remoção de 99,2% atingido no tempo de 20 minutos de sedimentação. Esta concentração atingiu um valor de 11,5 uH que se encontra dentro do limite da Portaria de potabilidade, enquanto que as outras dosagens não tiveram o mesmo desempenho e não atingiram o valor máximo permitido da Portaria de potabilidade.

Nota-se, portanto, um melhor rendimento do Tanfloc SG do que o sulfato de alumínio com relação a esse parâmetro físico da água. Alguns autores tiveram resultados semelhantes. Moraes (2009), em seu trabalho utilizando uma água bruta do rio Pirapó que abastece a cidade de Maringá, com condição de cor relativamente alta, obteve 94% de remoção de cor com uma concentração de aproximadamente 20mg/L. Para o sulfato de alumínio, a autora teve uma eficiência de até 95% com uma concentração acima de 15mg/L.

Já Siqueira (2009), utilizando Tanfloc SG conseguiu um rendimento de redução de cor superior a 99% utilizando uma água bruta com uma condição de cor relativamente alta e uma dosagem de 55mg/L.

Relevante citar que se esperava uma redução dos parâmetros cor e turbidez com as concentrações de 45mg/L e 65mg/L utilizando sulfato de alumínio, já que Carvalho (2008), em seu trabalho, concluiu que dosagens acima de 50mg/L obtiveram melhores resultados de remoção para a água bruta da estação estudada com valores de cor e turbidez elevadas. Esse rendimento, no entanto, não ocorreu visto que somente a dosagem de 25mg/L se mostrou eficiente. Uma possível explicação para isso pode ser um excesso de íons sódio no meio, pois segundo Di Bernardo<sup>6</sup> *et al* (2003) apud Carvalho (2008), essa situação prejudica a coagulação com o coagulante químico, sulfato de alumínio.

Além disso, outra hipótese é o fato de se ter utilizado uma dosagem excessiva de coagulante. Segundo Baghvand *et al* (2010), uma dosagem excessiva de coagulante pode atrapalhar o fenômeno da coagulação e portanto o controle da mesma deve ser bastante preciso e considerado em estações de tratamento de água.

Em relação a influência que os coagulantes possam ter tido considerando o pH inicial da água “in natura”, as figuras 17 e 18 apresentam a variação do pH da água com a utilização dos coagulantes adotados.

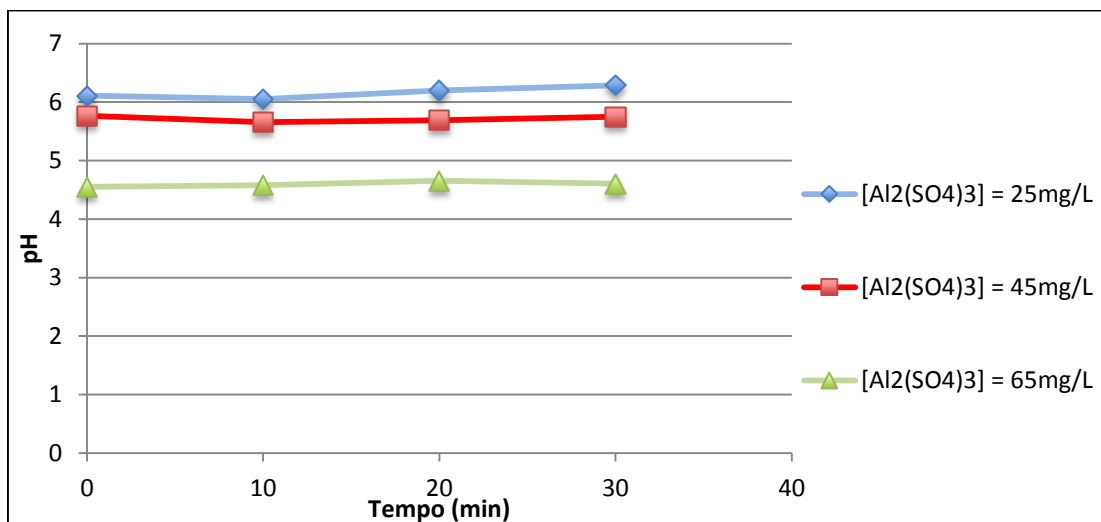
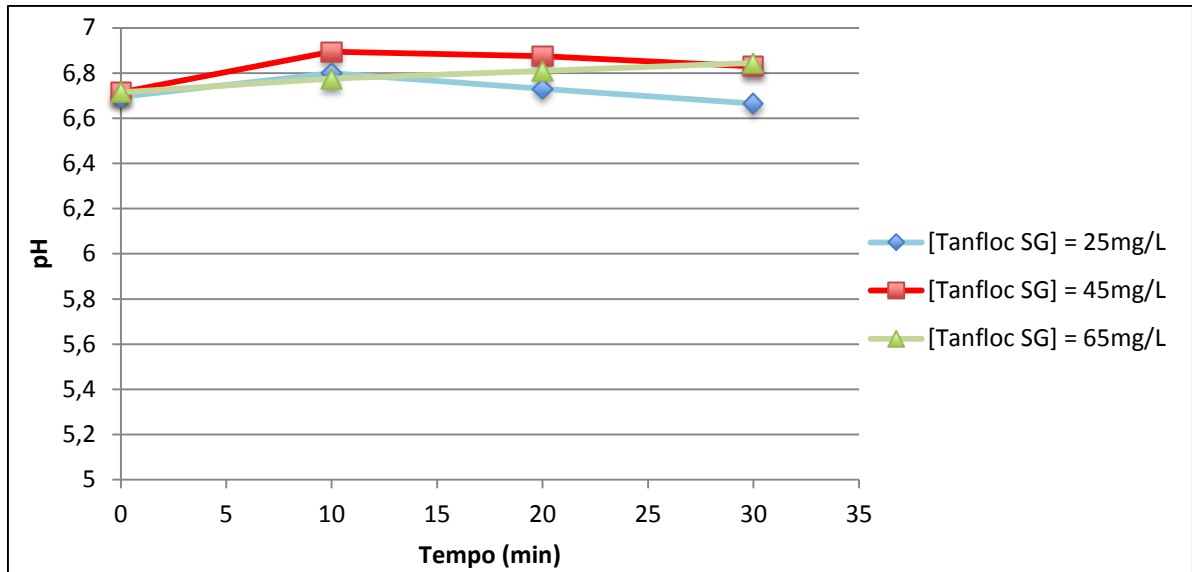


Figura 17: Variação do pH da água de acordo com a concentração utilizando o Sulfato de Alumínio.

<sup>6</sup> DI BERNARDO, L. *et al*. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. São Carlos: Editora RiMa. 2003.



**Figura 18: Variação do pH da água de acordo com a concentração utilizando o Tanfloc SG do dia 24/10/13.**

Ao visualizar as informações na Figura 18, nota-se que as amostras tratadas com Tanfloc SG se mostraram praticamente inalteradas em relação ao pH inicial, 6,58, com as três concentrações com valores bem semelhantes e com valores de pH um pouco acima do inicial, variando de 6,65 a 6,9 entre elas. Segundo Coral *et al* (2009), essa linearidade dos valores observada pode ser justificada pelo fato deste produto não consumir alcalinidade do meio.

Entretanto, de fato essa situação não se repetiu com o sulfato de alumínio conforme mostra a Figura 17, visto que em todas as concentrações, o pH da água tornou-se mais ácido. Nota-se que o aumento da concentração influencia na redução do pH da água, visto que a dosagem de 65mg/L deixou o pH da água bruta abaixo de 5, tornando a mesma fora dos valores da Portaria N<sup>o</sup> 2914 que determina que o pH no sistema de distribuição se mantenha entre 6 a 9,5.

De acordo com Pavanelli (2001), a alcalinidade da água é importante na coagulação química, pois os coagulantes comumente têm atuação como ácidos em solução, reduzindo a alcalinidade e baixando o valor de pH, sendo necessária, frequentemente, a adição de alcalinizantes para o equilíbrio do mesmo. Nesta análise, o Tanfloc SG se mostrou bastante eficiente, uma vez que com a pouca variação do pH, pode-se dizer a alcalinidade remete a uma permanência de valores relativamente constantes, mesmo com o aumento da concentração do coagulante.

Sobre o mecanismo de coagulação que ocorreu com a utilização dos coagulantes, pode-se dizer que com o sulfato de alumínio predominou-se o

mecanismo de varredura, pois de acordo com Campos *et al.* (2005), o mesmo ocorre em concentrações do coagulante acima de 10mg/L e em uma faixa de pH entre 6 e 8. Em relação ao Tanfloc SG, pelo fato de ser um polímero orgânico, conforme citado por Coral *et al* (2009), ocorreu o mecanismo de adsorção e formação de pontes.

### 5.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO ENSAIO REALIZADO NO DIA 24/10/2013 COM O USO DO COAGULANTE QUÍMICO SULFATO DE ALUMÍNIO ( $Al_2(SO_4)_3$ ) E O COAGULANTE NATURAL TANFLOC SG (Ta)

#### 5.3.1 Análise de Variância em relação a Turbidez para os coagulantes sulfato de alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) e Tanfloc SG (Ta)

O comportamento das concentrações utilizadas para o sulfato de alumínio e o Tanfloc SG individualmente, combinando os fatores coagulante e concentração foi realizado e os resultados são mostrados a seguir.

Inicialmente, a análise de variância para os valores de turbidez obtidos no tempo zero, é apresentado na Tabela 7.

**Tabela 7 – Resultados da análise de variância para a turbidez no tempo zero no ensaio do dia 24/10/2013**

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	Valor-P
Coagulante	1	7.818008	7.818008	1487.039	<0,001
Concentração	2	0.404269	0.202134	38.447	0.0000
Coag x Concent	2	0.756205	0.378103	71.918	0.0000
Resíduo	18	0.094634	0.005257		
Total	23	9.073115			

A partir da Tabela 7, observa-se que o valor-P é menor que 0,05. Isso indica que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração é significativa, considerando 5% de significância. Para os tempos 10, 20 e 30 minutos essa mesma situação ocorreu e, portanto, na sequência apenas será apresentado a Tabela com o resumo das comparações de médias para o parâmetro físico turbidez, pelo teste de Tukey, para os desdobramentos.

A comparação das médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos em relação a turbidez é apresentado na Tabela 8. Para atender uma distribuição normal, uma das condições desse teste, foi necessário aplicar o logaritmo na base 10 nos valores das médias. Salienta-se que letras iguais indicam médias iguais.

**Tabela 8 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – Turbidez - no ensaio do dia 24/10/2013**

Tempos de sedimentação (min)	Coagulante	Concentração			Concentração	Coagulante	
		25	45	65		Sulfato	Tanfloc
Turbidez = 0	Sulfato	2.06 a	2.21 a	2.27 a	25	2.06 a	1.36 a
	Tanfloc	1.36 b	0.65 b	1.12 b	45	2.21 b	0.65 b
					65	2.27 b	1.12 b
Turbidez = 10	Sulfato	0.67 a	1.86 a	2.06 a	25	0.67 a	0.28 a
	Tanfloc	0.28 b	0.08 b	1.06 b	45	1.86 b	0.08 b
					65	2.06 c	1.06 c
Turbidez = 20	Sulfato	1.65 a	8.30 a	10.43a	25	1.65 a	1.27 a
	Tanfloc	1.27 a	0.98 b	3.31b	45	8.30 b	0.98 a
					65	10.43 c	3.31 b
Turbidez = 30	Sulfato	0.35 a	1.31 a	2.01 a	25	0.35 a	0,28 a
	Tanfloc	0.28 a	-0,008 b	1.00 b	45	1.31 b	-0,008 b
					65	2.01 c	1.00 c

De acordo com a Tabela 8, observou-se no tempo zero de sedimentação que, fixando o fator Coagulante, todos os níveis de concentração entre o sulfato de

alumínio e Tanfloc SG são estatisticamente diferentes e as médias do coagulante orgânico são menores, demonstrando a maior velocidade de sedimentação de seus flocos e assim reduzindo o valor inicial de turbidez da água bruta mais rapidamente.

Ao se fixar o fator Concentração, destaca-se que para o coagulante inorgânico, no tempo zero de sedimentação, as concentrações de 45mg/L e 65mg/L possuem resultados estatisticamente iguais e com médias estatisticamente superiores a dosagem de 25mg/L. A mesma situação é constatada para o Tanfloc SG, no entanto, a concentração de 25mg/L foi a menos eficiente inicialmente por apresentar estatisticamente um valor de média superior.

Para o tempo de 10 minutos de sedimentação, As análises das médias indicam que fixando os dois fatores Coagulante e Concentração, todos os resultados estatísticos foram diferentes com melhores rendimentos de remoção de turbidez para o coagulante orgânico.

Após 20 minutos de sedimentação, para o desdobramento das médias, foi preciso aplicar a raiz quadrada da resposta nos valores das médias para atender a condição de distribuição normal do teste de Tukey.

Se observa que após 20 minutos de sedimentação fixando o fator Coagulante, as concentrações de 25mg/L de ambos os coagulantes tiveram resultados estatisticamente iguais. De acordo com os dados, fixando o fator Concentração, notou-se que, estatisticamente a dosagem de 45mg/L teve um resultado igual com a dosagem de 25mg/L do coagulante natural.

No entanto, ao final do experimento, após 30 minutos de sedimentação se observaram mudanças no comportamento estatístico.

Ao final do ensaio, fixando os fatores Coagulante convém destacar que os resultados estatísticos para a concentração de 25mg/L dos dois coagulantes foram iguais, e devido a isso, tiveram rendimentos de redução de turbidez iguais. Observa-se, no entanto, que ao se fixar o fator Concentração, o melhor desempenho de remoção inicial de turbidez da água bruta foi para a concentração de 45mg/L do Tanfloc SG, apresentando estatisticamente o menor valor de média.



### 5.3.2 Análise de Variância em relação a Cor Aparente para os coagulantes sulfato de alumínio (Sa) e Tanfloc SG (Ta)

Quanto ao comportamento estatístico das concentrações dos coagulantes no rendimento de remoção do valor de cor aparente inicial da água bruta, foi realizado o desdobramento das médias individualmente com cada fator, coagulante e concentração, e a interação entre os dois fatores.

Primeiramente, realizou-se análise de variância para os dados de cor aparente obtidos no tempo zero de sedimentação. A mesma pode ser visualizada na Tabela 09.

**Tabela 09 – Resultados da análise de variância para a cor no tempo zero no ensaio do dia 24/10/2013**

	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	Valor-P
Coagulante	1	468442.041667	468442.041667	628.207	0.0000
Concentração	2	98076.333333	49038.166667	65.763	0.0000
Coag x Concent	2	66506.333333	33253.166667	44.594	0.0000
Resíduo	18	13422.250000	745.680556		
Total	23	646446.958333			

Constatou-se na Tabela 09 que o valor-P foi menor que 0,05, indicando que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração foi significativa. A mesma situação ocorre para os outros tempos de sedimentação, por isso se deu enfoque nos desdobramentos para as comparações das médias.

Na Tabela 10 é apresentado um resumo das comparações de médias para os desdobramentos utilizando teste de Tukey utilizando os dados de cor aparente no ensaio.

**Tabela 10 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos, Cor aparente do dia 24/10/2013**

Tempos de sedimentação (min)	Coagulante	Concentração			Concentração	Coagulante	
		25	45	65		Sulfato	Tanfloc
Cor aparente = 0	Sulfato	154.00 a	334.25 a	434.00 a	25	154.00 a	19.25 a
	Tanfloc	19.25 b	13.00 b	51.75 b	45	334.25 b	13.00 a
					65	434.00 c	51.75 a
Cor aparente = 10	Sulfato	2.74 a	13.66 a	17.47 a	25	2.74 a	0.00 a
	Tanfloc	0.00 b	0.00 b	6.79 b	45	13.66 b	0.00 a
					65	17.47 c	6.79 b
Cor aparente = 30	Sulfato	12.25 a	181.00 a	300.75 a	25	12.25 a	4.75 a
	Tanfloc	4.75 a	3.50 b	58.25 b	45	181.00 b	3.50 a
					65	300.75 c	58.25 b

As informações da Tabela 10, indicaram que ao fixar o fator Coagulante, no tempo zero, as médias entre o sulfato de alumínio e o Tanfloc SG foram estatisticamente diferentes com médias inferiores do coagulante natural, comprovando seu melhor desempenho inicial na redução de cor aparente.

Além disso, se observa que as três concentrações do coagulante natural apresentaram resultados estatísticos iguais, portanto, tiveram o mesmo desempenho inicial. No entanto, para o coagulante inorgânico, as três dosagens se apresentaram estatisticamente diferentes com o menor valor de média, portanto o de melhor rendimento, a concentração de 25mg/L.

Após 10 minutos de sedimentação, os valores de turbidez do Tanfloc SG se comparados com os do sulfato de alumínio, fixando o fator Coagulante, tiveram médias estatisticamente diferentes e inferiores.

Ao fixar o fator Concentração, observou-se que as concentrações do coagulante químico, entre elas, tiveram resultados estatisticamente diferentes com a menor média, que representa o melhor rendimento, para a concentração de 25mg/L. Para o Tanfloc SG, as concentrações de 25mg/L e 45mg/L tiveram valores de médias estatisticamente iguais e superiores a dosagem de 65mg/L.

Os tempos de sedimentação de 20 minutos e de 30 minutos apresentaram comportamento estatísticos bem semelhantes. Por isso, foi dado enfoque ao tempo de 30 minutos que representa o último tempo e, portanto, o final do experimento.

Dessa maneira, ao fim do experimento, o comportamento estatístico na comparação das médias indicou que, fixando o fator Coagulante, as concentrações de 25mg/L dos dois coagulantes, apesar do valor da média do Tanfloc SG ser inferior, estatisticamente as médias são iguais. No entanto, observa-se que para as outras concentrações os resultados estatísticos foram diferentes com as médias do Tanfloc SG estatisticamente inferiores e, portanto, com um melhor desempenho.

Ademais, ao fixar o fator concentração, as médias da dosagem de 25mg/L e 45mg/L do Tanfloc SG se mostraram estatisticamente iguais. Por isso, economicamente é mais viável devido a média de menor dosagem apresentar um bom rendimento. O fato do coagulante natural ter um desempenho semelhante ao sulfato de alumínio demonstra que o mesmo é passível de estudos mais aprofundados para ser aplicado em estações de tratamento de água que utilizem esse coagulante químico.

#### 5.4 AVALIAÇÃO DO ENSAIO NA REDUÇÃO DOS PARÂMETROS DE TURBIDEZ, COR E VARIAÇÃO DE pH NA ÁGUA BRUTA ENTRE O CLORETO FÉRRICO E O TANFLOC SG

##### 5.4.1 Ensaio Realizado com Água Bruta em Condições Chuvosas

As características da água utilizada no ensaio realizado no dia 08/11/2013 entre o cloreto férrico e o Tanfloc SG se refere a coletada no dia 05/11/2013 conforme mostra a Tabela 5. A coleta de água ocorreu no período da manhã, um dia

após uma forte precipitação com fortes ventos que, segundo dados diários do IAPAR, teve um volume de 9,8 mm. O estado “in natura” que a mesma se encontrava pode ser visualizada na Figura 19.



**Figura 19: Estado “in natura” da bruta antes do ensaio do dia 08/11/2013.**

Os desempenhos dos coagulantes utilizados no ensaio com as concentrações 25mg/L, 45mg/L e 65mg/L, em relação a cada tempo de sedimentação, podem ser vistos no Apêndice B.

Após a simulação do processo utilizado na ETA Cafezal no tratamento de coagulação e floculação da água, observou-se que os flocos formados pelo Tanfloc SG se comparado aos do Cloreto férrico eram mais irregulares e se sedimentavam mais rapidamente. Essa situação comprovou o especificado pela Tanac<sup>7</sup> (2003) apud Moraes (2009), de que floco originado pela adição de Tanfloc possui forma irregular, o que proporciona uma maior área de contato. Assim se obtêm uma clarificação mais eficiente, com uma menor cor e turbidez final.

A Figura 20 ilustra a diferença dos flocos formados entre os coagulantes e mostra a característica da água bruta após o ensaio com as diferentes concentrações.

---

<sup>7</sup> TANAC. **Manual Prático para Uso em Estações de Tratamento de Águas de Abastecimento.** Editora Montenegro, 1ª Ed., 2003.



**Figura 20a: Flocos do Tanfloc SG.**



**Figura 20b: Flocos do Cloreto Férrico.**



**Figura 20c: Ensaio com o Tanfloc SG.**



**Figura 20d: Ensaio com o Cloreto Férrico.**

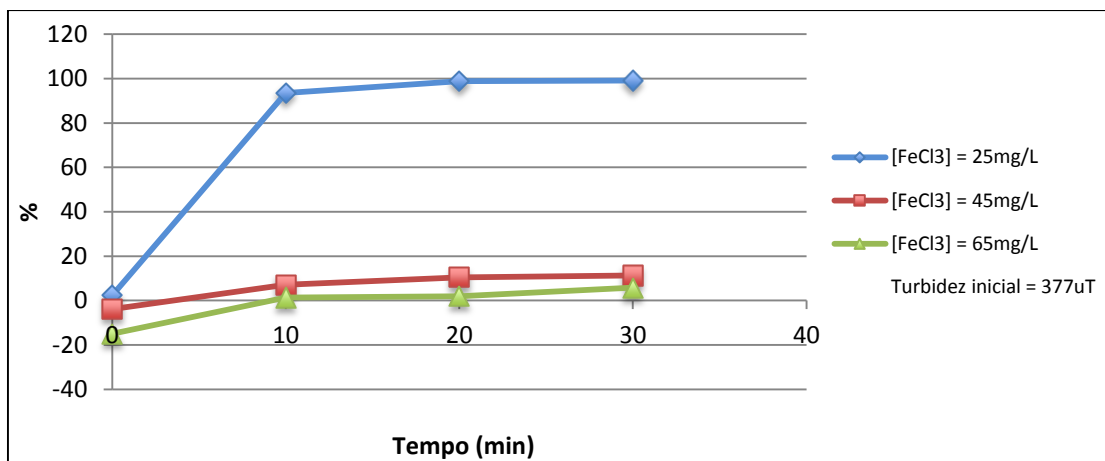
**Figura 20: Imagens do Ensaio realizados com os coagulantes e características dos seus respectivos flocos formados.**

Em relação ao tamanho do floco, notou-se que os formados pela Tanfloc SG era maiores, situação também descrita por Dias *et al.* (2005). Segundo Zolett (2010), isso representa um ponto positivo para o coagulante vegetal em relação ao químico, pois flocos maiores facilitam a decantação, devido ao peso do floco, e retida dos sedimentos, enquanto que os flocos menores apresentam maior possibilidade de

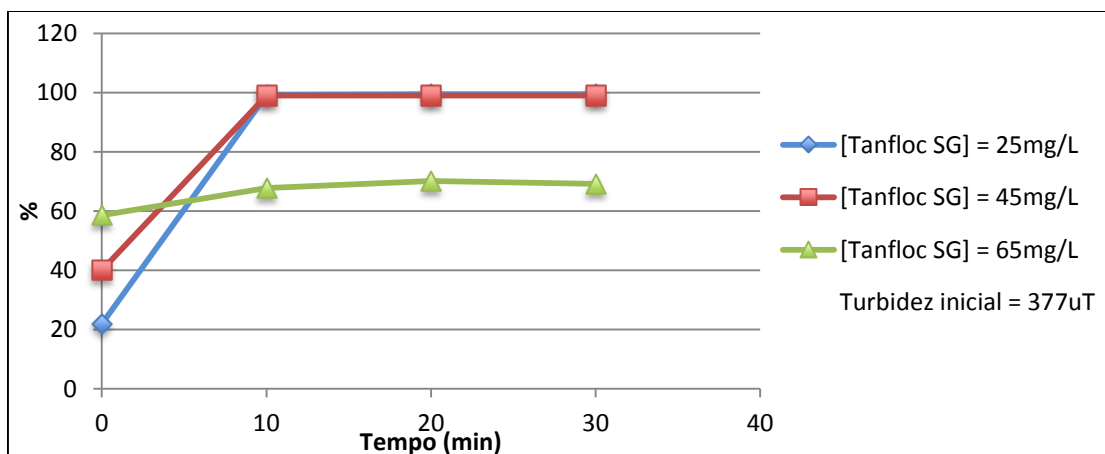
dispersão na água já tratada.

No entanto, apesar dos flocos terem um tamanho maior, Moraes (2009) argumenta que flocos muito grandes proporcionam uma decantação bastante rápida, porém nem sempre a clarificação é satisfatória, devido ao menor número de flocos presentes, que acaba proporcionando uma área menor de contato. Já os flocos pequenos possuem um tempo de decantação elevado, mas a clarificação geralmente é eficiente.

As Figuras 21 e 22 apresentam, respectivamente, os percentuais de remoção de turbidez para o cloreto férrico e o Tanfloc SG em cada concentração utilizada.



**Figura 21: Porcentagens de redução do parâmetro turbidez com o uso do coagulante cloreto férrico do dia 08/11/2013.**



**Figura 22: Porcentagens de redução do parâmetro turbidez com o uso do coagulante Tanfloc SG do dia 08/11/2013.**

Observou-se nas Figuras 21 e 22 que, para o tempo de 30 minutos, o

coagulante natural Tanfloc SG atingiu o melhor percentual de remoção do parâmetro turbidez (99,46%) com a concentração de 25mg/L e um valor residual de 2 uT. No entanto, já com 10 minutos de sedimentação, destaca-se que a concentração de 45mg/L e 25mg/L, atenderam o parâmetro de potabilidade da Portaria N<sup>o</sup> 2914. O fato da concentração de 65mg/L não apresentar uma eficiência de remoção como as outras duas concentrações, comprova o proposto por Coral *et al* (2009) de que concentrações mais elevadas de coagulante não trazem nenhum benefício em termos de redução efetiva de turbidez.

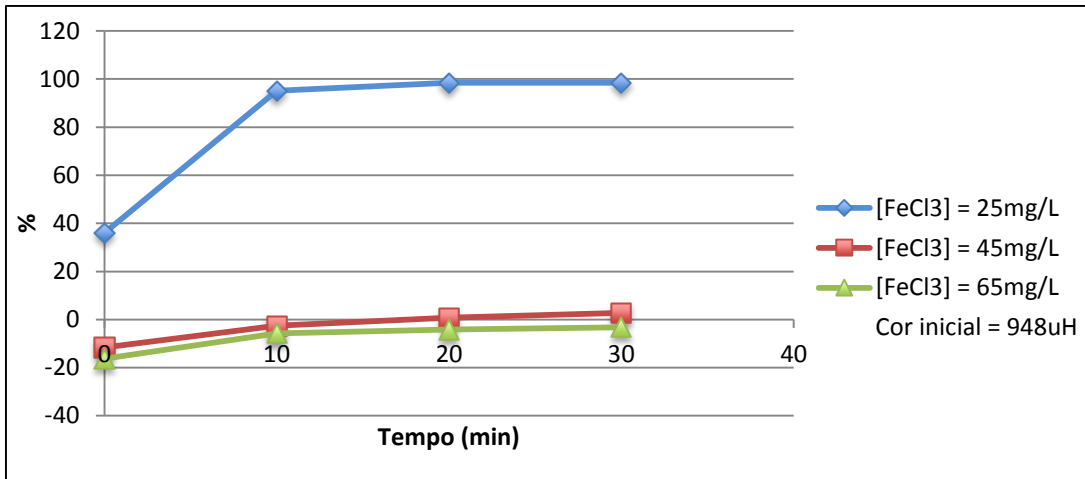
Sobre o desempenho do cloreto férrico, somente a dosagem de 25mg/L obteve melhor eficiência no percentual de redução de turbidez (99,20%), tendo um valor residual de 3uT. Diferentemente do coagulante natural, somente com 20 minutos se atingiu um valor de turbidez que atendesse o parâmetro de potabilidade da Portaria N<sup>o</sup> 2914.

Destaca-se que no ensaio com o cloreto férrico, as concentrações de 45mg/L e 65mg/L tiveram uma eficiência muito ruim no percentual de redução de turbidez. Uma dosagem excessiva e por isso atrapalhou-se o fenômeno da coagulação conforme diz Baghvand *et al* (2010). O mesmo autor obteve os melhores resultados de remoção desse parâmetro utilizando uma água com turbidez elevada com uma dosagem entre 20 a 30mg/L. Em seus ensaios, uma dosagem acima desse intervalo não se teve um melhor desempenho de remoção de turbidez.

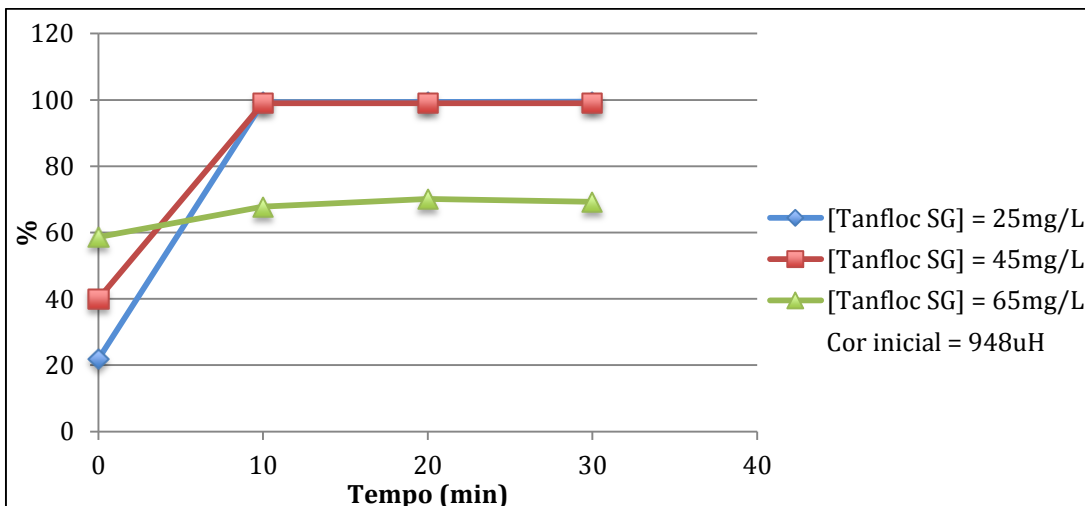
Por sua vez, Pavanelli (2001) ao preparar uma água com um valor de turbidez considerado elevada, seus melhores resultados de remoção, em um intervalo de pH que corresponde ao usado no ensaio conforme mostra a Tabela 5, que atenderam a Portaria de potabilidade foram com uma dosagem de 13mg/L a 80mg/L.

A respeito do Tanfloc SG, com as concentrações utilizadas, conforme citado anteriormente, Siqueira (2009) e Moraes (2009) também obtiveram bons desempenhos de percentual de remoção de turbidez. Em seu trabalho utilizando água bruta de mananciais que abastecem municípios de Minas Gerais, Franco (2009), encontrou-se uma dosagem ótima para remoção de turbidez em torno de 30mg/L.

As Figuras 23 e 24 apresentam os percentuais de remoção de cor, de acordo com cada tempo de sedimentação.



**Figura 23: Porcentagens de redução do parâmetro cor aparente com o uso do coagulante cloreto férrico do dia 08/11/2013.**



**Figura 24: Porcentagens de redução do parâmetro cor aparente com o uso do coagulante Tanfloc SG do dia 08/11/2013.**

Analisando as Figuras 23 e 24, foi possível observar que o melhor desempenho com o coagulante orgânico e que atendeu o parâmetro de potabilidade foi com a concentração de 25mg/L, tendo um percentual de redução de cor de 98,68% e um valor residual de 12,5 uH, após trinta minutos de sedimentação. Apesar da dosagem de 45mg/L apresentar uma boa eficiência de remoção (97,9%), não atendeu o valor máximo permitido pela Portaria de potabilidade (15 uH).

Sobre os ensaios com o cloreto férrico, constatou-se que apenas a concentração de 25mg/L atingiu o parâmetro da Portaria de potabilidade, com um valor residual final de 15 uH e um percentual de remoção de 98,42%. As outras concentrações do coagulante químico não tiveram resultados satisfatórios. A



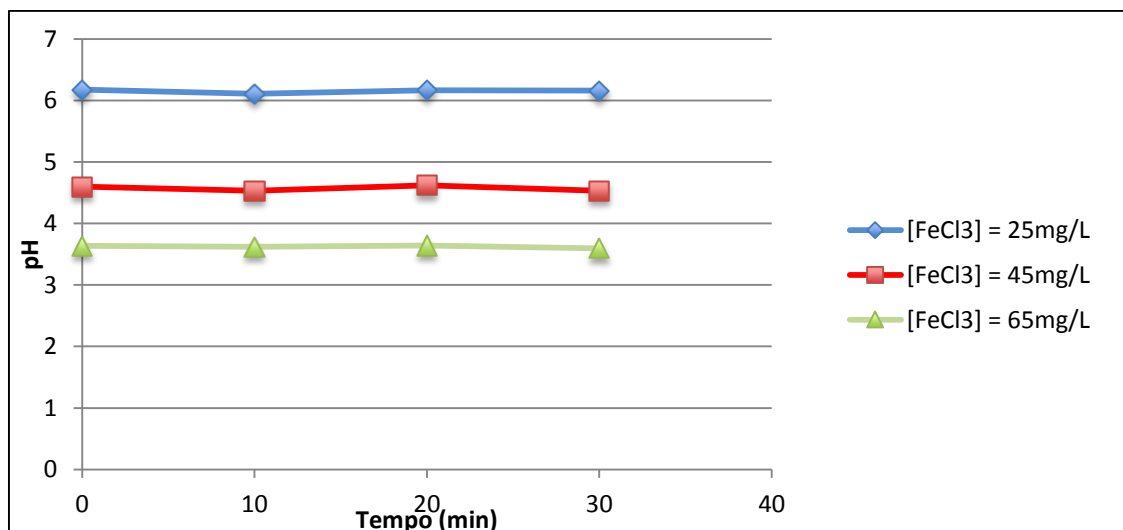
concentração de 65mg/L, por exemplo, apresentou valores de turbidez maiores que o inicial da água bruta durante todo o ensaio.

O baixo rendimento de remoção de cor e também de turbidez das concentrações de 45mg/L e 65mg/L demonstram que aumentar a dosagem de coagulante não significa uma melhora na qualidade da água. Segundo Heller e Pádua (2006), a sobredosagem de coagulantes pode conduzir à reversão da carga superficial das impurezas que se pretende remover da água, promover o fenômeno da reestabilização e comprometer a eficiência de uma ETA.

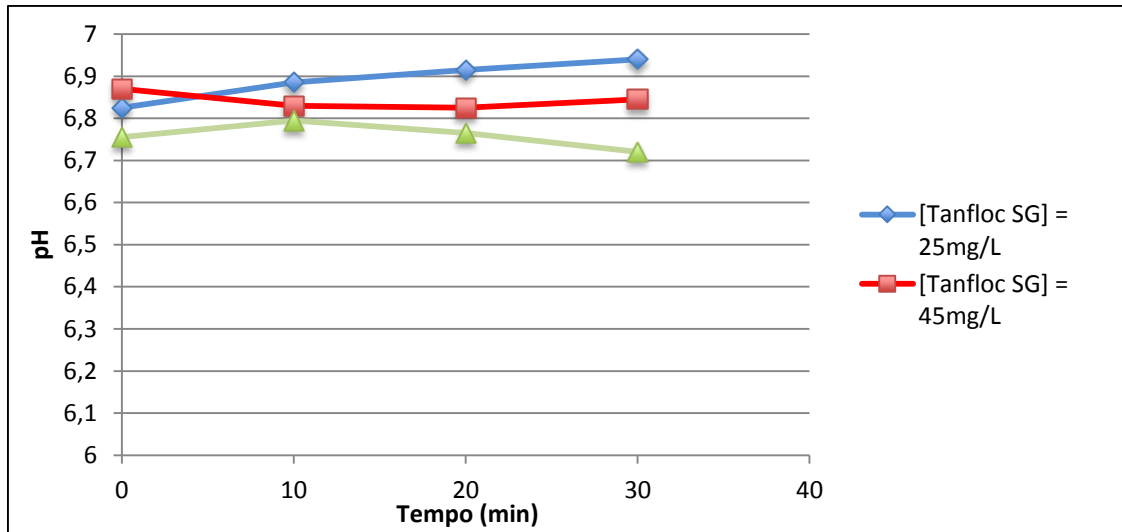
Em ensaio utilizando uma água natural de um município de Minas Gerais com uma cor elevada, Libânio *et al* (1997), obteve um melhor resultado um percentual de remoção de 97% com uma dosagem muito próxima a 25mg/L.

Sobre desempenhos de remoção de cor, em trabalho visando a substituição do coagulante químico utilizado na ETA em Blumenau, Wessler *et al* (2004), testou um coagulante natural catiônico, ou seja, com característica semelhantes ao Tanfloc SG, atingiu percentuais de remoção de cor acima de 98%.

A respeito da influência que a adição dos coagulantes possuem em alterar o pH da água, as Figuras 25 e 26 mostram, respectivamente, a variação do pH inicial de 7 em relação a cada tempo de sedimentação com a utilização do coagulante férrico e do orgânico.



**Figura 25: Variação do pH da água de acordo com a concentração utilizando o cloreto férrico do dia 08/11/2013.**



**Figura 26: Variação do pH da água de acordo com a concentração utilizando o Tanfloc SG do dia 08/11/2013.**

De acordo com Scalize *et al* (2012), em uma ETA, a utilização de coagulantes utilizando sais férrico, como o cloreto férrico, provoca a redução do pH. Logo, ao analisar a variação do mesmo na Figura 25, verificou-se essa situação, já que o pH sofreu uma redução com todas as concentrações utilizadas. Somente a concentração de 25mg/L ficou dentro dos padrões de distribuição conforme estabelece a Portaria N<sup>o</sup> 2914.

A Figura 26 mostra que o coagulante natural não alterou significativamente o pH da água em nenhuma das concentrações utilizadas, comprovando o citado por Silva (1999) de que o coagulante proveniente do tanino não altera o pH da água por não consumir a alcalinidade do meio.

Como a faixa de pH e a concentração de 25mg/L do cloreto férrico se encontra dentro do estudado por Pavanelli (2001), pode-se dizer que a coagulação predominou-se pelo mecanismo por varredura. Sobre o Tanfloc SG, por ser um polímero orgânico, o mecanismo de coagulação, conforme informado anteriormente, foi o de adsorção e formação de pontes.

#### 5.4.2 Análise de Variância em relação a Turbidez para os coagulantes cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) e Tanfloc SG (Ta) do ensaio do dia 08/11/2013

O desempenho dos níveis de concentração de cada coagulante

individualmente em relação a turbidez foram realizados e os respectivos resultados da análise de variância para a turbidez no tempo zero de sedimentação são mostrados na Tabela 11.

**Tabela 11 – Resultados da Análise de Variância para a Turbidez no tempo zero no ensaio do dia 08/11/2013**

	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	Valor-P
Coagulante	1	204611	204611	53.074	0.00000
Concentração	2	5242	2621	0.680	0.51921
Coag x Concent	2	38437	19219	4.985	0.01893
Resíduo	18	69393	3855		
Total	23	317684			

Na Tabela 11 observa-se que o valor-P é igual a 0,01893 e portanto menor que 0,05. Isso indicou que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração foi significativa, a 5% de significância. Para as análises do parâmetro turbidez para os tempos 10, 20 e 30 minutos a análise de variância também indicaram que o efeito da interação entre os fatores Coagulante e Concentração é significativo, a 5% de significância. Portanto, na sequência apenas será mostrado a tabela com o resumo das comparações de médias, pelo teste de Tukey, para os desdobramentos.

A Tabela 12 apresenta um resumo das comparações de médias para os desdobramentos, em que letras iguais indicam médias iguais.

**Tabela 12 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos – Turbidez - no ensaio do dia 08/11/2013**

Tempos de sedimentação (min)	Coagulante	Concentração			Concentração	Coagulante	
		25	45	65		Sulfato	Tanfloc
Turbidez = 0	Cloreto	377 a	397.25 a	440.5 a	25	377.00 a	289.00 a
	Tanfloc	289 a	215.25 b	156.5 b	45	397.25 a	215.25 a b
					65	440.50 a	156.50 b
Turbidez = 10	Cloreto	1,35 a	2,54 a	2,58 a	25	1,35 a	0,44 a
	Tanfloc	0,44 b	0,57 b	2,09 b	45	2,54 b	0,57 b
					65	2,58 b	2,09 c

Turbidez = 20	Cloreto	0,62 a	2,53 a	2,57 a	25	0,62 a	0,33 a
	Tanfloc	0,33 b	0,56 b	2,06 b	45	2,53 b	0,56 b
					65	2,57 c	2,06 c
Turbidez = 30	Cloreto	0,46 a	2,52 a	2,55 a	25	0,46 a	0,29 a
	Tanfloc	0,29 b	0,56 b	2,06 b	45	2,52 b	0,56 b
					65	2,55 b	2,06 c

As conclusões obtidas pelas comparações de médias, com base na Tabela 12, mostraram que no tempo de zero minutos de sedimentação, fixando-se o Fator Coagulante e variando os níveis do fator concentração, as dosagens 45 e 65 mg/L do cloreto férrico e do Tanfloc SG apresentaram resultados estatisticamente diferentes, tendo o coagulante orgânico valores menores, portanto tendo um desempenho melhor de remoção. Na concentração 25mg/L os resultados dos dois coagulantes são estatisticamente iguais.

Por sua vez, fixando-se o Fator Concentração, mostrou que todas as concentrações do cloreto férrico apresentaram um resultado estatisticamente iguais, inclusive para as médias. As médias do Tanfloc SG evidenciaram que a concentração de 25mg/L e 65mg/L foram estatisticamente diferentes e a de 45mg/L se mostrou ser igual para ambas as concentrações.

Para que as suposições do modelo fossem satisfeitas no tempo de 10 minutos de sedimentação, foi aplicada a transformação de dados, em que à variável do parâmetro de turbidez foi aplicado o logaritmo na base 10 para o teste de Tukey na comparação de médias.

Verificou-se que nesse tempo que a comparação das médias fixando o fator Coagulante, todos os níveis de concentração do ensaio apresentaram resultados estatisticamente diferentes e com os valores de média do Tanfloc SG sempre inferiores.

Além disso, cumpre esclarecer que com a fixação do fator Concentração, no

caso do cloreto férrico, as concentrações de 45mg/L e 65mg/L apresentaram valores estatisticamente iguais e de médias também. Com altos valores de médias, pode-se comprovar com essa situação que essas concentrações não se mostraram eficientes na redução dos valores de turbidez. Já a concentração de 25 mg/L apresentou resultado estatisticamente diferente e valor de média inferior comprovando seu melhor desempenho se comparado as outras concentrações.

Ao visualizar sobre o coagulante natural em relação as suas concentrações, é possível notar que as concentrações de 25 mg/L e 45 mg/L, apesar de apresentarem bons desempenhos, a de menor dosagem possui um rendimento melhor devido a sua média ser estatisticamente inferior. Os menores valores estatísticos de média se comparado ao da dosagem de melhor redução do cloreto férrico, comprovam o melhor desempenho de clarificação do coagulante orgânico.

Após 20 minutos de sedimentação, o desempenho das concentrações de modo individual dos coagulantes  $\text{FeCl}_3$  e o Tanfloc SG na comparação em que o nível coagulante é fixado ocorreu a mesma situação do tempo de 10 minutos de sedimentação. A única mudança observada é o fato de que as concentrações de 45mg/l e de 65mg/L do coagulante químico apresentaram valores estatisticamente diferentes mesmo com médias distantes do valor máximo permitido de turbidez da Portaria de Potabilidade. Possivelmente devido a variabilidade dos valores das réplicas.

Em relação aos valores das médias, observou-se também uma pequena variação estatística delas para o Tanfloc SG em relação ao tempo de 10 minutos.

No tempo de 30 minutos de sedimentação, que representa o último tempo de análise de sedimentação dos flocos formados notou-se que todos os valores e resultados estatisticamente diferentes com exceção das concentrações de 45mg/L e 65mg/L que são iguais mas apresentam baixa eficiência na redução dos valores de turbidez.

Em ambos os coagulantes a menor dosagem, 25mg/L, se mostrou como a de melhor desempenho mas o menor valor estatístico de média do Tanfloc SG comprova sua melhor eficiência em redução dos valores iniciais dos parâmetro físico em relação ao cloreto férrico.

### 5.4.3 Análise de Variância em relação a Cor Aparente para os coagulantes cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) e Tanfloc SG (Ta) do ensaio do dia 08/11/2013

O rendimento individual dos coagulantes  $\text{FeCl}_3$  e o Tanfloc SG em cada concentração, na remoção do parâmetro cor aparente, ao realizar as comparações da médias com os fatores adotados entre os coagulantes mostrou situações interessantes.

Cumpra esclarecer inicialmente o resultado da análise de variância, mostrados na Tabela 13, para os valores de cor obtidos no tempo zero de sedimentação.

**Tabela 13 – Resultados da análise de variância para o parâmetro cor aparente no tempo zero no ensaio do dia 08/11/2013**

	GL	SQ	QM	$F_c$	Valor-P
Coagulante	1	2725656.000000	2725656.000000	641.130	0.0000
Concentração	2	128874.083333	64437.041667	15.157	0.0001
Coag x Concent	2	580263.250000	290131.625000	68.245	0.0000
Resíduo	18	76524.000000	4251.333333		
Total	23	3511317.333333			

Através da Tabela 13 da análise de variância com os dados do parâmetro cor aparente, observou-se que o Valor-P foi menor que 0,05. Isso indica que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração é significativa, a 5% de significância. A mesma situação ocorre com os tempo de 10, 20 e 30 minutos de sedimentação. Por isso, na sequência apenas será apresentado a Tabela com o resumo das comparações de médias, pelo teste de Tukey, para os desdobramentos.

Na Tabela 14 é apresentado um resumo das comparações de médias para os desdobramentos.

**Tabela 14 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos, Cor aparente no dia 08/11/2013**

Tempos de sedimentação (min)	Coagulante	Concentração			Concentração	Coagulante	
		25	45	65		Sulfato	Tanfloc
Cor aparente = 0	Cloreto	604.00 a	1067.25 a	1102.75 a	25	604.00 a	365.25 a
	Tanfloc	365.25 b	230.25 b	156.50 b	45	1067.25 b	230.25 b
					65	1102.75 b	156.50 b
Cor aparente = 30	Cloreto	15.00 a	918.75 a	972.50 a	25	15.00 a	12.50 a
	Tanfloc	12.50 a	20.00 b	311.00 b	45	918.75 b	20.00 a
					65	972.50 c	311.00 b

As informações da Tabela 14 mostraram que, no tempo zero de sedimentação, fixando o fator Coagulante, as três concentrações se comparados seus rendimentos entre os dois coagulantes tiveram resultados estatisticamente diferentes, com as médias do coagulante natural com valores menores, portanto comprovando um melhor desempenho na remoção do parâmetro cor no tempo zero.

Além disso, ao fixar o fator Concentração, concluiu-se que para os dois coagulantes, as concentrações 45mg/L e 65mg/L tiveram resultados estatisticamente iguais. As concentrações de 25mg/L tiveram médias estatísticas diferentes.

Salienta-se que o desdobramento das médias utilizando o teste de Tukey sobre o desempenho de remoção do parâmetro cor aparente, para os tempos de 10, 20 e 30 minutos apresentaram o mesmo comportamento estatístico e, portanto, foi dado enfoque para o tempo de 30 minutos que representa o final do ensaio.

Dessa maneira, partir dos resultados da Tabela 14, observou-se que fixando o fator Coagulante, os níveis 45mg/L e 65mg/L do fator Concentração apresentaram resultados estatisticamente diferentes com melhor desempenho para o coagulante natural, enquanto que o nível de 25mg/L teve resultados estatisticamente iguais com valores de média inferiores aos outros níveis.

Fixando o fator Concentração, observou-se que para o nível do cloreto férrico, as três concentrações tiveram resultados estatisticamente diferentes com o menor valor de média, portanto a que apresentou o melhor rendimento de remoção de cor, a dosagem de 25mg/L.

Para o nível do Tanfloc SG, as concentrações de 25mg/L e 45mg/L apresentaram médias estatisticamente iguais e inferiores a dosagem de 65mg/L. Nota-se portanto um comportamento diferente em relação ao tempo zero de sedimentação, pois a concentração de 65mg/L havia apresentado o melhor rendimento.

Salienta-se que o desdobramento das médias utilizando o teste de Tukey sobre o desempenho de remoção de cor, para os tempos de 20 e 30 minutos de sedimentação ocorreram as mesmas situações observadas no tempo de 10 minutos. Por isso, pode-se concluir que as dosagens de 25mg/L do cloreto férrico, 25mg/L e 45mg/L do Tanfloc SG apresentaram os melhores desempenhos e resultados estatisticamente iguais. Pelos valores de média, no entanto, verificou-se que apenas as concentrações de 25mg/L de ambos os coagulantes atenderam o parâmetro de potabilidade conforme dispõe a Portaria N<sup>o</sup> 2914.

#### 5.4.4 Ensaio Realizado com Água Bruta em Condições de Período Seco

A água de captação utilizada no ensaio do dia 22/11/2013, foi coletada após alguns dias de estiagem, no período matutino, no dia 18/11/2013. Os valores de seus parâmetro físicos e químicos no seu estado inicial podem ser visualizados na Tabela 5. A Figura 27 mostra seu estado “in natura”, momentos antes do início do ensaio.





**Figura 27: Estado inicial da água bruta antes do ensaio do dia 22/11/2013.**

Os rendimentos dos coagulantes utilizados no ensaio com as concentrações 5mg/L, 8mg/L e 10mg/L, em relação a cada tempo de sedimentação, podem ser visualizados no Apêndice C.

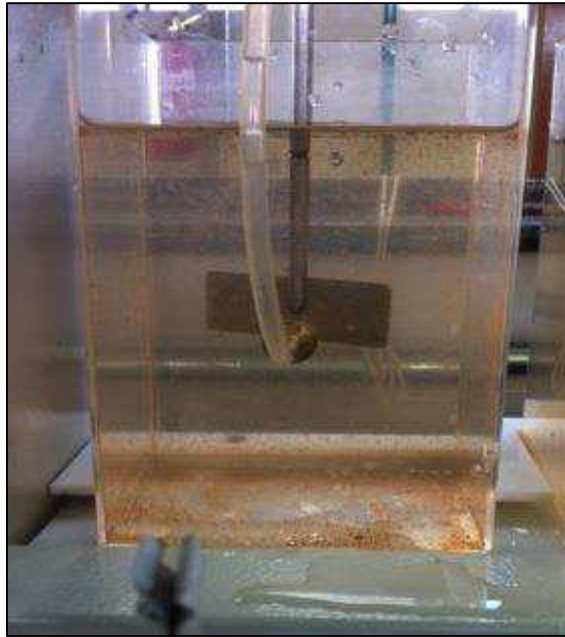
Durante a realização dos ensaios com ambos os coagulantes utilizados, foi observado uma maior demora na formação dos flocos em relação ao ensaio com a água bruta em condição chuvosa com valores de turbidez e cor elevados. Segundo De Julio *et al* (2006), a explicação para essa maior demora na formação dos flocos se deve ao fato de que em águas naturais com baixos valores de turbidez, há diminuição da probabilidade de ocorrência do número de choques entre as partículas, o que dificulta sua agregação e, conseqüentemente, a formação dos flocos, reduzindo, assim, a eficiência da operação de floculação, bem como das unidades subsequentes.

Devido a esse fato, importante salientar que para condições da água do rio Cafezal apresentando uma turbidez de 20 uT, de acordo com a Instituição Normativa Operacional da Sanepar, IT/OPE/0901, os filtros da ETA Cafezal possuem autonomia e condições de tratarem a água bruta com essas características e atingirem o parâmetro de turbidez da Portaria N<sup>o</sup> 2914 que dispõe que a água após a filtração deve ter um valor máximo permitido de 1 uT em 95% das amostras.

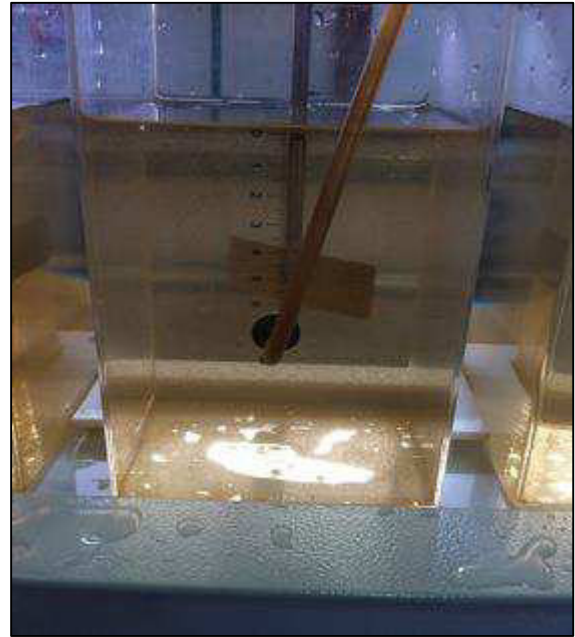
Todavia, através da Tabela 5, a água no estado inicial apresentava um valor de turbidez, 31 uT, acima do limite que suportam os filtros da ETA Cafezal. As concentrações adotadas para os coagulantes químicos e natural para avaliar seus

desempenhos foram de 5 mg/L, 8 mg/L e 10 mg/L.

A Figura 28 mostra as imagens da diferença dos flocos formados entre o Tanfloc SG e o cloreto férrico e também apresenta as características visuais da água após os ensaios.



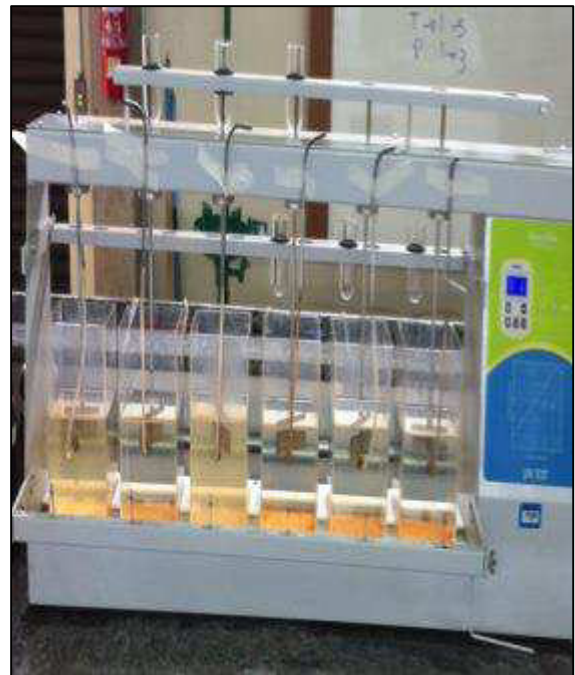
**Figura 28a: Flocos do Tanfloc SG.**



**Figura 28b: Flocos do Cloreto Férrico.**



**Figura 28c: Ensaio com o Tanfloc SG.**



**Figura 28d: Ensaio com o Cloreto Férrico.**

**Figura 28: Imagens dos ensaios realizados no dia 22/11/2013 com os coagulantes e características dos seus respectivos flocos formados.**

De acordo com a Figura 28, os flocos do coagulante orgânico se mostraram maiores e se sedimentaram mais rapidamente se comparados aos formados pelo cloreto férrico. Ademais, visualmente o Tanfloc SG apresentou um melhor desempenho com as menores concentrações utilizadas, proporcionando a ideia de que o coagulante natural necessita de menos dosagem que o cloreto férrico para clarificar a água bruta. Em seu trabalho comparando os dois coagulantes, Dias *et al* (2005) concluiu que para cada 1mg/L dosado de tanino, foram necessários um mínimo de 5mg/L de cloreto férrico para remoção dos particulados presentes em uma mesma água bruta.

Em relação ao desempenho dos coagulantes adotados, as Figuras 29 e 30 mostram os percentuais de remoção de turbidez, de acordo com cada tempo de sedimentação.

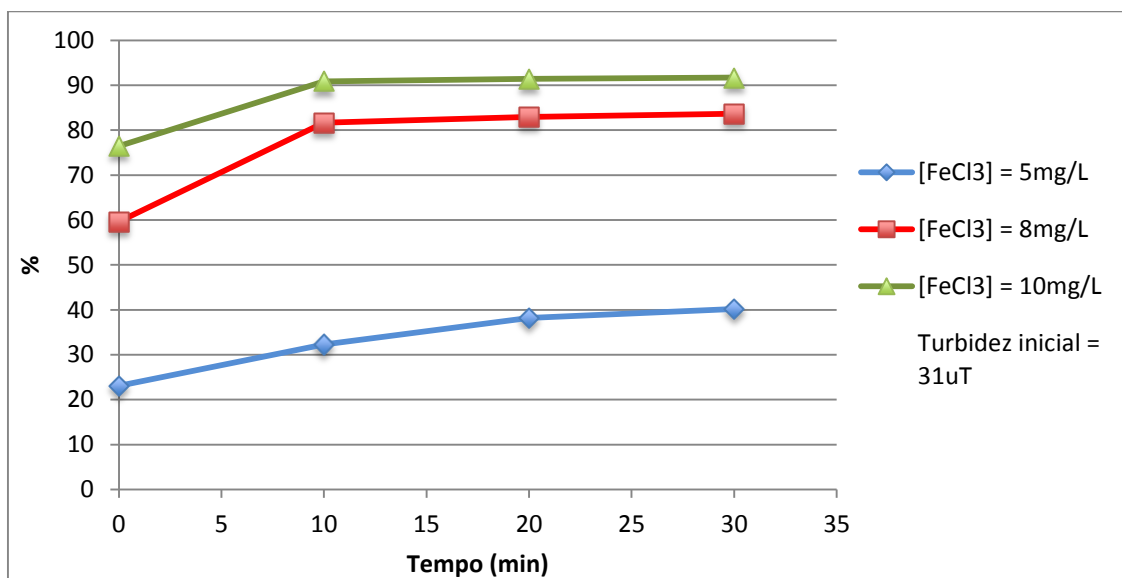
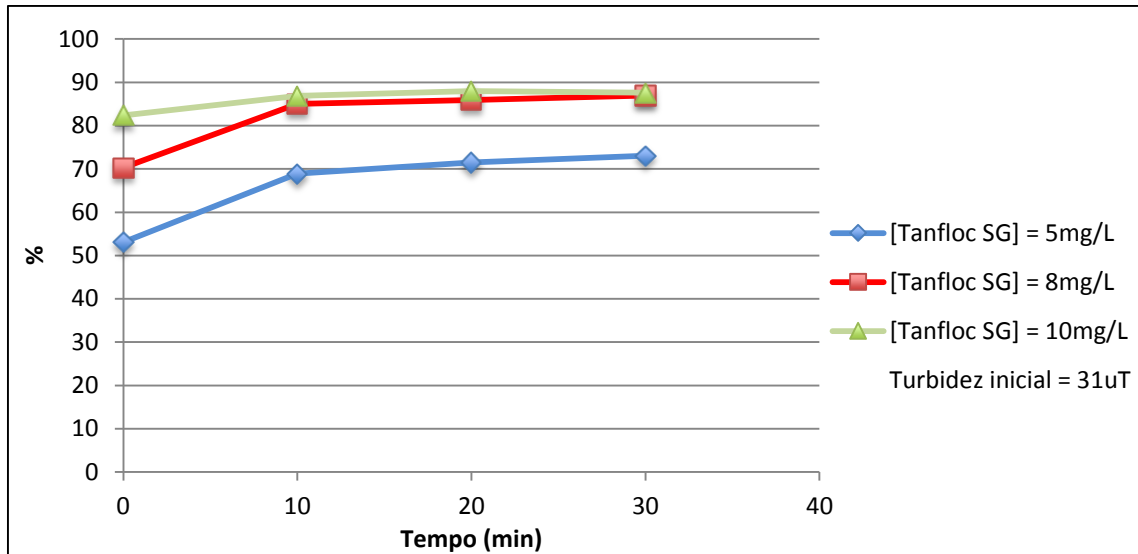


Figura 29: Percentuais de remoção do parâmetro turbidez para as concentrações utilizando o cloreto férrico no ensaio do dia 22/11/2013.



**Figura 30: Percentuais de remoção do parâmetro turbidez para as concentrações utilizando o Tanfloc SG no ensaio do dia 22/11/2013.**

A partir das Figuras 29 e 30, reparou-se que o desempenho do cloreto férrico na remoção de turbidez foi um pouco superior do que em relação ao coagulante natural, com um percentual de remoção de 91,75% e uma turbidez residual de 2,56 uT, com a concentração de 10mg/L após 30 minutos de sedimentação. No entanto, com 10 minutos, a água decantada já apresentava um valor de turbidez residual dentro dos limites estabelecidos pela Portaria N<sup>o</sup> 2914.

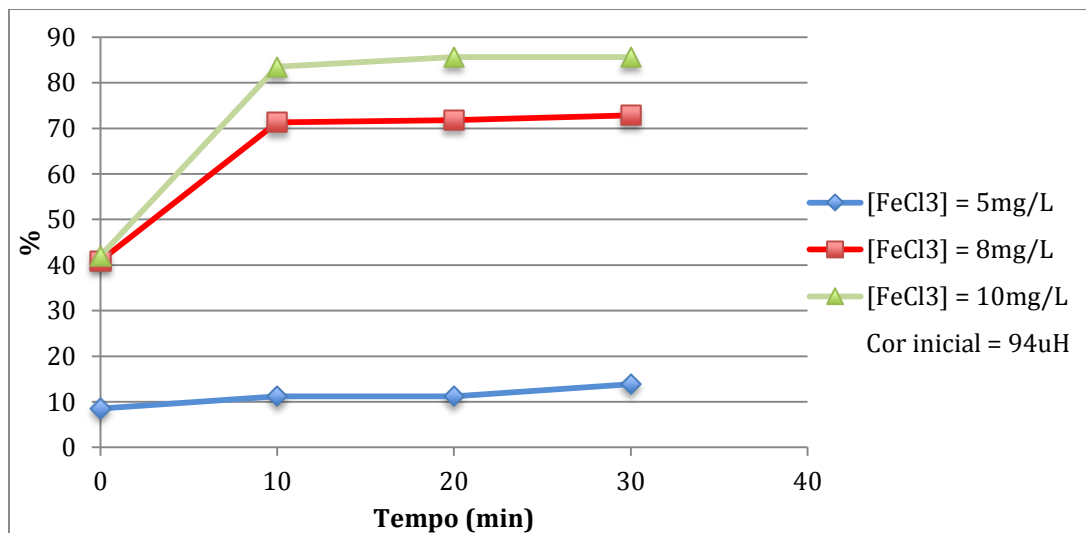
O resultado obtido com o cloreto férrico ficou aproximado do atingido por outros pesquisadores que trabalharam com valores de turbidez próximo ao do ensaio. Padilha *et al.* (2011), atingiu um percentual acima de 90% de remoção de turbidez de uma água de manancial utilizado para abastecimento com uma dosagem de 15mg/L de cloreto férrico. Libânio *et al.* (1997), conseguiu 88% de redução do valor inicial desse parâmetro físico utilizando águas naturais afluentes de ETAs mas com uma dosagem de 20mg/L, enquanto que Baghvand *et al.* (2010) obteve a concentração de 10mg/L como a dosagem ótima para uma água com valores de turbidez de até 50 uT.

O percentual de remoção do Tanfloc SG foi um pouco inferior, apresentando como melhor desempenho, 88% de redução de turbidez e um valor residual de 3,72 uT com a concentração de 10mg/L, alcançado após 20 minutos de sedimentação. No entanto, é fundamental salientar que com 10 minutos, além da concentração de 10mg/L, a de 8mg/L também atingiu valores de turbidez residual menores que o máximo permitido pela Portaria N<sup>o</sup> 2914, o que não foi observado com o cloreto

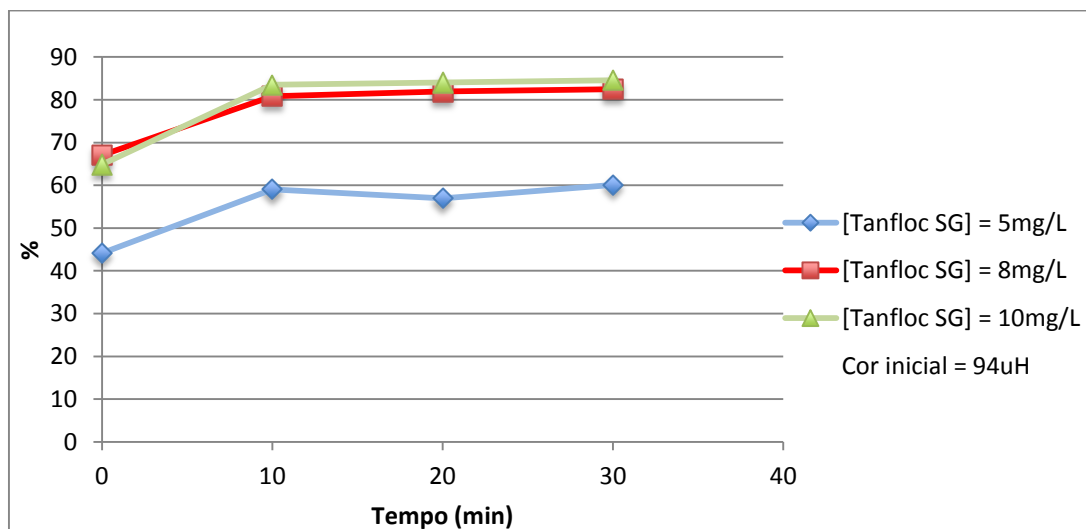
férrico em que apenas a maior concentração adotada atendeu o parâmetro da Portaria. Essa situação mostra que o coagulante natural pode ser efetivo em uma dosagem menor que o coagulante químico no tratamento da água do rio Cafezal.

Utilizando a água de um rio com valores de turbidez próximos aos utilizados no ensaio, Zollet (2010) obteve valores de turbidez residual dentro do limite estabelecido pela Portaria de potabilidade e percentuais de remoção de até 96% de turbidez.

As Figuras 31 e 32 apresentam os percentuais de remoção do parâmetro cor em função do tempo para os coagulantes em estudo no ensaio.



**Figura 31: Percentuais de remoção do parâmetro cor aparente para as concentrações utilizando o cloreto férrico no ensaio do dia 22/11/2013.**



**Figura 32: Percentuais de remoção do parâmetro cor aparente para as concentrações utilizando o Tanfloc SG no ensaio do dia 22/11/2013.**

Os resultados das análises de cor aparente, segundo as Figuras 31 e 32, se comparados com a Portaria Nº 2914 do Ministério da Saúde, demonstraram que somente a concentração de 10mg/L de ambos os coagulantes ficaram com valores dentro do valor máximo permitido para esse Parâmetro. Para o cloreto férrico o percentual de remoção de cor foi um pouco superior com 85,6% atingido com 20 minutos de sedimentação, enquanto que o Tanfloc SG obteve o melhor percentual, 84,6% após 30 minutos de decantação da água bruta. No entanto, relevante salientar que a dosagem de 8mg/L do coagulante natural teve um bom percentual de remoção de cor, 82,5%, atingindo um valor um pouco acima do limite desse parâmetro.

Nota-se portanto um desempenho um pouco melhor do cloreto férrico na remoção dos parâmetros de cor e turbidez com a água com valores de turbidez mais baixos, embora o desempenho do coagulante natural foi promissor, já que também atingiu valores desses parâmetros dentro do limite da Portaria de potabilidade da água. Em um trabalho comparativo entre o cloreto férrico e o Tanfloc SG utilizando também água bruta, Dias *et al* (2005) obteve um melhor desempenho do coagulante natural na remoção de cor do que o químico em águas com valores baixos de turbidez.

Em relação ao cloreto férrico, percebe-se que os resultados obtidos estão próximos de outros autores, pois Libânio *et al* (1997) obteve um percentual de remoção de cor de 97% com uma dosagem entre 10mg/L a 14mg/L em um valor de cor aparente um pouco inferior ao utilizado no ensaio.

Com uma dosagem menor de coagulante é possível observar a variação de pH inicial da água bruta nas Figuras 33 e 34, de acordo com cada coagulante e o tempo de sedimentação.

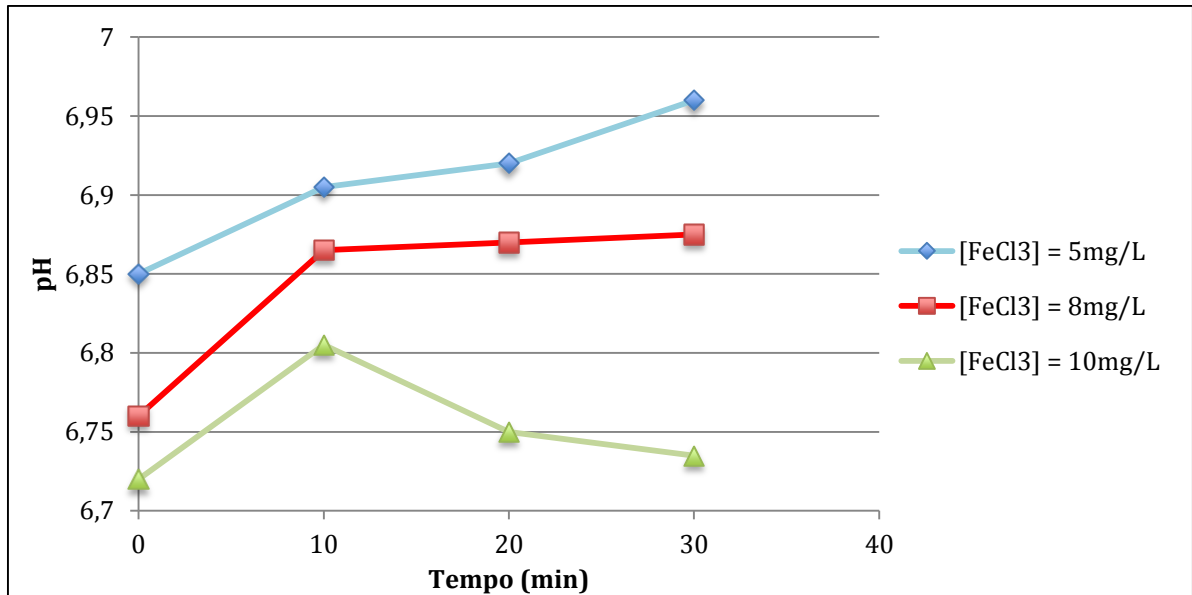


Figura 33: Variação do pH da água com turbidez baixa de acordo com a concentração utilizando o cloreto férrico no ensaio do dia 22/11/2013.

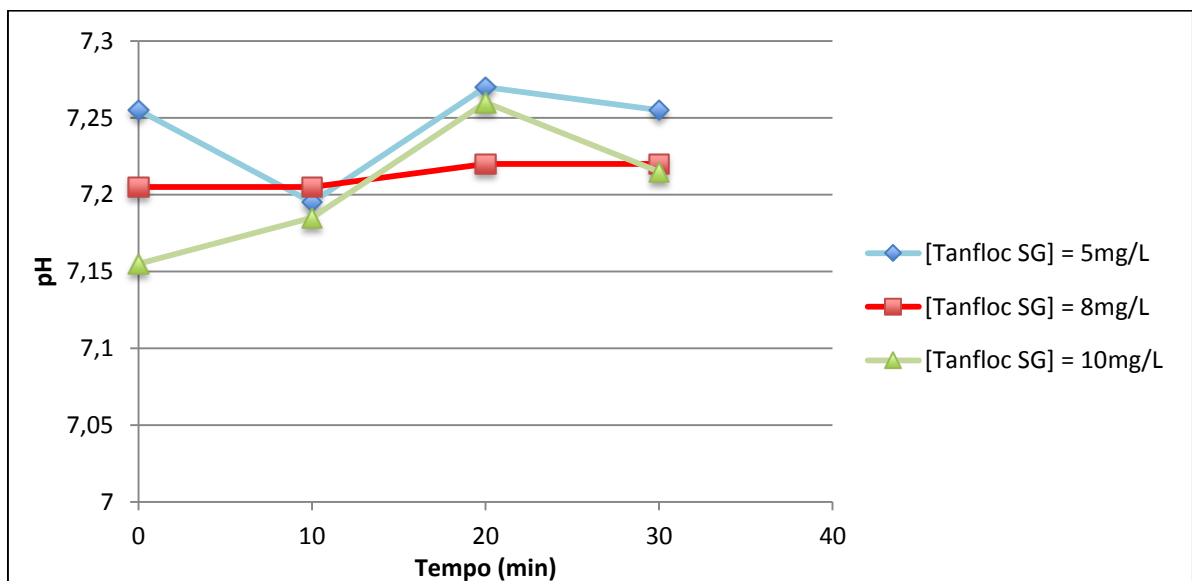


Figura 34: Variação do pH da água com turbidez baixa de acordo com a concentração utilizando o Tanfloc SG no ensaio do dia 22/11/2013.

Segundo as Figuras 33 e 34, as variações do pH utilizando o cloreto férrico mostrou uma baixa queda no valor, no entanto em nenhuma das três concentrações foi o suficiente para ficar fora do intervalo de distribuição permitido pela Portaria N<sup>o</sup> 2914. Essa situação demonstra que com águas com baixa turbidez, mesmo baixando o pH da água, o cloreto férrico não necessita da aplicação de produtos químicos para aumentar o pH da água no final do tratamento devido a baixa dosagem de aplicação do produto.

Para o coagulante orgânico, como observado nos outros ensaios realizados,

novamente se observou uma variação pouco significativa do pH da água bruta, independentemente da concentração utilizada pelo fato do mesmo não consumir a alcalinidade do meio.

Como o pH inicial da água bruta se encontrava com um valor de 7,28, o mecanismo de coagulação que predominou para o cloreto férrico, segundo Kowata *et al.* (2000), foi o mecanismo da varredura. Já para o Tanfloc SG, por ser um polímero catiônico, por ser um polímero catiônico de grande cadeia molecular, de acordo com Di Bernardo e Dantas (2005) ocorreu o mecanismo de adsorção e formação de pontes.

#### 5.4.5 Análise de Variância em relação a Turbidez para os coagulantes ( $\text{FeCl}_3$ ) e o Tanfloc SG (Ta) do ensaio do dia 22/11/2013

O desempenho dos níveis de concentração de cada coagulante individualmente em relação a turbidez foram realizados e os respectivos resultados da análise de variância para a turbidez no tempo zero de sedimentação são mostrados na Tabela 15.

**Tabela 15 – Resultados da análise de variância para o parâmetro turbidez no tempo zero no ensaio do dia 22/11/2013**

	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	Valor-P
Coagulante	1	181.060267	181.060267	35.464	0.00000
Concentração	2	702.152500	351.076250	68.766	0.00000
Coag x Concent	2	90.814033	45.407017	8.894	0.0021
Resíduo	18	91.897400	5.105411		
Total	23	1065.924200			

A partir da Tabela 15, observa-se que o valor-P é igual a 0,0021 e menor que 0,05. Isso indica que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração é significativa, a 5% de significância. A mesma situação é observada para os outros tempos de sedimentação. Assim, na sequência, será mostrado a Tabela 16 com o resumo das comparações de médias, pelo teste de Tukey, para os desdobramentos.



**Tabela 16 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos, Turbidez-no ensaio do dia 22/11/2013**

Tempos de sedimentação (min)	Coagulante	Concentração			Concentração	Coagulante	
		5	8	10		Cloreto	Tanfloc
Turbidez = 0	Cloreto	25.15 a	12.60 a	7.76 a	5	25.15 a	14.20 a
	Tanfloc	14.20 b	9.23 b	5.61 a	8	12.60 b	9.23 b
					10	7.76 c	5.61 b
Turbidez = 10	Cloreto	21.25 a	5.63 a	2.94 a	5	21.25 a	9.61 a
	Tanfloc	9.61 b	4.65 b	4.03 b	8	5.63 b	4.65 b
					10	2.94 c	4.03 b
Turbidez = 20	Cloreto	19.12 a	5.18 a	2.61 a	5	19.12 a	8.99 a
	Tanfloc	8.99 b	4.46 a	3.72 b	8	5.18 b	4.46 b
					10	2.61 c	3.72 b
Turbidez = 30	Cloreto	18.57 a	5.13 a	2.58 a	5	18.57 a	8.26 a
	Tanfloc	8.26 b	4.07 b	3.80 b	8	5.13 b	4.07 b
					10	2.58 c	3.80 b

Percebeu-se na Tabela 16 que ao fixar o fator Coagulante, no tempo zero de sedimentação, as concentrações de 10mg/L dos dois coagulantes foram as que tiveram menor média e resultados estatisticamente iguais. Essa situação não ocorreu para as outras duas concentrações, pois as médias do Tanfloc SG foram inferiores e estatisticamente diferentes. Isso mostra a maior velocidade de sedimentação dos flocos do coagulante natural, pois no tempo zero ainda existem muitos deles em suspensão na água coagulada com cloreto férrico.

Os dados com o fator Concentração fixado mostraram que as três dosagens do cloreto férrico tiveram médias estatisticamente diferentes. Para o coagulante orgânico, as concentrações de 8mg/L e 10mg/L apresentaram resultados estatisticamente iguais e inferiores a concentração de 5mg/L.

Depois de 10 minutos de sedimentação, ocorreram mudanças estatísticas em relação ao tempo zero de sedimentação. Destaca-se que fixando o fator Coagulante, todos as médias entre os dois coagulantes tiveram médias estatisticamente diferentes com as de 8mg/L e 5mg/L do natural com valores inferiores. No entanto, na dosagem de 10mg/L, a média do cloreto férrico foi estatisticamente inferior.

O desempenho das concentrações de modo individual dos coagulantes após 20 minutos de sedimentação, mostrou que a única diferença de comportamento em relação ao tempo de 10 minutos de sedimentação foi o fato de que as duas concentrações de 8mg/L dos dois coagulantes tiveram rendimentos iguais.

Ao final do ensaio, após 30 minutos de sedimentação, a Tabela 16 mostrou que fixando o fator Coagulante, as comparações entre as médias mostram resultados estatisticamente diferentes com médias inferiores do Tanfloc SG para as concentrações de 8mg/L e 5mg/L. Observou-se com essa situação um melhor rendimento do coagulante natural em dosagens menores. Para a concentração de 10mg/L, todavia, o cloreto férrico apresentou uma média estatisticamente inferior e portanto com melhor rendimento se comparado ao coagulante orgânico.

Fixando o fator Concentração, notou-se que as três concentrações do cloreto férrico apresentaram resultados estatisticamente diferentes. O comportamento semelhante entre as dosagens de 8mg/L e 10mg/L do coagulante orgânico é comprovado pelo teste de Tukey, visto que tiveram resultados estatisticamente iguais.

#### 5.4.6 Análise de Variância em relação a Cor Aparente para os coagulantes ( $\text{FeCl}_3$ ) e o Tanfloc SG (Ta)

Em relação à redução do valor inicial do parâmetro cor aparente da água bruta, realizou-se a comparação das médias e análise de variância com os fatores

Coagulante e Concentração adotados.

Inicialmente, foi feita a análise de variância no tempo zero de sedimentação para analisar se a interação entre os fatores era significativa. A Tabela 17 apresenta os resultados.

**Tabela 17 – Resultados da análise de variância do parâmetro cor aparente no tempo zero no ensaio do dia 22/11/2013**

	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	Valor-P
Coagulante	1	4374.000000	4374.000000	295.430	0.00000
Concentração	2	3300.083333	1650.041667	111.447	0.00000
Coag x Concent	2	255.250000	127.625000	8.620	0.0024
Resíduo	18	266.500000	14.805556		
Total	23	8195.833333			

De acordo com a Tabela 17, constatou-se que o Valor-P foi igual a 0,0024 e menor que 0,05. Isso indicou que a interação entre os fatores Coagulante e Concentração foi significativa, a 5% de significância. A mesma situação ocorreu para os tempos de 10, 20 e 30 minutos de sedimentação. Assim, na sequência será dado enfoque a Tabela 18 com o resumo das comparações de médias, pelo teste de Tukey, para os desdobramentos.

**Tabela 18 – Comparações de médias pelo teste de Tukey para os desdobramentos, Cor aparente no ensaio do dia 22/11/2013**

Tempos de sedimentação (min)	Coagulante	Concentração			Concentração	Coagulante	
		5	8	10		Cloreto	Tanfloc
= 0 Cor aparente	Cloreto	86.50 a	55.75 a	54.00 a	5	86.50 a	50.50 a
	Tanfloc	50.50 b	31.50 b	33.25 b	8	55.75 b	31.50 b
					10	54.00 b	33.25 b
= 30 Cor aparente	Cloreto	81.25 a	25.25 a	13.00 a	5	81.25 a	14.50 a
	Tanfloc	38.75 b	16.75 b	14.50 a	8	25.25 b	16.75 a
					10	13.00 c	38.75 b

Observa-se, de acordo com a Tabela 18, que no tempo zero, ao fixar o

fator Coagulante, ao comparar as concentrações entre os coagulantes, todas apresentaram resultados estatisticamente diferentes com o Tanfloc SG com médias inferiores, possivelmente devido a maior velocidade de sedimentação dos flocos que limpam a água bruta mais rapidamente.

Ao se fixar o fator Concentração, notou-se que as concentrações de 8mg/L e 10mg/L dos dois coagulantes tiveram médias estatisticamente iguais e inferiores as concentrações de 5mg/L.

Após isso, depois de realizar o desdobramento das médias utilizando o teste de Tukey sobre o desempenho de remoção de cor, para os tempos de 10, 20 e 30 minutos, notou-se que o comportamento estatístico foi o mesmo para os três de sedimentação. Dessa maneira, foi dado enfoque para o tempo de 30 minutos de acordo com a combinação dos fatores que representam o último tempo de sedimentação e o final do experimento.

Cumprido esclarecer então que, após 30 minutos de sedimentação, as concentrações de 10mg/L apresentaram resultados estatisticamente iguais e superiores as outras concentrações.

Sobre as dosagens de 8mg/L e 5mg/L observou-se um médias estatisticamente diferentes e inferiores do Tanfloc SG em relação ao coagulante inorgânico, comprovando seu melhor rendimento em dosagens menores para tratamento da água bruta analisada.

Ao fixar o fator Concentração, para o cloreto férrico, as três concentrações tiveram médias estatisticamente diferentes, sendo que a menor para 10mg/L e a maior com a dosagem de 5mg/L. Para o coagulante orgânico, observa-se que estatisticamente as concentrações de 8mg/L e 10mg/L apresentaram resultados iguais, mostrando que é possível que a menor concentração seja utilizada para o tratamento da água, pensando em valores econômicos, visto que quanto menor a quantidade gasta, menor seria o custo.

## 5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DO PARÂMETRO pH NOS TRÊS ENSAIOS REALIZADOS

A respeito do parâmetro pH, realizou-se a análise estatística da mesma

maneira que foi feita para os outros parâmetros analisados e descritos anteriormente.

Em relação aos dois primeiros ensaios, utilizando uma água bruta em condições chuvosas, com valores elevados de turbidez e cor aparente, devido as concentrações maiores utilizadas nos ensaios, os gráficos de variabilidade do pH mostraram que o sulfato de alumínio altera o pH da água conforme aumenta a dosagem e para o Tanfloc, nenhuma dosagem adotada provocou uma alteração significativa do pH inicial da água bruta.

Assim, ao se realizar a análise de variância devido a essa grande diferença observada, a interação entre os fatores Coagulante e Concentração foi significativa e mostrou que para as três concentrações do Tanfloc SG, ao compará-las, foram estatisticamente iguais, mostrando que não alteram de modo significativo o pH da água. Para os coagulantes químicos, cada dosagem apresentou um comportamento estatístico diferente mostrando que realmente o aumento da dosagem interfere de modo mais significativo o pH da água em estudo.

No entanto, no terceiro ensaio, realizado com água com baixos valores de turbidez e cor aparente, os dois coagulantes adotados, cloreto férrico e Tanfloc SG, não alteraram de modo significativo o pH da água. O coagulante natural porque realmente se comprovou que não reage com a mesma e o químico possivelmente devido a baixa dosagem aplicada. Por isso, a interação entre os fatores Coagulante e Concentração não foi significativa e por isso não se comparou as médias entre eles.

## 5.6 ANÁLISE DE SÓLIDOS DOS ENSAIOS COM CLORETO FÉRRICO E TANFLOC SG

Um dos principais problemas a se resolver em uma estação de tratamento de água é a respeito da destinação e disposição final do lodo residual, resultante do processo de clarificação da água, no qual envolve o processo de coagulação/floculação/sedimentação, e o processo de lavagem dos filtros (MEGDA *et al.*, 2005).

Comparando os dois ensaios utilizando o cloreto férrico e o Tanfloc SG com as duas diferentes águas utilizadas, uma com valores de turbidez e cor elevadas e a

outra com valores desses parâmetros relativamente baixos, observou-se visualmente que há uma maior geração de flocos e conseqüentemente uma maior geração de lodo com águas mais turvas.

Essa situação não surpreende, já que a coagulação desestabiliza as impurezas presentes na água que se encontram em suspensão fina, em estado coloidal ou em solução, em partículas maiores (flocos) para que posteriormente possam ser removidas (MORAES, 2009). Ou seja, o fato da água mais turva apresentar uma quantidade maior de sólidos, como pode ser visualizado na tabela, acarreta em uma maior formação de flocos.

A análise de sólidos totais e suspensos totais foi realizada em cada concentração adotada e com todos os intervalos de tempos de sedimentação. Após a obtenção dos dados, os valores foram dispostos no Apêndice D para o ensaio com a água em condições chuvosas e no Apêndice E para o ensaio do dia 22/11/2013, com a água com valores de turbidez e cor menores.

Destaca-se que para ambos os ensaios observou-se pouca variação na quantidade de sólidos nos intervalos de tempo de sedimentação, a partir de 10 minutos. Os maiores valores de sólidos totais e suspensos encontrados no tempo de 0 minutos são explicados pelo fato de que a água coletada logo após o término do ensaio apresentava muitos flocos em suspensão.

Em relação ao ensaio do dia 08/11/2013, em que foi utilizada a água com maiores valores de turbidez e cor, observou-se respectivamente, uma eficiência de remoção um pouco superior e um rendimento igual para os suspensos, do coagulante natural em relação ao químico.

A respeito dos parâmetros analisados, constatou-se uma relação diretamente proporcional entre o valor final de turbidez e cor e a quantidade de sólidos suspensos. Isto é, a concentração de 25mg/L do Cloreto Férrico e as de 25mg/L e 45mg/L do Tanfloc SG, obtiveram as menores quantidades de sólidos suspensos. Como os valores de turbidez e cor aparente estão relacionados com a quantidade de sólidos em suspensão, os valores obtidos comprovam essa relação.

Ademais, observou-se que houve pouca variação significativa entre os valores de sólidos totais e suspensos entre os intervalos de tempo de sedimentação a partir dos 10 minutos.

Relevante destacar a diferença de eficiência entre os sólidos totais e suspensos totais obtidos pelos coagulantes. O percentual de remoção dos

suspensos totais foi maior do que em relações aos sólidos totais. Segundo Franco (2009), a adição dos coagulantes contribui para aumentar a quantidade de sólidos na água. Como os sólidos em suspensão se reduziram, logo, entende-se que os coagulantes contribuíram para aumentar a quantidade de sólidos dissolvidos totais na água.

Em seu trabalho avaliando a eficiência do Tanfloc em água bruta, os dados obtidos por Siqueira (2009) também apresentaram uma melhor eficiência deste na remoção de sólidos suspensos totais.

A respeito do ensaio do dia 22/11/2013, utilizando uma água menos turva, os dados obtidos mostram que o Tanfloc SG foi mais eficiente na remoção de sólidos suspensos com as concentrações de 5mg/L e 8mg/L, comprovado pelo fato de que seus valores de turbidez e cor finais também foram menores se comparados com o cloreto férrico. No entanto, se observou-se que com 10mg/L, a eficiência de remoção de sólidos suspensos totais foi a mesma para os dois coagulantes.

Sobre os sólidos totais, verificou-se uma eficiência de remoção de no máximo 35%, portanto, menor se comparado a redução de sólidos suspensos, mostrando que também nesse ensaio ocorreu um aumento para os sólidos dissolvidos totais devido a adição dos coagulantes.

O fato do cloreto férrico apresentar um desempenho melhor de remoção de cor na concentração de 10mg/L, está diretamente relacionado ao fato de apresentar uma menor quantidade de sólidos totais. Pois, mesmo os dois coagulantes tendo a mesma quantidade de sólidos suspensos, um menor valor de cor mostra que existem menos sólidos dissolvidos na água coagulada.

## 6 CONCLUSÃO

Na realização desse trabalho, verificou-se que o Tanfloc SG foi eficiente no tratamento da água bruta da ETA Cafezal comparando-o com os coagulantes químicos sulfato de alumínio e o cloreto férrico, sendo este o utilizado na ETA.

Destaca-se que encontrou dosagens que atendessem o padrão organoléptico de potabilidade com os parâmetros escolhidos para medição. Para as águas com valores de turbidez e cor aparente elevados, para o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, a dosagem de 25mg foi efetiva, enquanto que para o Tanfloc SG, além desta concentração, a dosagem de 45mg/L também atingiu valores que atendessem o padrão organoléptico da Portaria. Para a água com valores de cor aparente e turbidez baixos, somente a concentração de 10mg/L do cloreto férrico e do Tanfloc SG atenderam os limites da Portaria.

Observou-se que para o tratamento de águas com os parâmetros turbidez e cor aparente elevados, o coagulante orgânico obteve porcentagens de remoção superiores em alguns parâmetros físicos analisados. Para as águas com valores menores de turbidez, o cloreto férrico se mostrou com um rendimento superior, muito embora os valores finais dos parâmetros com a água nessas características do Tanfloc SG também atenderam os parâmetros de potabilidade da Portaria N<sup>o</sup> 2914.

Para a análise estatística verificou-se resultados interessantes, indicando que a comparação das médias estatísticas pelo teste de Tukey apresentou situações em que as concentrações que tiveram melhor desempenho, entre o coagulante natural e o coagulante químico foram iguais em certos parâmetros, assim como superiores e inferiores em outros. Essa situação foi relevante para se comprovar se apenas o valor quantitativo realmente representa que o rendimento de um coagulante teve um desempenho melhor que o outro. Os resultados mostraram que o coagulante natural obteve um bom desempenho quando comparado aos dois coagulantes químicos.

Além disso, a partir da análise do parâmetro sólidos, concluiu-se que apesar de remover de forma expressiva os sólidos em suspensão presentes na água bruta, não necessariamente os coagulantes diminuíram a quantidade de sólidos totais na água, possivelmente pelo fato de se dissolverem na água e aumentarem a



quantidade de sólidos dissolvidos na mesma.

Os ensaios realizados mostraram o quão importante é de se realizar pré-testes com os coagulantes para encontrar as dosagens mais apropriadas para um melhor funcionamento do processo de coagulação. A partir desses testes, pode-se observar que o Tanfloc SG pode atender os parâmetros de potabilidade da Portaria Nº 2914 com a mesma concentração adotada para os coagulantes químicos escolhidos no trabalho. Visualizou-se ainda que é possível que o coagulante natural obtenha as mesmas eficiências de remoção dos parâmetros em menores dosagens que a dosagem ótima adotada para o cloreto férrico.

Como sugestões para a continuidade do trabalho sugere-se, portanto, que se realize um estudo mais aprofundado das dosagens ótimas para o Tanfloc SG comparando com esses coagulantes químicos para avaliar se o coagulante natural pode mesmo ser efetivo em uma menor dosagem com essa água bruta e assim poder realizar uma análise econômica para avaliar a viabilidade financeira de se adotar o Tanfloc SG na ETA Cafezal.

Seria importante também, realizar uma análise do lodo gerado pelo Tanfloc SG para classificá-lo de acordo com a Norma NBR ABNT 10004 e assim se ter um maior conhecimento para seu tratamento e disposição final, além de se realizar um ensaio utilizando o Tanfloc SG em uma ETA – piloto para avaliar qual o risco de formação de organoclorados na água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, Eman et al. Production of natural coagulant from moringa oleifera seed for application in treatment of low turbidity water. **Journal Water Resource and Protection**. v.2, p. 259-266, 2010.

ALTMANN, Paul et al. Disturbance of cerebral function in people exposed to drinking water contaminated with sulfate aluminum: retrospective study of the Camelford water incident. **BMJ**. v.319, set. 1999. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC314205/pdf/807.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2013.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**: projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

BAGHVAND, Akbar *et al.* Optimizing Coagulation Process for Low to High Turbidity Waters Using Aluminum and Iron Salts. **American Journal of Environmental Sciences**. v. 6, 2010.

BARROS, Fernanda G. N.; AMIN, Mário M.; Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. Taubaté, v.16, n. 1, p. 75-108, jan./abr. 2007

BINA, B. et al. Effectiveness of chitosan as natural coagulant aid in treatment of turbid waters. **Iran J. Environ. Health. Sci. Eng**. v.6, n. 4, p. 247-252, 2009.

BONGIOVANI, Milene C. *et al.* Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para obtenção de água potável. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v.32, n. 2, p. 167-170, 2010.

BORBA, Luís R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleifera lam* no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 92 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama (2005). Resolução nº 357

de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. P. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 16 mai. 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde (2011). Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 16 mai. 2013.

BRATBY, John. **Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment**. 3 ed. Londres: Editora IWA, 2006, p. 173-175.

BROWN, Lawrence S; HOLME, Thomas A. **Química geral: aplicada à engenharia**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. p. 505-508.

CAMPOS, S. X., DI BERNARDO, L., VIEIRA, E. M., 2005, Influência das características das substâncias húmicas na eficiência da coagulação com sulfato de alumínio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 10, 3, 194-199, 2005.

CAPELLETE, Bruna C. **Emprego da quitosana como coagulante no tratamento de água contendo *microcystis aeruginosa* – avaliação de eficiência e formação de trihalometanos**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

CARVALHO, Maria J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 2008. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CASTRO-SILVA, M. A. et al. Microorganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulante orgânico vegetal (tanato quaternário de amônio) – I. Microorganismos filamentosos. **Estudos de Biologia**. Curitiba, v.26, n. 54, p. 21-27, Jan./Mar., 2004.

CORAL L. A. et al. Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo Humano. In: INTERCIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2., 2009, São Paulo. **Key elements for a sustainable world: energy, water and climate change**. Disponível em: <

<http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/4/F.%20J.%20Bassetti%20-%20Resumo%20Exp.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2013.

CRUZ, João G. H. **Alternativas para a aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial**. 2004. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CRUZ, J. G. H. et al. **Aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação do efluente de uma lavanderia industrial**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2005.

DE JULIO, Marcelo et al. Emprego do reagente de fenton como agente coagulante na remoção de substâncias húmicas de água por meio da flotação por ar dissolvido e filtração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v.11, n. 3, p. 260-268, jul./set. 2006.

DIAS, Amanda C. V. et al. **Estudo Comparativo entre os efeitos do tanino e de um coagulante convencional sobre a filtração rápida usada no tratamento de água para abastecimento**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2005.

DIAZ, A. et al. A preliminar evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela. **Process Biochemistry**. v. 35, p. 391-395, 1999.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Editora Rima, 2005.

DI BERNARDO, Luiz et al. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: Editora Rima, p. 80-81, 2002.

FILHO, Jesuino D. dos S.; Rita, Edmundo S. S.; **Gerenciamento do resíduo gerado na clarificação de água da RLAM**. 2002. 54 f. Monografia (Título de Especialista) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

FRANCO, Elton 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. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

GASPAROTTO, Felipe A. **Avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas do município de Piracicaba-SP**. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2006.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2010, a, v. 1.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2010, b, v. 2.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE LONDRINA.

**Relatório de avaliação ambiental**. Disponível em:

<[http://www1.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/ippul/procidades\\_bid/aa\\_final.pdf](http://www1.londrina.pr.gov.br/dados/images/stories/Storage/ippul/procidades_bid/aa_final.pdf)>. Acesso em: 22 mai. 2013.

KAWAMURA, Susumu. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2 ed. Nova York: Editora: John Wiley e Sons, Inc, 2000.

KOWATA, Emilia A. *et al.* **Estudo da influência da turbidez e cor declinantes sobre a coagulação de água de abastecimento no mecanismo de adsorção – neutralização de cargas**. 2000.

LIBÂNIO, Marcelo *et al.* Avaliação do emprego de sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação de águas naturais de turbidez média e cor elevada. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19., 1997, Foz do Iguaçu.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3 ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

MACEDO, Jorge A. B. de. **Águas e águas**. 3 ed. Belo Horizonte: Editora CRG, 2007.

MARTINS, Gilberto A. **Estatística Geral e Aplicada**. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas S. A, p. 237- 238, 2006.

MORAES, Leila C. K. **Estudo dos processos de coagulação e floculação**

**seguidos de filtração com membranas para a obtenção de água potável.** 2009. 223 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

MORETTIN, Pedro A. **Estatística Básica.** 7 ed. São Paulo: Editora Saraiva, p. 47-50, 2011.

NIQUETTE, Patrick *et al.* Impacts of substituting Aluminu based-coagulants in drinking water treatment. **Water Quality Research Journal of Canadá.** Burlington, v.39, n. 3, p. 303-310, 2004.

NUNES, Luís *et al.* **Disponibilidade de água doce no planeta: existe água doce suficiente para satisfazer as necessidades do planeta?** 2009. 30 f. Relatório Parcial do PROJECT FEUP.

OLIVEIRA, Walter E. Qualidade da água. Impurezas. Características físicas, químicas e biológicas das águas. Padrões de potabilidade. Controle da qualidade da água. In: AZEVEDO NETO, José M. **Técnica de abastecimento e tratamento de água.** São Paulo: Editora: CETESB, 1973, v. 1.

PARANÁ. Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente – Surehma (1991). Portaria nº 003 de 21 de março de 1991. **Diário Oficial Estadual.** Poder executivo, Curitiba, PR, 21 mar. 1991. Disponível em: <<http://www.recursoshidricos.pr.gov.br/arquivos/File/enquadramento-b-pirapo.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2013.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulação na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PADILHA, Diana J. *et al.* Análise da utilização de três diferentes coagulantes na remoção da turbidez de água de manancial de abastecimento. In: Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar, 7., 2011, Maringá.

RAMOS, Renata O. **Clarificação de água com turbidez baixa e cor moderada utilizando sementes de Moringa oleifera.** 2005. 276 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

REBOUÇAS, Aldo da C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia**

**Análise & Dados.** Salvador, v.13, n. especial, p. 341-345, 2003.

ROSALINO, Melanie R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano.** 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SANTOS, Eliane P. C. C. dos et al. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Engenharia Sanitária e Ambiental.** Rio de Janeiro, v.12, n. 4, p. 361-370, out./dez. 2007.

SANTOS, Nayane A. P. dos. **Avaliação do desempenho de produtos químicos na coagulação da água produzida na ETA do aeroporto internacional do Rio de Janeiro com vistas à redução de custos.** 2011. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SCALIZE, Paulo S. *et al.* Estudo da influência da temperatura da água bruta na eficiência do coagulante químico. **SODEBRAS.** v.7, n. 80, p. 3-8, ago. 2012.

SIQUEIRA, Maria E. S. **Estudo da utilização de coagulantes naturais e químicos em uma estação de tratamento de água piloto (ETA-Piloto).** 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

SILVA, Gisele R. Da. **Análise da escassez de água potável no contexto econômico brasileiro.** 2004. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Ciências Econômicas. Universidade de Taubaté, Taubaté, 2004.

SILVA, Juliano Lopes da. **Rios de Londrina: um olhar geográfico no (per) correr das águas pela cidade.** 2011. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/artigos/rios-de-londrina-um-olhar-geografico-no-per-correr-das-aguas-pela-cidade/77279/>>. Acesso em 16 mai. 2013.

SILVA, Telma S. S. da. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em águas de abastecimento e de esgoto.** 1999. 87 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.

SILVEIRA, Thyago. Análise físico-química da água da bacia do rio Cabelo. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2., 2007, João Pessoa. Disponível em:

<[http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080212\\_092019\\_MEIO-028.pdf](http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080212_092019_MEIO-028.pdf)>. Acesso em: 15 mai. 2013.

SPINELLI, Viviane A. **Quitosana: Polietrólito natural para o tratamento de água potável**. 2001. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

TANAC. **Tanfloc SG**. 1999. Disponível em:

<[http://www.tanac.com.br/PT/upload/produtos/CT\\_TANFLOC\\_SG\\_PT.pdf](http://www.tanac.com.br/PT/upload/produtos/CT_TANFLOC_SG_PT.pdf)>. Acesso em: 25 mai. 2013.

TORRES, Ana M. A. *et al.* Utilização do coagulante orgânico natural Tanfloc SG como alternativa ao uso de sulfato de alumínio no tratamento da água. In: Jornada Acadêmica Integrada, 25., 2010. Santa Maria.

VANÂCOR, Romualdo N. **Avaliação do coagulante orgânico *veta organic* utilizado em uma estação de tratamento de água para abastecimento público**. 2005. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **The right to water**. França, 2003.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Aluminum in drinking-water**. Gênova, 1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. Gênova, 2008.

ZOLLET, Elis R. **Uso de Polímero Natural a base de tanino (Tanfloc) para o tratamento de água para o consumo humano**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2005.



APÊNDICE A – Valores para cada tempo de sedimentação para o ensaio realizado no dia 24/10/2013

#### ENSAIO 1 DE SULFATO DE ALUMÍNIO

**Tabela 1 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/l - 2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	97,9	95,2	163	167	190	162
Cor	150	137	308	379	429	398
pH	6,18	5,97	5,76	5,50	4,61	4,45
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/l - 2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	5,78	4,41	72,4	93,3	128	122
Cor	27	23	222	262	360	345
pH	6,06	6,04	5,63	5,54	4,68	4,48
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/l - 2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	3,07	2,87	67,8	88,2	117	112
Cor	23	23	222	345	345	331
pH	6,21	6,19	5,8	5,2	4,88	4,55
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/l - 2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	2,37	2,82	65	82,5	110	105
Cor	23	26	204	246	346	328
pH	6,38	6,21	5,8	5,55	4,64	4,57

#### ENSAIO 2 DE SULFATO DE ALUMÍNIO

**Tabela 2 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	151	132	182	151	224	190
Cor	195	134	376	274	470	439
pH	6,04	6,34	5,77	5,9	4,75	4,5
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	3,93	4,89	66,5	65,8	113	106
Cor	0	1	139	139	261	262
pH	6,04	6,14	5,76	5,69	4,71	4,43
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	2,3	2,75	61,3	60,5	104	103
Cor	0	0	139	139	264	265
pH	6,21	6,18	5,67	5,71	4,76	4,49
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	2,12	1,92	59,8	58,2	101	102
Cor	0	0	137	137	265	264
pH	6,26	6,32	5,7	5,89	4,56	4,69

## ENSAIO 1 DE TANFLOC SG

**Tabela 3 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L-1</b>	<b>65 mg/l - 2</b>
Turbidez	18,73	24,4	4,19	5,04	10,8	13,3
Cor	12	13	17	18	47	55
pH	6,68	6,72	6,72	6,71	6,7	6,7
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L-1</b>	<b>65 mg/l - 2</b>
Turbidez	2,01	1,74	1,12	1,27	9,93	12,2
Cor	0	0	0	0	40	46
pH	6,8	6,94	6,94	6,9	6,84	6,78
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L-1</b>	<b>65 mg/l - 2</b>
Turbidez	1,49	1,67	0,54	1,22	9,84	11,8
Cor	3	8	7	0	59	63
pH	6,65	6,79	6,92	6,89	6,82	6,80
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L-1</b>	<b>65 mg/l - 2</b>
Turbidez	2,24	2,26	1,02	0,68	8,8	10,8
Cor	0	0	0	0	58	55
pH	6,59	6,69	6,82	6,87	6,87	6,87

## ENSAIO 2 de TANFLOC SG

**Tabela 4 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	24,5	26,5	3,47	5,44	16,4	13,1
Cor	25	27	12	5	54	51
pH	6,66	6,71	6,73	6,71	6,74	6,73
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	1,98	2	1,29	1,14	13,8	11,1
Cor	0	0	0	0	51	48
pH	6,74	6,8	6,89	6,84	6,76	6,77
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	1,73	1,58	1,23	1	12,3	10,2
Cor	2	3	2	5	57	62
pH	6,73	6,75	6,86	6,83	6,75	6,76
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	1,64	2,64	1,13	1,18	11,9	9,39
Cor	7	12	5	9	62	58
pH	6,64	6,78	6,83	6,83	6,82	6,76

APÊNDICE B – Valores para cada tempo de sedimentação para o ensaio realizado no dia 08/11/2013

### ENSAIO 1 DE CLORETO FÉRRICO

**Tabela 1 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/l - 2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	332	404	444	411	396	380
Cor	478	522	1048	1022	1160	1162
pH	6,17	6,15	4,78	4,59	3,66	3,60
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/l - 2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	15,5	22,5	345	355	422	372
Cor	52	65	980	970	1070	1008
pH	6,05	6,14	4,79	4,54	3,61	3,57
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/l - 2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	4,55	4,12	332	343	372	395
Cor	30	26	930	960	985	995
pH	6,12	6,16	4,93	4,5	3,65	3,64
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/l - 2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	3,20	3,18	332	337	370	361
Cor	20	20	902	928	976	981
pH	6,15	6,22	5,09	4,55	3,63	3,60

### ENSAIO 2 DE CLORETO FÉRRICO

**Tabela 2 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	293	479	362	372	515	471
Cor	690	726	1069	1130	1045	1044
pH	6,3	6,18	4,46	4,62	3,63	3,64
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	26,3	27,6	360	334	372	366
Cor	26	41	975	936	998	981
pH	6,11	6,11	4,52	4,43	3,65	3,61
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	4,39	3,75	357	324	368	358
Cor	18	15	952	925	990	980
pH	6,17	6,28	4,54	4,70	3,64	3,58
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	2,82	2,46	340	324	336	349
Cor	14	13	930	915	990	943
pH	6,05	6,16	4,51	6,41	3,59	3,56

## ENSAIO 1 DE TANFLOC SG

**Tabela 3 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/l - 2</b>
Turbidez	165	241	241	137	182	153
Cor	404	364	123	132	486	431
pH	6,75	6,90	6,92	6,96	6,71	6,76
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/l - 2</b>
Turbidez	3,06	2,21	3,54	3,12	134	119
Cor	12	12	24	31	422	392
pH	6,91	6,89	6,84	6,82	6,70	6,82
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/l - 2</b>
Turbidez	2,06	1,92	3,41	2,96	123	112
Cor	12	12	24	20	371	344
pH	6,95	6,90	6,84	6,78	6,79	6,80
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/L -2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/l - 2</b>
Turbidez	1,83	1,55	3,53	3,05	115	105
Cor	11	11	20	21	339	320
pH	6,96	6,99	6,84	6,80	6,74	6,71

## ENSAIO 2 de TANFLOC SG

**Tabela 4 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	348	372	272	111	132	159
Cor	297	396	127	121	393	359
pH	6,94	6,75	6,75	6,82	6,77	6,75
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	2,81	2,95	4,16	4,25	117	124
Cor	20	22	26	29	352	343
pH	6,85	6,88	6,88	6,76	6,79	6,76
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	2,4	2,3	4	4,17	103	110
Cor	15	18	22	19	320	324
pH	6,88	6,93	6,84	6,81	6,69	6,74
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>25 mg/L -1</b>	<b>25 mg/L -2</b>	<b>45 mg/L -1</b>	<b>45 mg/l - 2</b>	<b>65 mg/L -1</b>	<b>65 mg/L -2</b>
Turbidez	2,31	2,18	4,09	4,09	117	135
Cor	14	14	20	19	294	291
pH	6,92	6,92	6,85	6,85	6,73	6,68

APÊNDICE C – Valores para cada tempo de sedimentação para o ensaio realizado no dia 22/11/2013

### ENSAIO 1 DE CLORETO FÉRRICO

**Tabela 1 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/l - 2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>8 mg/L -2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	23,9	23,5	14,4	10,4	10,4	6,08
Cor	89	85	56	55	56	57
pH	6,62	6,72	6,68	6,65	6,72	6,79
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/l - 2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>8 mg/L -2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	22,4	20,9	5,04	4,62	2,92	2,74
Cor	89	88	23	25	15	16
pH	6,78	6,78	6,84	6,76	6,57	6,77
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/l - 2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>8 mg/L -2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	18,4	18,9	4,73	4,09	2,73	2,39
Cor	88	88	22	25	15	15
pH	6,73	6,78	6,77	6,8	6,7	6,72
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/l - 2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>8 mg/L -2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	17,9	17,8	4,57	4,25	2,54	2,46
Cor	85	83	22	24	15	15
pH	6,87	6,82	6,91	6,81	6,73	6,69

### ENSAIO 2 DE CLORETO FÉRRICO

**Tabela 2 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/L -2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>8 mg/l - 2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	29,4	23,8	15	10,6	7,88	6,7
Cor	86	86	54	58	50	53
pH	6,93	6,91	6,84	6,89	6,77	6,92
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/L -2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>8 mg/l - 2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	21,1	20,6	6,57	6,32	2,71	3,4
Cor	79	78	29	30	15	16
pH	7,03	7,04	6,89	6,95	6,84	6,9
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/L -2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>8 mg/l - 2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	19,8	19,4	6,05	5,86	2,65	3,19
Cor	79	78	28	29	10	12
pH	7,05	7,05	6,94	6,96	6,78	6,85
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/L -2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>8 mg/l - 2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	19,4	19,2	6,15	5,58	2,58	2,77
Cor	79	78	28	27	10	12
pH	7,03	7,01	6,93	6,95	6,74	6,79

## ENSAIO 1 DE TANFLOC SG

**Tabela 3 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/L -2</b>	<b>8 mg/l - 1</b>	<b>8 mg/L -2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	16,9	16,8	9,37	9,05	6,12	4,8
Cor	57	54	32	29	21	20
pH	7,26	7,26	7	7	7,12	7,1
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/L -2</b>	<b>8 mg/l - 1</b>	<b>8 mg/L -2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	9,69	10,5	5,07	4,63	4,31	3,71
Cor	36	39	15	16	14	15
pH	7,14	7,14	7,11	7,15	7,1	7,14
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/L -2</b>	<b>8 mg/l - 1</b>	<b>8 mg/L -2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	10,2	8,12	4,27	4,46	3,88	3,57
Cor	43	36	15	15	14	15
pH	7,22	7,26	7,14	7,07	7,22	7,26
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>5 mg/L -2</b>	<b>8 mg/l - 1</b>	<b>8 mg/L -2</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>
Turbidez	8,4	7,39	3,69	3,91	4,02	3,51
Cor	36	35	15	15	14	14
pH	7,26	7,25	7,14	7,12	7,12	7,14

## ENSAIO 2 DE TANFLOC SG

**Tabela 4 – Valores dos parâmetros de acordo com o tempo de sedimentação**

<b>TEMPO (0 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>5 mg/l - 2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>	<b>8 mg/L -2</b>
Turbidez	12,3	6,71	10,8	7,38	4,81	11,1
Cor	51	37	40	35	35	30
pH	7,13	7,26	7,26	7,26	6,75	7,35
<b>TEMPO (10 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>5 mg/l - 2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>	<b>8 mg/L -2</b>
Turbidez	9,57	4,3	8,59	4,64	3,83	4,28
Cor	42	19	38	20	17	21
pH	7,28	7,33	7,29	7,33	7,26	7,31
<b>TEMPO (20 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>5 mg/l - 2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>	<b>8 mg/L -2</b>
Turbidez	9,51	4,06	8,16	4,93	3,38	4,2
Cor	44	15	38	18	19	20
pH	7,28	7,32	7,29	7,33	7,25	7,31
<b>TEMPO (30 min)</b>	<b>5 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -1</b>	<b>5 mg/l - 2</b>	<b>8 mg/L -1</b>	<b>10 mg/L -2</b>	<b>8 mg/L -2</b>
Turbidez	8,97	4	8,29	4,51	3,69	4,2
Cor	45	16	39	18	20	19
pH	7,28	7,32	7,31	7,33	7,28	7,31

APÊNDICE D – Resultados das Análises de Sólidos Totais e Suspensos Totais da Água Coletada em Condições Chuvosas

**Tabela 1 – Sólidos Totais e Suspensos Totais da amostra pura e variação da quantidade de sólidos de acordo com a concentração e o tempo de sedimentação utilizando o Cloreto Férrico**

<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
Amostra Pura	293,33	220
<b>Tempo (0 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
25	333,33	230
45	286,67	200
65	320	220
<b>Tempo (10 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
25	173,33	30
45	293,33	140
65	280	160
<b>Tempo (20 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
25	186,67	30
45	286,67	130
65	286,67	150
<b>Tempo (30 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
25	173,33	20
45	273,33	120
65	280	160

**Tabela 2 – Sólidos Totais e Suspensos Totais da amostra pura e variação da quantidade de sólidos de acordo com a concentração e o tempo de sedimentação utilizando o Tanfloc SG**

<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
Amostra Pura	293,33	220
<b>Tempo (0 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
25	233,33	120
45	226,67	130
65	240	220
<b>Tempo (10 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
25	160	30
45	153,33	30
65	213,33	50
<b>Tempo (20 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
25	160	30
45	146,67	20
65	213,33	50
<b>Tempo (30 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
25	153,33	20
45	146,67	20
65	206,67	40



APÊNDICE E – Resultados das Análises de Sólidos Totais e Suspensos Totais da Água Coletada em Condições de Tempo Seco

**Tabela 1 – Sólidos Totais e Suspensos Totais da amostra pura e variação da quantidade de sólidos de acordo com a concentração e o tempo de sedimentação utilizando o Cloreto Férrico**

Concentração (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	Suspensos Totais (mg/L)
Amostra Pura	113,33	60
<b>Tempo (0 min)</b>		
Concentração (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	Suspensos Totais (mg/L)
5	106,67	70
8	86,67	60
10	73,33	60
<b>Tempo (10 min)</b>		
Concentração (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	Suspensos Totais (mg/L)
5	113,33	50
8	100	40
10	86,67	20
<b>Tempo (20 min)</b>		
Concentração (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	Suspensos Totais (mg/L)
5	133,33	50
8	93,33	30
10	73,33	20
<b>Tempo (30 min)</b>		
Concentração (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	Suspensos Totais (mg/L)
5	133,33	60
8	93,33	30
10	73,33	10

**Tabela 2 – Sólidos Totais e Suspensos Totais da amostra pura e variação da quantidade de sólidos de acordo com a concentração e o tempo de sedimentação utilizando o Tanfloc SG**

<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
Amostra Pura	113,33	60
<b>Tempo (0 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
5	86,67	40
8	93,33	50
10	93,33	40
<b>Tempo (10 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
5	86,67	40
8	80	20
10	80	20
<b>Tempo (20 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
5	80	20
8	86,67	20
10	80	10
<b>Tempo (30 min)</b>		
<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	<b>Suspensos Totais (mg/L)</b>
5	80	20
8	86,67	20
10	80	10