



## ANÁLISE COMPARATIVA DE COAGULANTES COM AUXILIAR DE COAGULAÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO EM JAR-TEST

**Juvanilde Sousa do Esperito Santo Cordeiro** – e-mail (juvanildy@gmail.com)  
Instituto Federal do Pará - IFPA  
Endereço: 1ª Vila dos Inocentes, Est. Do Outeiro 188A – Campina de Icoaraci  
CEP: 66813-790 – Belém– PA

**Francisca Nara da Conceição Moreira** – e-mail (naramoreira2012@gmail.com)  
Instituto Federal do Pará - IFPA

**João Carlos Magalhães Monteiro** – e-mail (mmcj70@gmail.com)  
Instituto Federal do Pará - IFPA

**Adiel José Passos da Cunha Júnior** – e-mail (adiel.junior@ifpa.edu.br)  
Instituto Federal do Pará - IFPA

**Márcia Valéria Porto de Oliveira Cunha** – e-mail (valeria.cunha@ifpa.edu.br)  
Instituto Federal do Pará - IFPA

**Resumo:** *O trabalho faz uma análise comparativa entre três coagulantes utilizados na remoção de turbidez em águas superficiais de uso para abastecimento público, juntamente com um auxiliar de coagulação, sendo os coagulantes utilizados: o PAC, Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico. Para as análises foram realizados teste de bancada com equipamento Jar Test sendo este um procedimento simples para obtenção de qual melhor parâmetro em mistura rápida, gradiente de velocidade e dosagens a serem aplicadas. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório Físico Químico II, do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental no IFPA, campus Belém. As amostras de água para os testes foram coletadas no lago Bolonha, sendo que este lago abastece a ETA Bolonha da cidade de Belém, sua coleta foi na entrada da estação, com o objetivo de se fazer a caracterização da água bruta. Para qualidade da água superficial os resultados foram comparados a Resolução nº 357/2005 do CONAMA, que dispõe sobre a classificação das águas e na classe II diz que pode ser destinado ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional. Os resultados dos testes de coagulação, floculação e decantação fora comparados a Portaria 2.914/2011 do MS para potabilidade. Dentre os três coagulantes utilizado nessa etapa de coagulação o que apresentou melhor remoção da turbidez foi o PAC com até 0,7NTU, mostrando assim 92% de eficiência sendo o melhor coagulante testado, por esta com valor abaixo de 1NTU aceitável pela Portaria para padrões de água potável.*

**Palavras-chave:** *Água superficial, tratamento, coagulação.*



## COAGULANTS COMPARATIVE ANALYSIS WITH COAGULATION AUXILIARY WATER TREATMENT FOR FILLING IN PUBLIC JAR- TEST

**Abstract:** *The work makes a three coagulants comparison analysis used in the removal of turbidity in surface water use for public supply by the auxiliary, the coagulants used in the research was the PAC, aluminum sulfate and ferric chloride. For analyzes were performed test with countertop Jar Test equipment which is a simple procedure for obtaining best parameter in which rapid mixing, the velocity gradient and dosage to be applied. Lake Bolonha Lake that supplies the Bolonha ETA city, his collection was in input station, in order to make the characterization of the raw water. For quality of surface water was compared to CONAMA 357/2005, which provides for the classification of water, and Class II says it may be intended for the supply for human consumption after conventional treatment. So after the tests in steps coagulation, flocculation and sedimentation was compared to ordinance 2914/2011 for portability. Among the three coagulants used in this coagulation step, which showed better removal of turbidity, was the PAC with up 0,7NTU efficiency thus the best coagulant to be used in ETA's for this value with efficiency below 1NTU acceptable by Order in of drinking water standards.*

**Keywords:** *Surface water, treatment, coagulation.*

### 1. INTRODUÇÃO

O acesso à água é de suma importância para garantir a sobrevivência de qualquer ser vivo e desenvolvimento de infinitas atividades realizadas na terra, sejam essas executadas em áreas urbanas, industriais ou agropecuárias. E para isso torna-se a necessidade de uma água com qualidade. Pois a natureza e a composição do solo sobre o qual a água escoar, determinam as impurezas adicionais que ela apresenta, fato agravado pelo aumento e expansão demográfica e atividades econômicas na indústria e agricultura, fazendo com que não se considere segura nenhuma fonte de água superficial, sendo obrigatória uma ou outra forma de tratamento (RICHTER, 1991).

De acordo com Richter (1991) a qualidade de determinada água é avaliada por um conjunto de parâmetros determinados por uma série de análises físicas, químicas e biológicas. A apreciação da sua qualidade, com base em uma ou em algumas poucas análises, frequentemente é a causa de erros, o que exige procedimentos mais rigorosos quanto a realização de testes.

Para Leme (1990) um dos primeiros processo para tratamento da água do manancial, na entrada da água bruta de uma ETA, é a etapa da coagulação. Dada a importância da coagulação na ETA, tornam-se imprescindíveis estudos mais aprofundados sobre os diversos tipos de coagulantes. Por isso, é uma etapa muito importante, pois caso esta etapa de coagulação não tenha êxito, todas as demais estarão prejudicadas, a ponto de, em certas situações, obrigar o descarte de toda a água efluente da ETA por estar fora dos padrões de potabilidade. (CARVALHO, 2008).

Diante disso, o presente trabalho mostrar a importância do tratamento de água para o consumo humano, que através de práticas com, os testes em bancada, obteve-se com aperfeiçoamentos na escolha de qual um/ou produto químico deve ser aplicado numa estação de tratamento, levando em consideração que o produto mais indicado com relação ao tempo gasto e o custo que terá para o tratamento. Sobretudo, por se tratar de coagulantes usados em ETA's para abastecimento público. A pesquisa é uma análise com três diferentes tipos de coagulantes junto a um auxiliar de coagulação, sendo estes os coagulantes: Sulfato de Alumínio  $Al_2(SO_4)_3$ , Policloreto de Alumínio – PAC Cloreto Férrico -  $FeCl_3$  e o auxiliar Polímero de Alumínio, sendo os mais usados nos processos de tratamento em águas para abastecimento público, com intuito de verificar e otimizar quais melhores dosagens usadas em Jar-Test para remoção de turbidez, assim, sendo realizado no Laboratório Físico-Químico II dos cursos de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Campus Belém.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. Metodologia

#### *Descrição da Área de Estudo*

O presente trabalho foi desenvolvido no estado do Pará na cidade de Belém, no Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Pará- IFPA (Campus/Belém), que situa-se no bairro do Marco, um dos bairros centrais da cidade, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Localização Geográfica da Instituição.



Fonte; SILVA, Adaptado (2010).

No Campus/Belém o trabalho foi realizado no Laboratório Físico-Químico II do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental da Instituição. O Laboratório Físico-Químico II é um laboratório de ensino, pesquisa e extensão e tem como principal missão atender a área de Saneamento Ambiental, está em funcionamento desde 2007, nas realizações de aulas práticas principalmente nas disciplinas em técnicas para tratamento de água e esgoto.

#### *Metodologia Analítica*

A pesquisa foi desenvolvida por meio de ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, realizados em equipamento de bancada Jar-Test com o intuito de realizar experimentos em relação aos processos de tratamento da água, os critérios utilizados para preservação e análises dos parâmetros das amostras, foram determinados mediante procedimentos e recomendações descritas no Standard Methods for Water and Wastewater 22<sup>th</sup> Edition (2012). Uma vez que se é a mais indicada, para comparação pelo teste de Jarros, no qual os processos de tratamento físico-químico, seguiu as seguintes etapas:

#### *1ª Etapa – Caracterização da Água de Estudo*

As amostras de águas coletadas para estudo foram provenientes do Lago Bolonha que está localizado na região Metropolitana de Belém, sendo este um dos lagos que abastece a Estação de

Tratamento de Água (ETA) da Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA localizada no Parque do Utinga como mostra a figura 2.

Figura 2 – Localização do Lago Bolonha



Fonte: Google Maps, modificado (2016).

Para realizar a caracterização da água bruta, as amostras coletadas foram retiradas na entrada da estação de tratamento da concessionária COSANPA para se ter valores preciso da água bruta quanto ao pH e turbidez. O acesso a ETA Bolonha foi por meio de documentação fornecida pela coordenação do curso de Saneamento e entregue a concessionaria para autorização de acesso ao ponto de captação, devido se tratar de um local restrito ao público.

As coletas eram feitas 2 (duas) vezes por semana, nos dias de segunda-feira e quarta-feira, no período de 6 (seis) meses (Janeiro a Junho), no horário diurno por volta das 7:00h. O volume coletado eram em 8 (oito) garraões de 5L cada e mais 1 (um) garraão de 20L, eram transportados com veículo próprio até ao laboratório físico químico II da instituição que fica a uns 2km de distância do Lago Bolonha, local de captação, os testes todos foram feitos no laboratório e em seguida armazenada em um recipiente de 60L para realização das análises. Quanto aos parâmetros utilizados para análise da qualidade dessa amostra coletada de água bruta foram: cor, turbidez, temperatura, pH, e condutividade.

## 2ª Etapa – Ensaio de Bancada

Nesta etapa, foi realizado um levantamento do coagulante com melhor resposta na remoção de turbidez. Para obtenção, foram testados três tipos de soluções coagulantes, sendo estes: o Sulfato de Alumínio  $Al_2(SO_4)_3$ , o Cloreto Férrico  $FeCl_3$  e o Policloreto de alumínio (PAC). Os coagulantes também foram testados com um auxiliar de coagulação, o Polímero de Alumínio, para verificar se ocorria com a adição do auxiliar um valor maior na remoção de turbidez.

Os jarros do equipamento foram preenchidos com 2 litros de água, nos quais foram adicionadas dosagens pré-determinadas de 12 a 17mg/L, sem auxiliar e com auxiliar a variação de dosagens foi de 1mg/L em cada jarro, dados estes de variação fornecido pelo engenheiro responsável na ETA Bolonha.

Para os parâmetros de variação de coagulação em mistura rápida, floculação e sedimentação, valores adotados estão descritos na tabela 1. Valores de 1 3 e 5 min. para coagulante com auxiliar, sem auxiliar foi adotado apenas 5 min. Sendo para gradiente de mistura rápida um único valor sem variação de 300rpm. Para floculação lenta foi de 60rpm a 20min. A sedimentação foi adotado 20 min. Os valores adotados para essa variação desses parâmetros foram baseados na norma NBR 12.216/1992 da ABNT para “Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.

Tabela 1 - Parâmetros de variação para os coagulantes

Descrição	
Mistura rápida	
Tmr (min)	01; 03; 05
Gmr (RPM)	300
Floculação	
Tf (min)	20
Gf (RPM)	60
Sedimentação	
Ts (min)	20

**Nota:** \*Tmr = Tempo de mistura rápida; \*Gmr = Gradiente de mistura rápida; \*Tf = tempo de floculação; \*Gf = Gradiente de floculação; \*Ts = Tempo de sedimentação.

Para chegar as concentrações pré-determinadas ao uso das dosagens, foi pesado 2,0g dos coagulantes, após pesado foi dissolvido em 1L de água destilada para as concentrações de 1 e 0,2% de mg/L. Para o auxiliar foi pesado 0,5g e dissolvido também a 1L de água destilada para uma concentração de 0,05% de mg/L de concentração. Assim chegou nas dosagens a serem adicionada aos jarros. Como mostra a figuras 3.

Figura 3 – Preparo das soluções (direita) e Adição do coagulante (esquerda)



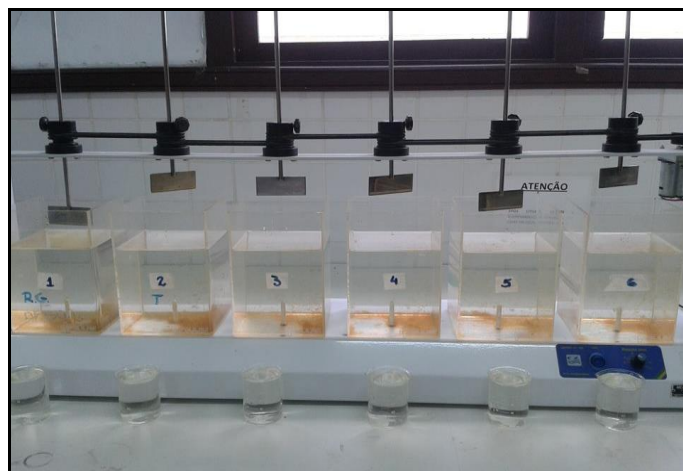
Após passar o tempo do processo de coagulação floculação e sedimentação no equipamento Jar-Test foram realizadas as leituras de condutividade, pH e turbidez para assim identificar qual jarro obteve um melhor resultado quanto as concentração adicionadas. Figura 4 mostra leituras dos parâmetros após água sedimentada.

Figura 4 – Leitura do pH (esquerda) e leitura da condutividade (direita).



O uso em Jar-Test é o método mais usado, sendo esse o aparelho mais simples para se fazer os ajustes de dosagens dos coagulantes. Principalmente por ser um equipamento onde dará valores correspondentes as eficiências dos coagulantes para ser empregados a uma ETA. Para se ter um resultado de qual coagulante e concentração no uso para tratamento de água, deve ser feito antes teste laboratoriais em um equipamento com jarros assim evita gastos com produtos desnecessário e sem eficiência para o tratamento que será aplicado a uma ETA no processo de coagulação floculação. A decantação é a fase que finaliza o processo feito ao uso dos jarros, uma vez que a sedimentação dos flocos ficaram estáticas e no tempo de espera, permitindo a constatação a olho nu da formação dos flocos sendo sedimentado e assim a clarificação da água ao final, a figura 5 mostra essa descrição.

Figura 5- Clarificação da água no processo de decantação



## 2.1. Resultados

### *Caracterização da Água Bruta do Lago Bolonha*

Os parâmetros utilizados para análise da qualidade da água foram comparados com a resolução do CONAMA nº 357 de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água, assim foram considerados os valores máximos permitidos para corpos d'água de classe 2, que são destinados ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Resultados da caracterização da água bruta do Lago Bolonha

Parâmetro	Valores	CONAMA <sup>(1)</sup> 357/2005	Conclusão
pH	7,1	6,0 a 9,0	Satisfatório
Turbidez (NTU)	14,30	40	Satisfatório
Temperatura (°C)	23°	Não padronizado	Satisfatório
Condutividade (µs)	366	Não Padronizado	Satisfatório

Os resultados obtidos nas análises apresentam valores bem satisfatório que estão de acordo com os valores que o CONAMA 357/2005 recomenda para o abastecimento público de água após tratamento convencional, haja vista, que são valores de água bruta. Fatores climáticos são os principais responsáveis pelas alterações nos resultados desses parâmetros, uma vez que a região em questão tem alta pluviosidade e ao mesmo tempo altas temperaturas o que pode contribuir para uma turbidez elevada. A seguir será apresentado a importância dos parâmetros analisados:



Potencial Hidrogeniônico - pH é um dos mais importantes parâmetros utilizado no tratamento da água, onde é o indicador da acidez presente na água, que para padrão de potabilidade deve estar na faixa de 6, a 9, para consumo, o Lago Bolonha está com o pH dentro dos padrões da resolução 357/2005 do CONAMA/2005.

Turbidez é causada pela presença de materiais em suspensão, isto é de materiais que não estão dissolvidos no fluido, cuja presença altera as suas propriedades ópticas, segundo a resolução do CONAMA 357/2005, para águas doces da classe 2, os padrões para corpos hídricos de água para consumo de abastecimento público, deve ser tolerado até 40NTU para a turbidez, o valor encontrado apresentou-se dentro dos limites aceito por essa resolução.

Temperatura Ambiente elevada a 23°C diminuem a solubilidade dos gases e aumenta a taxa de transferência de gases, o que pode gerar mau cheiro e liberação de odores, mais ainda assim está em um valor considerável aceitável, pois não é padronizado pela resolução CONAMA nº357/2005

Condutividade mede a capacidade de conduzir a corrente elétrica em um corpo hídrico, onde existem fatores que influenciam no resultado, devido presença de íons presentes na água e a concentração dos mesmos e também depende da temperatura. Seus valores representam a carga mineral presente na água.

### **Teste dos Coagulantes**

Para a escolha do coagulante ótimo foi levado em consideração os parâmetros Turbidez e pH, por serem os componentes que mais interferem no processo de coagulação e floculação. Uma vez que, o processo de tratamento físico-químicos e de desinfecção, o procedimento convencional inicia-se pelos ensaios de turbidez, cor e pH, que vão influenciar diretamente no resultado das etapas posteriores do tratamento da água. Conforme dito anteriormente. Os valores encontrados nos testes com uso dos coagulantes foram comparados aos estabelecidos pela portaria nº 2.914/2011, a qual dispõe sobre os padrões de potabilidade. Para isso, levaram-se em consideração os valores máximos permitidos por essa portaria. No qual para turbidez até 1,0NTU e para o pH, foram considerados faixas toleráveis, conforme demonstra na tabela 3.

Tabela 3 - Faixa do pH ótimo para os coagulantes

Reagentes	Faixa Ótima
PAC	Ampla faixa
Sulfato de Alumínio – $Al_2(SO_4)_3$	5,0 - 8,0
Cloreto Férrico – $FeCl_3$	5,0 - 11,0

Fonte: WAJSMAN, (2014).

A escolha de apenas esses três coagulantes para o teste é pelo fato deles apresentarem a mesma função de cátions polivalentes ( $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+3}$ ,  $Fe^{+2}$ , etc.) neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas e o hidróxidos metálicos (Ex.  $Al_2(OH)_3$ ), ao absorverem os particulados, geram uma floculação parcial (CARVALHO, 2008).

### **Coagulante Policloreto de Alumínio (PAC)**

O PAC é um sal de alumínio prepolimerizado, que tem como função de um catalisador na capacidade de acelerar a reação química sem alterar a composição química dos seus reagentes e produtos na fórmula bruta  $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ , na qual a relação  $m/3n \times 100$  representa a basicidade do produto (PAVANELLI, 2001).

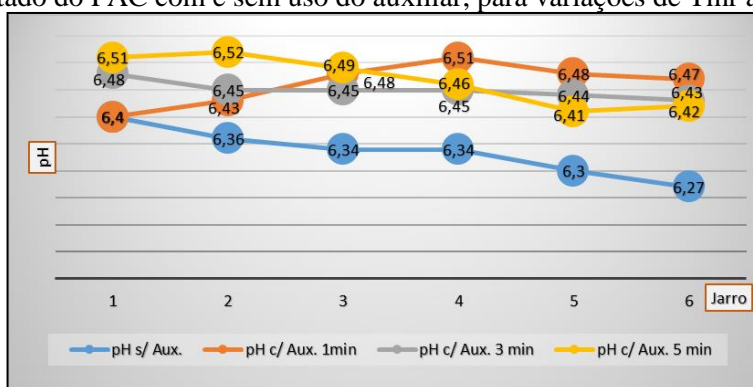
Os testes com as dosagens do coagulante variado de 12; 13; 14; 15; 16 e 17mg/L, seguindo as etapas com o PAC sem auxiliar e com auxiliar Polímero, apenas com variação de 1mg/L, os resultados obtidos na tabela 4.

Tabela 4 – Valores quanto a variação da coagulação para coagulante PAC.

PAC (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	pH/Aux. 1min.	Turbidez/Aux. 1min. (NTU)	pH/Aux. 3min.	Turbidez/Aux. 3min. (NTU)	pH/Aux. 5min.	Turbidez/Aux. 5min. (NTU)
12	6,4	1,1	6,4	1,7	6,48	1,5	6,51	1
13	6,36	1,4	6,43	1,6	6,45	1,3	6,52	0,8
14	6,34	1,8	6,48	2,1	6,45	1	6,49	1
15	6,34	1,6	6,51	1,4	6,45	1	6,46	0,7
16	6,3	1,4	6,48	1,4	6,44	1,1	6,41	1,4
17	6,27	1,7	6,47	1,3	6,43	1,3	6,42	1,7

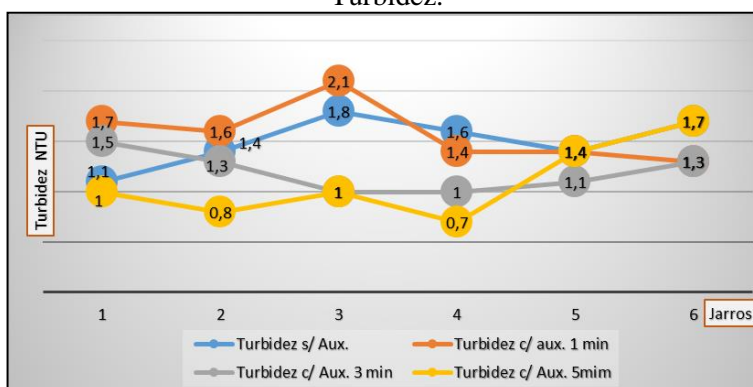
Valores representados nos gráfico 1 e 2 são para valores referente a pH e Turbidez. Apenas para resultados de pH gráfico 1 apresenta valores quanto ao uso do PAC sem auxiliar e com auxiliar variando o tempo de mistura rápida.

Gráfico 1 – Resultado do PAC com e sem uso do auxiliar, para variações de Tmr ao parâmetro de pH.



Os valores correspondentes ao pH, observa - se que houve pouca variação, apenas usando só o coagulante PAC que teve uma queda no jarro 6 para 6,27, ainda assim não precisará ser feito uma correção, caso seja adotado essa concentração para uso em uma ETA.

Gráfico 2 – Resultado do PAC com e sem uso do auxiliar, para variações de Tmr ao parâmetro de Turbidez.



Já para parâmetro de turbidez, após o procedimento de tratamento feito em bancada, pode observar que houve uma grande remoção referente a água bruta sendo 14NTU, passando para 1,10NTU sem auxiliar no jarro 1. Para variação de Tmr a 1 min, teve com melhor remoção o jarro 6 com 1,30NTU. Na variação de Tmr à 3 min, o que melhor houve remoção de turbidez foram os jarros



3 e 4 com 1,0 NTU. Para o teste com variação de Tmr a 5min, o jarro 4 teve uma remoção para 0,70NTU, valores aceitáveis pela portaria 2.914/2011 para potabilidade mesmo sem filtração, apenas até o processo de decantação, ou seja o PAC, se mostrou um coagulante eficiente. Como mostrado no Gráfico 2 acima.

### Sulfato de Alumínio – $Al_2(SO_4)_3$

O Sulfato de Alumínio Líquido é fabricado a partir de hidrato de alumínio, mantendo-se um teor de água suficiente para impedir sua cristalização. Quanto à composição química, é comercializado com 7 a 8% de alumina ( $Al_2O_3$ ); com teores acima de 8,26%, o produto pode cristalizar. Na realidade este produto atinge 48,4% de concentração quando em forma sólida, devido a água de constituição presente nas moléculas do produto (PAVANELLI, 2001).

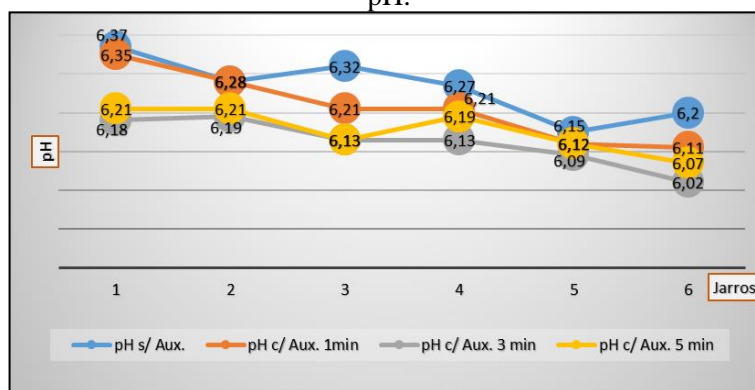
Os testes com dosagens variadas de 12; 13; 14; 15; 16 e 17 mg/l para o coagulante Sulfato de Alumínio sem auxiliar e com auxiliar Polímero com variação de dosagens de apenas 1mg/L, os resultados obtidos na tabela 5.

Tabela 5 – Valores quanto a variação da coagulação para coagulante  $Al_2(SO_4)_3$ .

$Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	Ph	Turbidez (NTU)	pH/Aux. 1min.	Turbidez/Aux. 1min. (NTU)	pH/Aux. 3min.	Turbidez/Aux. 3min. (NTU)	pH/Aux. 5min.	Turbidez/Aux. 5min. (NTU)
12	6,37	5,7	6,35	4,9	6,18	4,3	6,21	3,8
13	6,28	4,4	6,28	3,6	6,19	3,1	6,21	2,3
14	6,32	2,9	6,21	1,8	6,13	2,4	6,13	2,1
15	6,27	2,4	6,21	1,5	6,13	1,6	6,19	2,6
16	6,15	2,3	6,12	1,7	6,09	2,5	6,12	1,9
17	6,2	2,1	6,11	2,3	6,02	2	6,07	1

Valores representados nos gráfico 3 e 4 são para valores referente a pH e Turbidez. Apenas para resultados de pH gráfico 3 apresenta valores quanto ao uso do sulfato de alumínio sem auxiliar e com auxiliar variando o tempo de mistura rápida.

Gráfico 3 - Resultado do  $Al_2(SO_4)_3$  com e sem uso do auxiliar, para variações de Tmr ao parâmetro de pH.

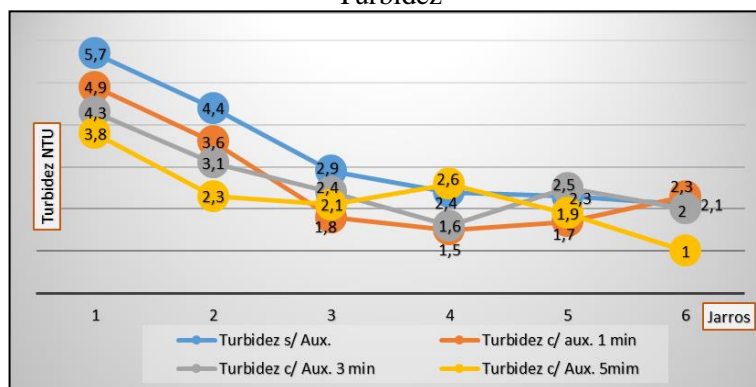


O resultado obtido para pH manteve-se quase na mesma faixa de 6,37 a 6, 02 em relação a todos os testes, sendo assim não necessita que seja feito correção para esse pH, ou seja, não obteve muitas variações para esse parâmetro de pH.

Já para o parâmetro de turbidez a remoção em todos os testes sem e com o auxiliar tanto para 1, 3 e 5 min de Tmr, manteve-se quase em decrescente dos jarros 1 ao 6, apenas uma oscilação de 1,6 para 2,5 NTU no teste com 3 min. para Tmr e de 2,1 para 2,6 NTU para Tmr de 5min. Quanto ao teste

sem auxiliar foi constante o declínio da turbidez sendo inicialmente no jarro 1 com 5,70 NTU e apresentando menor valor no jarro 6 com 1,0NTU, como mostra no Gráfico 4. Sendo esse valor de 1,0NTU um dos menores resultados obtidos na redução de turbidez em todos os testes com o uso do coagulante sulfato de alumínio na concentração de dosagem a 17mg/L, com a adição do auxiliar, assim uma diferença bem pequena pra dosagens próximas, ou seja, para classificar como aceitável a potabilidade pela portaria 2.914/2011, apenas esses dois valores estão dentro do padrão. Mas vale ressaltar que esse valor tolerável é para pós filtração.

Gráfico 4 - Resultado do  $Al_2(SO_4)_3$  com e sem uso do auxiliar, para variações de Tmr ao parâmetro de Turbidez



### Cloreto Férrico – $FeCl_3$

Atualmente, para atender à crescente demanda de água potável, torna-se necessário tratar águas superficiais contaminadas. A utilização do cloreto férrico ajuda na diminuição da turbidez e a DBO, e elimina fosfatos; uma boa parte de metais pesados (mercúrio, chumbo) ou venenosos (arsênio, selênio, bário) também é eliminada, quando a coagulação é realizada em valores elevados de pH (PAVANELLI, 2001).

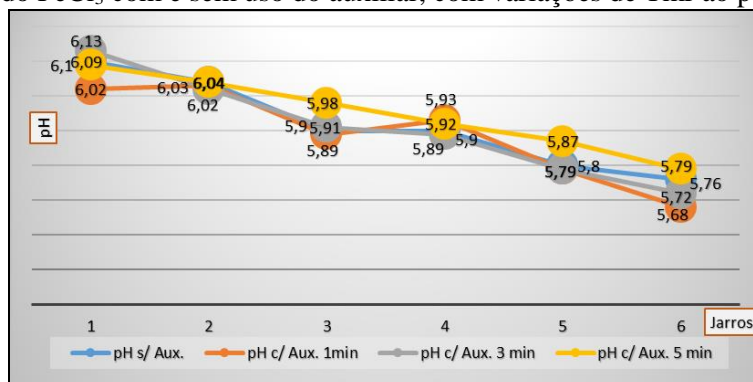
Para os testes com dosagens de variação do coagulante  $FeCl_3$  de 12; 13; 14; 15; 16 e 17mg/L e com o auxiliar Polímero, usou apenas variação de dosagens de 1,0mg/L os resultados obtidos na tabela 6.

Tabela 6 – Valores quanto a variação da coagulação para coagulante  $FeCl_3$ .

$FeCl_3$ (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	pH/Aux. 1min.	Turbidez/Aux. 1min. (NTU)	pH/Aux. 3min.	Turbidez/Aux. 3min.(NTU)	pH/Aux. 5min.	Turbidez/Aux. 5min. (NTU)
12	6,1	7	6,02	7,3	6,13	6,7	6,09	7
13	6,04	7,5	6,03	7,6	6,02	6,5	6,04	6,9
14	5,9	7,8	5,89	8	5,91	6,9	5,98	7,9
15	5,9	7,7	5,93	8,4	5,89	7,4	5,92	8
16	5,8	8,4	5,79	8,7	5,79	7,2	5,87	8
17	5,76	8,4	5,68	8,7	5,72	7,9	5,79	8,4

Valores representados nos gráfico 5 e 6 são para valores referente a pH e Turbidez. Apenas para resultados de pH gráfico 3 apresenta valores quanto ao uso do cloreto férrico sem auxiliar e com auxiliar variando o tempo de mistura rápida.

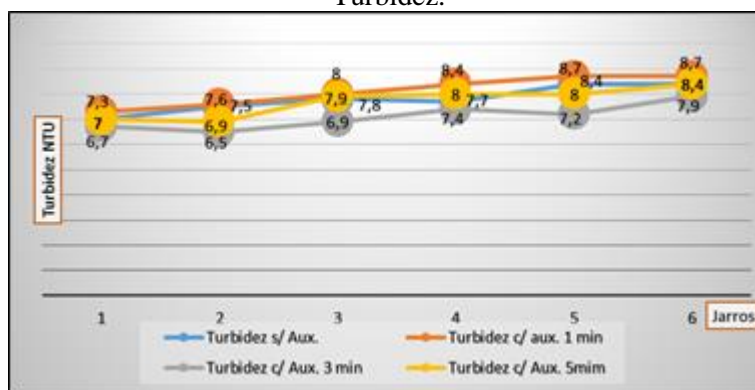
Gráfico 5 - Resultado do FeCl<sub>3</sub> com e sem uso do auxiliar, com variações de Tmr ao parâmetro de pH.



O resultado obtido através da visualização gráfica, observa-se que o parâmetro de pH nos testes com coagulante FeCl<sub>3</sub>, está redundante com isso pode se observar, que conforme aumentou os valores de dosagens também aumentou a acidez da água, portanto é necessário que seja feita a correção do pH após processo de coagulação, caso seja esse o coagulante usado na ETA.

Já para os testes de Turbidez observou-se que em todos os ensaios, tanto sem e com auxiliar não houve remoção deste parâmetro, uma vez que mesmo com variação de Tmr e de dosagens manteve no mesmo comportamento de elevação da turbidez de valor máximo até 8,70NTU no jarro 6 no teste com auxiliar para 1 min de Tmr. Como mostra Gráfico 6. Sendo que para o uso deste coagulante todos seus valores não estão de acordo para potabilidade.

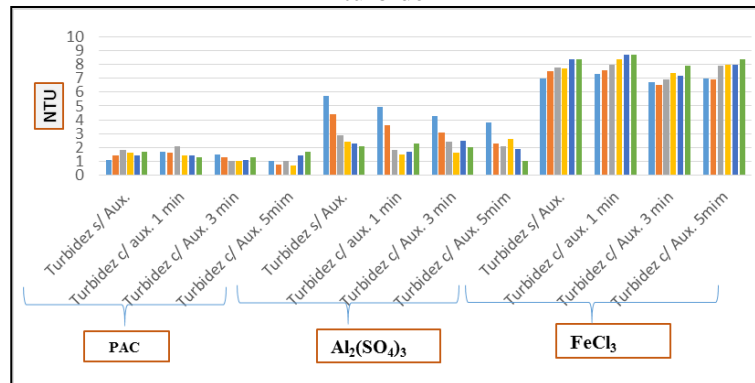
Gráfico 6 - Resultado do FeCl<sub>3</sub> com e sem uso do auxiliar, para variações de Tmr ao parâmetro de Turbidez.



### Comparação entre os Coagulantes

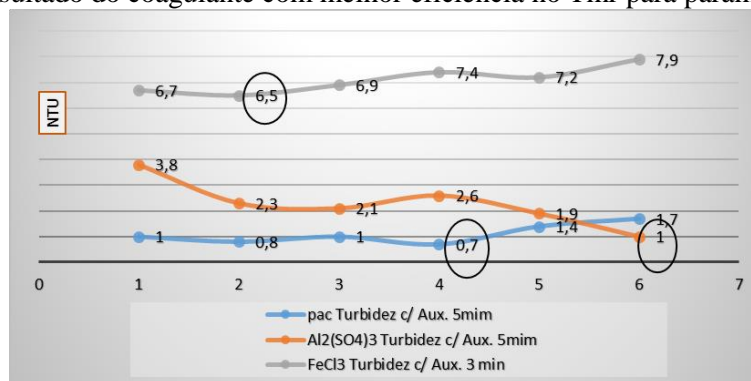
Após a análise dos três coagulantes sem o auxiliar e com adição do auxiliar Polímero, pode ser observado no gráfico 7, dentre todos os testes apenas com os coagulantes verifica-se que não houve uma variação satisfatória, diferente com a adição do auxiliar Polímero que constatou uma melhor eficiência. Mostrado no jarro 4 com 15mg/L de coagulante PAC e 1,0mg/L de auxiliar, para uma variação de Tmr de 5min, foi o que mais teve remoção. Para o sulfato de Alumínio a remoção de turbidez foi no jarro 6 com 17mg/L também a um Tmr de 5min. Cloreto férrico apenas elevou a turbidez.

Gráfico 7 - Comparação entre os coagulantes em relação as variações de Tmr, quanto ao parâmetro de turbidez



Para melhor visualização gráfica dessas comparações o gráfico 8 é para resultados de menores remoção de Turbidez nos Tmr que tiveram maior eficiência dentre os três coagulantes analisados.

Gráfico 8 - Resultado do coagulante com melhor eficiência no Tmr para parâmetro de Turbidez



O coagulante PAC fez uma remoção com um valor bem abaixo como é mostrado no gráfico 8 acima, o sulfato de alumínio também apresentou uma remoção abaixo de 1,0NTU até decantação valores dentro do padrão estabelecido pela Portaria 2.914/2011. Ou seja, mesmo sem o processo de filtração algumas análises atenderam os valores requeridos pela portaria, mostrando que o coagulante foi eficiente.

Apesar de muitos autores citarem ao longo de anos atrás o Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> como o melhor coagulante a ser usado para tratamento de água na etapa coagulação, isso até os anos 90, pois hoje há quem defenda o PAC como sendo o mais eficiente quanto ao uso na remoção para turbidez. O PAC é um Polímero que foi desenvolvido no Japão e amplamente foi aceito no mercado pela sua eficiência e capacidade de atuar numa amplitude de pH maior, devido sua ampla faixa de pH, diferente dos demais, está hoje muito recomendado para uso em estações de tratamento de água, o que pode substituir os coagulantes convencionais de uso costumeiros como os sais de alumínio e sais de ferro, uma vez que, o PAC possui uma melhor eficiência de clarificação, porem seu valor de mercado é superior aos outros (CONSTANTINO & YAMAMURA, 2009), como mostra a tabela 7.

Tabela 7 - Custo para tratamento da água na ETA Sanepar – Maringá

Mês/Ano		Coagulante		CAL (R\$)	Gasto operacional (R\$)		Custo/m <sup>3</sup> (R\$)	
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	PAC	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (R\$)	PAC (R\$)		Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	PAC	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	PAC
Jan/2008	- 09	71.817	97.515	10.080 - 3.337	94.817,43	72.046,00	0,08681	0,08244
Fev/2008	- 09	64.860	120.329	7.866 - 1.061	82.249,15	66.940,84	0,08001	0,09842
Mac/2008	- 09	86.219	110.463	2.088 - 3.139	84.330,33	72.621,39	0,08338	0,08325
Abr/2008	- 09	66.306	72.594	3.182 - 0	69.680,22	67.630,00	0,07053	0,06603
Mai/2008	- 09	59.533	46.286	2.904 - 0	82.620,14	62.718,33	0,06625	0,05254

Fonte: CONSTANTINO & YAMAMURA, (2009).

Na tabela acima é possível identificar o valor do coagulante PAC superior ao do coagulante sulfato de alumínio, no entanto na utilização do produto para correção do pH no consumo do cal, pode se verificar uma redução bem vantajosa quanto a aplicação desse produto, no que se pode observar que nos meses de abril e maio de 2009, nem se faz o consumo do cal. O valor gasto em reais é bem menor no ano de 2009 com a utilização do coagulante PAC, assim como nos gastos operacionais e custos em m<sup>3</sup> também houve uma grande redução de valores gastos na ETA Sanepar, local de estudo dos autores.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O PAC apresentou valores de maior eficiência de remoção de turbidez, sendo o menor valor apresentado de 0,7NTU, portanto dentro dos padrões para potabilidade. Assim para as etapas seguintes pós-sedimentação, deve ser feito tratamento convencional como recomendado pela Portaria nº 2.914/2011 do MS.

Assim, dentre os produtos químicos testados o PAC foi o que apresentou os melhores resultados, principalmente pela eficiência nas formações de flocos, na remoção de turbidez e nas concentrações de menores dosagens do produto. Observou-se neste trabalho que os melhores resultados foram com as menores concentrações do produto juntamente com o auxiliar de coagulação, o que reforça a literatura que diz que nem sempre a aplicação de dosagens elevadas do coagulante significa maiores remoções de turbidez.

Além disso, o PAC apresenta uma ampla faixa de pH para aplicação e, também, não apresenta grande variação do pH da água tratada, o que significa na maioria da vezes não ter a necessidade de realizar a correção do pH com mais produtos químicos como: ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH). Portanto, o PAC foi o produto que apresentou a melhor relação custo x benefício, quando comparado com o Cloreto Férrico e o Sulfato de Alumínio.

### 4. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 12216/92. Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público*. Rio de Janeiro – RJ. 1992. 18 p.

BRASIL, Ministério da Saúde, Documento Base de Elaboração da Portaria MS nº 2.914/2011: *“Portaria de Potabilidade da Água para Consumo Humano”*. Brasília/DF, Brasil. Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, 2012.



CAMPOS, J.R, POVINELLI, J. Coagulação e Floculação. In: **Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água**. Vol II, 2ª edição. São Paulo: CETESB, 1977.

CARVALHO, M. J. H., **Uso de Coagulantes Naturais no Processo de Obtenção de Água Potável**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 357/05**. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Brasília, SEMA, 2005.

COSTANTINO, A. F. & YAMAMURA, V. D. **Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC**. In: SIMPÓSIO EM PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA, 2, 2009. **Anais...** Maringá, 2009.

LEME, P. L. **Teoria e técnicas de tratamento de água**. 2ª edição. ABES. Rio de Janeiro, ABES, 1990.

RICHTER, C. & AZEVEDO NETO, J.M. **Tratamento de água – Tecnologia atualizada**, 1ª Ed, São Paulo, 1991.

SILVA, J. P. **Avaliação da Qualidade da Água Superficial Utilizada no Sistema de Abastecimento Público do Município de Belém (PA)**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil): Programa de pós-graduação Universidade Federal do Pará, 2010.

WAJSMAN, E. N. **Concepção de Estação Piloto de Tratamento de Água no Centro Experimental de Saneamento Ambiental**. 77p. 2014. Monografia Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.