

## I-134 - ESTUDO COMPARATIVO DO USO DA CAL HIDRATADA NA COAGULAÇÃO COM CLORETO FÉRRICO E SULFATO DE ALUMÍNIO EM ÁGUAS NATURAIS DE BAIXA ALCALINIDADE

**Valderice Pereira Alves Baydum**<sup>(1)</sup>

Engenheira Ambiental pela UNICAP. Química Industrial pela UFPE. Mestre e Doutora em Eng. Química pela UFPE. Professora Assistente na UNICAP. Analista de Saneamento na COMPESA.

**Guilherme Gouveia Honorato**<sup>(2)</sup>

Graduando em Engenharia Química pela UFPE. Estagiário em Engenharia na COMPESA.

**Fernando José Lira Lieuthier Júnior**<sup>(3)</sup>

Químico Industrial pela UFPE. Técnico Operacional na COMPESA.

**Flávio Simões Pereira**<sup>(4)</sup>

Engenheiro Químico pela UNICAP. Analista de Saneamento na COMPESA.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Dois Irmãos, 1012 – Dois Irmãos – Recife - PE - CEP: 52071-440 - Brasil - Tel: (81) 34129977 - e-mail: valdericealves@compesa.com.br

### RESUMO

O estudo objetiva avaliar a influência dos coagulantes: Sulfato de Alumínio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) e Cloreto Férrico ( $FeCl_3$ ) como coagulantes primários e seu efeito combinado ao uso de Hidróxido de Cálcio ( $Ca(OH)_2$ ) (Cal hidratada) no tratamento de águas naturais de baixa alcalinidade utilizadas como captação para estação de tratamento da cidade do Cabo de Santo Agostinho/PE, que potabilizam vazões da ordem de 1000 L/s. Na primeira etapa do trabalho foi avaliado o comportamento dos parâmetros após Jar Test para água decantada apenas dos coagulantes primários, sem uso do auxiliar de coagulação. Em seguida adotando o ponto ótimo foi variada a concentração do Hidróxido de Cálcio e observado o melhor comportamento em termos de remoção de Cor e Turbidez. Concluiu-se que, entre os coagulantes testados o Sulfato de Alumínio apresentou a melhor remoção para os parâmetros comparados ao Cloreto Férrico e na avaliação com o uso do alcalinizante também se mostrou melhor, atingindo a melhor eficiência. A partir da definição das dosagens dos sais e do alcalinizante e dos custos de cada um, estimou-se o custo total dos produtos químicos envolvidos no processo de coagulação. O uso do Hidróxido de Cálcio (3,7 ppm) combinado ao Sulfato de Alumínio (10 ppm) apresentou economia aproximada de 60% frente ao processo usual adotado pela ETA que seria Sulfato de Alumínio (8 ppm) e Cloro liquefeito, além da melhoria significativa da Cor, Turbidez e pH da água decantada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de água, Coagulante, alcalinizante.

### 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. 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 e o cloreto 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).

O tratamento de águas com baixa alcalinidade tem sido um desafio, pois requer o uso e aplicação de alcalinizante (Eckenfelder, 1989). A partir de tal constatação, faz-se necessário que se investiguem em laboratório novas tecnologias, que permitam estudar as inúmeras possibilidades de se obter água com qualidade e custos baixos.

O presente trabalho contém estudos realizados na estação de tratamento de água da Companhia Pernambucana de Saneamento em Gurjau - Cabo de Santo Agostinho/Pernambuco, o coagulante utilizado é o sulfato de alumínio com o uso de pré-cloração.

O trabalho foi executado em duas etapas. Na primeira, realizou-se em laboratório uma investigação experimental em aparelhos de floculação com reatores estáticos “jar-test”, utilizando-se sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulante primário. Na segunda etapa, baseando-se nos resultados obtidos na primeira, investigou-se o uso de hidróxido de cálcio hidratado (CaI) com alcalinizante combinado aos dois coagulantes no ponto ótimo de dosagem levando-se em conta os parâmetros físicos e químicos investigados em laboratório.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

## METODOLOGIA

Os coagulantes foram testados na água bruta proveniente da Barragem Gurjau que abastece a Estação de tratamento de água (ETA) Gurjau, Cabo de Santo Agostinho, PE.

A água bruta foi coletada após a caixa de areia da ETA que apresenta concepção de ciclo completo. As soluções de Cloreto Férrico, Sulfato de Alumínio e Hidróxido de Cálcio foram preparadas com concentração de 1,0 % para os sais e 0,5 % para o alcalinizante.

A ETA Gurjau pré-oxida a água bruta com Cloro Liquefeito (Cl<sub>2</sub>) no intuito de remover Ferro e Manganês, e melhorar a coagulação, o que segundo Cunha (1946) é uma alternativa também, visto que, em águas pouco alcalinas, coloridas e de pequena turbidez a floculação se processe em pH baixo, entre 5 e 6.5.

A característica da água bruta (sem e com pré-oxidante) e da água decantada encontra-se na tabela abaixo:

**Tabela 1: Característica média dos parâmetros dezembro/16 ETA Gurjau.**

PARÂMETROS	BRUTA	BRUTA (pré-clorada)	DECANTADA
Cor Aparente (uC)	65,01	60,0	9,0
Turbidez (uT)	6,05	6,5	1,8
pH	6,2	6,0	5,9
Ferro (mg/L)	1,4	0,8	0,6
Alcal. Total (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	14	8	3,5

A alcalinidade foi determinada por titulação potenciométrica de acordo com Standard Methods for Examination of Water na Wastewater (APHA et al., 1995). Os demais parâmetros através dos equipamentos analíticos relacionados abaixo:

**Tabela 2 – Equipamentos analíticos**

PARÂMETROS	UNIDADE	EQUIPAMENTOS
Turbidez	UNT	Turbidímetro Hach 2110 P
Cor Aparente	uH	Colorímetro Visual DLNH-100 Del Lab
pH		Medidor pH Analyser, MP512A
Ferro	mg/L	Kit Ferro-Microquant 14759
Residual de Cloro	mg/L	Kit DPD

Foi utilizado Jar Test da marca Ethik, com 3 jarros e dispositivo para filtração acoplado. Os ensaios de tratabilidade foram realizados em dezembro/16.

## PRIMEIRA ETAPA: ESTUDOS EM LABORATÓRIO PARA OS COAGULANTES

Na ETA Gurjau utiliza-se Sulfato de Alumínio como coagulante para tratamento da água na dosagem de 8 ppm e o Cloro liquefeito utilizado a 7 ppm na pré oxidação e 3 ppm na desinfecção da água tratada.

As condições utilizadas no Teste de Jarros estão descritas na tabela 3.

**Tabela 3: Condições de ensaio do trabalho experimental.**

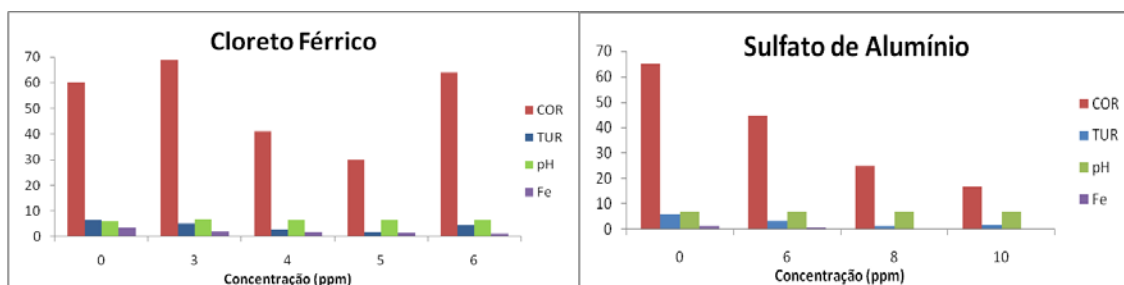
<b>Mistura Rápida</b>	RPM = 400 Tmr = 10 s
<b>Floculação</b>	RPM= 52, 40 e 33 Tf = 7, 6, 14 min
<b>Sedimentação</b>	V = 0,9 cm/min

Foram avaliados os coagulantes: Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio, em termos de remoção de Cor aparente, Turbidez, pH e ferro. Partindo da água bruta sem pré-cloração, variou-se a concentração para cada coagulante e desta forma, chegou-se às dosagens ótimas apresentadas na tabela 4.

**Tabela 4: Resultados dos ensaios da Jar Test para água decantada**

Coagulante	Cloreto Férrico				Sulfato de Alumínio		
	3	4	5	6	6	8	10
Concentração (mg/L)							
Cor Aparente (uC)	69	41	30	64	44,6	24,9	16,5
Turbidez (uT)	5	2,7	1,7	4,42	3,454	1,2	1,49
pH	6,8	6,5	6,5	6,5	7	7	7
Ferro (mg/L)	2	1,8	1,4	1,0	0,6	0,2	0

A representação gráfica dos dados segue na Figura 1 abaixo:



**Figura 1 – Remoção dos parâmetros para cada Coagulante em estudo**

## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Percebeu-se que a condição ótima de coagulação com Cloreto Férrico foi 5 ppm e com o Sulfato de Alumínio foi 10 ppm.

O pH final da água decantada com Cloreto Férrico foi ligeiramente menor que a decantada com Sulfato de Alumínio, isto se deve porque segundo HELLER e PÁDUA (2006), os dois coagulantes tem caráter ácido, porém o cloreto férrico apresenta caráter mais ácido que o sulfato de alumínio, e como a água em estudo tem alcalinidade baixa, a coagulação possivelmente exigirá a adição de alcalinizante para ajuste do pH.

A coagulação com Sulfato de Alumínio a 10 ppm removeu 75% da Cor e da Turbidez, enquanto que o Cloreto Férrico a 5 ppm reduziu apenas 54% da Cor e 71% da Turbidez, quando comparados a água bruta. Esta baixa eficiência na remoção da Cor por parte do Cloreto Férrico se deve ao incremento de Ferro na água decantada.

## SEGUNDA ETAPA: ESTUDOS EM LABORATÓRIO PARA O ALCALINIZANTE

Fixou-se a concentração ótima de 5 ppm para o Cloreto Férrico e 10 ppm para o Sulfato de Alumínio, e repetiu-se os ensaios variando a concentração da Cal Hidratada na mistura rápida, antes da adição do coagulante, na intenção de ajustar o pH e melhorar a alcalinidade da água bruta.

A água bruta utilizada no estudo experimental foi coletada na chegada da ETA, antes de receber o cloro da pré-oxidação, para avaliar o comportamento exclusivo do coagulante, sem interferência do cloro e não alterar a alcalinidade natural da água bruta.

O critério de escolha da concentração de Cal aplicada no Jar Test foi baseada na reação estequiométrica onde 10 ppm de Sulfato de Alumínio reage com 3,7 ppm de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Cunha, 1946). Variou-se para menos (3 ppm) e mais (4,5 ppm). Adotou-se a mesma relação de 1:0,37 Cloreto Férrico:Cal.

## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Os resultados do uso combinado dos coagulantes com a Cal constam na tabela abaixo:

**Tabela 5: Resultados do Jar Test para água decantada aplicando Cal combinada aos coagulantes**

	<b>Cloreto Férrico</b>	<b>Sulfato De Alumínio</b>		
Concentração Cal (mg/L)	<b>1,9</b>	<b>3</b>	<b>3,7</b>	<b>4,5</b>
Concentração Coagulante (mg/L)	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
Cor Aparente (uC)	27,9	10	9,1	13,2
Turbidez (uT)	1,5	1,57	0,98	0,94
pH	7,2	6,7	7,2	7,2
Ferro (mg/L)	1	0,2	0	0,2

Comparando os valores da Tabela 4 (apenas coagulante) e da Tabela 5 (coagulante e alcalinizante) percebe-se que o efeito da adição da Cal proporcionou redução dos parâmetros avaliados, sendo a eficiência de remoção para o Sulfato de Alumínio maior, principalmente quando a Cal foi dosada a 3,7 ppm.

Observou-se que, para o Cloreto Férrico em geral, não houve remoção significativa, a adição da Cal não proporcionou redução da Cor e do teor de Ferro, sendo assim, optou-se por não investigar outras concentrações.

O pH ficou ligeiramente maior com a Cal hidratada para os dois coagulantes testados.

Estimou-se o custo total dos produtos químicos envolvidos no processo de coagulação. A Tabela 6 apresenta esse custo mensal, calculado para a vazão média da ETA Gurjau que foi de 1200 L/s. Esta análise também contempla o consumo de Cal Hidratada para correção do pH testada experimentalmente e do uso de Cloro na pré-cloração praticado atualmente pela ETA.

**Tabela 6: Estimativa do custo mensal dos produtos químicos empregados na coagulação.**

<b>Coagulante</b>	<b>Concentração (mg/L) Jar Test</b>	<b>Consumo Mensal (ton)</b>	<b>Preço (R\$/ton)</b>	<b>Custo Mensal (R\$)</b>	<b>Custo total (Hidróxido + Sulfato 10 ppm)</b>	<b>Custo total ETA (Cloro + Sulfato 8 ppm)</b>	<b>Economia Ensaio Proposto</b>
Sulfato de Alumínio (50%)	8	50	891	44.342	61.757	148.019	58%
Sulfato de Alumínio (50%)	10	62	891	55.427			
Hidróxido de Cálcio (100%)	3,7	12	550	6.330			
Cloro Liquefeito (100%)	6,7	21	4975	103.677			

## **CONCLUSÃO**

O ensaio proposto (Cal e Sulfato de Alumínio) apresenta uma alternativa de economia de 58% frente ao processo atual praticado pela ETA Gurjau (pré-cloração e Sulfato de Alumínio), representando ainda um ganho na qualidade da água decantada, uma vez que o experimento realizado combinando Cal Hidratada e Sulfato de Alumínio apresentou eficiência de remoção de 86 % para os parâmetros Cor e Turbidez e deixou praticamente traços de Ferro na água decantada.

Verificou-se, ao longo do trabalho experimental, que a velocidade de formação dos flocos do Cloreto Férrico é significativamente superior em relação ao Sulfato de Alumínio, porém o mesmo não conseguiu remover a Cor da água bruta de forma satisfatória, além aumentar a concentração de Ferro na água decantada.

O pH final da água decantada tratada com Sulfato de Alumínio ficou ligeiramente maior que a do Cloreto Férrico, o que se mostra interessante, uma vez que, a água passará por desinfecção que tende a reduzir o pH.

Faz-se necessário teste prático na ETA para confirmação dos resultados obtidos nos ensaios de tratabilidade.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21<sup>a</sup> ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
2. CUNHA, A. Determinação do pH ótimo de floculação e dosagem mínima de coagulantes. Revista RAE, Ano 8, n. 17, 1946.
3. DI BERNARDO, L. ; DANTAS, A. D. B. . Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2. ed. São Carlos: Rima Editora, 2005. v. 2. 1584 p
4. HELLER, L.; PÁDUA, V.L., Abastecimento de água para consumo humano. Coleção Ingenium. Editora UFMG, p.859. 2006.
5. LIBÂNIO , M.; PEREIRA, M. M. ; VORCARO , B. M.. ; REIS , R. C. ; HELLER, L. Avaliação do emprego de sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação de águas naturais de turbidez média e cor elevada, XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, resumos, Foz do Iguaçu. Anais do Congresso. 1997.