

## I-079 - DIAGRAMA DE COAGULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE MISTURAS PARA ÁGUA COM TURBIDEZ ELEVADA UTILIZANDO CLORETO DE POLIALUMÍNIO

**Paulo Marcos Faria Maciel<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Doutorando em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP

**Lyda Patricia Sabogal-Paz<sup>(2)</sup>**

Professora do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo EESC/USP (São Carlos/SP).

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Av. Trabalhador São-carlense, 400 - Pq Arnold Schimidt – São Carlos – SP – CEP 13566-590– São Carlos - SP - Brasil - Tel: +55 (16) 33739548 - Fax: +55 (16) 33739550 - e-mail: pmfmaciel@gmail.com

### RESUMO

A aplicação de coagulantes no tratamento de água demanda atenção do operador por haver particularidades de cada manancial que determinam as condições da coagulação. Uma sequência de etapas a serem realizadas em escala de laboratório, em equipamento de Jarrest, é capaz de indicar as ótimas condições de dosagem de determinado coagulante, pH no momento da coagulação e as condições de mistura rápida e lenta do tratamento, considerando os parâmetros gradiente de velocidade e tempo de mistura. No presente estudo, uma água de turbidez elevada preparada a partir da adição de caulinita à água de poço foi submetida a ensaios de tratabilidade para a determinação dos pares (dosagem de coagulante e pH de coagulação) além das melhores condições de mistura. O coagulante empregado foi o cloreto de polialumínio – PAC. A apresentação dos resultados e a sequência de etapas seguidas poderão orientar futuros trabalhos que precisem determinar condições ótimas de coagulação e misturas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cloreto de polialumínio, diagrama de coagulação, mistura lenta, mistura rápida, turbidez

### INTRODUÇÃO

No Brasil se tem reportado o uso de cloreto de polialumínio – PAC em estações de tratamento de água – ETAs (LOPES et al. 2009; FERREIRA FILHO & WAELKENS, 2009). O principal atrativo do PAC é a eventual não necessidade de aplicação de pré-alkalinização, o que resulta em grande vantagem do ponto de vista operacional, quando comparado aos demais coagulantes tradicionais.

O PAC, na maioria dos casos, revela-se como coagulante superior ao sulfato de alumínio em termos de eficiência. Para a eliminação de substâncias coloidais, sua eficácia é superior, em média, 1,5 a 2,5 vezes em igualdade de dosagem, em íon  $Al_3^+$ , à dos outros sais de alumínio (PAVANELLI, 2001). Destaca-se que o PAC apresenta vantagens em relação aos demais coagulantes, principalmente pela maior concentração de elemento ativo,  $Al_2O_3$  (LOPES et al. 2009).

Os ensaios de tratabilidade visam definir as dosagens dos produtos químicos e o pH mais adequados à elevação da qualidade do efluente em uma estação de tratamento de água. Cada água possui características únicas, aspecto que gera condições específicas dos parâmetros de projeto que demanda otimização para atingir o objetivo do tratamento. Uma sequência de etapas indicadas em Di Bernardo *et al.* (2011) pode conduzir a esta otimização. Neste sentido, o objetivo do artigo foi obter e apresentar diagramas de coagulação e otimizar as misturas (rápida e lenta) para o tratamento de água com turbidez elevada utilizando o PAC como coagulante.

### METODOLOGIA

A água de estudo foi preparada com água do poço da EESC/USP e a turbidez foi aumentada com o uso de caulinita, com o objetivo de ter turbidez em torno de 100 uT.

Os ensaios de tratabilidade foram realizados em equipamento de Jarteste segundo metodologia de Di Bernardo *et al.*, (2011) – ensaios específicos em ciclo completo com sedimentação. O intuito foi realizar os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação para a construção dos diagramas de coagulação. O coagulante empregado foi o cloreto de polialumínio – PAC.

O PAC utilizado nos ensaios foi fornecido pela empresa Tiosertec® e possuía as seguintes especificações: basicidade 38,7; teor de alumínio de 17,74% na forma de  $Al_2O_3$ ; pH da solução variando de 2,0 a 4,0; fórmula química  $Al_n(OH)_m(Cl_3)_{n-m}$ .

Os parâmetros iniciais de mistura (rápida e lenta), de velocidade de sedimentação foram adotados, como primeira aproximação, conforme resultados obtidos por Corrêa *et al.* (2005), De Julio *et al.* (2010), Ferrari *et al.* (2011), e; Pavanelli (2001). Esses trabalhos também empregaram PAC como coagulante. A Tabela 1 apresenta os valores inicialmente testados.

**Tabela 1 - Parâmetros Iniciais dos Ensaio de Tratabilidade**

Parâmetro	Valores adotados
Dosagem de PAC ( $mg.L^{-1}$ ) com 18% de $Al_2O_3$	5 a 60
pH de coagulação	5 a 9
Gradiente médio de velocidade na mistura rápida ( $s^{-1}$ ) – $G_{mr}$	1000
Tempo de mistura rápida (s) – $T_{mr}$	10
Gradiente médio de velocidade na floculação ( $s^{-1}$ ) – $G_f$	30
Tempo de floculação (min) – $T_f$	20
Velocidade de sedimentação ( $cm.min^{-1}$ ) – $V_s$	1,5 a 4,0

De posse de diagrama preliminar de coagulação, dois pontos ótimos foram selecionados correspondendo a uma dosagem do coagulante e seu pH de coagulação (com e sem adição de alcalinizante ou acidificante). O diagrama foi construído apenas para turbidez por ser esta uma variável de rápida medição.

A partir dos 2 pontos ótimos escolhidos, foram otimizados os parâmetros de projeto, segundo a metodologia descrita em Di Bernardo *et al.* (2011), iniciando pela mistura rápida. As condições testadas foram: i)  $G_{mr} = 800, 900, 1000$  e  $1100 s^{-1}$ ; e ii)  $T_{mr} = 10, 15, 20, 25$  e  $30s$ . Em seguida, a otimização da mistura lenta. Os gradientes médios de velocidade fixados, em cada ensaio, foram  $20, 30$  e  $40 s^{-1}$  com tempos de mistura de  $10, 15, 20, 25$  e  $30 min$ . Em função das melhores condições estabelecidas, foi possível a realização do diagrama de coagulação definitivo, para velocidade de sedimentação de  $2,0 cm.min^{-1}$ .

## RESULTADOS

O diagrama de coagulação preliminar para a água de estudo está na Figura 1 com os parâmetros de mistura adotados, conforme Tabela 1. A otimização das misturas (rápida e lenta) está nas Figuras 2 e 3. O diagrama de coagulação definitivo está na Figura 4.

A análise da Figura 1 permitiu definir as melhores condições de dosagem e pH de coagulação a serem inicialmente testadas. Essas condições foram: i) dosagem de  $20 mg.L^{-1}$  sem adição de alcalinizante (ou acidificante) com pH em torno de 7,0; e ii) dosagem de  $55 mg.L^{-1}$  com pH de aproximadamente 7,2, com adição de alcalinizante. Os pontos foram selecionados em função do melhor desempenho na remoção de turbidez.

Na Figura 2 estão as melhores condições de mistura rápida: i)  $G_{mr} = 900 s^{-1}$  e  $T_{mr} = 15 s$ , para dosagem de  $20 mg.L^{-1}$ ; e ii)  $G_{mr} = 1000s^{-1}$  e  $T_{mr} = 15 min$ , para dosagem de  $55 mg.L^{-1}$ . As melhores condições de mistura lenta estão identificadas na Figura 3: i)  $G_f = 30s^{-1}$  e  $T_f = 20 min$ , para dosagem de  $20 mg.L^{-1}$ ; e ii)  $G_f = 20s^{-1}$  e  $T_f = 20 min$ , para dosagem de  $55 mg.L^{-1}$ .

Em função das melhores condições estabelecidas, foi possível a realização do diagrama de coagulação definitivo, conforme Figura 4. A linha indicada nas figuras representa a região em que a turbidez remanescente foi de até  $5,0 uT$  – valor de referência da água clarificada após sedimentação a ser encaminhada à filtração, segundo Di Bernardo e Sabogal Paz (2008).



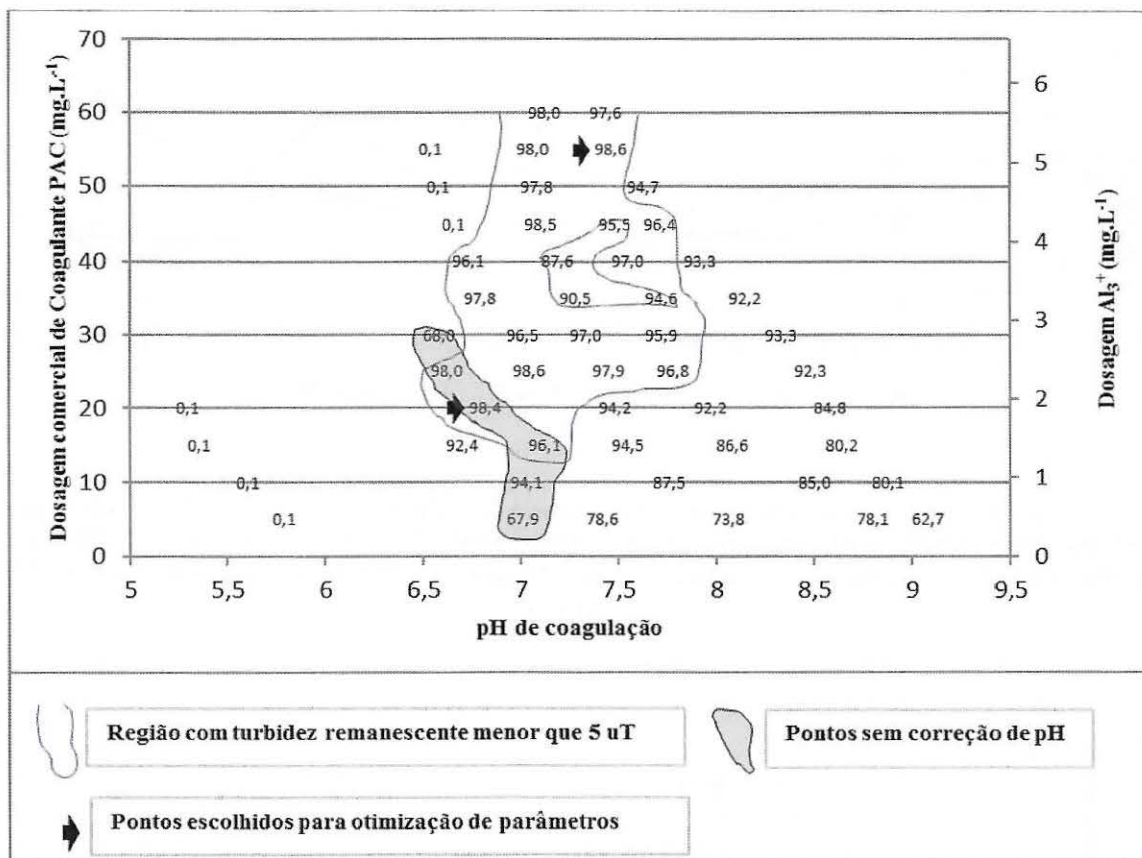


Figura 1 – Diagrama de coagulação utilizando PAC, para uma água de estudo com turbidez em torno de 100 uT, expresso em termos de porcentagem de remoção de turbidez, para as seguintes condições:  $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ ,  $T_{mr} = 10 \text{ s}$ ,  $G_f = 30 \text{ s}^{-1}$ ,  $T_f = 20 \text{ min}$ ,  $V_s = 2,0 \text{ cm.min}^{-1}$

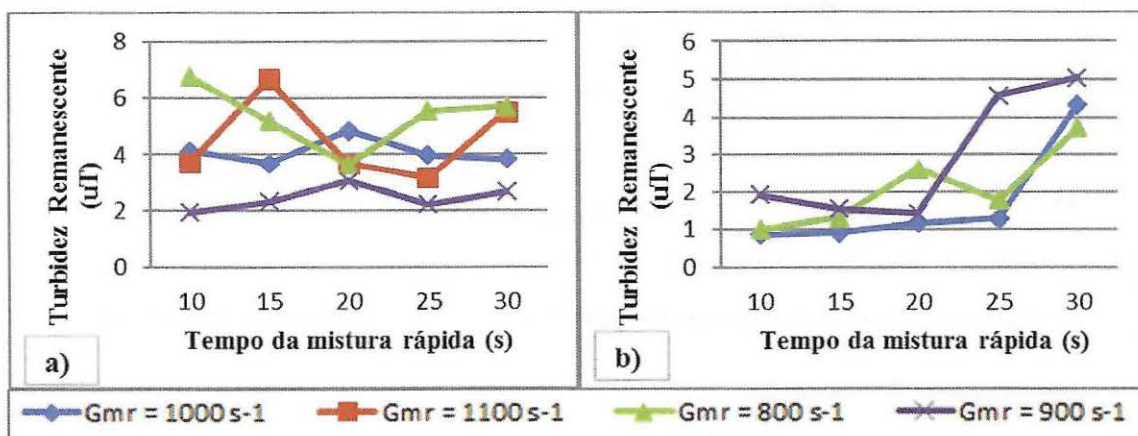


Figura 2 – Turbidez da água clarificada em ensaio de sedimentação em função das condições de mistura rápida (tempo e gradiente). Condições de mistura lenta:  $T_f = 20 \text{ min}$ ,  $G_f = 30 \text{ s}^{-1}$ ; velocidade de sedimentação  $V_s = 2,0 \text{ cm.min}^{-1}$ . a) dosagem de PAC =  $20 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $\text{pH} \approx 7$ . b) dosagem de PAC =  $55 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $\text{pH} \approx 7,2$ .

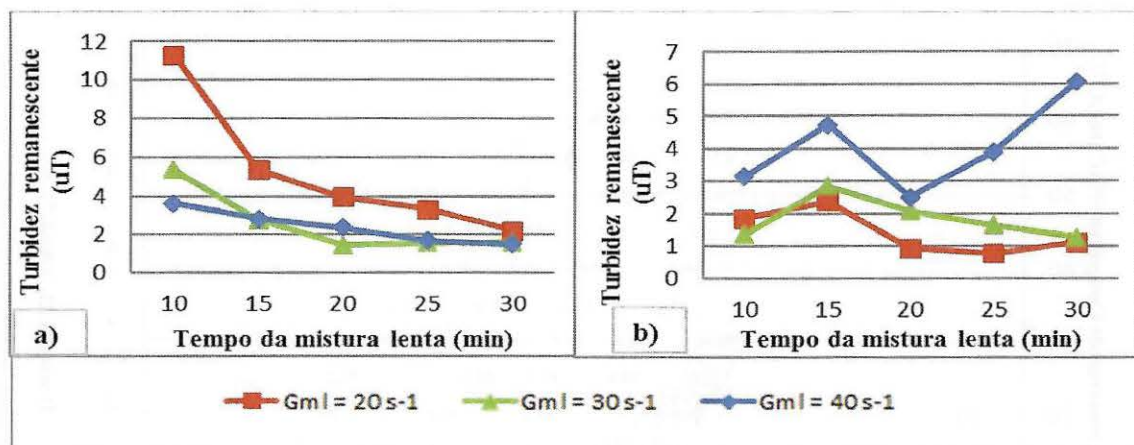


Figura 3 – Turbidez da água clarificada em ensaio de sedimentação em função das condições de mistura lenta (tempo e gradiente). Condições de mistura rápida:  $T_{mr} = 10 \text{ s}$ ,  $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ ; velocidade de sedimentação  $V_s = 2,0 \text{ cm.min}^{-1}$ . a) dosagem de PAC =  $20 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $\text{pH} \approx 7$ . b) dosagem de PAC =  $55 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $\text{pH} \approx 7,2$ .

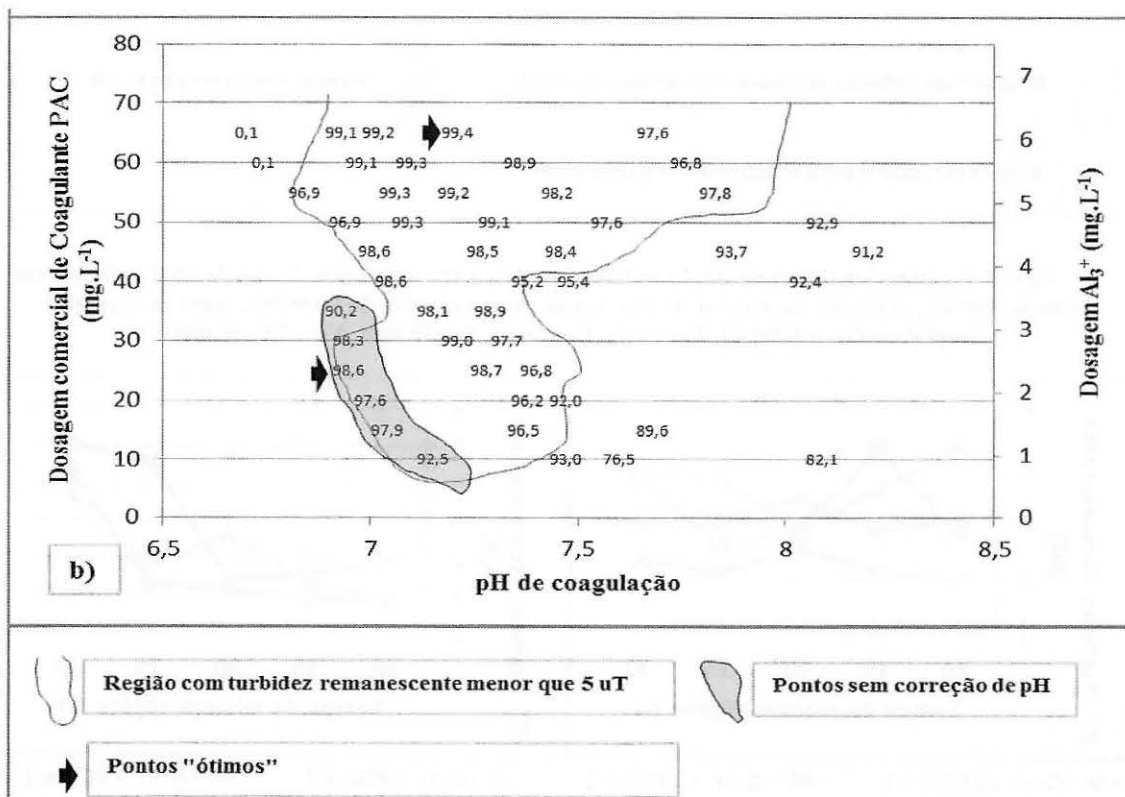


Figura 4 – Diagrama de coagulação para água de estudo com turbidez em torno de 100 uT, expresso em termos de porcentagem de remoção de turbidez, utilizando PAC para as seguintes condições: i) dosagem de PAC entre 10 a 35 mg/L:  $G_{mr} = 900 \text{ s}^{-1}$ ,  $T_{mr} = 15 \text{ s}$ ,  $G_r = 30 \text{ s}^{-1}$ ,  $T_f = 20 \text{ min}$  e  $V_s = 2 \text{ cm.min}^{-1}$ ; e ii) dosagem de PAC entre 40 a 65 mg/L:  $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ ,  $T_{mr} = 15 \text{ s}$ ,  $G_r = 20 \text{ s}^{-1}$ ,  $T_f = 20 \text{ min}$  e  $V_s = 2,0 \text{ cm.min}^{-1}$



Em função dos dados da Figura 4, determinaram-se dois pontos ótimos, para a velocidade de sedimentação de  $2,0 \text{ cm.min}^{-1}$ , de interesse ao estudo: i) dosagem de  $25 \text{ mg.L}^{-1}$  e pH de coagulação 6,95 (sem adição de alcalinizante); e ii) dosagem de  $65 \text{ mg.L}^{-1}$  e pH de coagulação 7,21 (com adição de  $15 \text{ mg.L}^{-1}$  de hidróxido de sódio). Os pontos, indicados com setas na Figura 4, foram selecionados em função da maior eficiência na remoção de turbidez.

## CONCLUSÃO

O PAC apresentou desempenho satisfatório na remoção de turbidez em água com turbidez elevada. A menor dosagem estudada ( $25 \text{ mg.L}^{-1}$  de produto comercial ou  $2,34 \text{ mg.L}^{-1}$  na forma de  $\text{Al}_3^+$ ) não requereu ajuste de pH, o que indica grande vantagem do coagulante em termos econômicos e eventual redução na geração de resíduos. Além disso, essa dosagem apresentou desempenho semelhante em remover turbidez em comparação com a maior dosagem escolhida em diagrama de coagulação ( $65 \text{ mg.L}^{-1}$  de produto comercial ou  $6,10 \text{ mg.L}^{-1}$  na forma de  $\text{Al}_3^+$ ).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo projeto temático (Processo nº 2012/50522-0) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado concedida a Paulo Marcos Faria Maciel.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CORREA, A. C. F. et al. Perspectiva De Alteração De Coagulante Para Estação De Tratamento De Água Operando Com Sobrecarga. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. Anais do 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro : ABES, 2005.
2. DE JULIO, M.; FIORAVANTE, D. A.; GRAHAM, N. J. D. Remoção de cianobactérias de água proveniente de manancial brasileiro eutrofizado, utilizando os diagramas de coagulação para o sulfato de alumínio e PAC. Engenharia Civil UM, nº 37, 2010.
3. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. Tratabilidade de Água e dos Resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água. Editora LDiBe. 2011.
4. DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. Editora LDiBe. v 1 e v.2. p.1560. 2008.
5. FERRARI, T. N.; DE JULIO, M.; DE JULIO T., S. Emprego do Sulfato de Alumínio e do Cloreto de Polialumínio em estudos de Tratabilidade da Água que abastece o Município de São José dos Campos-Sp. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 4, p. 118 -137 , out./dez. 2011
6. FERREIRA FILHO, S. S.; WAELEKENS, B. E. Minimização da Produção de Lodo no Tratamento de Águas de Abastecimento Mediante uso de Cloreto de Polialumínio e sua Disposição em Estações de Tratamento de Esgotos. Engenharia Sanitária e Ambiental v.14 n.3 jul/set 2009b 317-326
7. LOPES, F. M. F. et al.. Comparação da Flotação por ar Dissolvido e Sedimentação no Tratamento de Água Utilizando Policloreto de Alumínio. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais Eletrônicos: I-111. Recife – PE. Brasil, 2009
8. PAVANELLI, G. Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes na Coagulação, Floculação e Sedimentação de Água com Cor ou Turbidez Elevada. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo - EESC/USP. Brasil, 2001.