

I-201 – EMPREGO DO SULFATO DE ALUMÍNIO E POLICLORETO DE ALUMÍNIO EM ESTUDOS DE TRATABILIDADE DE ÁGUA

Waldiléia Pereira Leal⁽¹⁾

Química Industrial pela Universidade Vale do Rio Doce. Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

Karoline Barros de Souza⁽²⁾

Bióloga pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

Edumar Ramos Cabral Coelho⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos

Endereço⁽¹⁾: Av. Fernando Ferrari, 514 – Goiabeiras – Vitória – Espírito Santo – CEP: 29075-910 – Brasil – Tel: +55 (27) 4009-2165 - e-mail: waldileiagv@hotmail.com

RESUMO

A tecnologia de tratamento de água denominada tratamento convencional tem sido a mais empregada no Brasil e envolve as etapas de coagulação química, floculação, sedimentação (ou flotação) e filtração. A coagulação está relacionada ao sucesso das etapas posteriores, sendo necessária a correta seleção do tipo de coagulante, dosagem e pH de coagulação. O Sulfato de Alumínio é um coagulante amplamente usado devido aos resultados satisfatórios e baixo custo, porém em alguns mananciais com cor elevada ou que haja necessidade de adição de agente alcalinizante o uso de coagulantes inorgânicos poliméricos, tais como o Policloreto de Alumínio (PAC) tem sido apontado como alternativa. Diante disto, o objetivo do trabalho foi realizar estudos de tratabilidade de água bruta através da construção de diagramas de coagulação empregando-se o Sulfato de Alumínio e o PAC para as velocidades de sedimentação de 2,0 e 1,0 cm.min⁻¹, avaliando sua eficiência na remoção de turbidez e cor aparente em duas águas distintas. Os ensaios foram realizados em equipamento Jarrest e os diagramas de coagulação foram construídos com características representativas do manancial Santa Maria da Vitória em duas condições (I e II), representando época de pouca chuva e estiagem, respectivamente. Os coagulantes foram eficientes na remoção de turbidez e cor aparente do manancial de estudo na condição I, sendo que com o uso do PAC, a remoção de cor aparente e turbidez aconteceu em uma ampla faixa de pH de coagulação, diferente do sulfato de alumínio, que removeu em uma faixa menor de variação do pH.

PALAVRAS-CHAVE: Diagrama de Coagulação, Sulfato de Alumínio, Policloreto de Alumínio.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de tratamento de água mais empregada no Brasil atualmente é o tratamento em ciclo completo, envolvendo as etapas de coagulação química, floculação, sedimentação (ou flotação) e filtração. O bom funcionamento da coagulação química está diretamente relacionado ao sucesso das etapas posteriores do tratamento de água, sendo, portanto, etapa de grande importância para o tratamento (DI BERNARDO *et al*, 2011; EDZWALD, 2011). Para que se atinja o desempenho esperado na etapa de coagulação, é necessária a correta seleção do coagulante a ser utilizado, da dosagem e pH apropriados para sua utilização (FERRARI *et al*, 2011).

Nos sistemas de tratamento de água, são convencionalmente empregados coagulantes inorgânicos constituídos por sais de ferro e alumínio, sendo o sulfato de alumínio, o sulfato férrico e o cloreto férrico os mais utilizados. O uso destes coagulantes está relacionado a capacidade de remoção de uma ampla variedade de impurezas da água, incluindo partículas coloidais e substâncias orgânicas dissolvidas (CORAL, 2009).

O sulfato de alumínio está sendo utilizado durante anos devido aos resultados satisfatórios de remoção obtidos quando empregado no tratamento de diferentes tipos de água, além do custo relativamente baixo quando comparado a outros coagulantes. Porém, existem algumas desvantagens relacionadas ao seu uso, tal como a alta concentração de alumínio remanescente na água tratada (SRINIVASAN, VIRARAGHVAN, 2002).

Nas últimas décadas, o uso de coagulantes inorgânicos poliméricos tem aumentando consideravelmente. Dentre estes, o policloreto de alumínio (PAC) é o mais amplamente utilizado no tratamento de água. Dentre as vantagens de seu uso destacam-se a menor variação do pH da água tratada, contribuindo para um menor consumo de neutralizantes (PAVANELLI, 2001); é menos influenciado pela alcalinidade da água (YE *et al*, 2007); e gera uma quantidade de lodo menor quando comparado ao sulfato de alumínio e sulfato férrico (AGUILAR *et al*, 2002). Por outro lado, uma desvantagem do PAC é o seu custo elevado, quando comparado com outros produtos (PAVANELLI, 2001; FERRARI *et al*, 2011).

Diante disto, o objetivo do presente trabalho foi realizar estudos de tratabilidade de água bruta através da construção de diagramas de coagulação empregando dois coagulantes, o sulfato de alumínio e o PAC, para duas velocidades de sedimentação (2,0 e 1,0 cm/min) avaliando sua eficiência na remoção de turbidez e cor aparente considerando os limites estabelecidos pela Portaria MS nº 2914/2011. O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN).

MATERIAIS E MÉTODOS

A água bruta utilizada na pesquisa foi coletada na Estação de Tratamento de Água da Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN). A ETA Companhia Espírito Santense de Saneamento escolhida foi a ETA Carapina (Serra/ES) que faz o tratamento de água proveniente do Rio Santa Maria da Vitória. Este rio foi escolhido pela sua grande importância para o Estado, abastecendo a Zona Norte de Vitória, o município de Serra e o distrito de Praia Grande, no município de Fundão.

A água foi coletada por técnicos da CESAN e transportada adequadamente até o Laboratório de Saneamento Ambiental (LABSAN) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), seguindo recomendações da CETESB (2011). A água foi armazenada em caixa d'água com tampa, na ausência de luz e em ambiente refrigerado e temperatura constante ($22^{\circ}\text{C} \pm 1$).

A caracterização físico-química da água foi realizada diariamente de acordo com os parâmetros, métodos e equipamentos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos parâmetros físico-químicos avaliados na água de estudo.

| Parâmetro | Método | Referência | Equipamento |
|---|---------------------|--------------------------------|--|
| pH (adimensional) | Potenciométrico | 4500 H ⁺ -APHA 2012 | pHmetro digital de bancada – Denver Instrument UB-10 |
| Temperatura (°C) | - | - | Termômetro de bulbo |
| Turbidez (uT) | Nefetométrico | 2130 B-APHA 2012 | Turbidímetro HACH 2100 P |
| Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$) | Conduvímétrico | 2510 B-APHA 2012 | Conduvímeter Tecnonon mCA 150 |
| Cor Aparente e Cor Real (uH) | Espectrofotométrico | 2120 C-APHA 2012 | Espectrofotômetro UV – VIS Spectro 580 UVP Marte |
| Alcalinidade ($\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$) | Titulometria | 2320 B-APHA 2012 | Espectrofotômetro UV – VIS Spectro 580 UVP Marte |

Os ensaios de bancada foram realizados em equipamento de reatores estáticos descontínuos jarreste, Modelo 218-LDB/06 (Nova Ética). O equipamento é constituído de seis jarros, sendo cada medindo internamente 115x115x200 mm com capacidade de 2 L e o gradiente de velocidade variando de 10 a 2000 s^{-1} . Os ensaios para a construção dos diagramas de coagulação seguiram as recomendações de Di Bernardo *et al* (2002) e Di Bernardo *et al* (2011).

Os reagentes utilizados foram os coagulantes líquidos, sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3\cdot 14\text{H}_2\text{O}$) e o policloreto de alumínio-PAC ($\text{Al}_2(\text{OH})\text{Cl}_5$), ambos cedidos pela ETA Carapina, e a solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 2 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ utilizada como alcalinizante para a variação de pH. Para a construção dos diagramas de coagulação foram adicionados aos jarros volumes correspondentes a diferentes concentrações de coagulante, variando-se a concentração de 5 em 5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ através de volumes correspondentes de uma solução de 20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Os diagramas de coagulação foram construídos para características representativas (condições I e II) do manancial em estudo, obtidas através de registros das características da água ao longo dos anos fornecidos pela CESAN, sendo estas as condições que ocorrem com maior frequência durante o ano.

Os ensaios representaram as etapas de coagulação, floculação e decantação e foram realizados seguindo os parâmetros ilustrados na Tabela 2. Em cada ensaio, foram avaliados o pH de coagulação, a turbidez e a cor aparente, sendo os dois últimos parâmetros avaliados nas duas velocidades de sedimentação adotadas. De acordo com os resultados obtidos, os diagramas foram construídos com três variáveis: pH de coagulação no eixo das abscissas, concentração de alcalinizante no eixo das ordenadas e turbidez remanescente ou cor aparente remanescente nos pontos da área do gráfico. Nos diagramas foram construídas as curvas de turbidez remanescente menor que 5 uT e de cor aparente remanescentes menor que 20 uH para as duas velocidades de sedimentação consideradas.

Tabela 2: Parâmetros adotados para a construção dos diagramas de coagulação.

| Parâmetro | Condições |
|--------------------------------------|--|
| Mistura rápida | $G = 800 \text{ s}^{-1}$ e $t = 20 \text{ s}$ |
| Floculação | $G = 10 \text{ s}^{-1}$ e $t = 30 \text{ min}$ |
| Velocidades de sedimentação V_{s1} | $V_{s1} = 1 \text{ cm.min}^{-1}$ |
| Velocidades de sedimentação V_{s2} | $V_{s2} = 2 \text{ cm.min}^{-1}$ |

Após a construção dos diagramas de coagulação, os mesmos foram analisados para determinação do melhor coagulante e das melhores condições (velocidade de sedimentação, dosagem de coagulante e pH de coagulação) para o tratamento da água de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os estudos de tratabilidade de água bruta através da construção de diagramas de coagulação empregando o sulfato de alumínio e o policloreto de alumínio para duas velocidades de sedimentação (2,0 e 1,0 cm.min^{-1}) foram construídos com características representativas de duas épocas distintas: pouca chuva (condição I) e estiagem (condição II).

Condição I

A primeira condição para a construção dos diagramas de coagulação foi de turbidez média variando entre 37 e 44 uT e cor aparente entre 240 e 316 uH – Condição I, utilizando como coagulante o PAC e o sulfato de alumínio para duas velocidades de sedimentação (2,0 e 1,0 cm.min^{-1}). As Figuras 1, 2, 3 e 4 representam os diagramas de coagulação para água bruta com turbidez média (condição I), utilizando PAC como coagulante.

Analisando a Figura 1, pode-se verificar que a região onde se obteve maior eficiência na remoção de turbidez para a V_{s2} (turbidez < 5 uT) foi a que apresentou dosagens superiores a 15 mg.L^{-1} de PAC em uma faixa de pH de 6,40 a 7,70, variando conforme a concentração de coagulante. Na Figura 2, nota-se que a remoção (turbidez < 5 uT) ocorreu com dosagem menor de PAC (superiores a 10 mg.L^{-1}) em uma faixa de pH de 6,30 a 7,65, conforme esperado, comportamento não observado na remoção de cor aparente.

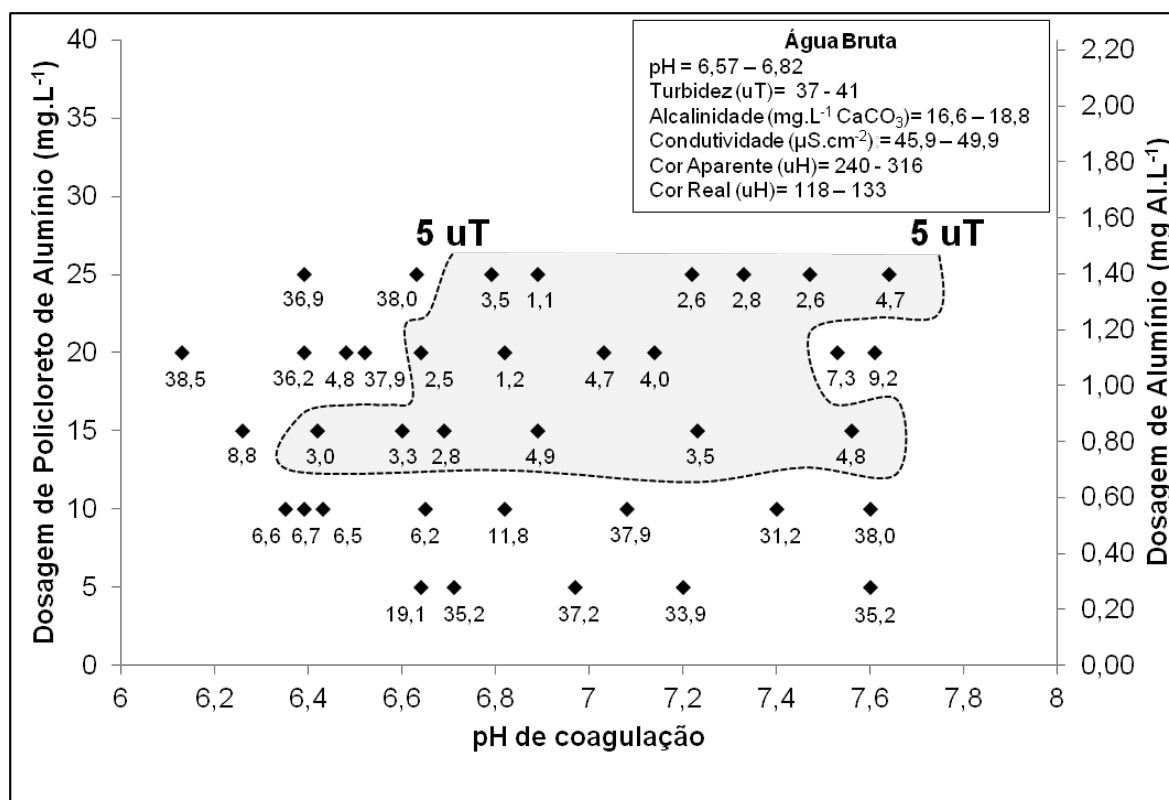


Figura 1: Diagrama de coagulação da turbidez, com PAC, do rio Santa Maria da Vitória, para água bruta com turbidez média. Parâmetros dos ensaios: Mistura rápida: $G = 800 \text{ s}^{-1}$ e $t = 20 \text{ s}$; Floculação: $F = 10 \text{ s}^{-1}$ e $t = 30 \text{ min}$; Sedimentação: $V_s = 2,0 \text{ cm.min}^{-1}$.

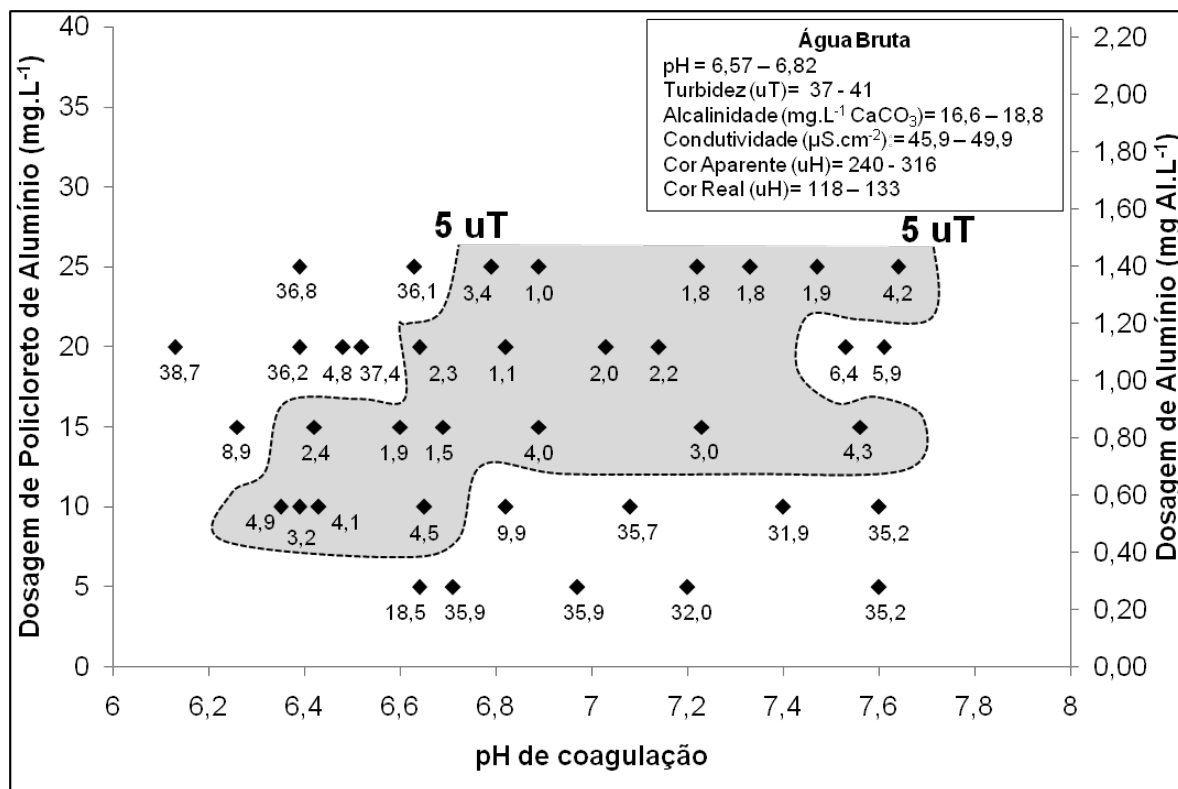
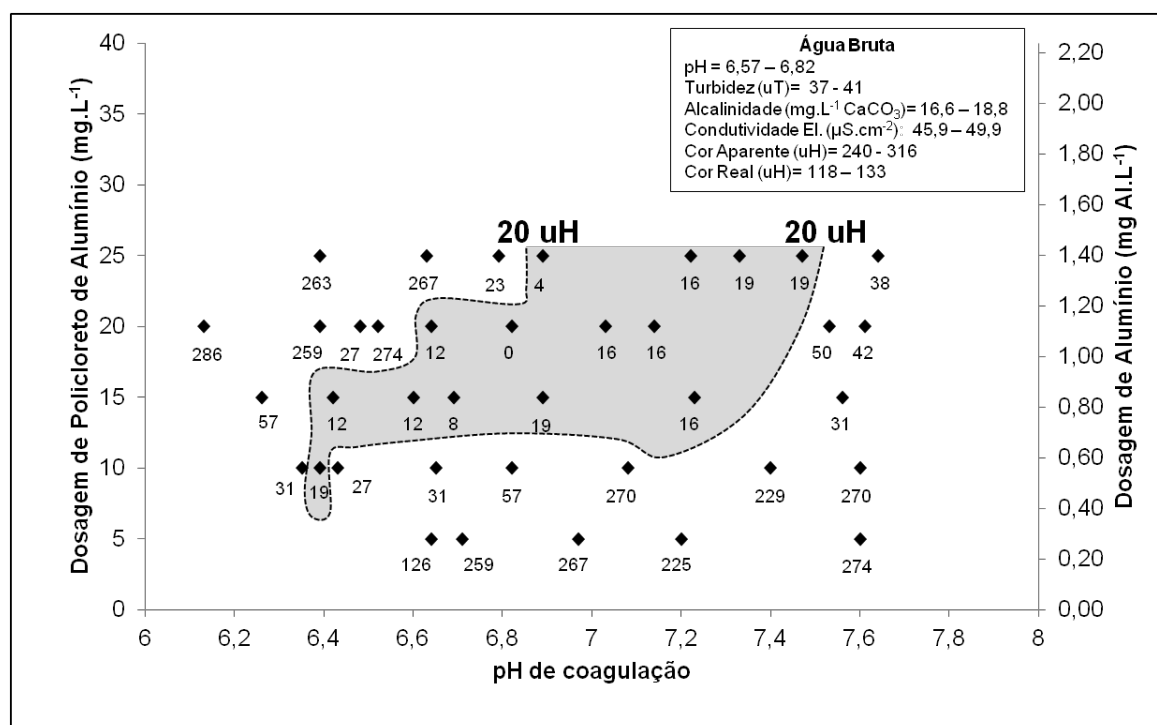
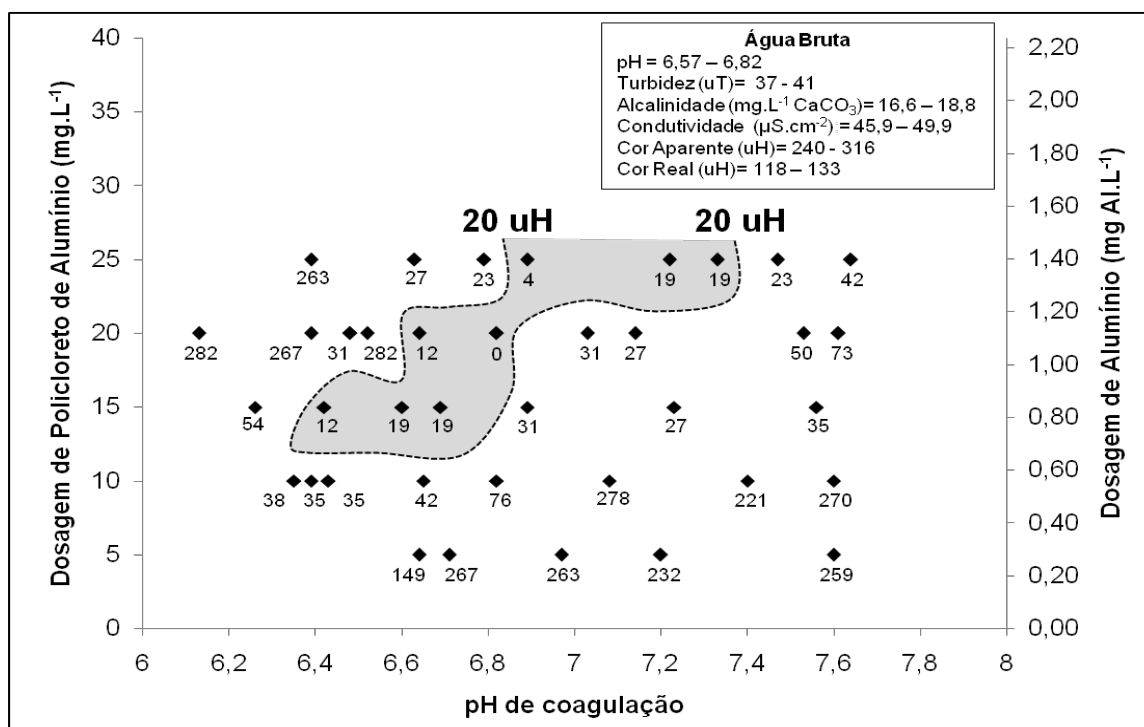


Figura 2: Diagrama de coagulação da turbidez, com PAC, do rio Santa Maria da Vitória, para água bruta com turbidez média. Parâmetros dos ensaios: Mistura rápida: $G = 800 \text{ s}^{-1}$ e $t = 20 \text{ s}$; Floculação: $F = 10 \text{ s}^{-1}$ e $t = 30 \text{ min}$; Sedimentação: $V_s = 1,0 \text{ cm.min}^{-1}$.



A remoção de cor aparente (cor aparente < 20 uH) para V_{s2} ocorreu com dosagens superiores a 15 mg.L⁻¹ de PAC em uma faixa de pH de 6,40 a 7,30 (Fig. 3). Para a V_{s1} , pode-se observar na Figura 4 que a remoção de cor aparente (cor aparente < 20 uH) ocorreu com dosagens entre 10 e 25 mg.L⁻¹ de PAC em uma faixa de pH de 6,40 a 7,30. Para a dosagem de 10 mg.L⁻¹ apenas um ponto obteve remoção de cor remanescente menor que 20 uH, o que podemos desconsiderar, pois não se formou uma região que apresentasse resultados inferiores a 20 uH.

Com o uso do policloreto de alumínio, a coagulação foi eficiente em ampla faixa de pH, fornecendo sobrenadante de aproximadamente a mesma turbidez e cor aparente para as velocidades de sedimentação estudadas. Observou-se também que adição do policloreto de alumínio não reduz o pH de coagulação tanto quanto o sulfato de alumínio, contribuindo para a redução da quantidade de alcalinizante utilizada nas ETA's.

As Figuras 5, 6, 7 e 8 representam os diagramas de coagulação para a água bruta com turbidez média (Condição I), utilizando o sulfato de alumínio como coagulante.

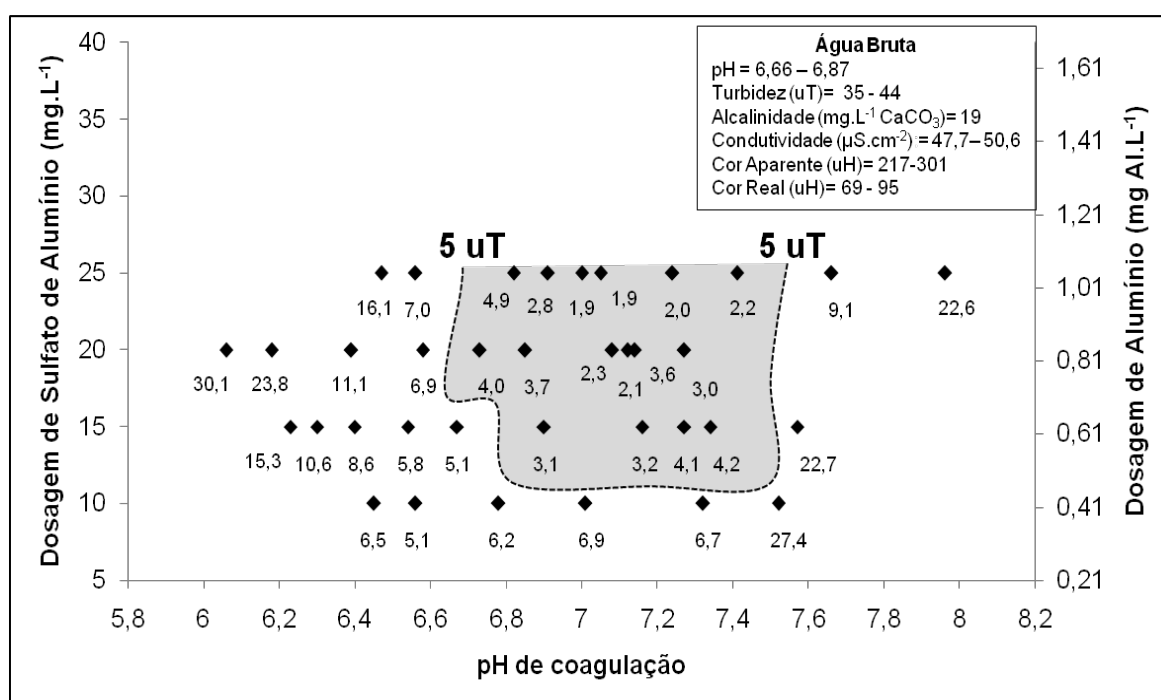


Figura 5: Diagrama de coagulação da turbidez, com Sulfato de Alumínio, do rio Santa Maria da Vitória, para água bruta com turbidez média. Parâmetros dos ensaios: Mistura rápida: $G = 800 \text{ s}^{-1}$ e $t = 20 \text{ s}$; Floculação: $F = 10 \text{ s}^{-1}$ e $t = 30 \text{ min}$; Sedimentação: $V_s = 2,0 \text{ cm.min}^{-1}$.

Analisando-se a Figura 5, pode-se verificar que a região com maior eficiência na remoção de turbidez para a V_{s2} (turbidez < 5uT) foi a que apresentou dosagens superiores a 15 mg.L⁻¹ de sulfato de alumínio em uma faixa de pH de 6,70 a 7,40. Já para V_{s1} (Fig. 6), a região de maior eficiência na remoção de turbidez foi entre as dosagens de 10 e 25 mg.L⁻¹ de sulfato de alumínio em uma faixa de pH de 6,40 a 7,40.

Nas Figuras 7 e 8, nota-se que a remoção de cor aparente (cor aparente < 20 uH) ocorreu com dosagens superiores a 15 mg.L⁻¹ de sulfato de alumínio em uma faixa de pH de 6,80 a 7,40.

Com o uso do sulfato de alumínio, as regiões de maior eficiência da coagulação resultaram em uma faixa menor de pH quando comparado ao PAC. Embora as concentrações necessárias serem as mesmas, os resultados de cor aparente remanescente na velocidade de sedimentação de 1 cm.min⁻¹ foram superiores comparados com a velocidade de sedimentação de 2 cm.min⁻¹, embora ambas apresentaram resultados satisfatórios na remoção de cor aparente remanescente.

Apesar das dosagens selecionadas do produto comercial para os dois coagulantes serem a mesma (15 mg.L⁻¹), o policloreto de alumínio possui uma dosagem de 33% de alumínio superior ao sulfato de alumínio. Estes dados

foram calculados com base nos laudos de análise dos produtos fornecidos pela CESAN. Além do custo mais elevado do PAC, isto impactaria significativamente na geração de lodo e, consequentemente, acarretaria maiores custos para tratamento e disposição final dos resíduos gerados.

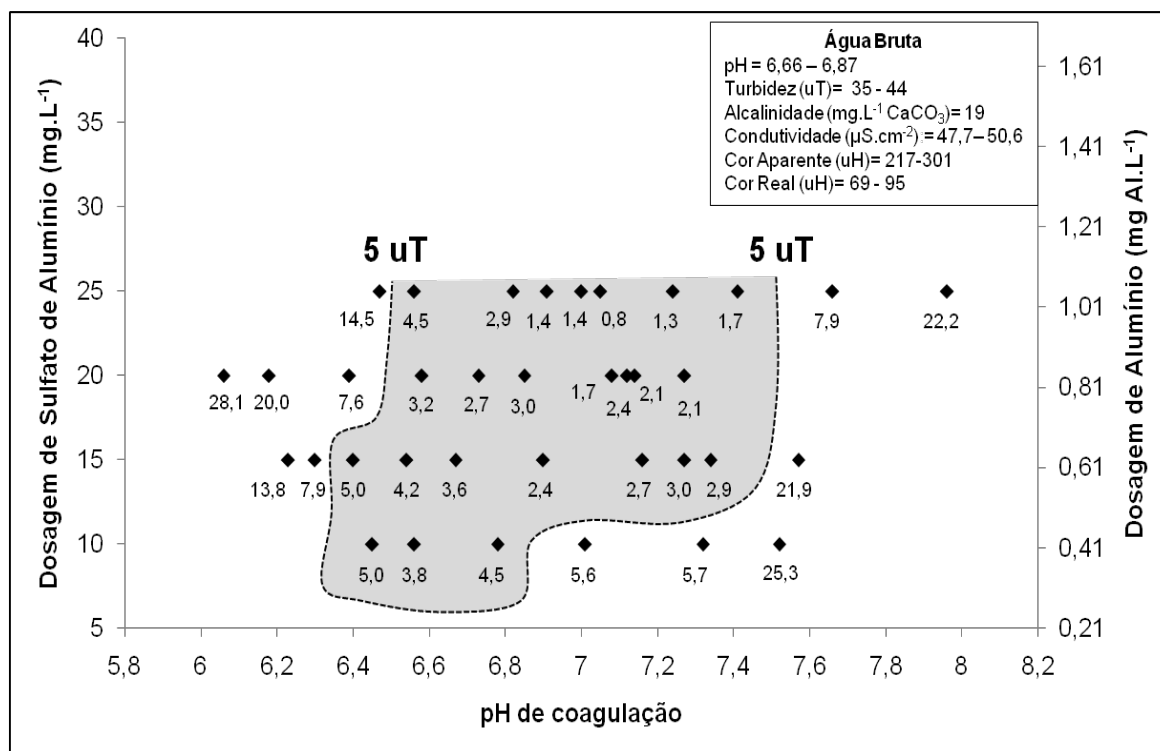


Figura 6: Diagrama de coagulação da turbidez, com Sulfato de Alumínio, do rio Santa Maria da Vitória, para água bruta com turbidez média. Parâmetros dos ensaios: Mistura rápida: $G = 800 \text{ s}^{-1}$ e $t = 20 \text{ s}$; Floculação: $F = 10 \text{ s}^{-1}$ e $t = 30 \text{ min}$; Sedimentação: $V_s = 1,0 \text{ cm.min}^{-1}$.

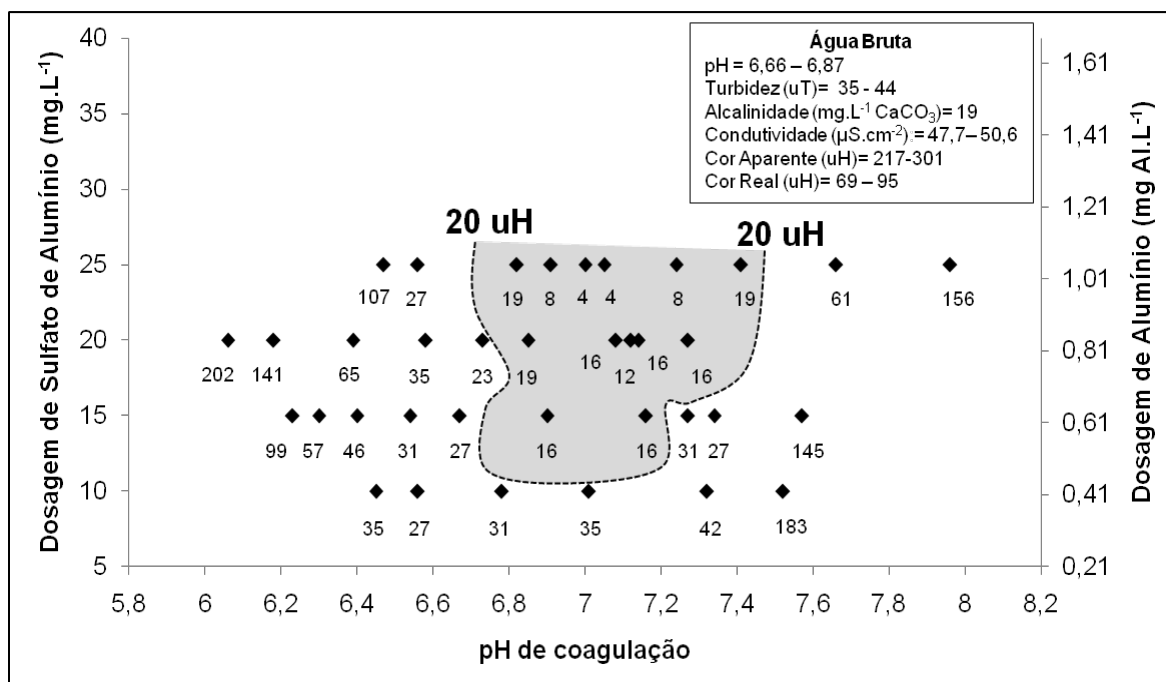


Figura 7: Diagrama de coagulação da cor aparente, com Sulfato de Alumínio, do rio Santa Maria da Vitória, para água bruta com turbidez média. Parâmetros dos ensaios: Mistura rápida: $G = 800 \text{ s}^{-1}$ e $t = 20 \text{ s}$; Floculação: $F = 10 \text{ s}^{-1}$ e $t = 30 \text{ min}$; Sedimentação: $V_s = 2,0 \text{ cm.min}^{-1}$.

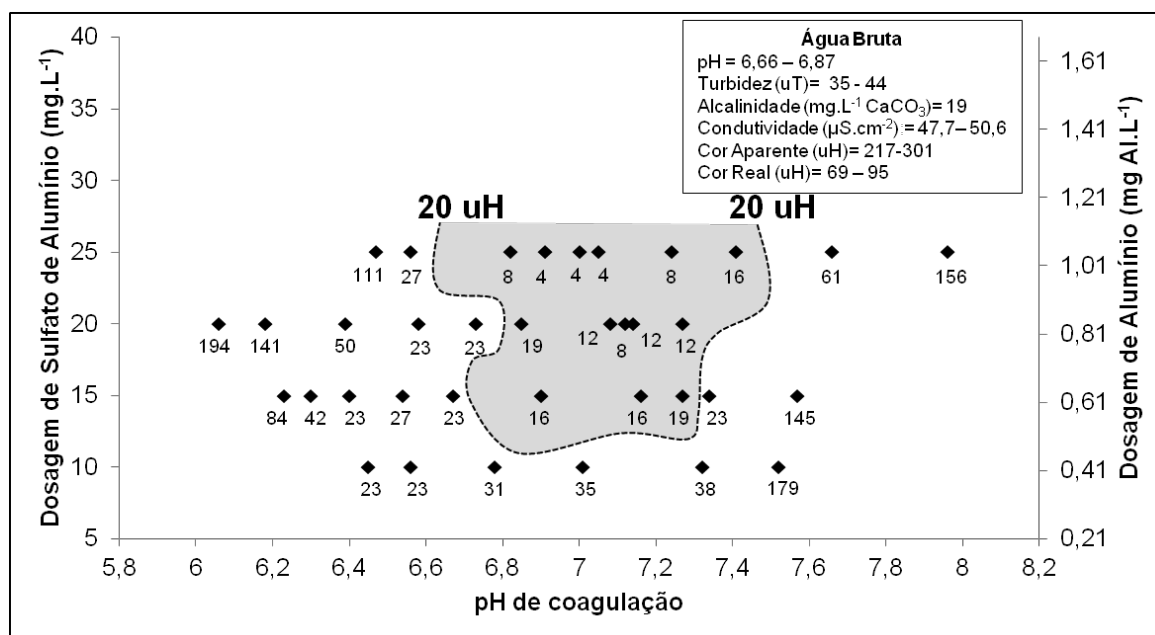


Figura 8: Diagrama de coagulação da cor aparente, com Sulfato de Alumínio, do rio Santa Maria da Vitória, para água bruta com turbidez média. Parâmetros dos ensaios: Mistura rápida: $G = 800 \text{ s}^{-1}$ e $t = 20 \text{ s}$; Floculação: $F = 10 \text{ s}^{-1}$ e $t = 30 \text{ min}$; Sedimentação: $V_s = 1,0 \text{ cm.min}^{-1}$.

Condição II

A segunda condição para a construção dos diagramas de coagulação foi de turbidez entre 10-11 uT e cor aparente de 84 uH – Condição II, utilizando como coagulante o sulfato de alumínio para duas velocidades de sedimentação ($2,0$ e $1,0 \text{ cm.min}^{-1}$). Nesta condição, o coagulante policloreto de alumínio não foi avaliada, pois o sulfato de alumínio possui menor custo de aplicação e operação e através dos diagramas anteriores observou-se que este coagulante foi eficiente para o tratamento da água de estudo. Além disto, o policloreto de alumínio tem um prazo de validade menor (três meses) quando comparado ao sulfato de alumínio (dois anos), devido à perda de suas propriedades com o tempo, e se enquadra na classificação de produtos perigosos, sendo classificado como corrosivo, o que agrega mais custo ao seu transporte, armazenamento e cuidados ao meio ambiente e segurança do trabalho.

As Figuras 9, 10, 11 e 12 representam os diagramas de coagulação para água bruta com turbidez baixa, utilizando o sulfato de alumínio como coagulante.

Através da análise dos diagramas de coagulação de turbidez (Figura 9 e 10) e cor aparente (Figura 11 e 12), verifica-se que a dosagem de sulfato de alumínio para a remoção de turbidez e cor remanescente é superior a 15 mg.L^{-1} em uma faixa de pH de 6,80 a 7,40. A condição de 10 mg.L^{-1} de sulfato de alumínio pode ser considerada eficiente para a remoção de turbidez, mas não apresentou resultados satisfatórios na remoção de cor aparente com velocidade de sedimentação de 2 cm.min^{-1} , que é a condição que mais se assemelha à Instalação Piloto.

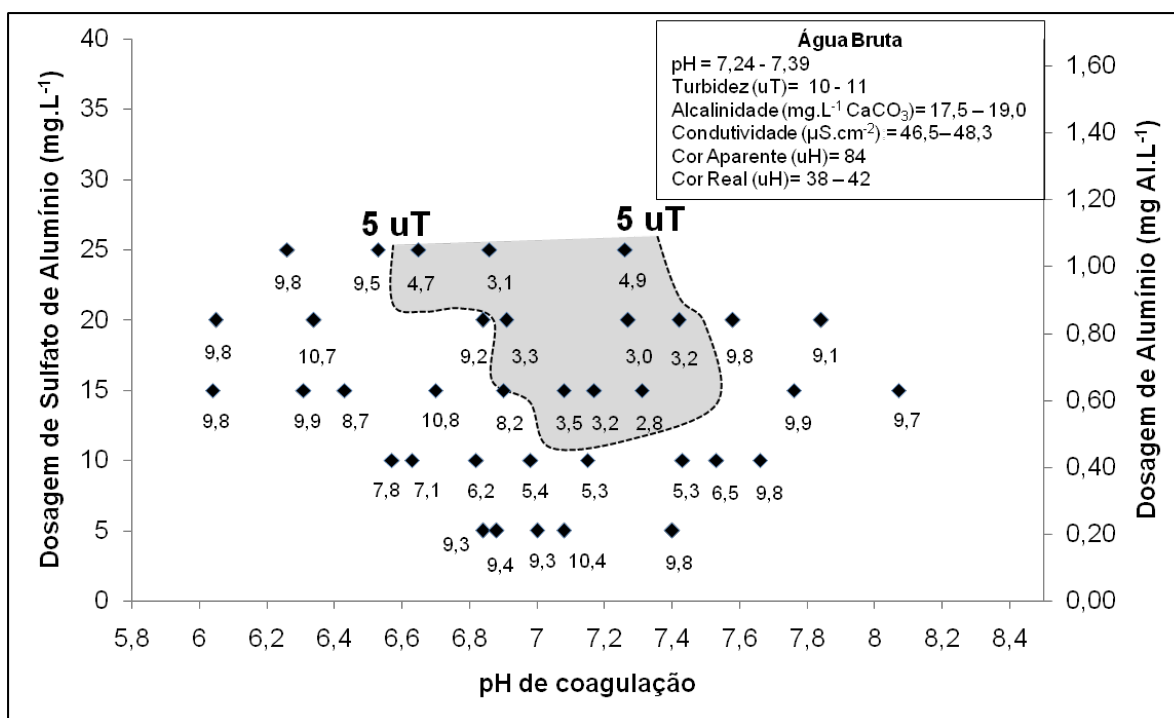


Figura 9: Diagrama de coagulação da turbidez, com Sulfato de Alumínio, do rio Santa Maria da Vitória, para água bruta com turbidez baixa. Parâmetros dos ensaios: Mistura rápida: $G = 800 \text{ s}^{-1}$ e $t = 20 \text{ s}$; Floculação: $F = 10 \text{ s}^{-1}$ e $T = 30 \text{ min}$; Sedimentação: $V_s = 2,0 \text{ cm.min}^{-1}$.

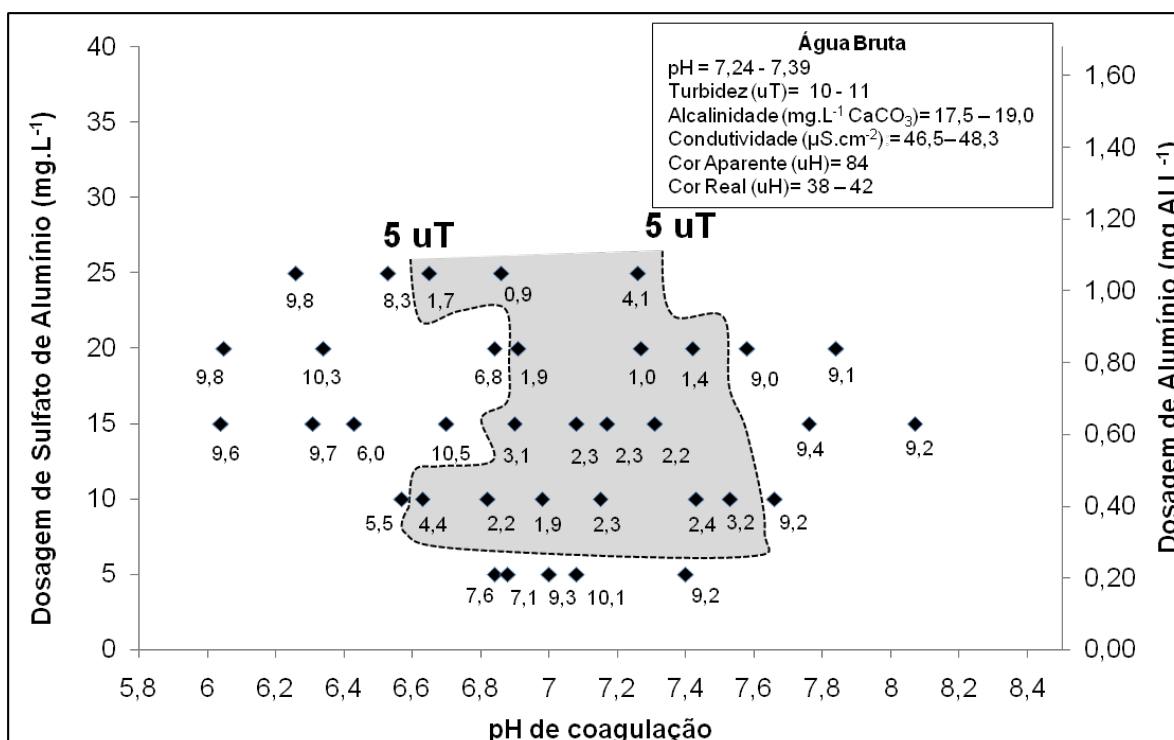


Figura 10: Diagrama de coagulação da turbidez, com Sulfato de Alumínio, do rio Santa Maria da Vitória, para água bruta com turbidez baixa. Parâmetros dos ensaios: Mistura rápida: $G = 800 \text{ s}^{-1}$ e $t = 20 \text{ s}$; Floculação: $F = 10 \text{ s}^{-1}$ e $T = 30 \text{ min}$; Sedimentação: $V_s = 1,0 \text{ cm.min}^{-1}$.

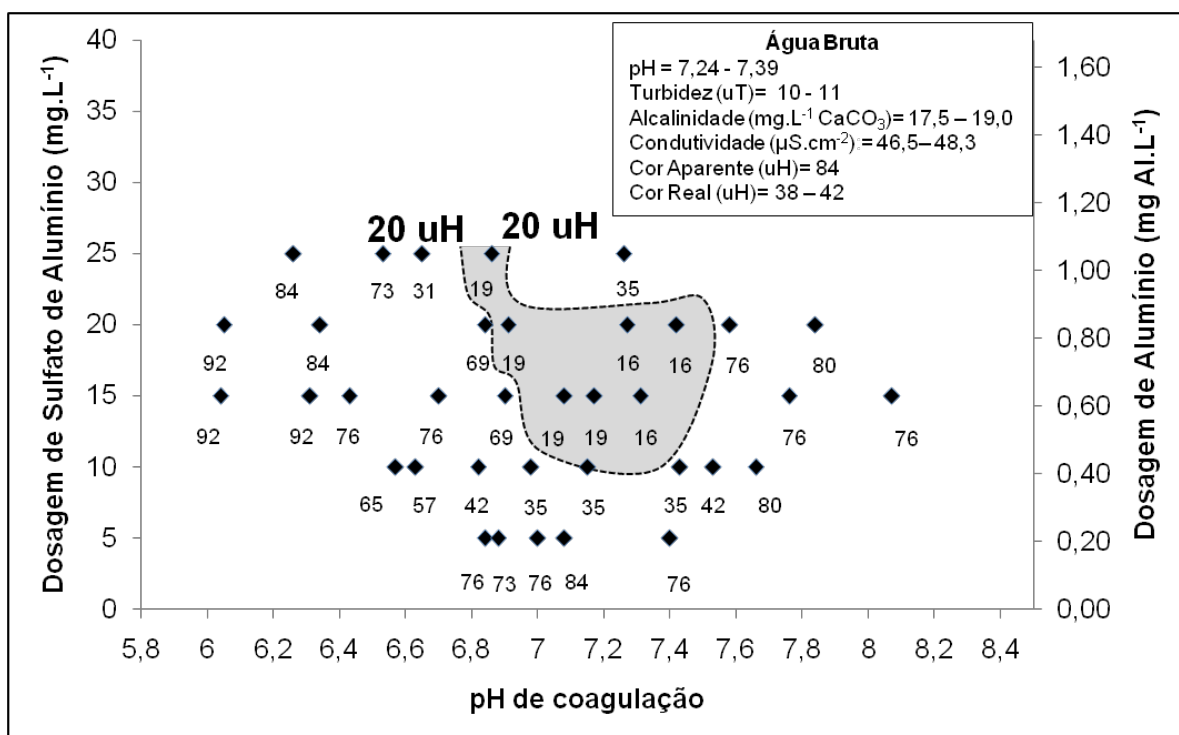


Figura 11: Diagrama de coagulação da cor aparente, com Sulfato de Alumínio, do rio Santa Maria da Vitória, para água bruta com turbidez baixa. Parâmetros dos ensaios: Mistura rápida: $G = 800 \text{ s}^{-1}$ e $t = 20 \text{ s}$; Floculação: $F = 10 \text{ s}^{-1}$ e $T = 30 \text{ min}$; Sedimentação: $V_s = 2,0 \text{ cm.min}^{-1}$.

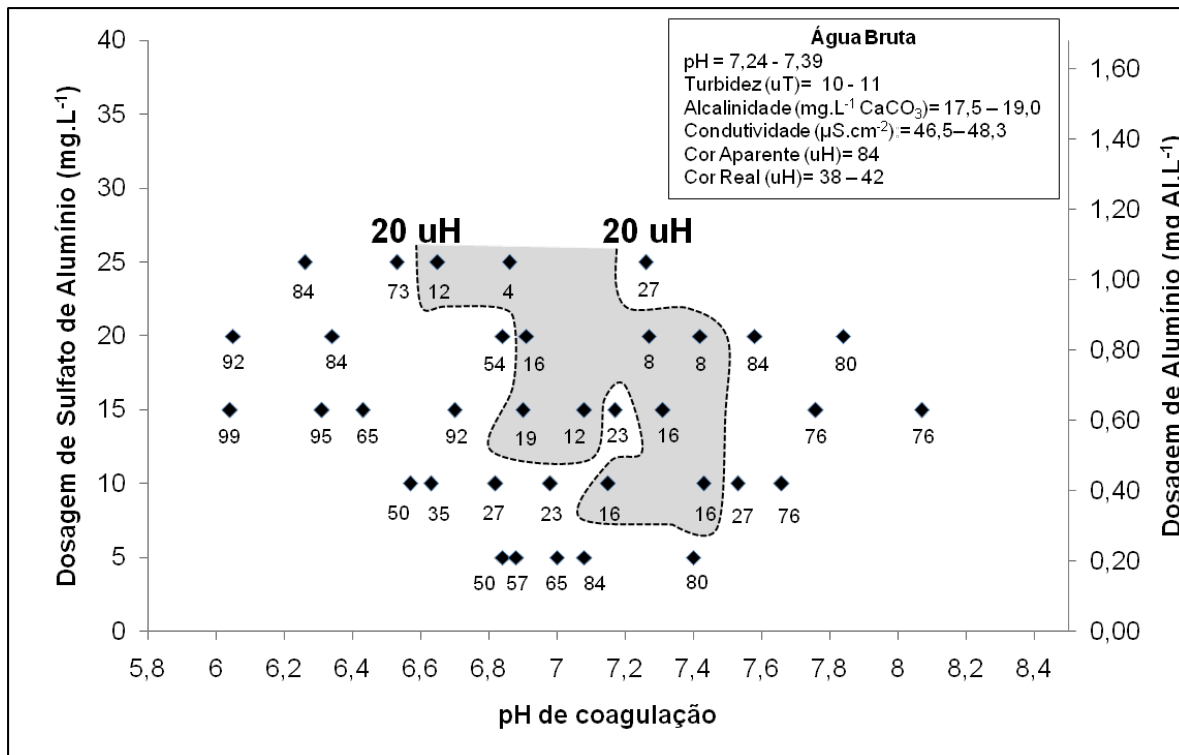


Figura 12. Diagrama de coagulação da cor aparente, com Sulfato de Alumínio, do rio Santa Maria da Vitória, para água bruta com turbidez baixa. Parâmetros dos ensaios: Mistura rápida: $G = 800 \text{ s}^{-1}$ e $t = 20 \text{ s}$; Floculação: $F = 10 \text{ s}^{-1}$ e $T = 30 \text{ min}$; Sedimentação: $V_s = 1,0 \text{ cm.min}^{-1}$.

CONCLUSÕES

O diagrama de coagulação é uma ferramenta importante para definir as regiões eficientes de coagulação para as quais se tem turbidez e cor remanescente, após floculação e sedimentação, condizente com as desejáveis para que a filtração funcione apropriadamente. Desta forma, com base no trabalho realizado concluiu-se que:

Ambos os coagulantes foram eficientes na remoção de turbidez e cor aparente do manancial de estudo na Condição I. Comparando os diagramas de coagulação para os coagulantes estudados, verificou-se que nem sempre grandes dosagens proporcionam grande remoção de turbidez;

O sulfato de alumínio apresenta menor custo de aplicação para se obter a mesma turbidez remanescente da água decantada deste manancial para as duas velocidades de sedimentação avaliadas;

Com o uso do coagulante policloreto de alumínio, a remoção de cor média acontece em uma ampla faixa de pH de coagulação, enquanto que quando comparado ao sulfato, este remove em uma faixa menor de pH;

O policloreto de alumínio forneceu sobrenadante de aproximadamente a mesma turbidez para as velocidades de sedimentação estudadas;

A utilização do PAC neste manancial será viável somente quando o sulfato de alumínio não apresentar-se eficiente na remoção de cor e turbidez da água de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUILAR, M. I. et al. Nutrient removal and sludge production in the coagulation flocculation process. *Water Research*, v. 36, p. 2910-2919, 2002.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st. ed. Washington, 2005.
3. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 14 dez. 2011. Seção 1. p. 39-46.
4. CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.
5. CORAL, L. A. Remoção de cianobactérias e cianotoxinas em águas de abastecimento pela associação de flotação por ar dissolvido e nanofiltração. 2009. 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
6. DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A. & CENTURIONE FILHO, P. L. *Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água*. São Carlos: Editora Rima, 2002, 237p.
7. DI BERNARDO, L.; DI DANTAS, A. D. & VOLTAN, P. E. N. *Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água*. São Carlos: LDiBe, 2011, 454p.
8. EDZWALD, J.K. (ed.) *Water quality & treatment – A handbook on drinking water*. 6ª ed. USA: American Water Works Association and McGraw-Hill, 2011, 1429p.
9. FERRARI, T. N.; JULIO, M. & 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, 2011.
10. PAVELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. 2001. 216p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
11. SRINIVASAN, P. T. & VIRARAGHAVAN, T. Characterization and concentration profile of aluminium during drinking water-treatment. *Water SA*, v. 28, n. 1, p. 99-106, 2002.
12. YE, C. et al. Alkalinity effect of coagulation with polyaluminum chlorides: role of electrostatic patch. *Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng. Aspects*, v. 294, p. 163-173, 2007.