# III-005 - MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA TRATADA E AUMENTO DA CAPACIDADE DE ETAS ATRAVÉS DA ESCOLHA ADEQUADA DE COAGULANTES E AUXILIARES, EM ÁGUAS COM ALCALINIDADE ALTA (estudo de caso)

**Elizabeth R. Halfeld da Costa(1)**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Consultora da COPASA-MG. Doutoranda em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

**Endereço(1):** Rua Passa Tempo, 176 - Carmo-Sion - Belo Horizonte - MG - CEP: 30310-760 - Brasil - Tel: (31) 225-9518 - e-mail: [halfeld@sc.usp.br](mailto:halfeld@sc.usp.br)

## RESUMO

A maioria das estações de tratamento encontra-se trabalhando acima de sua capacidade e requerendo um aumento de vazão em função da demanda que aumenta dia após dia. Uma grande parte dessas estações utiliza tradicionalmente o sulfato de alumínio como coagulante primário e poucas vezes usam algum tipo de polímero como auxiliar de floculação. Na escolha desses produtos nem sempre a qualidade da água a ser tratada é levada em consideração. Procurando atender aos padrões de qualidade exigidos e a sobrecarga que muitas vezes é inevitável, observa-se que em cada caso haverá um coagulante e/ou um auxiliar de floculação mais adequado a essas situações. De posse de tal constatação, faz-se necessário que se investigue em laboratório por meio novas metodologias, os vários produtos que aplicados à água bruta possibilitam obter água tratada com qualidade, em quantidade satisfatória, visando sempre o menor custo.

Sendo assim, o presente trabalho vem relatar um estudo realizado em uma estação de tratamento de água projetada para a vazão nominal de 120 L/s porém, funcionando com 158 L/s, apresentando por esse motivo, água decantada com altos valores de tubidez e cor, o que sobrecarrega os filtros.

Os estudos realizados nessa estação resultaram não só a melhoria da qualidade da água decantada e filtrada como também possibilitou o aumento de sua capacidade com razoável economia dos produtos químicos que atuam na coagulação. A estação trata atualmente a vazão de até 280 L/s, mantendo a qualidade da água conforme os padrões exigidos pela portaria 36/GM, de 1990.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aumento de Capacidade, Melhoria da Qualidade, Água com Alcalinidade, Coagulante Adequado, Auxiliares de Floculação.

## INTRODUÇÃO

Muitas estações de tratamento de água brasileiras encontram-se ou trabalhando acima de sua capacidade ou produzindo água com qualidade insatisfatória. Procurando suprir a demanda sempre crescente de água, mantendo sua qualidade, defronta-se com a escassez de recursos. 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 em quantidade mantendo a qualidade e custos baixos.

O presente trabalho contém estudos realizados na estação de tratamento de água de Morrinhos, em Montes Claros/Minas Gerais, a qual se encontrava trabalhando acima de sua capacidade de projeto, produzindo água decantada e filtrada com indesejáveis valores de turbidez, cor.

Para melhor entendimento da importância deste trabalho é preciso que se conscientize de que a água, como tudo na natureza, contém suas singularidades e deve, por isso, ser conhecida e tratada de maneira específica.

Assim, qualquer projeto, ampliação ou aumento na capacidade de estações de tratamento de água pode produzir resultados mais eficientes e econômicos quando precedidos de estudos de tratabilidade da água em questão, por meio da seleção de coagulantes e auxiliares de floculação adequados.

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 como coagulante primário (produto utilizado na maior parte das estações). Posteriormente, investigou-se o cloreto férrico como coagulante primário. Os polímeros naturais, como auxiliares de floculação, foram investi­gados em conjunto com os dois coagulantes. Na segunda etapa, baseando-se nos resul­tados obtidos na primeira, foram aplicados na estação os coagulantes e auxiliares de floculação estudados, levando-se em conta os parâmetros físicos e químicos investigados em laboratório.

Dos estudos realizados em laboratório e na estação de tratamento, concluiu-se que a seleção adequada de produtos químicos pode proporcionar não só a melhoria da qualidade da água, como também o aumento de vazão da mesma, sem que sejam necessárias paralisações prolongadas ou reformas onerosas.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG).

### MATERIAIS E MÉTODOS

A seleção de produtos químicos, numa estação de tratamento, em conjunto com a otimização em laboratório dos parâmetros físicos de mistura rápida, floculação e de­cantação podem proporcionar a melhoria da qualidade da água tratada e/ou o aumento de vazão. Para isso é importante o conhecimento da qualidade da água bruta nos últimos anos, das características das unidades existentes na estação, da vazão atual ou da vazão com a qual se pretende trabalhar.

Dos parâmetros de qualidade da água bruta, a turbidez, a cor aparente, o pH, a alcalinidade, a temperatura e os índices de coliformes totais e fecais são periodica­mente registrados na maioria das estações de tratamento de água.

De posse do valor da vazão atual e da pretendida e, em função do tipo e dimen­sões das unidades de coagulação, floculação, decantação e filtração, é possível programar en­saios de laboratório em aparelhos tipo “jar-test” com o propósito de se pesquisarem os gradientes de velocidade, tempos de agitação e velocidade de sedimentação mais con­venientes.

A ETA-Morrinhos é do tipo ciclo completo, possuindo: casa de química, com tanques de preparação de sulfato de alumínio e dosadores de cal por gravidade; vertedor Parshall, que funciona como medidor de vazão e misturador rápido; dois floculadores em paralelo, um mecanizado e outro hidráulico; duas unidades de decantação do tipo convencional; e cinco filtros rápidos por gravidade.

A água que abastece a ETA-Morrinhos possui, como característica particular, valores de pH e alcalinidade elevados.

As duas etapas de trabalho serão descritas a seguir:

### PRIMEIRA ETAPA: ESTUDOS EM LABORATÓRIO

Depois de se verificar o arranjo das unidades e suas dimensões, de posse dos valo­res das vazões atual e pretendida e após fazer uma análise dos relatórios operacionais, que continham os parâmetros de qualidade da água nos últimos quatro anos, realizaram-se ensaios de coagulação-floculação-decantação em aparelhos de “jar-test”, com dois tipos de água bruta coletadas a jusante da calha Parshall, em épocas de seca (água tipo A) e em épo­cas de chuva (água tipo B), representando as situações que ocorrem normalmente em cada estação do ano.

Na ETA-Morrinhos utilizava-se o sulfato de alumínio como coagulante primário porém a água que abastece a estação caracteriza-se por apresentar valores altos de pH e alcalinidade, indicando que o coagulante mais apropriado, em faixas de pH mais elevadas, seria ou cloreto férrico ou o sulfato de alumínio combinado com um ácido, porém a capacidade de tamponamento dessa água inviabilizou a última hipótese, uma vez que seria necessário adicionar grandes quantidades de ácido para baixar o pH da água bruta.

A programação dos ensaios foi realizada da seguinte forma: inicialmente, foram realizados ensaios com aproximadamente 1000 litros de água bruta, (água tipo A) coletados em época de seca, antes da calha Parshall e armazenados em piscina plástica, coberta com lona para evitar o desenvolvimento de algas, que poderiam alterar as características da água em estudo. Posteriormente foram realizados ensaios com 1000 litros de água, coletada em época de chuva e ar­mazenada da mesma forma, a essa água denominou-se água tipo B.

Medidas de turbidez , cor aparente, cor verdadeira, pH , alcalinidade total, dureza total, condutância específica, temperatura, foram feitas para caracterizar as águas em estudo.

A Tabela 1 contém as principais características das águas bruta estudadas. A água tipo A, coletada em época de seca e tipo B, em época de chuva.

**Tabela 1: Características das águas estudadas na ETA-Morrinhos.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tipo** | **Turbidez**  uT | **Cor**  **Aparente**  uH | **Cor**  **Verdadeira**  uH | **Dureza**  **total**  mg/L  Ca CO3 | **Alcalinidade**  **Total**  mg/L  Ca CO3 | **Condutância**  **Específica**  μmho/cm | **pH** | **T**  0C |
| **A** | 4 | 12,5 | 10 | 189 | 187 | 26 | 7,6 | 24 |
| **B** | 150 | 375 | 60 | 195 | 187 | 26 | 8,2 | 23 |

Em função das características das unidades que compõem a estação, alguns pa­râmetros para execução dos ensaios foram fixados, procurando-se simular de forma aproximada o que ocorre na mesma**.** Os ensaios realizados, nessa etapa, foram agrupados em três séries, de modo a facilitar a apresentação.

A primeira série teve como objetivo a elaboração dos diagramas de coagulação, apresentando a turbidez remanes­cente, em função da dosagem de coagulante e do pH de coagulação. No diagrama foram selecionados pares de dosagem de coagulante e pH de coagulação mais adequados para o estudo de polímeros.

Os parâmetros de coagulação, floculação e velocidade de sedimentação foram definidos em laboratório conforme as dimensões de cada unidade de coagulação, floculação e decantação.

Na segunda série, o objetivo foi o estudo de polímeros naturais (amidos de batata, mandioca e araruta), como auxiliares de floculação, a partir dos diagramas de coagulação do sulfato de alumínio e cloreto férrico. para três velocidades de sedimentação, na região de melhor remoção de cada diagrama.

Os parâmetros medidos foram pH de coagulação, turbidez remanescente e cor aparente rema­nescente da água decantada, para diferentes velocidades de sedimentação.

Os ensaios da terceira série consistiram em estudar os melhores tempos e gradientes de velocidade na floculação, nas dosagens mais adequadas de sulfato de alumínio ou cloreto férrico. para verificar a possibili­dade de se tratar maior vazão.

Os parâmetros medidos foram pH de coagulação, turbidez remanescente e cor aparente rema­nescente da água decantada, para diferentes tempos e gradientes de floculação.

### RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Devido à grande capacidade de tamponamento das águas que abastecem a estação, os diagramas de coagulação do sulfato de alumínio e de cloreto férrico ficaram restritos a uma faixa de pH de coagulação, praticamente inalterado, na região da varredura, pois a adição de coagulante, com ou sem acidulante, não promoveu diminuição do pH da água bruta. Em vista disso, não se julgou necessário a apresentação dos diagramas. Na tabela 2 estão contidos as melhores dosagens, o pH apropriado para coagulação e a melhor remoção de turbidez para cada coagulante primário em cada tipo de água.

**Tabela 2: Melhor dosagem, melhor remoção de turbidez, pH apropriado, para cada tipo de água e cada coagulante investigado.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Água tipo** | **Coagulante** | **Dosagem**  **mg/L** | **pH** | **Turbidez**  **remanescente (uT)** |
| A | Sulfato de Alumínio | 14 | 7,6 | 4,2 |
| A | Cloreto Férrico | 10 | 7,8 | 1,4 |
| B | Sulfato de Alumínio | 22 | 7,9 | 28 |
| B | Cloreto Férrico | 22 | 7,7 | 2,8 |

As figuras 1 e 2 contêm resultados comparativos, obtidos em ensaios, da eficiência do cloreto férrico em relação ao sulfato de alumínio (produto normalmente utilizado na ETA).



Figura 1: Turbidez remanescente ou cor aparente remanescente em função da dosagem de coagulante-Água tipo A, ETA-Morrinhos.



Figura 2: Turbidez ou cor aparente remanescente em função da dosagem de coagulante-Água tipo B, ETA-Morrinhos.

Através das figura 1 e 2 fica claro que a eficiência de remoção com a utilização do cloreto férrico é maior do que a de sulfato de alumínio para ambas as águas.

Em relação aos ensaios da serie 2, constatou-se que os resultados obtidos, com qualquer um dos amidos, em conjunto com cada coagulante nas velocidades de sedimentação investigadas, eram bem parecidos entre si, apresentando assim a mesma eficiência. Verificou-se também que a dosagem mais econômica dos amidos ficou em torno de 1 mg/L.

A associação do coagulante mais eficiente (cloreto férrico) a qualquer amido como auxiliar aumentou a eficiência de remoção para velocidades de sedimentação maiores. Nos ensaios de laboratório ficou constatado que a utilização conjunta de amido e cloreto férrico pode permitir um aumento na taxa de escoamento superficial dos decantadores. Porém a utilização do amido na ETA-Morrinhos não pareceu prioritária devido aos bons resultados conseguidos apenas com o cloreto férrico.

A utilização dos amidos, em conjunto com o sulfato de alumínio, não apresentou a mesma eficiência de remoção, obtida com a utilização dos mesmos com o cloreto férrico.

Nos ensaios da série 3 foi constatado que o tempo de floculação poderia ser reduzido em até 15 minutos. Os gradientes de velocidade foram mantidos fixos uma vez que um dos floculadores existente era do tipo hidráulico.

### SEGUNDA ETAPA: APLICAÇÃO NA ESTAÇÃO

Os resultados obtidos, em laboratório, permitiram concluir que coagulantes e polímeros, adequadamente aplicados, poderiam levar a resultados melhores na qualidade de água tratada, se comparados ao uso apenas de sul­fato de alumínio, produto normalmente aplicado na estação.

Dessa forma, testou-se os melhores resultados, obtidos em laboratório procurando assim aplicar, dentro do possível, as condições favoráveis estudadas em laboratório.

Através dos resultados obtidos com o cloreto férrico com ou sem polímeros na primeira etapa concluiu-se que esses produziram efeitos melhores de qualidade de água tratada se comparados ao uso apenas de sulfato de alumínio.

Testou-se, então, o cloreto férrico e o amido na estação, tentando simular, dentro do possível, as condições favoráveis estudadas em laboratório. Durante o período de teste, o controle diário de laboratório informou que a qualidade da água bruta assemelhava-se ao da água típica de períodos mais secos (turbidez de 6 uT, cor aparente de 12,5 uH, pH = 8,0 e alcalinidade total de 184 mg/L de Ca CO3).

Otimizou-se em “jar test” a dosagem de cloreto férrico levando-se em conta os estudos realizados anteriormente em laboratório. Preparou-se o polímero natural (amido de mandioca) a frio utilizando-se soda cáustica na concentração de 0,3 %, aproximadamente. Utilizou-se um tanque improvisado para preparar e reservar a solução de cloreto férrico.

A vazão da estação durante os testes era de aproximadamente 258 l/s.

Os testes na estação tiveram a duração de aproximadamente 12 horas e, nesse período, foram medidos de hora em hora, a turbidez, a cor aparente e o pH da água bruta decantada e filtrada. Durante um período de quatro horas aplicou-se também o amido de mandioca em conjunto com o cloreto férrico.

### RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Na tabela 3 estão contidas informações sobre os testes na estação. A aplicação dos coagulantes, amido de mandioca como auxiliar de floculação. Nessa tabela notar-se que com o cloreto férrico pode-se obter maior eficiência em dosagem mais econômica que a do sulfato de alumínio.

**Tabela 3: Resultados obtidos na ETA-Morrinhos, em Montes Claros.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **REGISTROS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM 20 DE JULHO DE 1993** | | | | | | | | | | |
| Hora | vazão | Água bruta | | | Água decantada | | | Água filtrada | | coag.primário |
|  | (L/s) | turb. | cor ap | pH | turb. | cor ap | pH | turb. | cor ap | (mg/L) |
| 8(a) | 258 | 5,0 | 12,5 | 7,9 | 4,1 | 12,5 | 7,9 | 1,50 | 10,0 | Al2SO4=14 |
| 9 | 258 | 5,0 | 12,5 | 7,9 | 3,9 | 12,5 | 7,9 | 1,60 | 10,0 | Al2SO4=14 |
| 10 | 258 | 5,0 | 12,5 | 7,9 | 3,6 | 12,5 | 7,9 | 1,50 | 10,0 | Al2SO4=14 |
| 11(b) | 258 | 5,0 | 12,5 | 8,0 | 4,0 | 12,5 | 7,9 | 1,40 | 10,0 | Fe Cl3 =10 |
| 12 | 258 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 3,7 | 12,5 | 7,9 | 1,30 | 10,0 | Fe Cl3=10 |
| 13 | 258 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 2,9 | 12,5 | 7,9 | 0,90 | 5,0 | Fe Cl3=10 |
| 14 | 258 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 2,5 | 12,5 | 8,0 | 0,45 | 5,0 | Fe Cl3=10 |
| 15 | 260 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 1,8 | 12,5 | 8,0 | 0,35 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 16(c) | 260 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 1,3 | 10,0 | 8,0 | 0,35 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 17 | 260 | 6,0 | 12,5 | 7,9 | 1,1 | 10,0 | 8,0 | 0,35 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 18 | 260 | 7,0 | 12,5 | 7,9 | 1,0 | 10,0 | 8,0 | 0,35 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 19(d) | 260 | 7,0 | 12,5 | 7,9 | 0,9 | 10,0 | 8,0 | 0,35 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 20(e) | 260 | 7,0 | 12,5 | 7,9 | 0,8 | 10,0 | 8,0 | 0,40 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 21 | 260 | 6,0 | 12,5 | 7,9 | 0,7 | 10,0 | 7,9 | 0,40 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 22 | 260 | 6,0 | 12,5 | 7,9 | 0,8 | 10,0 | 7,9 | 0,35 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 23 | 260 | 6,0 | 12,5 | 7,9 | 0,7 | 10,0 | 7,9 | 0,35 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| **REGISTROS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM 21 DE JULHO DE 1993** | | | | | | | | | | |
| 0 | 260 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 0,8 | 10,0 | 7,9 | 0,35 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 1 | 260 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 1,0 | 10,0 | 7,9 | 0,45 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 2 | 260 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 1,0 | 10,0 | 8,0 | 0,40 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 3(f) | 260 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 0,9 | 10,0 | 8,0 | 0,40 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 4 | 260 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 1,0 | 10,0 | 8,0 | 0,54 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 5 | 260 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 1,2 | 10,0 | 8,0 | 0,45 | 2,5 | Fe Cl3=10 |
| 6 | 258 | 6,0 | 12,5 | 8,0 | 1,5 | 12,5 | 8,0 | 0,60 | 5,0 | Al2SO4=14 |
| 7 | 258 | 6,0 | 12,5 | 7,9 | 2,5 | 12,5 | 8,0 | 0,80 | 7,5 | Al2SO4=14 |
| 8 | 258 | 6,0 | 12,5 | 7,9 | 3,6 | 12,5 | 8,0 | 1,20 | 10,0 | Al2SO4=14 |
| Observações: | | | | | | | | | | |
| (a) Início do teste, aplicação de sulfato de alumínio | | | | | | | | | | |
| (b) Início da aplicação do cloreto férrico | | | | | | | | | | |
| (c)Aplicação conjunta do cloreto férrico e amido. | | | | | | | | | | |
| (d)Interrupção da aplicação de amido. | | | | | | | | | | |
| (e)Aplicação apenas do cloreto férrico. | | | | | | | | | | |
| (f)Retorno da aplicação de sulfato de alumínio | | | | | | | | | | |

As figuras 3 e 4 auxiliam o entendimento da tabela 3.



**Figura 3: Turbidez em função do tempo durante teste na ETA-Morrinhos.**



Figura 4: Cor aparente em função do tempo ETA-Morrinhos.

### CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Na ETA Morrinhos, o cloreto férrico pode ser mais eficiente do que o sulfato de alumínio devido aos elevados valores de alcalinidade e pH;

A dosagem mais apropriada de cloreto férrico é 1,4 vezes menor do que a de sulfato de alumínio, quando a água possui turbidez baixa (água tipo A), o que é mais comum na maior parte do ano, na estação;

É possível melhorar a qualidade de água tratada tanto para a vazão de 258 L/s utilizando o cloreto férrico como coagulante primário, fazendo-se pequenas adequações na ETA;

Em relação ao amido, concluiu-se que são bons os resultados de laboratório e de teste na ETA, no que diz respeito à qualidade da água decantada, porém no caso específico dessa estação sua utilização não foi considerada prioritária, uma vez que os resultados obtidos com o cloreto férrico atingiu os objetivos desejados.

Os custos das adaptações feitas para que a ETA trabalhe com o cloreto férrico foram pequenos se comparados ao preço da construção de novas unidades de decantação e floculação.

Na época em que foram realizados os estudos a prioridade básica era a melhoria da qualidade da água e não o aumento da capacidade da estação. Atualmente, a estação encontra-se trabalhando com o cloreto férrico tratando, surpreendentemente, a vazão de 280 L/s, ou seja, 22 L/s a mais do que trabalhava antes, mantendo a qualidade da água conforme os padrões exigidos pela Portaria 36/GM, de 1990.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA, E. R. H. Estudo de Polímeros Naturais como Auxiliares de Floculação com Base no Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio. São Carlos. 1992. Dissertação de Mes­trado. Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo 1992.
2. COSTA, E. R. H. Metodologia para o uso combinado de polímeros naturais como auxiliares de coagulação. XVII CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. 1993. Anais. Natal RN,1993.
3. COSTA, E. R. H. Aumento da capacidade de estações de tratamento de água através da seleção de coagulantes e auxiliares de floculação especiais, XVIII CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 1995. Anais. Salvador BA, 1995.
4. DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de tratamento de Água - V. I e II. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, Brasil, 1993.
5. DI BERNARDO, L. Comparação da Eficiência da Coagulação com Sulfato de Alumínio e com Cloreto Férrico - Estudo de Caso - VI SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1994. Anais. Florianópolis, 1994.
6. DI BERNARDO, L, Comunicação pessoal sobre Técnicas de Tratabilidade, 1993/1995.