
Active treatment of water with high turbidity generated by mining activities

Tratamento ativo de águas com elevada turbidez geradas pelas atividades minerárias

Received: 01-08-2024 | Accepted: 01-09-2024 | Published: 05-09-2024

Fabiolla Gomes Viana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2974-900X>
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
E-mail: fabiollla.viana@aluno.ufop.edu.br

Francielle Câmara Nogueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5912-011X>
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
E-mail: francielle.nogueira@ufop.edu.br

Carlos Alberto Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0510-0257>
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
E-mail: carlos.ii@ufop.edu.br

ABSTRACT

This study aims to propose the optimization of the process of removing turbidity from water from surface runoff from iron ore mining areas. To this end, an effluent with high turbidity, generated by ultrafine denim particles, was produced in the laboratory. In this study, the dosage of polyaluminum chloride, the influence of pH, as well as the impact of hydraulic parameters on the water clarification process were optimized. To this end, batches of tests were carried out in a jar test, in order to optimize all phases of the process, namely: coagulation, flocculation and sedimentation. It was found that for the proposed effluent the best dosage to be adopted is 50mg/L at a pH of 8.62. After optimizing the hydraulic parameters, a satisfactory result was obtained in terms of compliance with environmental legislation established by CONAMA. Turbidity removal greater than 99% was achieved at the end of the tests, with remaining turbidity values below 40UNT in accordance with current environmental guidelines.

Keywords: Turbidity; Polyaluminum Chloride; Hydraulic Parameters.

RESUMO

Este estudo tem por objetivo, propor a otimização do processo de remoção de turbidez de águas provenientes de escoamento superficial de áreas de lavra de minério de ferro. Para tal, produziu-se em laboratório uma água sintética com elevada turbidez, gerada por partículas ultrafinas de ganga. Água esta, cujas características são análogas as encontradas em minas em operação do quadrilátero ferrífero. Nesse estudo otimizou-se a dosagem do cloreto de polialumínio, a influência do pH, assim como o impacto dos parâmetros hidráulicos no processo de clarificação da água. Para tal foram realizadas bateladas de ensaios em um jar teste, a fim de otimizar todas as fases do processo, sendo essas: coagulação, floculação e sedimentação. Verificou-se que para a água proposta a melhor dosagem a ser adotada é a de 50mg/L em um pH de 8,62. Após a otimização dos parâmetros hidráulicos obteve-se um resultado satisfatório no que compete ao cumprimento da legislação ambiental estabelecida pelo CONAMA. Atingiu-se remoção de turbidez superior a 99% ao término dos ensaios, estando os valores de turbidez remanescentes inferiores a 40UNT, em conformidade com a diretriz ambiental vigente.

Palavras-chave: Turbidez; Cloreto de Polialumínio; Parâmetros Hidráulicos.

INTRODUÇÃO

O aumento crescente da demanda por recursos minerais tem impulsionado a atividade minerária, resultando em um significativo aumento na geração de efluentes por parte desse setor. Simultaneamente, o avanço da legislação ambiental tem implementado resoluções que estabelecem padrões de qualidade da água a serem seguidos. Diante desse cenário, torna-se essencial adotar procedimentos de tratamento adequados para essas águas, assegurando, assim, o lançamento seguro nos córregos, rios e lagos (Di Bernardo, 1993).

Um dos parâmetros de qualidade a ser controlado é a turbidez, que está diretamente relacionada à presença de partículas em suspensão na água (Di Bernardo, 1993). O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina que, para rios de classe 1, as águas devem apresentar no máximo 40UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez) para serem lançadas no meio ambiente (CONAMA, 2011).

Nesse contexto, a implementação de medidas de tratamento de água se faz necessária antes de seu lançamento nos corpos hídricos. Para redução a turbidez da água, geralmente são aplicados reagentes químicos, como os coagulantes e floculantes (Beli, 2010). Industrialmente, coagulantes inorgânicos, como o sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato férrico e aluminato de sódio, são amplamente aplicados; contudo, também é possível utilizar coagulantes orgânicos para remoção de turbidez. (Muller, 2008; Rozeno, 2019).

Um estudo realizado por Souza et al. (2022) comparou o desempenho do Cloreto Férrico e do Sulfato de Alumínio, ambos combinados com um floculante, para remover cor e turbidez de amostras de água do Rio Solimões. O cloreto férrico demonstrou melhores resultados na remoção de cor aparente e turbidez. A otimização do processo indicou uma dosagem eficaz de 21 mg/L de cloreto férrico (Fe_2Cl_3) e 0,2 mg/L de floculante, com pH mantido em 7.

Seneda, Garcia e dos Reis (2021) optaram por desenvolver um estudo comparativo entre o Sulfato de Alumínio e os PACs de alta (PAC-AB) e baixa (PAC-BB) basicidade. Ambos os PACs mostraram eficiência semelhante na remoção de turbidez (PAC-BB: $91,8 \pm 3,7\%$, PAC-AB: $91,5 \pm 1,1\%$), superando o desempenho do Sulfato de Alumínio ($82,2 \pm 6,4\%$).

Lemos, De Aguiar Filho e Cavallini (2021) também compararam coagulantes para remoção de turbidez em águas destinadas ao abastecimento público. O PAC (12mg/L)

apresentou melhor desempenho do que o SAF (15mg/L), com a adição de etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração.

O Cloreto de Polialumínio (PAC), por sua vez, é um sal pré-polimerizado de alumínio de caráter básico, com elevado peso molecular, destacando-se por gerar menor variação de pH no meio a ser tratado. Durante sua hidrólise, libera quantidades significativamente menores de ácido em comparação a outros coagulantes inorgânicos. Sua eficiência na remoção de partículas coloidais é aproximadamente 2,5 vezes superior aos sais de alumínio convencionais (Pavanelli, 2001; Schmidt, 2014). O PAC favorece a formação de flocos devido à maior concentração do elemento ativo (Al_2O_3) e sua estrutura molecular condensada com pontes de oxigênio entre átomos de alumínio (Pavanelli, 2001; Schoenhals, 2006; Muller, 2008).

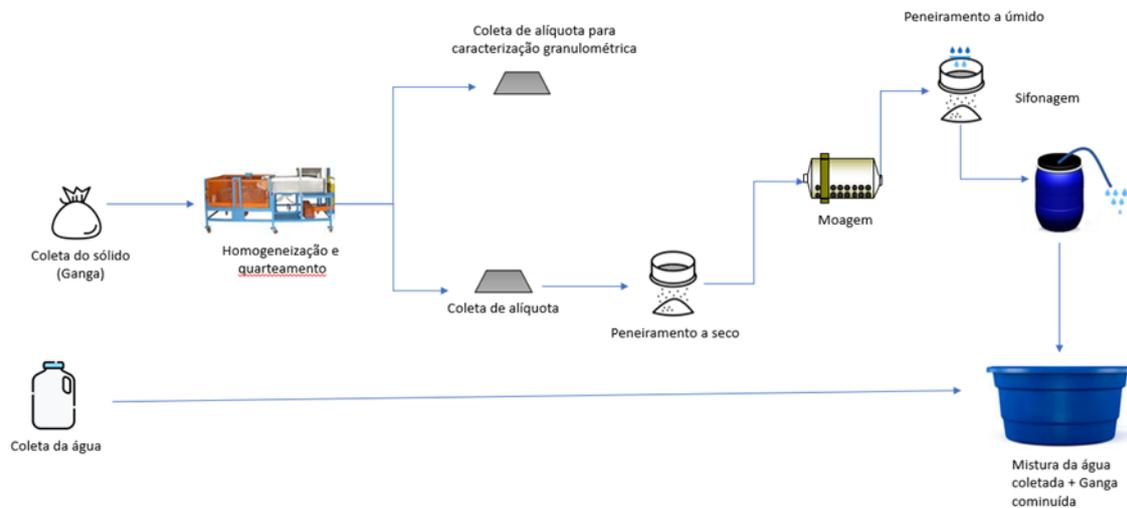
Apesar de avanços, a literatura ainda limita a compreensão das características do Cloreto de Polialumínio (PAC) e sua otimização no tratamento de água. Um estudo de Kamiwada, Andrade e Reis (2020) explorou a aplicação do PAC no tratamento de água, alcançando resultados promissores com dosagem superior a 30 mg/L em uma faixa de pH entre 7 e 9. A otimização de coagulação e floculação resultou em uma remoção de até 79% da turbidez.

Mediante as vantagens destacadas na literatura para o Cloreto de Polialumínio (PAC) e em resultados positivos de estudos anteriores que trataram águas com turbidez moderada, optou-se por testar sua eficácia na remoção de turbidez em águas com elevada turbidez, sinteticamente preparadas, representativas de regiões minerárias. O reagente proposto possui potencial de formação de flocos, por isso optou-se por testá-lo isoladamente, essa capacidade se dá em função do tamanho de suas macromoléculas. O uso de um único reagente reduz os custos com reagentes, além de minimiza a interação de aditivos químicos com a água tratada.

METODOLOGIA

Preparou-se uma água sintética com elevada turbidez para a condução dos experimentos. Essa foi obtida pela combinação de um material sólido proveniente do capeamento superficial de uma jazida mineral, juntamente com água coletada no Córrego Maquiné, localizado em Caeté-MG. Ambas as amostras foram coletadas no Quadrilátero Ferrífero, região na qual está planejada a implementação de uma lavra de minério de ferro. Os detalhes da metodologia empregada podem ser encontrados na Figura 1, apresentada abaixo.

Figura 1 – Fluxograma de preparação de água sintética com elevada turbidez



Fonte: Próprios autores (2023)

Inicialmente, as amostras do material sólido passaram por um processo de cominuição, a fim de que todas as partículas apresentassem granulometria inferior a 400 mesh (37 μ m). Em seguida, o material processado foi adicionado à água coletada até atingir valores de turbidez entre 1500 e 2000 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez).

Após a preparação da água sintética de elevada turbidez deu-se início aos ensaios com o objetivo de otimizar a dosagem de coagulante e os parâmetros hidráulicos aplicáveis ao tratamento. Foram realizados ensaios de bancada no Jarreste Laborestabille para cada ensaio foi realizado utilizando um volume de 2 L da água sintética, aquecida a 23°C.

A 1ª bateria de testes foi realizada com objetivo de determinar a faixa de dosagem do coagulante que resultaria em menores valores de turbidez remanescente. Nesses experimentos foram utilizando os parâmetros operacionais apresentados na Tabela 1, propostos por Di Bernardo (2011). Ressalta-se que foram testadas diferentes dosagens do coagulante (10,20,30,40,50,60 mg/L) obtidas a partir de uma solução de 10% de PAC.

Tabela 1 - Parâmetros operacionais utilizados nos experimentos

Coagulação		Floculação		Sedimentação
T _{mr} (s)	G _{mr} (s ⁻¹)	T _f (min)	G _f (s ⁻¹)	cm/min
5	1050	20	35	3,5

T_{mr} = tempo de mistura rápida; G_{mr} = gradiente de mistura rápida; T_f = tempo de floculação;

G_f = gradiente de floculação

Fonte – Di Bernardo (2011).

Em seguida realizou-se a segunda bateria de experimentos com o objetivo de correlacionar o intervalo de dosagem do Cloreto de Polialumínio que apresentou melhores resultados anteriormente com o pH do sistema.

A terceira bateria de testes, por sua vez, foi realizada com objetivo de otimizar os parâmetros hidráulicos associados a etapa de coagulação. Para tal, utilizou-se a metodologia proposta por Bergamin (2017). Inicialmente, a água sintética teve o pH ajustado em 8,6, utilizando hidróxido de sódio (10 g/L). Foram avaliados diferentes gradientes de mistura rápida e diferentes tempos de agitação.

Em seguida foram realizados ensaios a fim de otimizar a floculação, para tal foram testados diferentes gradientes de mistura lenta e tempos de floculação. Por fim avaliou-se a influência do tempo de sedimentação na turbidez residual da água após o processo de agregação, foram realizados experimentos variando os gradientes de sedimentação. Aplicou-se os parâmetros hidráulicos previamente estabelecidos nas etapas anterior.

Após a otimização dos parâmetros hidráulicos, foram conduzidos ensaios utilizando o PDA3000 para mensurar a agregação nos estágios de coagulação e floculação. A Figura 2 demonstra a montagem do experimento. Para esses ensaios, foi estabelecido um tempo de 90 segundos, pois após esse período foi observada a sedimentação das partículas floculadas.

Figura 2 – Ensaios de agregação



Fonte - Próprios autores (2023).]

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise química da água in natura

A amostra de água in natura possuía 1,37 UNT de turbidez, aderente ao limite de 40 UNT para rios classe 1 do CONAMA. A baixa alcalinidade (10,98 mg/L) indica limitada capacidade de tamponamento, amplificando mudanças abruptas de pH com o coagulante catiônico. O pH de 7,52 está dentro do estipulado pelo CONAMA (6 a 9). A análise de sólidos totais revela baixa presença (0,002 mg/L) de substâncias orgânicas e

inorgânicas. O Potencial de Oxirredução (ORP) de -36,8 mV sugere capacidade antioxidante, e a condutividade elétrica de 17,3 μscm^{-1} indica baixa quantidade de íons. Com 7,9 mg/L de oxigênio dissolvido, a água atende ao mínimo de 6 mg/L, indicando boa qualidade e saturação adequada.

Análise granulométrica

A análise granulométrica indicou que a amostra de ganga é majoritariamente composta por granulometria grosseira, com 58,24% do material retido em uma abertura de 4,699 mm, necessitando de adequação granulométrica. A análise química confirmou a predominância de ferro (47,12%), além de quantidades significativas de óxido de alumínio (8,02%) e sílica (1,84%), como esperado no material sólido proveniente do decapeamento da jazida de ferro.

Difração de Raio X e fluorescência

Observou-se a partir dos ensaios de difração de raios X que as amostras analisadas incluem gibbsita, hematita, goethita, magnesita e quartzo. Utilizando o método Rietveld para a semiquantificação de fases, constatou-se que a composição predominante da amostra era de hematita (37,7%) e goethita (33,2%). Vale ressaltar que a amostra apresenta uma quantidade significativa de gibbsita (23,2%).

Ensaio de dosagem do Cloreto de Polialumínio

Variando as dosagens de Cloreto de Polialumínio de 10 a 60mg/L, observou-se que as dosagens mais eficazes foram 40 e 50 mg/L de PAC, alcançando remoções de turbidez de 95,15% e 96,34%, respectivamente. No entanto, esses resultados, embora superem 95% de remoção, resultaram em turbidez de 78,8 e 61,35 NTU, respectivamente, acima do limite de 40 NTU estabelecido pelo CONAMA.

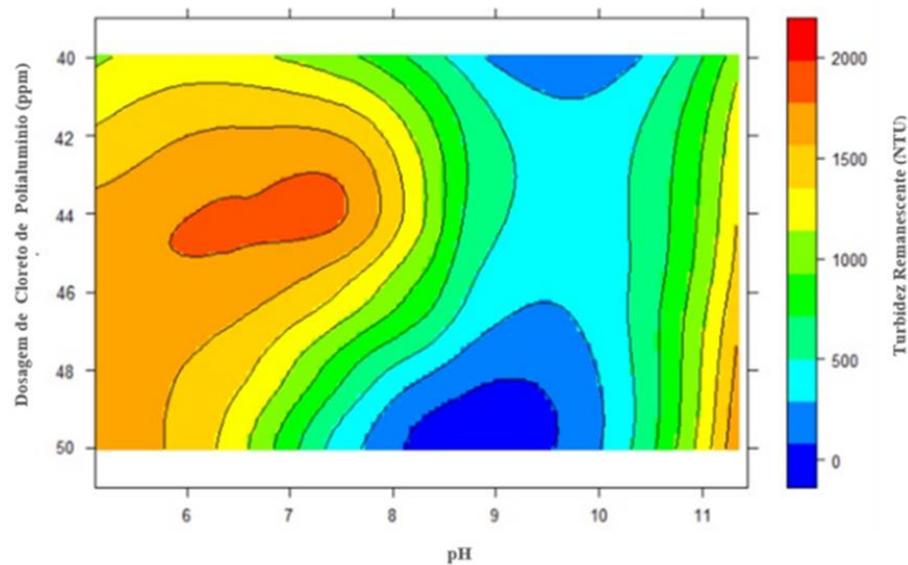
Bergamin (2017) testou em seu estudo as dosagens de 22,5; 25; 27,5; 30;32,5 mg/L, essas foram escolhidas por serem comumente aplicadas em estações de tratamento de água, combinadas a uma faixa de pH de 6,4 a 9. A combinação da dosagem de 30 mg/L e um pH 8,29 proporcionou uma turbidez remanescente de 2,76UNT, partindo de uma turbidez inicial de 14 ± 1 UNT.

Diagrama de Coagulação

A partir dos resultados obtidos na primeira batelada de ensaios, visando apenas a dosagem a ser aplicada, optou-se por verificar a influência do pH no processo de

coagulação. Ressalta-se que o coagulante aplicado apresenta caráter levemente ácido e que a água utilizada na preparação da água sintética possuía baixa alcalinidade, o que se traduz em uma facilidade de modificação de seu pH, ambas características favorecem mudanças de pH no sistema, tornando necessário o estudo de tal. Os valores obtidos nessa bateria de ensaios foram organizados em um diagrama de coagulação, Figura 3, este por sua vez relaciona a dosagem de PAC, com pH e turbidez remanescente obtida. A construção de tal diagrama evidencia as possíveis combinações de tais parâmetros que geram uma faixa de turbidez remanente

Figura 3 – Diagrama de coagulação



Fonte: Próprios autores (2023)

Dentre as dosagens testadas observou-se que o par, dosagem e pH, 50mg/L e 8,62 representaram os melhores resultados encontrados, esse garantiu uma clarificação satisfatória do meio, conforme a Figura 4. Nota-se a grande importância do pH, visto que pequenas variações desse parâmetro resultam em baixas significativas da eficiência do tratamento.

Figura 4 - Água sintética tratada com 50mg/L de PAC



Fonte: Próprios autores (2023)

O estudo de Kamiwada, Andrade e Reis (2020) investigou o uso do Policloreto de Alumínio (PAC) no tratamento de água com baixa turbidez. Inicialmente, foi utilizada uma água com baixa turbidez (25 UNT), gerada pela adição de partículas de caulinita. Os parâmetros hidráulicos incluíram um gradiente de velocidade média de mistura rápida de 1.200 s^{-1} , tempo de mistura rápida de 30s, gradiente de velocidade média de 20 s^{-1} e tempo de floculação de 20 min. A dosagem ideal foi de 30 mg/L de PAC, com pH de 7, resultando em uma turbidez remanescente de 2,0 UNT. Essa combinação foi considerada a melhor devido à obtenção de baixa turbidez com menor consumo de matéria-prima.

Otimização de parâmetros hidráulicos

Após a determinação do par ideal de dosagem de Cloreto de Polialumínio e pH, propôs-se a estudar a influência dos parâmetros hidráulicos em cada estágio do processo de clarificação da água. A otimização se deu por bateladas sequenciais de cada fase, essas serão apresentadas a seguir.

Otimização da coagulação

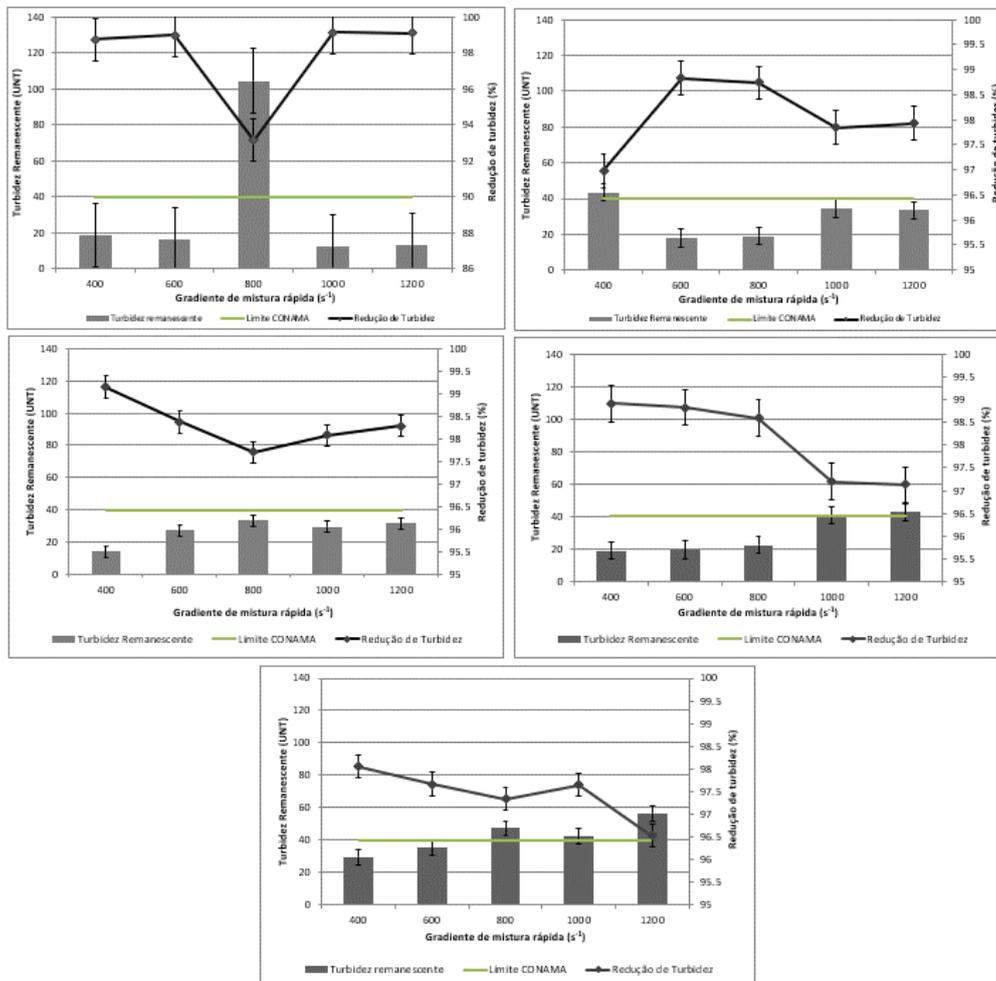
Conforme a metodologia proposta por Bergamin (2017), foram realizados os ensaios fim de otimizar o gradiente de mistura rápida bem como o tempo a ser aplicado no estágio de coagulação. Ressalta-se que a dosagem do coagulante e o pH usados nessa etapa foram os selecionados nos testes anteriores, sendo esses 50 mg/L e pH 8,6, respectivamente.

Na Figura 5, observa-se que para 5 segundos (item a), o gradiente de 600 s^{-1} alcançou a melhor remoção de turbidez, atingindo 99,13%, com uma turbidez remanescente de 11,9 UNT, abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA. Com 10 segundos, o gradiente de 1000 s^{-1} resultou em 98,83% de remoção, com turbidez remanescente de 18,05 UNT (item b). Para 15 segundos, o gradiente de 400 s^{-1} reduziu a turbidez em 99,15%, com turbidez remanescente de 14 UNT (item c). Além disso, o gradiente de 400 s^{-1} mostrou eficácia para 20 e 25 segundos, com remoções de turbidez de 98,91% e 98,04%, resultando em turbidezes remanescentes de 17,75 e 29,5 UNT.

Assim sendo, salienta-se que os gradientes de 400 e 1000 s^{-1} apresentaram os melhores percentuais de redução de turbidez para tempos de mistura rápida de 15 e 5 segundos respectivamente. Embora o maior percentual de redução de turbidez, tenha sido obtido na combinação de um gradiente de mistura rápida de 1000 s^{-1} por 5s, optou-se por dar continuidade aos ensaios aplicando um gradiente de 400 s^{-1} por 15s, tal escolha está

relacionada com a aplicabilidade industrial da metodologia estabelecida, visto que um menor gradiente de mistura rápida propicia um menor consumo energético para o processo, sendo necessário aplicar uma menor turbulência no sistema.

Figura 5 - Ensaio de Coagulação



Fonte: Próprios autores (2024)

Otimização da floculação

Após a determinação do tempo de coagulação e do gradiente de mistura rápida, foram realizados os ensaios a fim de otimização os parâmetros hidráulicos da floculação. A partir do item *a*, *b* e *c* da Figura 6, percebe-se que o gradiente de floculação de 50 s^{-1} para os respectivos tempos de floculação 5, 10 e 20 minutos mostrou-se mais eficiente quanto a remoção de turbidez, tais ensaios promoveram turbidez remanescentes de 98,16%, 98,16% e 98,73% respectivamente. Ambos os testes promoveram turbidez remanescentes inferiores a 40 NTU.

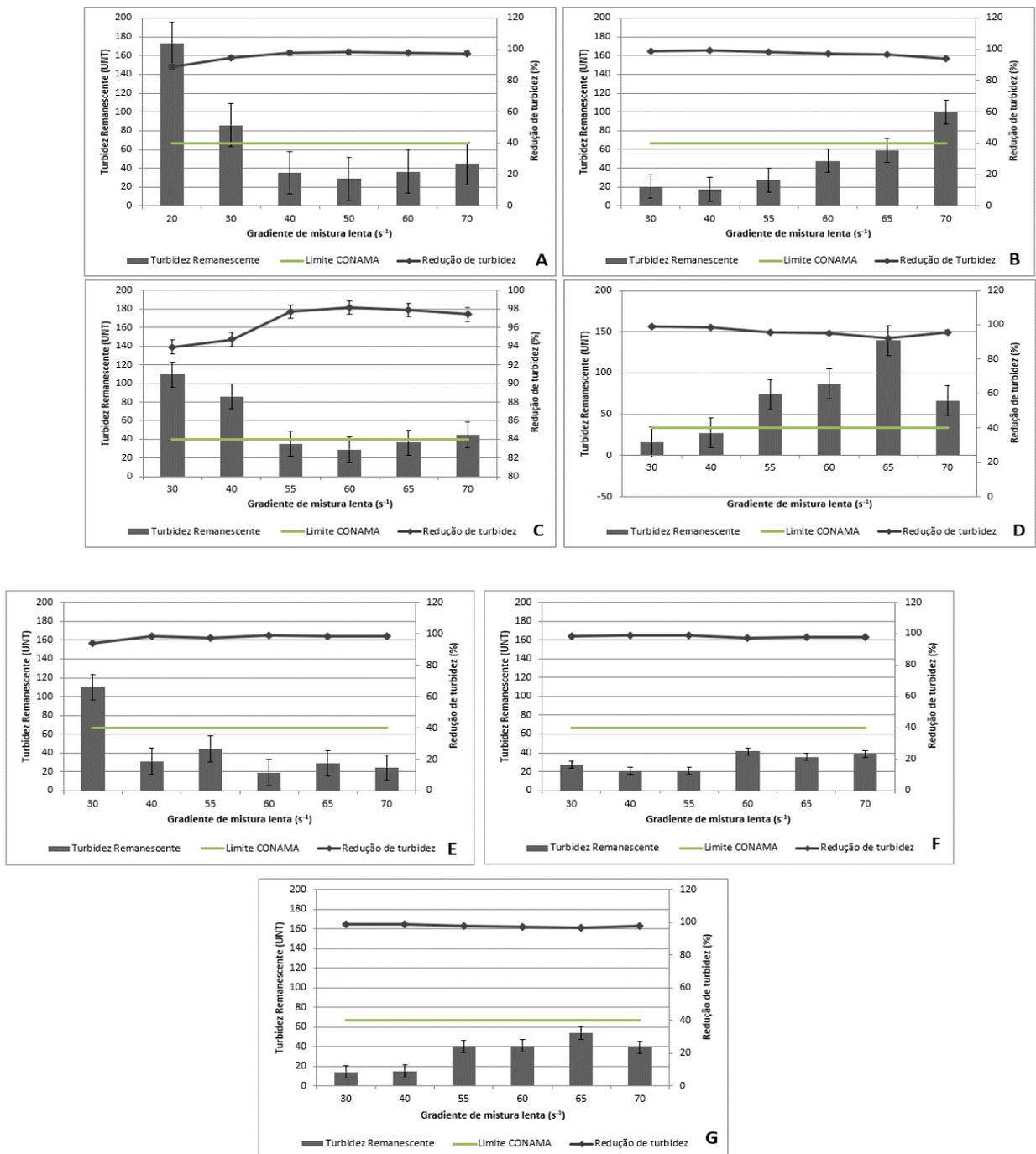
Ao estabelecer o tempo de floculação de 30 minutos observou-se, item *d* da Figura 6, que aplicando os gradientes de floculação de 30 e 40 s⁻¹ promoveu-se valores próximos de turbidez remanescente, 20,88 e 20,55 UNT respectivamente. Tais resultados foram obtidos partindo de turbidez iniciais de 1655 UNT, equivalendo a uma remoção de 98,74% e 98,76, ambos resultados se demonstram eficazes a proposta desse estudo.

Analisando o tempo de floculação 40 minutos, observa-se que gradiente de floculação de 20s⁻¹ possibilitou o menor valor de remanescente obtido na batelada de ensaios de floculação. Atingiu-se uma turbidez remanescente de 14,4 UNT, partindo de uma turbidez inicial de 1650 UNT, correspondendo a 99,13% de remoção de turbidez, tais valores foram apresentados no item *e* da Figura 6.

Ao admitir o gradiente de floculação 30 s⁻¹, referente a etapa de floculação, verificou-se uma maior remoção de turbidez quando o meio foi mantido em turbulência por um período de 50 min, nesta condição observa-se a promoção de uma turbidez remanescente de 17,75 UNT, partindo de uma turbidez inicial de 1760 UNT, conforme o item *f* da Figura 6.

Ao fixar o tempo de floculação em 60 minutos e aplicar um gradiente de mistura lenta de 20 s⁻¹, obteve-se uma turbidez remanescente de 16,15 UNT. Este valor é comparável aos resultados obtidos com diferentes combinações gradiente de floculação (20 s⁻¹, 40 min e 30 s⁻¹, 50 min). Optou-se por dar continuidade aos estudos utilizando uma velocidade de agitação de 30 rpm por 40 minutos, devido à menor demanda de energia e ao intervalo de tempo mais curto para alcançar resultados satisfatórios.

Figura 7 - Ensaios de Floculação



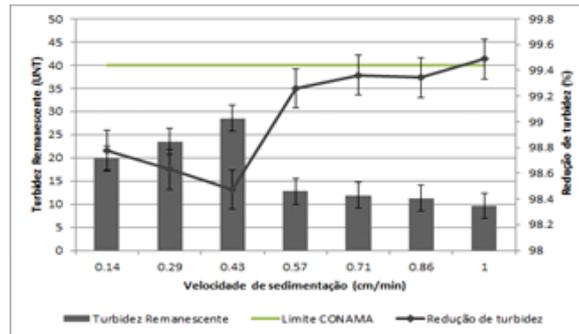
Fonte: Próprios autores (2024)

Bergamin (2017) otimizou parâmetros hidráulicos para coagulação e floculação, usando Cloreto de Polialumínio na remoção de turbidez. A dosagem e pH ideais foram 30 mg/L e ≈ 8,30, respectivamente, com tempo de mistura rápida de 25 segundos e gradiente de coagulação de 800 s⁻¹. Na floculação, a velocidade de 20 s⁻¹ mostrou-se mais eficaz, com tempos de 30 e 45 minutos resultando em turbidez remanescente de 2,12 e 1,77 UNT, partindo de uma turbidez inicial de 14 ± 1 UNT.

Otimização da sedimentação

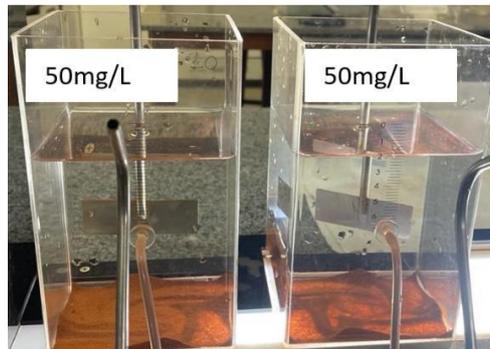
Conforme demonstrado na Figura 8, observa-se que a condição que apresentou menor turbidez remanescente foi aquela em que se aplicou uma velocidade de sedimentação de 1cm/min, possibilitando a obtenção de uma turbidez remanescente de 9,6 NTU, essa condição promoveu uma clarificação louvável, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 8 - Otimização da sedimentação



Fonte: Própria autora (2024)

Figura 9 - Água clarificada após tratamento



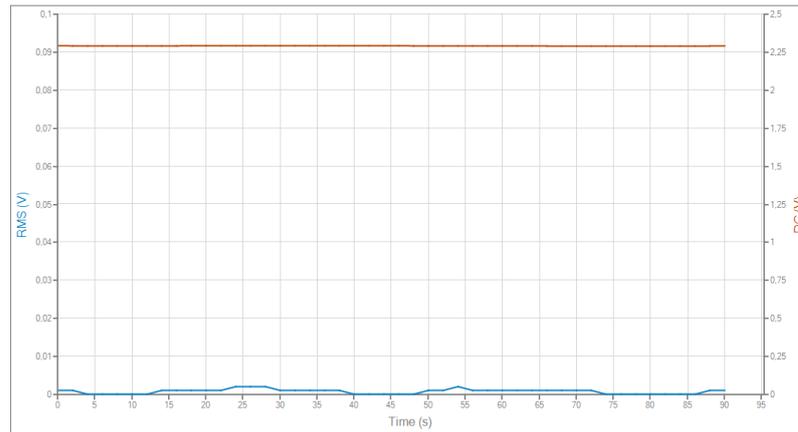
Fonte: Próprios autores (2022)

Ressalta-se que a partir de 4 minutos de sedimentação, os valores de turbidez remanescente foram consistentemente semelhantes, sendo a turbidez média desses ensaios de 11,38 UNT. Ressalta-se que todas as velocidades de sedimentação testadas geraram valores de turbidez remanescentes dentro do limite de 40NTU, estabelecido pelo CONAMA. Essa condição é resultado da otimização das etapas que antecedem a sedimentação, sendo sua eficiência independente das variações de velocidades de sedimentação, comprova-se assim, que a metodologia é replicável independentemente da sazonalidade.

Ensaio de agregação

Realizou-se ensaios com o PDA 3000 a fim de medir a agregação das partículas durante as etapas de coagulação e floculação. Observa-se na Figura 10, que durante a coagulação os valores lidos durante 90s de análise estavam próximos a zero. Essa condição resalta que durante a coagulação a atuação do reagente restringe-se a redução de repulsão eletrostática entre as partículas em suspensão.

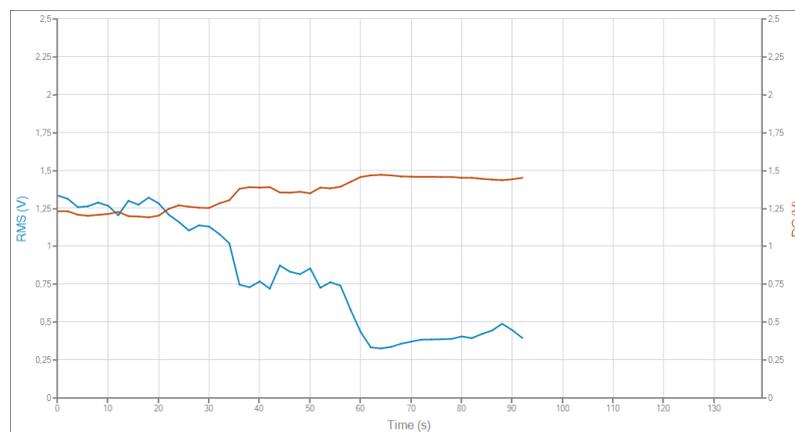
Figura 10 – Avaliação da agregação durante a coagulação



Fonte: Próprios autores (2023)

Em contrapartida, durante o estágio de floculação verifica-se valores de RMS de 1,35 V, o gráfico apresentado na Figura 11, revela um perfil decrescente de agregação, visto que ao passar do tempo a agregação diminui, sendo esse decorrente do início da sedimentação das partículas agregadas. Ressalta-se que a curva DC, indica a passagem de corrente ao longo de todo experimento.

Figura 11 – Avaliação da agregação durante a floculação



Fonte: Próprios autores (2023)

CONCLUSÕES

Constatou-se nesse estudo que a dosagem de 50 mg/L PAC se revela suficiente para a adequação do efluente testado aos padrões de qualidade estabelecidos pelo CONAMA. Esta dosagem demonstrou um notável potencial na remoção de turbidez, especialmente quando aplicada em condições hidráulicas otimizadas. Ao término dos ensaios, foram alcançados valores de remoção de turbidez superiores a 99%, resultando em níveis de turbidez remanescentes inferiores a 40 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez), em conformidade com as diretrizes ambientais atuais.

Este estudo sublinha a crucial importância dos tratamentos de águas residuárias provenientes da mineração para assegurar que estas estejam em total consonância com os padrões de qualidade estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Dado que a mineração é uma atividade industrial essencial para a sociedade, ressalta-se a necessidade premente de desenvolver continuamente novas técnicas que impulsionem a sustentabilidade crescente da atividade minerária.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Ouro Preto, CAPES, CNPQ, FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

BELI, E.; HUSSAR, G. J.; HUSSAR, D. H. **Redução de DQO e turbidez de efluente de uma unidade suinícola empregando Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) seguido de filtro biológico e filtro de areia.** Engenharia Ambiental, v. 7, n. 1, p. 5-19, 2010.

BERGAMIN, D. P. **Tratabilidade da água do Rio Gualaxo do Sul em Mariana-MG-parâmetros otimizados para projetos de unidades para coagulação e floculação,** Trabalho de conclusão de cursos da Engenharia ambiental da UFOP, 62 p. 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução No 430,** de 13 de Maio de 2011. Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes. 2011.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** Volumes I e II. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 481p. Rio de Janeiro, 1993.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Carlos: LDiBe, 2011.

DE SOUZA, C. D. R. et al. **Análise comparativa do cloreto férrico e sulfato de alumínio utilizado no processo de tratamento da água do Rio Solimões.** Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 2, p. 13056-13070, 2022.

KAMIWADA, W. Y.; ANDRADE, P. V.; REIS, A. G. **Emprego do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade de água de abastecimento via coagulação, floculação e sedimentação.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 25, p. 667-676, 2020.

LEMOS, K. S.; DE AGUIAR FILHO, S. Q.; CAVALLINI, G. S. **Avaliação comparativa entre os coagulantes sulfato de alumínio ferroso e policloreto de alumínio para tratamento de água: estudo de viabilidade econômica.** DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, v. 7, n. 1, p. 109-119, 2020.

MULLER, J. B. **Avaliação da remoção da toxicidade da ciclofosfamida através de tratamento físico-químico de efluentes.** 2008.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** Mestrado da Pós-graduação Hidraulica e Saneamento da Universidade de São Carlos, 216 p., 2001.

ROZENO, N. S. et al. **Investigação do uso de floculantes de fontes renováveis para o tratamento físico-químico de efluente industrial de processamento de milho.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. 76 p. 2019.

SENEDA, R. M.; GARCIA, G. F.; REIS, A. G. **Cinética da floculação: um estudo comparativo no uso do cloreto de polialumínio com alta e baixa basicidade e o sulfato de alumínio.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, p. 283-290, 2021.

SCHOENHALS, M. **Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola.** Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina. 98 p. 2006.