

Análise comparativa do cloreto férrico e sulfato de alumínio utilizado no processo de tratamento da água do Rio Solimões

Comparative analysis of ferric chloride and aluminum sulfate used in the Solimões River water treatment process

DOI:10.34117/bjdv8n2-305

Recebimento dos originais: 03/01/2022

Aceitação para publicação: 19/02/2022

Cristiane Daliassi Ramos de Souza

Doutorado

Instituição de atuação atual: Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Endereço: Av Rodrigo Otávio, 6200. Campus Universitário da UFAM, Setor Norte, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química. 690777-000 Manaus-AM

E-mail: cdaliassi@ufam.edu.br

Iago Bruno Pacheco Ferreira

Graduação

Instituição de atuação atual: Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Endereço: Av Rodrigo Otávio, 6200. Campus universitário da UFAM, Setor Norte, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química. 690777-000 Manaus-AM

E-mail: iagopacheco.ib@gmail.com

Ocileide Custódio da Silva

Doutorado

Instituição de atuação atual: Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Endereço Av Rodrigo Otávio, 6200. Campus universitário da UFAM, Setor Norte, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química. 690777-000. Manaus-AM

E-mail: ocileide@ufam.edu.br

Gabriela de Mattos Veroneze

Doutorado

Instituição de atuação atual: Universidade Federal do Amazonas (UFAM)
Endereço completo: Av Rodrigo Otávio, 6200. Campus universitário da UFAM, Setor Norte, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia de Produção. 690777-000. Manaus-AM

E-mail: gveroneze@ufam.edu.br

RESUMO

As variáveis do processo de coagulação têm sido bastante investigadas devido esta etapa ser bastante importante no tratamento de água. O presente estudo teve por objetivo comparar o desempenho de dois coagulantes na remoção de turbidez e cor aparente,

utilizando a água do Rio Solimões, para determinar as condições ótimas do processo de coagulação/floculação. O estudo foi realizado em escala laboratorial utilizando *Jar Test*. Foram testados os coagulantes, cloreto férrico e sulfato de alumínio, com diferentes dosagens, assim como para o floculante, ambos com sistema utilizando o pH da água bruta. Aplicou-se um planejamento fatorial completo 2^3 . Os resultados mostraram que o cloreto férrico obteve melhor desempenho para remoção de cor aparente e turbidez, apresentando conformidade com a norma vigente. Para finalizar, a otimização do sistema através da comparação dos cubos de respostas mostrou como condições ideais a utilização do cloreto férrico com 21 ppm e o floculante a 0,3 ppm, para uma melhor redução da turbidez; e para uma eficiente redução da cor aparente a utilização da mesma concentração do coagulante (21 ppm), porém com 0,2 ppm do floculante.

Palavras-chave: Rio Solimões, Coagulante químico, *Jar Test*, Planejamento fatorial, Otimização.

ABSTRACT

The variables of the coagulation process have been investigated because this stage is very important in water treatment. The present study aimed to compare the performance of two coagulants in the removal of turbidity and apparent color, using water from Solimões River, to determine the optimal conditions of the coagulation/flocculation process. The study was carried out on a laboratory scale using *Jar Test*. The coagulants, ferric chloride and aluminum sulfate, were tested with different dosages, as well as for the flocculant, both with a system using the pH of the raw water. A 2^3 full factorial design was applied. The results showed that ferric chloride obtained the best performance for removal of apparent color and turbidity, presenting compliance with the current standard. Finally, the optimization of the system through the comparison of the response cubes showed that the ideal conditions were the use of ferric chloride at 21 ppm and flocculant at 0.3 ppm, for a better reduction of turbidity; and for an efficient reduction of apparent color the use of the same concentration of coagulant (21 ppm), but with 0.2 ppm of flocculant.

Keywords: Solimões River, Chemical Coagulant, *Jar Test*, Factorial Planning, Optimization.

1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica é largamente conhecida por sua grande disponibilidade hídrica que é comumente aproveitada pela população ribeirinha para diversos fins, sendo utilizada muitas vezes sem tratamento adequado. A bacia Amazônica possui uma extensa área com cerca 40% localizada no Brasil, estendendo-se para países como Peru, Colômbia, Venezuela, Guiana e Equador. Seu principal rio é o Amazonas, que nasce na cordilheira dos Andes sendo chamado de rio Marañon, e quando entra no Brasil é intitulado de rio Solimões. No entorno de Manaus ao encontrar as águas do **rio Negro** passa a chamar-se rio Amazonas até desaguar no oceano Atlântico. O rio Solimões é classificado como sendo de águas brancas, rico em material particulado em suspensão e

levemente alcalinas. A cidade do Careiro da Várzea é a menor do Estado do Amazonas em área territorial, situada na margem direita do Rio Solimões (Constantine et al., 2014; Richey et al, 2002).

A dinâmica do rio Solimões, na Amazônia brasileira apresenta variações de descargas que transportam fragmentos de sedimentos móveis, constituídos principalmente por depósitos argilosos, arenito ferruginoso, material resultante da sua formação estrutural. É classificado como rio de águas brancas, onde carregam sedimentos e os depositam nas extensas áreas alagadas da Amazônia, durante as enchentes, compondo os solos férteis de várzeas. Apresenta em suas margens sedimentação e erosão intensas e simultâneas, ocorrendo nas margens, em sentido horizontal. Observa-se também o fenômeno chamado de “terras caídas”, que formam “ilhas flutuantes”, com abundante material em suspensão, de coloração marrom-amarelada e são relativamente ricas em concentrações de sais minerais com uma grande percentagem de metais alcalinos terrosos, com pH próximo da neutralidade, são relativamente ricas em Ca^{2+} e HCO_3^- , o que as classificam como carbonatadas (Queiroz & Tomaz Neto., 2019; Mendez, 2018).

A água é considerada um bem de consumo que deve ser compartilhado por todos, pelo fato de ser indispensável para a sobrevivência dos organismos vivos, além de ser importante para a manutenção do clima na Terra (Sun et al., 2016). Entretanto, as águas superficiais raramente estão livres de contaminação, mesmo nas bacias de mananciais com pouca ou nenhuma presença humana. Em seu estado natural, a água apresenta características físicas, químicas, biológicas e microbiológicas. Portanto, para promover o abastecimento de água, é de suma importância a potabilidade destes recursos hídricos. No Brasil, de acordo com Richter (2009) e Libânio (2010), o processo de tratamento de água mas comum é o tratamento convencional, que envolve unidades de mistura rápida, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

A coagulação compreende o processo de desestabilização das partículas através da adição de um produto químico, o coagulante, sob intensa agitação. Estes produtos químicos reagem com o particulado sólido, desestabilizando-os e diminuindo as forças que os mantém afastados. Esta etapa possui grande importância no decorrer do processo, uma vez que as demais fases dependem de uma coagulação eficiente (Von Sperling, 2014). Os fatores interferentes neste sistema são o tipo de coagulante a ser utilizado, a alcalinidade e o pH da água bruta. Silva & Noda (2016) justificam que a escolha do coagulante adequado será baseada nas características da água bruta, nos custos e na configuração da Estação de Tratamento de Água (ETA). No entanto, salienta-se que a

adaptabilidade da água ao produto pode ser fundamental, visto que o coagulante poderá não surtir efeito algum se não forem respeitadas as peculiaridades do manancial.

Os produtos mais utilizados no processo de tratamento de água como coagulantes são os sais de alumínio, que apresentam maior eficiência quando o pH da suspensão encontra-se entre 5,0 e 8,0. Porém, sua utilização no processo gera lodo que contém alumínio, elemento tóxico para plantas e microrganismos (Silva et al., 2020). Outra opção muito utilizada como coagulante são os sais de ferro, pois reagem de forma a neutralizar cargas negativas dos coloides e proporcionam a formação de hidróxidos insolúveis de ferro. Segundo Lee et al. (2014), à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, podem contribuir no tratamento pois atuam sobre ampla faixa de pH. Na coagulação, a formação de flocos é mais rápida, devido ao alto peso molecular desse elemento, comparado ao do alumínio; porém, os flocos são mais densos, e o tempo de sedimentação é reduzido (Pavanelli, 2001).

O coagulante sulfato de alumínio, assim como o cloreto férrico apresentam eficiência consolidada para o tratamento de água, entretanto, a realização de pesquisas, para definir qual o mais adequado, torna-se necessária para a otimização de um sistema, pois informações sobre as condições de operação do processo ainda são insuficientes. Diante disso, a utilização do coagulante em sua dosagem ótima é fundamental para a diminuição do aspecto turvo da água, obtendo relação intrínseca com os parâmetros básicos de turbidez e cor aparente, evitando assim os excessos e desperdícios de reagentes, que possam gerar maior produção de resíduos e gastos no processo de tratamento da água.

Portanto, como a coagulação é uma das etapas iniciais do processo de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), torna-se imprescindível a avaliação da performance dos principais tipos de coagulantes utilizados no processo, que em sua maioria são sais de ferro ou alumínio (Santos et al., 2018). Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi a determinação das condições ótimas do processo de uma Estação de Tratamento de Águas, situada no município de Careiro da Várzea (AM), em escala de laboratório, utilizando dois coagulantes químicos e amostras de água do rio Solimões.

2 METODOLOGIA

2.1 COLETA, TRANSPORTE E ANÁLISES DA ÁGUA DO MANANCIAL

Os ensaios de bancada para os estudos de otimização foram realizados no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), utilizando

a água bruta coletada na Estação de Tratamento de Águas (ETA) do município do Careiro da Várzea (AM). As amostras de água foram coletadas no ponto de captação (flutuante) localizado na margem direita do rio Solimões no período de setembro a outubro de 2020. Foram coletados aproximadamente 100 litros da água bruta em recipientes plásticos com sistema de vedação. As amostras permaneceram refrigeradas (abaixo de 4°C) até o momento das análises/ensaios.

A caracterização físico-química inicial da água bruta foi realizada duas vezes por dia, para verificação das características do rio, durante 45 dias, por meio dos seguintes parâmetros: cor aparente (espectrofotômetro DR 1900 Hach), turbidez (turbidímetro Alfakit modelo Plus II) e pH (pHmetro Hach modelo AT100P) seguindo o procedimento adotado em APHA (2012).

2.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

A otimização do processo de coagulação/floculação/sedimentação da água do rio Solimões em escala laboratorial utilizando *Jar Test* foi realizada através de um delineamento fatorial completo com 2 níveis e duas repetições, sendo as variáveis independentes definidas e apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis e níveis estudados no planejamento fatorial 2³

Variáveis	Níveis	
	Inferior (-1)	Superior (+1)
Tipo de coagulante	Al ₂ SO ₄	Fe ₂ Cl ₃
Concentração do coagulante (ppm)	19	21
Concentração do floculante (ppm)	0,2	0,3

Fonte: Autores.

As variáveis de resposta foram remoção da cor aparente e remoção da turbidez. Para as variáveis escolhidas foram executadas sequências correspondentes aos níveis adotados, proporcionando diferentes combinações de ensaios. A matriz obtida em ordem padrão crescente encontra-se na Tabela 2.

Para o tratamento dos dados, o programa estatístico *Minitab Statistical Software* versão 14.1 foi empregado para a obtenção dos gráficos de Pareto, gráficos dos efeitos padronizados e cubos de resposta, onde o p-valor representa a probabilidade de significância dos termos, e o nível de confiança aplicado foi de 95%.

Tabela 2. Planejamento dos experimentos para o *Jar Test* utilizando a água do rio Solimões.

Experimentos	Fator A	Fator B	Fator C
	Tipo de coagulante	Concentração do coagulante	Concentração do floculante
1	Al ₂ SO ₄	19	0,2
2	Fe ₂ Cl ₃	19	0,2
3	Al ₂ SO ₄	21	0,2
4	Fe ₂ Cl ₃	21	0,2
5	Al ₂ SO ₄	19	0,3
6	Fe ₂ Cl ₃	19	0,3
7	Al ₂ SO ₄	21	0,3
8	Fe ₂ Cl ₃	21	0,3
9	Al ₂ SO ₄	19	0,2
10	Fe ₂ Cl ₃	19	0,2
11	Al ₂ SO ₄	21	0,2
12	Fe ₂ Cl ₃	21	0,2
13	Al ₂ SO ₄	19	0,3
14	Fe ₂ Cl ₃	19	0,3
15	Al ₂ SO ₄	21	0,3
16	Fe ₂ Cl ₃	21	0,3

Fonte: Autores.

2.3 ENSAIOS DE JAR TEST

Os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foram realizados em um equipamento de teste de jarros (*Jar Test*), marca Alfakit (modelo 3PV AT403), com capacidade para três jarros de acrílico de 2 litros e o procedimento adotado seguiu Di Bernardo et al. (2020). Nestes ensaios, as soluções do coagulante e do floculante foram preparadas para volumes pré-determinados utilizando 2 litros da água do manancial. Após a adição das soluções nos jarros do *Jar Test*, o agitador do equipamento promoveu uma rotação de 180 rpm, por 60 segundos, simulando o processo de mistura rápida, e em seguida, uma rotação de 30 rpm, por 20 minutos, simulando a mistura lenta. Por fim, o agitador foi desligado e após 10 minutos (processo de decantação) alíquotas de cada jarro foram retiradas para análise físico-química.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das análises físico-químicas realizadas, foram encontrados valores médios para o pH, turbidez e cor aparente para a caracterização da água do rio Solimões. Esses resultados são apresentados na Tabela 3, juntamente com os limites estabelecidos pela portaria MS nº.05/2017 para avaliar as remoções requeridas por estes parâmetros após o tratamento e estudo de otimização no *Jar Test*.

O pH do rio Solimões no ponto de captação apresentou características básicas, com valor médio de 8,36 sem muitas oscilações. Sendo classificado como rio de águas brancas, com elevada quantidade de material em suspensão e sais dissolvidos provenientes dos Andes, o que influencia nas suas propriedades físico-químicas. De

acordo com Queiroz & Tomaz Neto (2019) o rio possui grande influência geológica, corroborando com os dados analisados, uma vez que, os minerais silicatos e espécies de CO₂ deixam o pH mais alcalino, e a dissolução dos silicatos por hidrólise consome íons H⁺ e eleva o pH das águas.

Tabela 3. Média dos parâmetros físico-químicos para a água bruta.

Parâmetros	Unidade	Resultado (Set e Out/2020)	Limite****
Cor Aparente	uH*	157,35±22,78**	15,0
pH	-	8,36±0,09**	6,0 a 9,5
Turbidez	NTU***	105,12±17,45**	5,0

*Unidade Hazen.

**Desvio-padrão.

***NTU = Nefelometric Turbidity Unit.

****Anexo XXdaPortaria de Consolidação nº 5/2017 doMinistérioda Saúde.

Fonte: Autores.

Já a **Turbidez** que sofre interferência pela geoquímica do rio Solimões, devido a água apresentar muitos sólidos em suspensão, característica do fenômeno conhecido por terras caídas, que consiste no deslizamento do solo das margens do manancial, além de apresentar uma velocidade média de 6 km/h, o que causa erosão ao longo de sua calha (Silva & Noda, 2016). Portanto, a média encontrada foi de 105,12 NTU, apontando valores altos, com presença de materiais em suspensão. Portanto o tipo de coagulante utilizado é de suma importância para a retirada dessas partículas do rio.

A **Cor aparente** é o parâmetro indicador da presença de metais, humus, plâncton dentre outras substâncias dissolvidas na água (Lima Jr & Abreu, 2018). O resultado da média dos ensaios foi de 157,35 uH. O valor elevado e as alterações ao longo do dia ocorreram devido a movimentação de embarcações nas proximidades, assim como a época do monitoramento, que compreendeu ao período de estiagem ou seca na Amazônia, deixando o rio mais adensado.

A partir dos ensaios *Jar Test*, de acordo com o planejamento fatorial completo, foram determinadas as eficiências para a remoção da turbidez e remoção da cor aparente, conforme podem ser observadas pelos diagramas em colunas apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Observa-se que o cloreto férrico (Fe₂Cl₃) foi o agente coagulante mais eficiente, fornecendo os maiores valores tanto para a remoção de Turbidez, pelos experimentos 8 (99,19%) e 16 (99,37%) quanto para a remoção de Cor Aparente, pelos experimentos 4 (98,68%), 8 (98,46%) e 16 (98,49%). Entretanto, ocorreram grandes variações nas eficiências demonstrando a influência dos fatores no processo. Por este motivo, a segunda

etapa prosseguiu de modo a otimizar o sistema através do gráfico de Pareto e dos efeitos padronizados, assim como para os cubos de resposta.

Figura 1. Remoção da Turbidez para os dois coagulantes a pH 7.

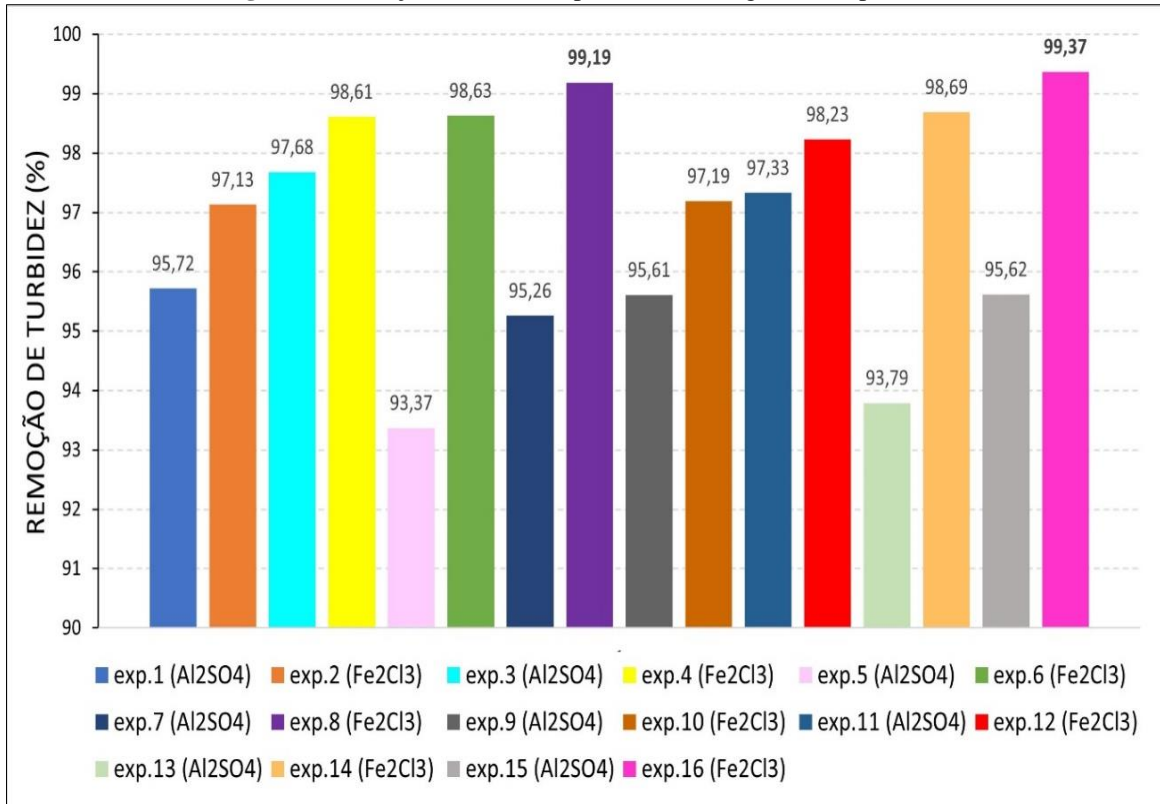
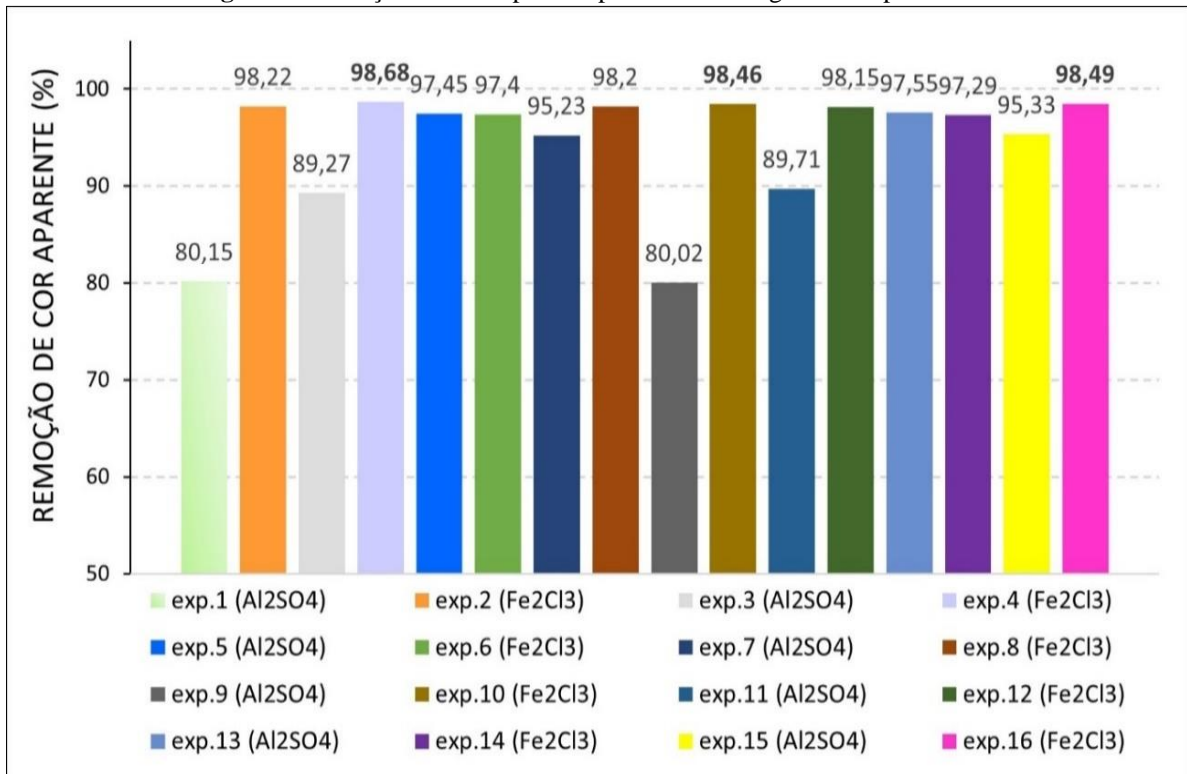
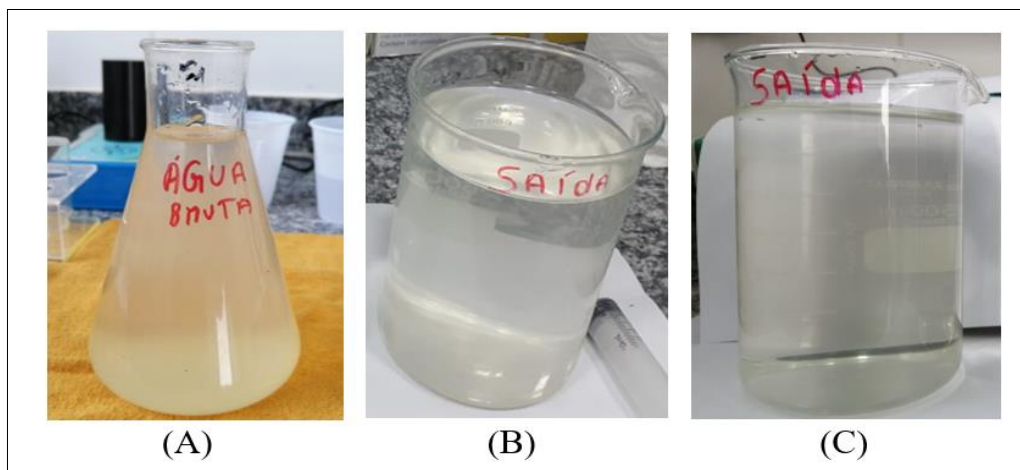


Figura 2. Remoção de Cor Aparente para os dois coagulantes a pH 7.



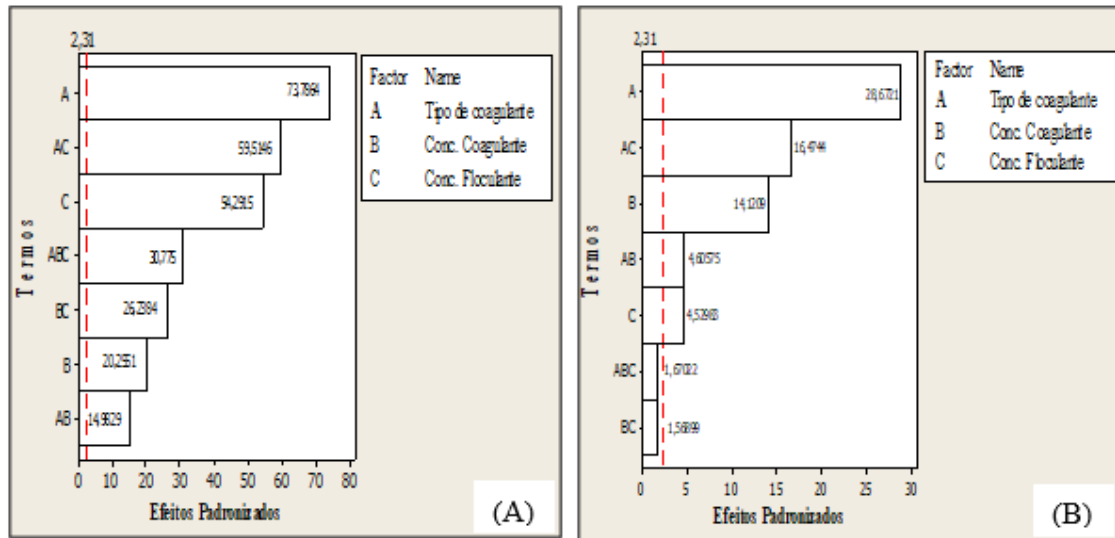
A Figura 3 apresenta uma das imagens para as amostras antes e após o tratamento da água do rio Solimões utilizando os coagulantes avaliados no estudo de otimização. É possível verificar que o tratamento foi mais eficaz ao utilizar o coagulante cloreto férrico para a água bruta do rio Solimões.

Figura 3. Amostras da água bruta do Rio Solimões (A), e do *Jar Test* após o tratamento com Al_2SO_4 (B) e com Fe_2Cl_3 (C).



A Figura 4 apresenta a análise estatística através do gráfico de Pareto, o qual representa a magnitude da influência dos efeitos principais e suas interações sobre a resposta através das colunas, enquanto a linha vertical pontilhada representa a magnitude dos efeitos que são estatisticamente significativos ao nível de 95% de confiança. Pela Figura 4A todos os termos apresentaram influência estatisticamente significativa para a remoção de Cor Aparente, ao nível de 95% de confiança, conforme pode ser observada nas variáveis que se localizam à direita da linha de referência tracejada a 2,31 ($p = 0,05$). Destaca-se também que o fator A (tipo de coagulante) tem um efeito superior aos demais fatores, assim como apresenta uma magnitude positiva relacionada diretamente com o tratamento da água, pois a mudança do coagulante sulfato de alumínio (-1) para cloreto férrico (+1) promove um aumento na eficiência de remoção de Cor Aparente.

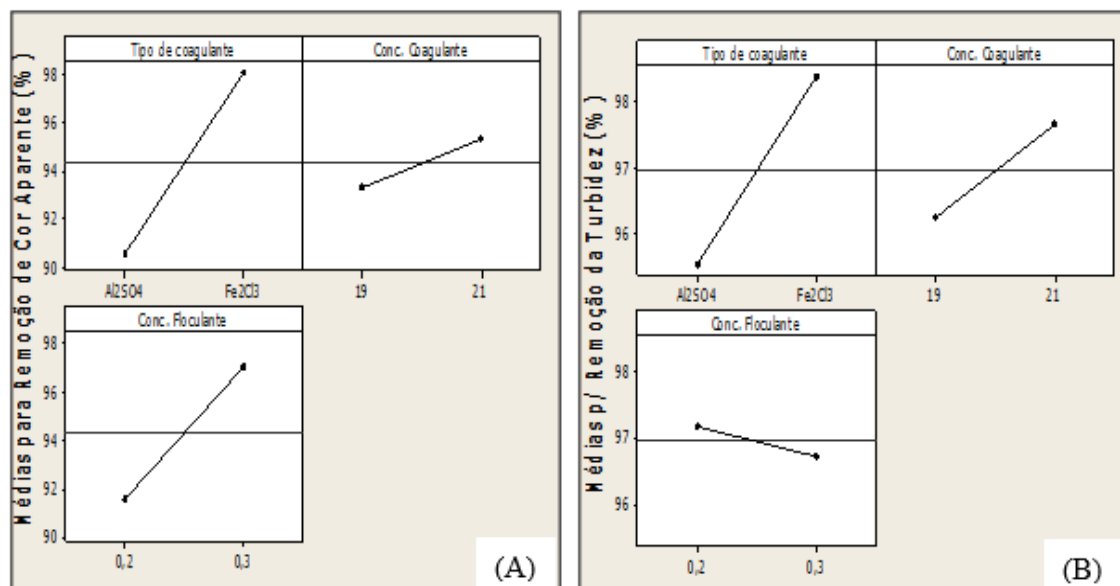
Figura 4. Gráficos de Pareto para as remoções de Cor Aparente (A) e da Turbidez (B).



Para a Figura 4B o comportamento foi quase similar, pois somente dois termos não sofreram influência significativa no processo para a remoção da Turbidez. Vale ressaltar que os fatores A (tipo de coagulante) e B (concentração do coagulante) apresentaram efeitos bem superiores com relação ao fator C (concentração do floculante), cerca de 3,1 e 6,3 vezes maior, respectivamente.

A Figura 5 apresenta os efeitos principais individualizados, de modo a compreender melhor como a variação dos níveis de um fator afeta a resposta. Os gráficos confirmam o perfil apresentado pelos diagramas de Pareto, demonstrando que o fator A (tipo de coagulante) tem uma maior influência positiva nas respostas, com inclinação ascendente para o Fe_2Cl_3 .

Figura 5. Efeitos principais das variáveis das médias de remoção de Cor Aparente (A) e da Turbidez (B).

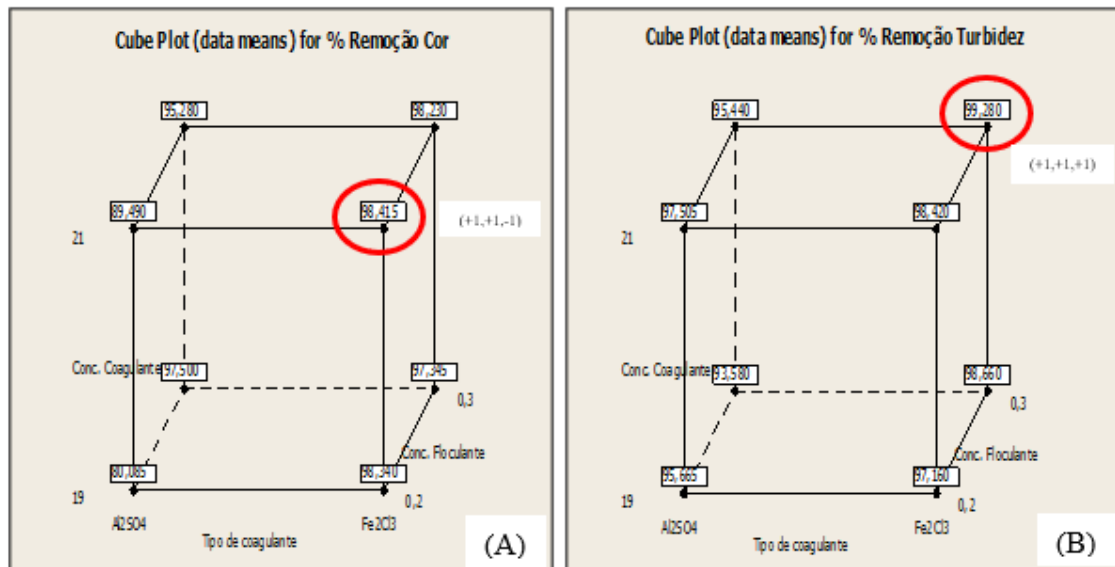


Na Figura 5A o fator C (concentração do floculante) apresenta um declive considerável sendo afetado positivamente, enquanto para o fator B (concentração do coagulante) observa-se uma pequena influência positiva para a resposta, remoção de Cor Aparente. Para a Figura 5B observa-se uma inversão na influência dos fatores B e C sobre a resposta, remoção da Turbidez, ou seja, o fator B (concentração do coagulante) apresenta um declive considerável positivo e para o fator C (concentração do floculante) quase não se observa efeito na resposta, apresentando uma pequena influência negativa.

Os efeitos calculados no planejamento fatorial 2^3 podem ser interpretados como contrastes geométricos representados pelo cubo (Figura 6), onde cada um dos oito experimentos da matriz do planejamento corresponde a um vértice. Já as faces opostas do cubo apresentam os contrastes entre os efeitos principais e as interações entre estes fatores apresentam contrastes entre os planos diagonais (Barros Neto *et al.* 1996).

Pela Figura 6A observa-se que a média máxima da eficiência de remoção de Cor Aparente no processo de coagulação via *Jar Test* ocorre na combinação correspondente: tipo de coagulante e concentração do coagulante no nível superior (+1), e concentração do floculante no nível inferior (-1), tendo como valor 98,415%. Analisando o cubo de resposta para a remoção de Turbidez (Figura 6B) a média máxima da eficiência foi de 99,280% e ocorre na combinação tipo de coagulante, concentração do coagulante e concentração do floculante, todos no nível superior (+1). Portanto o coagulante cloreto férrico (Fe_2Cl_3) confirma-se com a melhor eficiência para o processo de coagulação via *Jar Test* utilizando a água do rio Solimões sob condições de operação de 21 ppm de coagulante e 0,2 ppm de floculante a um pH de 7,0 para uma melhor remoção de cor aparente e de 21 ppm de coagulante e 0,3 ppm de floculante também a pH 7,0 para uma melhor remoção de turbidez.

Figura 6. Cubo de resposta para as médias da remoção de Cor Aparente (A) e Turbidez (B).



Pela Figura 6A observa-se que a média máxima da eficiência de remoção de Cor Aparente no processo de coagulação via *Jar Test* ocorre na combinação correspondente: tipo de coagulante e concentração do coagulante no nível superior (+1), e concentração do floculante no nível inferior (-1), tendo como valor 98,415%. Analisando o cubo de resposta para a remoção de Turbidez (Figura 6B) a média máxima da eficiência foi de 99,280% e ocorre na combinação tipo de coagulante, concentração do coagulante e concentração do floculante, todos no nível superior (+1). Portanto o coagulante cloreto férrico (Fe₂Cl₃) confirma-se com a melhor eficiência para o processo de coagulação via *Jar Test* utilizando a água do rio Solimões sob condições de operação de 21 ppm de coagulante e 0,2 ppm de floculante a um pH de 7,0 para uma melhor remoção de cor aparente e de 21 ppm de coagulante e 0,3 ppm de floculante também a pH 7,0 para uma melhor remoção de turbidez.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou compreender como ajustar as variáveis do processo de coagulação em função das características da água bruta do rio Solimões avaliando dois coagulantes comerciais. Com a utilização do *Jar Test* e o planejamento experimental verificou-se que, dentre os parâmetros estudados, o tipo de coagulante foi a variável de processo que apresentou maior influência tanto para a remoção da turbidez quanto para a remoção da cor aparente. O cloreto férrico (Fe₂Cl₃) foi o agente coagulante que apresentou o melhor desempenho no tratamento das águas do rio Solimões, fornecendo como condições ótimas de processo as maiores taxas de remoção de Turbidez utilizando

21 ppm de coagulante e 0,3 ppm de floculante. Já para a melhor eficiência na remoção de Cor Aparente as condições foram a mesma concentração do coagulante (21 ppm), porém com 0,2 ppm de floculante.

REFERÊNCIAS

- APHA (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22^a ed. Washington: American Public Health Association, 1360p.
- Barros Neto, B.; Scarminio, I. S.; Bruns, R. E. (1996). *Planejamento e otimização de experimentos*. 2^a ed., Campinas: Ed. da UNICAMP. 299p.
- Brasil. Ministério da Saúde. (2017). Portaria de Consolidação MS/GM n° 05, de 28 de setembro de 2017. *Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde*. Diário Oficial da União, Brasília-DF.
- Constantine, J. A.; Dunne, T.; Ahmed, J.; Legleiter, C.; Lazarus, E. D. (2014). Sediment supply as a driver of river meandering and floodplain evolution in the Amazon Basin. *Nature Geoscience*, 7, 899-903.
- Di Bernardo, L.; Dantas, A. D. B.; Voltan, P. E. N. (2020). *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 3^a ed., v.1, São Carlos: LDiBe, 1246p.
- Lee, C. S.; Robinson, J.; Chong, M. F. (2014). A review on application of flocculants in wastewater treatment. *Process Safety and Environmental Protection*, 92, 489-508.
- Libânio, M. (2010). *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3^a ed. Campinas: Editora Átomo, 496p.
- Lima Jr, R. N.; Abreu, F. O. M. S. (2018). Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. *Revista Virtual de Química*, 10 (3), 709-735.
- Mendes, G. S. (2018). *A dinâmica da paisagem e uso da terra: estudo de caso no distrito da Terra Nova, Careiro da Várzea-AM*. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas.
- Pavanelli, G. (2001). Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. (Dissertação de Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Queiroz, M. S.; Tomaz Neto, A. G. (2019). *A influência dos Rios Negro e Solimões nas comunidades rurais ribeirinhas no município de Iranduba - Amazonas*. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Fortaleza - CE.
- Richey, J. E.; Melack, J. M.; Aufdenkampe, A. K.; Ballester, V. M.; Hess, L. L. (2002). Outgassing from Amazonian rivers and wetlands as a large tropical source of atmospheric CO₂. *Nature*, 416, 617-620.
- Richter, C. A. (2009). *Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento*. São Paulo: Edgard Blücher, 340p.

Santos, G. Z. B.; Melo Filho, J. A.; Manzato, L. (2018). Perspectivas de aplicações tecnológicas de lodo gerado no processo de tratamento de água dos rios Negro e Solimões. *Matéria*, 23 (3), e12167.

Silva, A. L. O.; Ramos, M. S.; Luiz, M. R.; Souza, N. C.; Nascimento, A. P. S.; Silva, J. E. O. A.; Ramos, E. F.; Amorim, F. V. (2020). Possíveis efeitos do alumínio presente na água tratada. *Brazilian Journal of Development*, 6(1), 1413-1420.

Silva, S. H.; Noda, S. N. (2016). A Dinâmica entre as águas e terras na Amazônia e seus efeitos sobre as várzeas. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 11 (2), 377-386.

Sun, W.; Xia, C.; Xu, M; Guo, J.; Sun, G. (2016). Application of modified water quality indices as indicators to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River. *Ecological Indicators*, 66, 306-312.

Von Sperling, M. (2014). *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de esgotos*. 4^a ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 452p.