



## EFICIÊNCIA DO POLÍMERO NATURAL DERIVADO DE TANINO ACÁCIA MEARNsii NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA

André do Vale Borges -  
andreborges@usp.br

Renata Teixeira de Almeida  
Minhoni - renataminhoni@gmail.  
com

Márcia Rodrigues de Moraes  
Chaves - marciachaves1973@  
gmail.com

Raquel Teixeira Campos - raquel.  
campos@unisagrado.edu.br

### RESUMO

O uso de sais metálicos no tratamento de água e efluentes apresentarem baixo custo e grande eficiência na remoção de particulados. Porém, a possível presença remanescente de íons metálicos pode comprometer a saúde humana e o ecossistema. Assim, os coagulantes naturais derivados de taninos surgem como uma alternativa sustentável ao proporcionar a formação de lodo biodegradável, de menor volume e fácil disposição no meio ambiente. Objetivou-se avaliar a eficiência do coagulante natural Acácia Negra nas etapas de coagulação, floculação e decantação do tratamento de efluente doméstico. Em laboratório, o efluente foi submetido aos ensaios no equipamento Jar Test, onde foram adicionadas seis diferentes concentrações de sulfato de alumínio e acácia negra (40, 80, 120, 160, 200 e 240 mg.L<sup>-1</sup>), com três repetições de cada experimento. A eficiência de tratamento foi medida por meio de análises físico-químicas das amostras tratadas sob os parâmetros de cor, condutividade, turbidez, sólidos sedimentáveis, pH e alcalinidade parcial e total. Os testes revelaram que nas concentrações de 40 e 80 mg.L<sup>-1</sup>, as amostras tratadas com Acácia Negra apresentaram maior eficiência na remoção de turbidez e cor, redução no volume de sólidos sedimentáveis e a preservação da alcalinidade da massa líquida quando comparados com o sulfato de alumínio.

Palavras-chave: acácia negra. coagulação. saneamento básico. sulfato de alumínio.

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

**Recebido: 12/06/2023 Aprovado: 02/10/2023**



## INTRODUÇÃO

O tratamento primário descreve uma operação física importante no tratamento das águas residuárias, sendo responsável pela remoção parcial dos sólidos suspensos e sedimentáveis presentes no meio circundante, bem como de uma pequena parcela da matéria orgânica particulada, ou DBO suspensa. A remoção destes componentes permite às etapas subsequentes, maior eficiência na remoção de partículas remanescentes, como a matéria orgânica finamente particulada, dissolvida e eventualmente nutrientes. (Von Sperling, 2014).

Os colóides são partículas microscópicas que compõem a natureza complexa das águas residuárias. De maneira oposta aos sólidos suspensos que apresentam dimensões mais acentuadas, as partículas coloidais são menores e, portanto, difíceis de serem removidas do meio líquido durante o tratamento físico-químico das águas. (Metcalf e Eddy, 2003).

Caracterizam-se, ainda, por apresentar superfície específica, fato este que permite a adsorção e o desenvolvimento de cargas negativas em sua superfície. (Heredia et al., 2010). Por efeito de suas cargas eletrostáticas, a estrutura coloidal configura um sistema de estabilidade entre as partículas na qual a força da gravidade é incapaz de promover sua desestabilização em tempo desejável. A isso, soma-se o movimento desordenado das partículas do meio dispersante (movimento browniano) que dificulta a sedimentação dos colóides, que permanecerão suspensos no efluente. (Guernaout et al., 2015).

Para desestabilizar o sistema coloidal são adicionados ao efluente compostos naturais ou químicos catiônicos ou aniônicos que, sob agitação rápida, promovem a neutralização de cargas, reduzindo as forças que mantêm separadas as superfícies da matéria suspensa. (Manda et al., 2015). Este fenômeno é descrito como coagulação. Posteriormente, as partículas já desestabilizadas em condições de tempo específico e agitação mais lenta tendem a chocar-se, promovendo a formação de flocos, numa etapa descrita como floculação. (Heredia et al., 2011).

Em concentrações mais baixas, os sais metálicos ao serem adicionados no meio líquido hidrolisam rapidamente para formar espécies catiônicas. Estas, por sua vez, são absorvidas pelos colóides carregados negativamente, causando a neutralização de cargas. (Matilainen et al., 2010). Quando maiores concentrações são usadas, tem-se a precipitação de hidróxidos metálicos envoltos por estruturas coloidais, designando o processo de floculação por varredura. (Oladoja, 2015).

O sulfato de alumínio constitui o sal metálico mais utilizado nas estações de tratamento. Apesar de seu baixo custo de aquisição, fácil produção, transporte e alta eficiência na remoção de sólidos, o químico propicia a presença de alumínio residual nas águas e produz um volume elevado de lodo gelatinoso e tóxico, comprometendo sua disposição no meio ambiente. (Muthuraman e Sasikala, 2013). Nesse sentido, a busca por alternativas sustentáveis no tratamento das águas residuárias emergiu da necessidade de preservar o planeta e os seres que nele habitam.

Diante desta nova perspectiva, os polieletrólitos prometem atuar efetivamente como agentes coagulantes prioritários ou auxiliares, exercendo influência na desestabilização do sistema coloidal (Yin, 2010). Os polieletrólitos são polímeros orgânicos de alto peso molecular que apresentam grupos ionizáveis distribuídos ao longo de sua cadeia carbônica. O mecanismo de desestabilização ocorre quando um polímero natural ou sintético de carga oposta às partículas coloidais é adicionado às águas residuárias e, sob intensa agitação, é adsorvido pela superfície coloidal promovendo a formação de pontes interpartículas e facilitando o desenvolvimento dos flocos. (Oladoja, 2016).

O uso de polieletrólitos nos processos de coagulação e floculação contribui com a formação de flocos mais adensados e, por conseguinte, mais facilmente sedimentáveis. (Lee et al., 2014). Ademais, atuam na redução no volume de lodo, de



caráter biodegradável, na redução do tempo de floculação e na dosagem de coagulantes primários, quando utilizados como agentes floculantes auxiliares. Em paralelo, os taninos são compostos vegetais polifenólicos presentes em diversas espécies de plantas e atuam na regulação do crescimento destas espécies, protegendo-as da ação predatória. (Oladoja, 2016). Devido às diversas fontes de obtenção destes compostos, a determinação da estrutura química que os compõem é bastante complexa e incerta, todavia exercem importante atividade coagulante no tratamento primário de efluentes. (Sánchez-Martín, 2011).

A espécie vegetal *Acacia Mearnsii* de Willd, também popularmente conhecida como Acácia Negra e Acácia Mimosa, é uma árvore ornamental pertencente à família Fabaceae-Mimosoideae. Originária da Austrália e cultivada no Brasil pelo Estado do Rio Grande do Sul. Esta espécie apresenta características vantajosas no ramo da agricultura, com potencial de recuperar os solos de baixa fertilidade e produzir taninos. (Mangrich, 2014).

O mecanismo químico de Mannich é o responsável pela obtenção do polímero orgânico catiônico, presente na estrutura da Acácia. A reação ocorre entre o cloreto de amônio e um aldeído fórmico para a formação do cloreto de imínio ( $-CH_2NH_3^+$ ). O cátion, então, dará ao polímero caráter catiônico. (Hameed et al., 2016).

O tanino extraído da casca da *Acacia Mearnsii*, comercializado como Tanac ou Tanfloc, atua na desestabilização dos sistemas coloidais, auxiliando no processo de coagulação, floculação e sedimentação por mecanismos de formação de pontes. Os taninos são constituídos por moléculas biodegradáveis, sendo destruídos no final do tratamento da água ou efluente. Como resultado, obtém-se um lodo biodegradável, menos volumoso, mais denso e fácil de ser sedimentado e disposto no meio ambiente. (Pedroso et al., 2012).

Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência do coagulante natural *Acacia Mearnsii* de Willd, em concentrações específicas, no tratamento primário de efluente doméstico, sob os parâmetros físico-químicos de alcalinidade, cor, condutividade, pH, sólidos sedimentáveis e turbidez.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Sagrado Coração (USC), localizado no município de Bauru, em novembro de 2016. Utilizou-se uma amostra única de esgoto sanitário coletado na entrada da unidade de tratamento da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), em um tanque de equalização. Após a coleta, a amostra foi acondicionada em galões de polietileno e transportada para o laboratório, onde foi devidamente identificada para posterior início das análises. Ressalta-se que a amostra foi coletada, armazenada e preservada seguindo a descrição dos métodos de preservação e armazenagem das amostras líquidas estabelecidas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Apha, 2005).

A *Acacia Mearnsii* foi obtida sob a forma de extrato vegetal líquido proveniente da casca da acácia negra, fornecido pela empresa Acquasugar®, localizada no município de Araraquara, interior de São Paulo. Para o preparo da solução de acácia negra foi utilizado 1 mL do extrato diluído em 100 mL de água destilada. O sulfato de alumínio a 1% foi preparado a partir da dissolução de 10g do reagente analítico em 1000 mL de água destilada. Um agitador magnético foi utilizado para garantir a homogeneização completa de ambas as soluções.

Utilizou-se o equipamento Jar Test na simulação das etapas de coagulação, floculação e sedimentação do tratamento de águas residuárias. O equipamento, da marca Quimis (modelo Q305F) é composto por 6 jarros ou reatores quadrados,



de capacidade de 2 litros cada e um controle de rotação, que possibilita obter gradientes de velocidade por meio de agitadores mecânicos.

Em cada jarro foram adicionados 2 litros da amostra bruta de água residuária, que foram submetidos inicialmente a uma velocidade de agitação de 180 rpm por 2 minutos, de modo a garantir a homogeneização da mistura. Em seguida, adicionou-se o coagulante, reduzindo-se a velocidade de agitação para 150 rpm por 3 minutos. Esta etapa, conhecida como etapa rápida, simula o processo de coagulação dos sólidos dissolvidos e partículas coloidais. Posteriormente, a solução foi submetida a uma velocidade de 30 rpm por 15 minutos, correspondente à etapa de floculação, com o objetivo de promover a formação de flocos dos colóides já desestabilizados e neutralizados na etapa de coagulação. Por último, as amostras permaneceram em repouso por 20 minutos, possibilitando a decantação dos flocos no fundo dos jarros. Estas condições de velocidades de agitação e tempo foram estipuladas segundo estudos apresentados por Metcalf e Eddy (2003).

Durante o início dos ensaios foram adicionadas doses iniciais de 10mg/L de ambos os coagulantes em cada jarro, a fim de determinar a dosagem ótima dos respectivos coagulantes. Uma vez desenvolvidos os testes, determinou-se que a dose mínima de 40 mg/L dos agentes coagulantes representou a remoção significativa e eficiente dos parâmetros físico-químicos estabelecidos. Deste modo, foram realizadas dosagens superiores à mínima observada, nas concentrações de 40, 80, 120, 160, 200 e 240mg.L-1 de acácia negra e de sulfato de alumínio. Foram realizadas análises nas amostras bruta e tratada, em relação aos parâmetros físicos de turbidez, sólidos sedimentáveis, cor aparente e condutividade, e químicos, alcalinidade e pH.

As análises de condutividade, cor aparente, turbidez e pH foram obtidas a partir da leitura direta dos respectivos equipamentos. A determinação da alcalinidade parcial e total das amostras foi realizada por método titulométrico e os sólidos sedimentáveis foram avaliados por meio da utilização de cones Imhoff. Para o cálculo da eficiência dos coagulantes utilizou-se a Equação 1.

$$E = \frac{X_b - X_t}{X_b} * 100$$

Em que,

E = eficiência de remoção (%);

X<sub>b</sub> = valor inicial obtido para a água residuária bruta; e

X<sub>t</sub> = valor final obtido para a água residuária tratada.

A avaliação dos coagulantes, natural e químico, foi realizada isoladamente, com um delineamento experimental composto de 6 tratamentos e 3 repetições.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, caracterizou-se a água residuária bruta, ou seja, anterior ao tratamento no equipamento Jar Test. Os valores obtidos nas análises físico-químicas podem ser observados na Tabela 1.



Tabela 1 - Caracterização da água residuária bruta.

Parâmetro	Unidade	Valor Médio	Desvio Padrão
Condutividade	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	799.2	0.14
Cor	$\mu\text{C}$	500	0
Sólidos sedimentáveis	$\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$	0.1	0
Turbidez	NTU	62.4	0.31
Alcalinidade Parcial/Total	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	210/260	0
pH	-	7.94	0.02

Na água residuária bruta, a sedimentação dos sólidos atingiu o valor médio de 0,1 mL.L<sup>-1</sup>, em consonância com a Resolução CONAMA 357/2005 que estabelece o limite máximo de 1 mL.L<sup>-1</sup> de materiais sedimentáveis para o lançamento do efluente no corpo receptor (Brasil, 2005).

O efluente não tratado apresentou turbidez no valor médio de 62.4 NTU. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece que o limite máximo de turbidez permitido para o lançamento do efluente no corpo receptor é de 40 NTU, considerando um efluente classe 1. (Brasil, 2005). O valor obtido com o efluente bruto apresenta um acréscimo de 56% do padrão previsto pela legislação, tornando-se imprópria para o lançamento em corpos receptores.

O colorímetro utilizado para a medição de cor das amostras está calibrado para o padrão de 500 uC. Logo, o efluente bruto analisado pode ter apresentado coloração acima do valor lido pelo equipamento, assim como todas as amostras que apresentaram 500 uC como resultado de cor aparente pelo colorímetro.

As amostras de água residuária bruta apresentaram valor médio de pH equivalente a 7,94, em conformidade com a Resolução CONAMA 430/2011 que estabelece variação de pH entre 5 e 9 como padrão de lançamento em corpos d'água (Brasil, 2011). De acordo com O sulfato de alumínio apresenta um máximo potencial de eficiência quando o pH da amostra estiver entre 5,0 e 8,0 (Vianna, 2002). De modo similar, o coagulante proveniente de acácia negra apresenta maior eficiência entre pH de 4,5 e 8,0 Martinez (1996). Assim, destaca-se que não houve necessidade de correção do pH do efluente bruto antes da realização dos tratamentos.

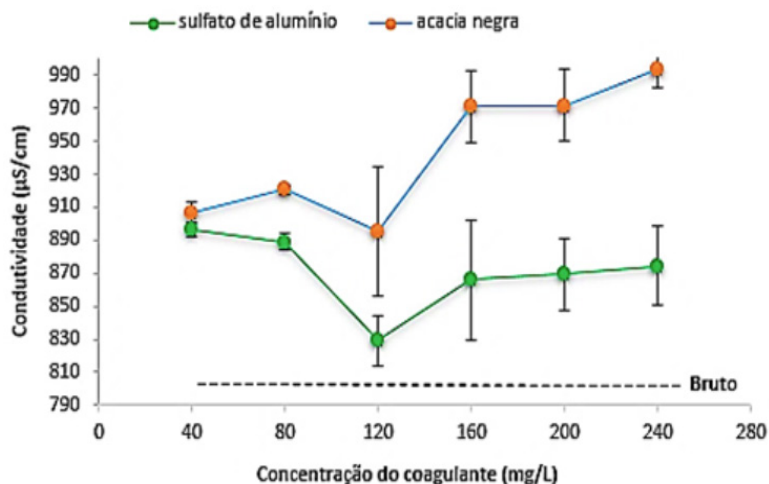
#### Eficácia do uso do tanino vegetal

Após o ensaio no Jar Test e a consequente ação coagulante, observou-se que os valores de condutividade aumentaram para ambos os coagulantes em relação à amostra bruta, atingindo os pontos mais acentuados no pós-tratamento com a acácia negra, sobretudo nas concentrações acima de 120 mg/L. (Figura 1).

Nas amostras tratadas com a acácia negra nas concentrações a partir de 120 mg/L, observou-se a sedimentação de sólidos no fundo dos béqueres contendo o líquido sobrenadante mesmo após o tempo de sedimentação de 20 minutos no Jar Test. Como a condutividade elétrica é uma medida indireta da concentração de sólidos totais em uma solução, os maiores valores de condutividade podem estar relacionados à presença de sólidos suspensos de sedimentação lenta (Figura 1).

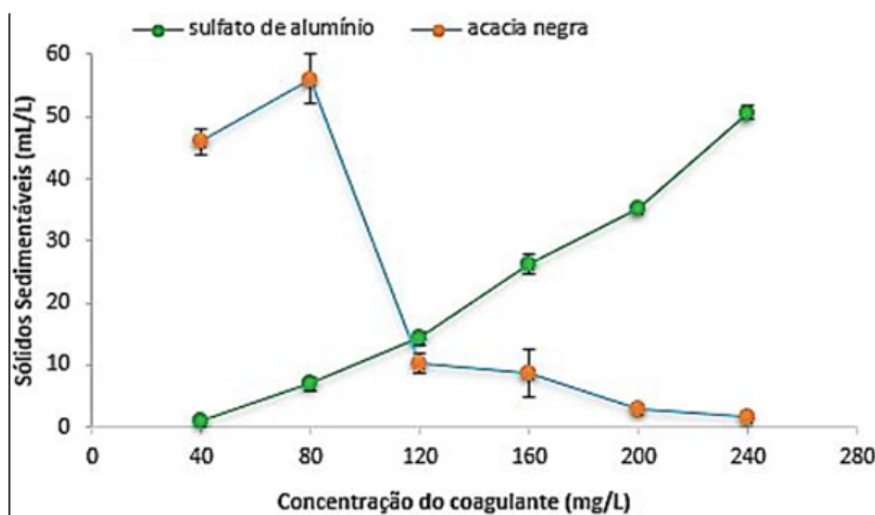


Figura 1 - Condutividade da água residuária bruta e tratada.



O maior volume de sólidos sedimentáveis em cone Imhoff foi observado nas amostras tratadas com a acácia negra, nas concentrações de 40 e 80 mL.L<sup>-1</sup>, representando um aumento de 460 e 560 vezes em relação à amostra bruta. (Figura 2). Contudo, aumentando-se gradativamente as dosagens do coagulante natural, a quantidade de sólidos sedimentáveis reduziu expressivamente. Este fenômeno físico pode estar relacionado à baixa capacidade de floculação em concentrações mais elevadas, conferindo à massa líquida sobrenadante maior grau de turbidez.

Figura 2 - Sólidos sedimentáveis da água residuária bruta e tratada.

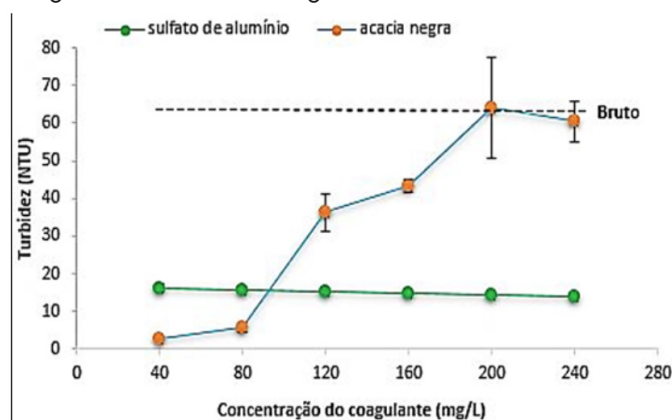


As amostras tratadas com o sulfato de alumínio demonstraram que a eficiência do coagulante químico na sedimentação das partículas coloidais aumentava em função do aumento da sua concentração. Comparando-se as amostras tratadas com o efluente bruto, a concentração de 240 mg.L<sup>-1</sup> do sulfato de alumínio atingiu um aumento na sedimentação de 510 vezes.

Nas concentrações de 40 e 80 mg.L<sup>-1</sup> da acácia negra, houve maior sedimentação dos colóides em solução (Figura 3). Isso explica a baixa turbidez observada nessa faixa de concentração, visto que a turbidez em águas residuárias relaciona-se diretamente ao acúmulo de sólidos suspensos e/ou colóides que absorvem a luz e reduzem sua intensidade de transmissão no material. Em concentrações maiores do coagulante natural, a turbidez aumenta em detrimento do aumento dos sólidos na solução.



Figura 3 - Turbidez da água residuária bruta e tratada.

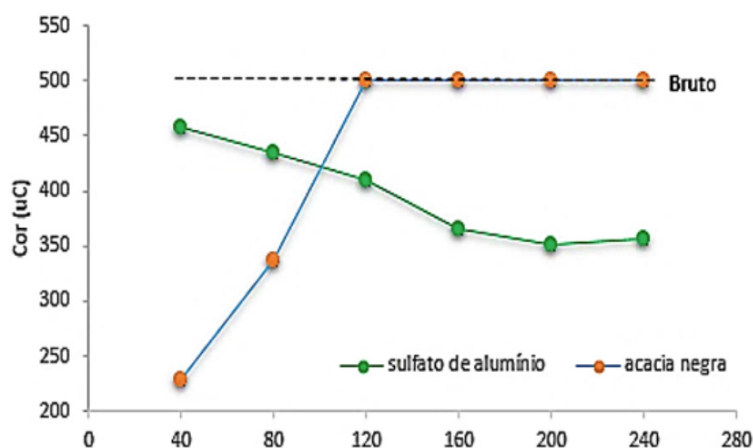


Por outro lado, o sulfato de alumínio apresentou relativa linearidade na remoção de turbidez, com variação aproximada de 14,1%, considerando todas as concentrações analisadas com o químico. Ainda, em todas as amostras tratadas com o sulfato de alumínio, o índice de turbidez permaneceu abaixo de 40 NTU e, portanto, encontra-se em conformidade com a Resolução CONAMA 357/2005.

A maior eficiência de remoção de turbidez (96%) foi observada com a acácia negra, na concentração de 40 mg/L, seguida pela concentração de 80 mg.L-1 do coagulante natural (90.8%) e, por último, na concentração de 240 mg.L-1 do sulfato de alumínio (77.6%). Todas as amostras citadas atendem a legislação CONAMA vigente, no parâmetro analisado. Ressalta-se que o tratamento do efluente com a acácia negra não atendeu a legislação em concentrações acima de 160 mg.L-1, já que apresentaram valores de turbidez superiores a 40 NTU.

As amostras tratadas com o coagulante natural apresentaram a maior eficiência de remoção de cor, atingindo o valor de 228,3 uC na concentração de 40 mg L-1 (Figura 4). A partir dessa concentração, a coloração das amostras da acácia se intensificou até atingir valores acima de 500 uC. As amostras com sulfato de alumínio mostraram-se pouco eficientes na remoção de cor nas concentrações analisadas.

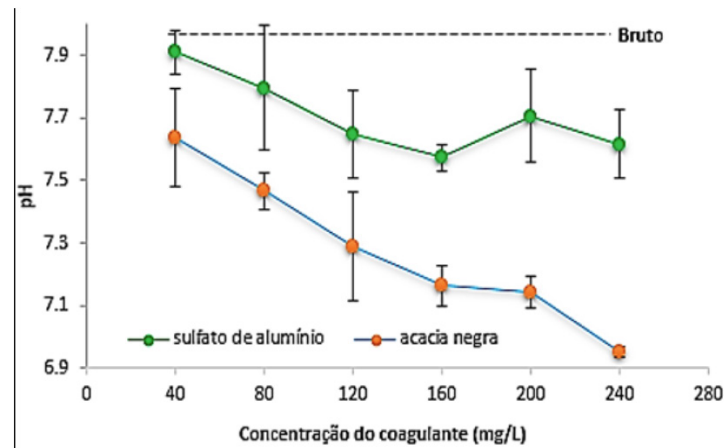
Figura 4 - Cor aparente da água residuária bruta e tratada.



Após o tratamento do efluente com o sulfato de alumínio, observou-se uma variação de pH na faixa de 7,57 (160 mg.L-1) a 7,91 (40 mg.L-1), representando uma variação aproximada de 4,3%. Em contrapartida, as amostras tratadas com a acácia negra apresentaram variações de pH entre 6,95 (240 mg.L-1) a 7,64 (40 mg.L-1), com 9% de variação. (Figura 5).



Figura 5 - pH da água residuária bruta e tratada.



Comparando-se o efluente bruto com as amostras tratadas com o sulfato de alumínio, constatou-se que a concentração de 40 mg.L<sup>-1</sup> do químico apresentou uma variação muito pequena na faixa de pH, equivalente a 0,38%. Na mesma concentração, a acácia apresentou variação de 3,8%.

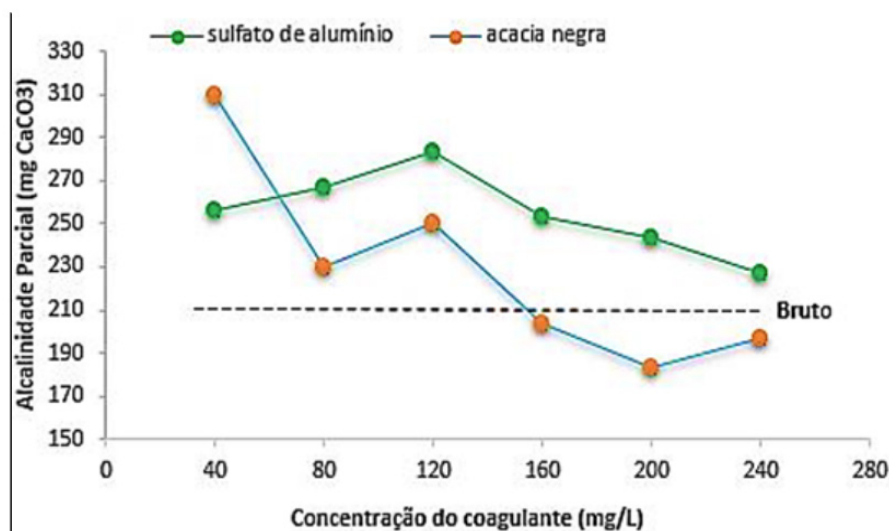
As maiores taxas de queda de pH estão associadas às concentrações do coagulante natural acima de 80 mg.L<sup>-1</sup>. Deste modo, é importante destacar que nas concentrações abaixo de 80 mg.L<sup>-1</sup> para ambos os coagulantes, o pH sofreu ligeira variação e, nestas condições, a adição de produtos químicos para corrigir o pH da solução poderá ser dispensada, reduzindo custos operacionais.

A análise da alcalinidade parcial demonstrou que o uso da acácia negra como agente coagulante promoveu um consumo relativo da alcalinidade do meio em função do aumento da concentração do tanino. Neste caso, o efeito é esperado em virtude do caráter ácido do coagulante natural que provoca um decréscimo no teor de alcalinidade da massa líquida, com máxima redução de 127 mg

CaCO<sub>3</sub>

atingida na concentração de 200 mg/L. (Figura 6). Na concentração de 160 mg/L, o efluente tratado com o coagulante natural apresenta valores de alcalinidade próximos dos valores obtidos com o esgoto bruto.

Figura 6 - Alcalinidade parcial da água residuária bruta e tratada.

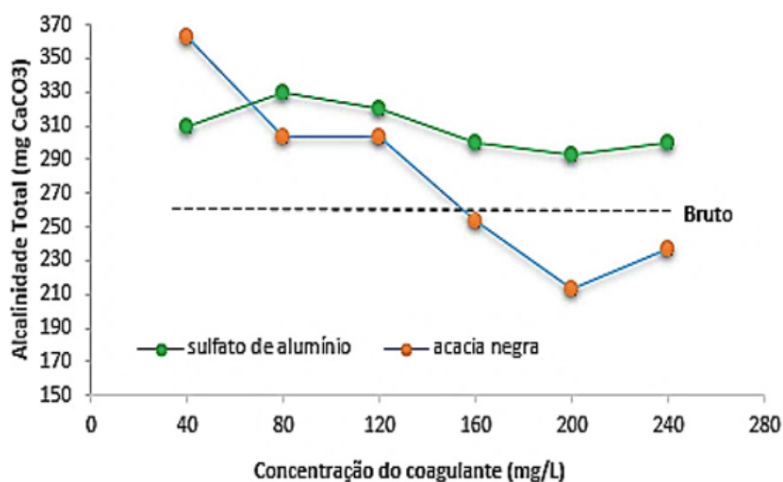






Analogamente, as amostras tratadas com o sulfato de alumínio sofreram variações na alcalinidade parcial e total do meio líquido à medida que a concentração do coagulante químico aumentava em solução. (Figura 7).

Figura 7 - Alcalinidade total da água residuária bruta e tratada.



O consumo da alcalinidade está associado à hidrólise do sulfato de alumínio em solução aquosa e a consequente formação de precipitados de hidróxidos e espécies hidrolisadas do alumínio, que serão adsorvidos pelas partículas coloidais de carga oposta, arrastando-as por varredura para serem sedimentadas.

## CONCLUSÃO

O uso do tanino vegetal da acácia negra no tratamento primário de esgoto foi avaliado. A eficácia da ação coagulante do tanino foi comprovada, sendo dependente da concentração deste no meio líquido. Considerando-se os parâmetros analisados, as concentrações de 40 e 80 mg/L do polímero natural apresentaram a maior eficácia no tratamento. Em contrapartida, o sulfato de alumínio manteve sua concentração ótima em 240 mg/L.

Nesse sentido, os resultados revelaram um desempenho satisfatório da espécie vegetal *Acacia Mearnsii* no tratamento de efluente bruto, nas etapas de coagulação, floculação e decantação. O uso de menor quantidade de produtos químicos, bem como a formação de lodo biodegradável e livre de agentes metálicos tóxicos tornam a proposta ainda mais sustentável.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a empresa Acquasugar® pela doação do extrato de acácia negra e apoio para a realização deste estudo.



## REFERÊNCIAS

- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 21 ed, 2005.
- BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; DÁVILA-ACEDO, M. A. Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. *Journal of Hazardous Materials*, v. 186, p. 1704-1712, 2011.
- BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GÓMES-MUNOZ, M. C. New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimization studies. *Chemical Engineering Journal*, v. 162, p. 1019-1025, 2010.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasília, 2005. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcdaltrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcdaltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)>
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e os padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a resolução 357 de 17 de março de 2005. Brasília, 2011. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=118583>>
- CHOY, S. Y.; PRASAD, K. M. N.; WU, T. Y.; RAGHUNANDAN, M. E.; RAMANAN, R. N. Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences*, v. 26, p. 2178-2189, 2014.
- GHERNAOUT, D.; AL-GHONAMY, A. I.; BOUCHERIT, A.; GHERNAOUT, B.; NACEUR, M. W.; MESSAOUDENE, N. A.; AICHOUNI, M.; MAHJOUBI, A. A.; ELBOUGHDIRI, N. A. Brownian Motion and Coagulation Process. *American Journal of Environmental Protection*, v. 4, n. 5-1, p. 1-15, 2015.
- HAMMED, Y. T.; IDRIS, A.; HUSSAIN, S. A.; ABDULLAH, N. A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater: Chemical composition, performance assessment compared to Polyaluminum chloride, and application in a pilot plant. *Journal of Environmental Management*, v. 184, p. 494-503, 2016.
- LEE, C. S.; ROBINSON, J.; CHONG, M. F. A review on application of flocculants in wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 92, p. 489-508, 2014.
- MANDA, I. K. M.; CHIDYA, R. C. G.; SAKA, J. D. K.; BISWICK, T. T. Comparative assessment of water treatment using polymeric and inorganic coagulants. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 93, p. 119-129, 2015.
- MANGRICH, S. A.; DOUMER, M. E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C. R. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de *Acacia mearnsii*. *Revista Virtual de Química*, v. 6, n. 1, p. 2-15, 2014.
- MARTINEZ, F. L. Taninos vegetais e suas aplicações. Universidade de Havana, Cuba, 1996.
- MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M.; SILLANPÄÄ, M. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: a review. *Advances In Colloid And Interface Science*, [S.l.], v. 159, n. 2, p. 189-197, set. 2010. Elsevier BV.



<http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2010.06.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000186861000120X?via%3Dihub>. Acesso em: 11 nov. 2023.

METCALF, E. Wastewater engineering, treatment and reuse. 4. ed. Boston: McGrawHill, 2003.

UTHURAMAN, G.; SASIKALA, S. Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal Of Industrial And Engineering Chemistry*, [S.l.], v. 20, n. 4, p. 1727-1731, jul. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2013.08.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X13003869?via%3Dihub>. Acesso em: 11 nov. 2023.

OLADOJA, N. A.. Advances in the quest for substitute for synthetic organic polyelectrolytes as coagulant aid in water and wastewater treatment operations. *Sustainable Chemistry And Pharmacy*, [S.l.], v. 3, p. 47-58, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2016.04.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352554116300067?via%3Dihub>. Acesso em: 11 nov. 2023.

OLADOJA, Nurudeen Abiola. Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations. *Journal Of Water Process Engineering*, [S.l.], v. 6, p. 174-192, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.04.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714415000306?via%3Dihub>. Acesso em: 11 nov. 2023.

PEDROSO, K.; TAVARES, C. R. G. Avaliação do lixiviado do aterro sanitário de Maringá, Paraná, por processo de coagulação/floculação e ozonização. 2012. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; BELTRÁN-HEREDIA, J.; GIBELLO-PÉREZ, P. Adsorbent biopolymers from tannin extracts for water treatment. *Chemical Engineering Journal*, [S.l.], v. 168, n. 3, p. 1241-1247, abr. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2011.02.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894711001902?via%3Dihub>. Acesso em: 11 nov. 2023.

VIANNA, M. R. Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água. 4. ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 2002.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

YIN, Chun-Yang. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, [S.l.], v. 45, n. 9, p. 1437-1444, set. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2010.05.030>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511310002114?via%3Dihub>. Acesso em: 11 nov. 2023.