Uso de Tanfloc e coagulante químico para otimizar a remoção de fósforo

Palavras-Chave: COAGULANTE NATURAL, FÓSFORO, TANLFOC

Autores(as):

Marcos Vinicius de Souza, FT – UNICAMP

Prof. Adjunto Rafael Brito de Moura, UNIFAL – Campus Poços de Caldas

Prof. Dr. Dagoberto Yukio Okada (orientador), FT - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A crescente geração de águas residuais é uma das principais consequências do crescimento populacional, são compostas por 99% de água e 1% de sólidos (Hanjra et al., 2012). Isso levou ao desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento de esgoto para garantir o saneamento básico da população. O esgoto é composto por matéria orgânica, sólidos e nutrientes. O fósforo é um nutriente potencialmente tóxico para os meios e organismos aquáticos. Seu despejo em corpos hídricos causa a diminuição de oxigênio dissolvido e, consequentemente, a mortalidade de peixes devido a eutrofização (Lopes et al., 2023).

De acordo com Sandino et al., (2012), o gasto de energia é um dos maiores gastos operacionais de uma estação de tratamento. Uma estratégia para diminuir a demanda de aeração é o uso de coagulantes para aumentar a remoção de matéria orgânica no decantador primário e, consequentemente, aumentar a quantidade de lodo produzida nesse decantador (Jenicek et al., 2013). Os coagulantes pode ser sais de metais, polímeros sintéticos ou naturais (Metcalf & Eddy, 2003).

Os coagulantes inorgânicos são os mais utilizados devido a suas vantagens de baixo custo, sua eficiência na remoção de impurezas e sua facilidade de produção, devido à ampla presença de matérias-primas, como metais, em geral ferro e alumínio (Diver; Nhapi; Ruziwa, 2023). Apesar de sua eficiência, o efluente e o lodo residual desses coagulantes é rico em metais, tornando-se potencialmente tóxico ao meio ambiente e à saúde humana. Estudos já demonstraram a relação entre o alumínio residual de coagulantes químicos e a doença de Alzheimer (Dayarathne et al., 2021). O policloreto de alumínio (PAC) é um polímero inorgânico de baixo peso molecular, gerado a partir da hidrólise do cloreto de alumínio, e é um dos coagulantes químicos mais utilizados (Srivastava; Mall; Mishra, 2005).

Como alternativa aos coagulantes químicos, surgiu o uso de coagulantes naturais, que reduzem os efeitos negativos à saúde humana e ao meio ambiente (Sukmana et al., 2021). Os coagulantes naturais são de origem animal, vegetal ou microbiana, são renováveis e não tóxicos (Koul et al., 2022). Os coagulantes orgânicos têm o mecanismo de coagulação por neutralização de carga e formação de pontes entre as partículas (Lima; Almeida; Vicentini, 2020). Os taninos são um grupo de polímeros vegetais classificados como polihidroxifenólicos, encontrados em folhas, frutos, cascas e raízes. A *Acacia mearnsii* (Acácia Negra) é uma das diversas espécies das quais o tanino é extraído; o Tanfloc é o coagulante mais famoso produzido através do tanino extraído dessa árvore (Lima Júnior; Abreu, 2018). O Tanfloc é um polímero catiônico que apresenta mecanismo de coagulação por desestabilização de cargas e formação de pontes, com atuação em uma faixa de pH entre 4,5 e 8 (Tanac, 2021).

A remoção química do fósforo de efluentes é feita principalmente com o uso de coagulantes à base de Al, Fe e Ca. O uso combinado do PAC e do Tanfloc pode resultar em um tratamento eficiente para a remoção de fósforo, produzindo menos resíduos tóxicos ao meio ambiente e à saúde humana.

METODOLOGIA:

Nesta pesquisa, utilizou-se o coagulante natural Tanfloc, com solução preparada na concentração de 1g/L com água ultrapura, e o coagulante químico Policloreto de Alumínio (PAC). Para as análises, foi coletada amostra de esgoto bruto após o pré-tratamento na cidade de Araras (SP). Os ensaios do *Jar test* foram realizados com a seguinte configuração: mistura rápida de 2 min a 100 rpm, mistura lenta de 20 min a 30 rpm e 30 min de sedimentação. Cada jarro continha 1 L de esgoto.

Tabela 1: Dados do DCCR

Fator	Tanfloc (mg/L)	PAC (mg/L)	Fator	Tanfloc (mg/L)	PAC (mg/L)
-1; -1	30	50	0; 0	70	100
1; -1	110	50	0; 0	70	100
-1;1	30	150	0; 0	70	100
1;1	110	150	-1,41;0	13,44	100
0; -1,41	70	29,3	1,41;0	126,56	100
0;1,41	70	170,7			

As análises foram feitas no Laboratório Físico-Químico da Faculdade de Tecnologia da Unicamp, em Limeira (SP). As análises físico-químicas (pH, Cor, Condutividade, Turbidez, DQO, Fósforo Total, Fósforo Reativo e Série de Sólidos) foram realizadas de acordo com as instruções do *Standard Methods* (APHA, AWWA, WEF, 2012). Primeiramente, foram realizados testes preliminares, nos quais foram feitas análises com diversas concentrações de Tanfloc e PAC atuando sozinhos no efluente, a fim de encontrar as concentrações que apresentassem melhor eficiência no tratamento, os resultados foram apresentados no relatório parcial (Souza, M. V., 2025). Após encontrar os pontos de máximos e mínimos

das concentrações, foi utilizado o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) para obter as combinações dos coagulantes. Foram realizados quatro testes no nível do fator (+1 e -1), quatro testes no nível dos pontos axiais (+1,41 e -1,41) e três testes nos pontos centrais (0:0), considerando as variáveis de independentes X1 (Tanfloc) e X2 (PAC) (Tabela 1).

Clique ou toque aqui para inserir o texto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os resultados dos testes estão apresentados nas tabelas 2, 3, 4 e 5. As concentrações foram expressas no formato "Tanfloc + PAC". A combinação "0" corresponde à amostra de efluente que passou pelo processo do *Jar Test* sem a adição de coagulantes. As combinações 70 + 170,7 mg/L e 110 + 150 mg/L apresentaram a maior remoção de fósforo (cerca de 45% e 46 %, respectivamente) (Figura 1a). Constatou-se que a DQO teve maior remoção nas combinações em que a concentração de Tanfloc era de 70 mg/L e na combinação 126,56 + 100 mg/L (Tabela 2). A Figura 1b mostrou que a turbidez apresentou menores níveis nas combinações 126,56 + 100 mg/L e 110 + 50 mg/L, e a combinação 13,44 + 100 apresentou a menor remoção de turbidez, juntamente com o "0".

Tabela 2: Resultados das análises físico-químicas – Parte 1

Fator	Tanfloc + PAC (mg/L)	pH	Turbidez (NTU)	Turbidez (%)	Cor (mg/L PtCo)	Cor (%)	DQO (mg/L)	DQO (%)
-----	Bruto	7,38±0,01	120,5±1,0	------	1105±20	------	640±47	------
-----	0	7,41±0,01	114,5±2,0	5,0±37,2	895±156	19±75	470±13	27±30
-1; -1	30 + 50	7,38±0,01	93,9±0,4	22,1±4,3	968±30	12±26	436±13	32±25
1; -1	110 + 50	7,40±0,03	7,2±26,7	94,0±23,6	130±27	88±4	407±10	36±22
-1;1	30 + 150	7,38±0,05	96,0±1,0	20,4±6,0	850±236	23±93	292±2	54±16
1;1	110 + 150	7,35±0,01	10,9±0,7	91,0±1,4	110±30	90±4	254±27	60±16
0;0	70 + 100	7,65±0,14	50,6±1,0	58,0±2,2	540±96	51±17	234±30	64±16
0;0	70 + 100	6,67±0,12	9,7±0,3	92,0±1,3	104±1	91±3	192±5	70±13
0;0	70 + 100	6,61±0,09	9,0±3,7	92,5±3,6	93±2	92±3	191±3	70±13
-1,41;0	13,44 + 100	6,56±0,10	106,0±1,0	12,0±10,0	995±128	10±118	297±40	54±20
1,41;0	126,56 + 100	6,50±0,07	6,3±0,1	94,8±1,3	36±31	97±4	173±17	73±13
0; -1,41	70 + 29,3	6,70±0,01	8,8±1,1	92,7±1,6	78±10	93±3	163±1	75±12
0;1,41	70 + 170,7	6,82±0,11	11,3±0,4	90,7±1,3	88±11	92±3	161±2	75±12

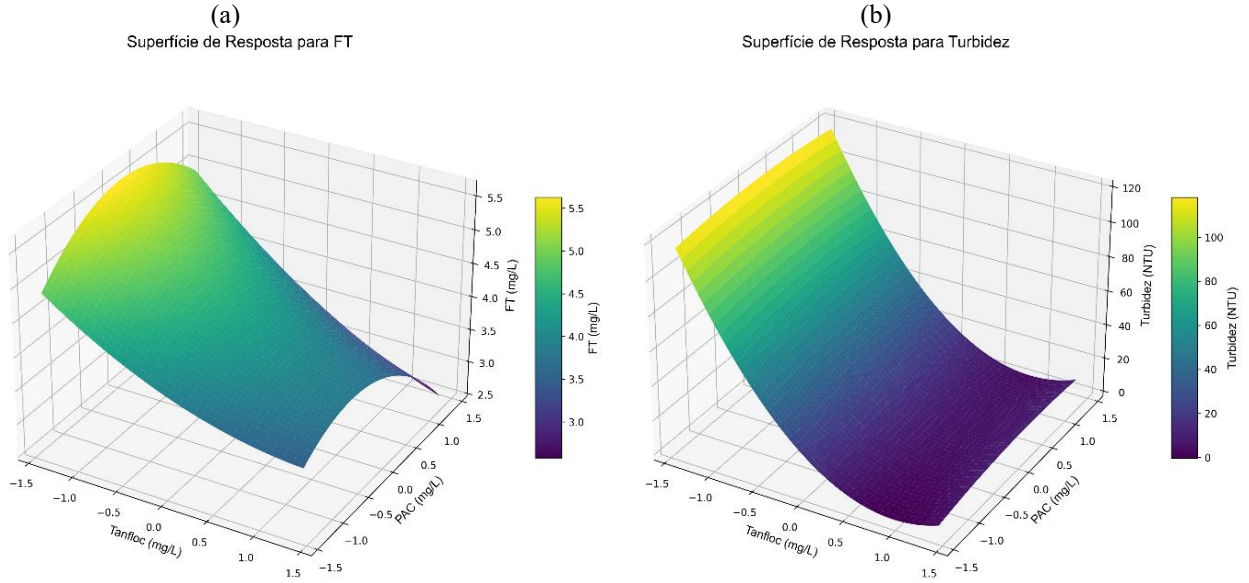
O pH manteve-se neutro, variando entre 6,50 e 7,65, descartando a necessidade de correção (Tabela 2). Leite; Hoffmann; Daniel, (2019) removeram 89,9% do fósforo total de águas residuais utilizando 75 mg/L de Tanfloc, com coagulação seguida de flotação por ar dissolvido. Ribeiro; Simioni; Pitol-Filho, (2015) também realizaram testes utilizando o Tanfloc em reatores e lodo ativado, obtendo uma remoção 16,4%, 2,9% e 7,2% com concentrações de 40, 80 e 160 mg/L, respectivamente. Utilizando 100 mg/L de PAC, Soroka et al. (2020) removeram 99% do fósforo de efluente doméstico. No presente estudo as maiores remoções de fósforo foram de cerca de 45% nas combinações 70 + 170,7 mg/L e 110 + 150 mg/L

(Tabela 3), uma remoção maior do que a da bibliografia, onde foi realizada somente a coagulação com Tanfloc, porém menor do que nos ensaios com PAC de estudos de outro autor.

Tabela 3: Resultados das análises físico-químicas – Parte 2

Fator	Tanfloc + PAC (mg/L)	SST (mg/L)	SST (%)	Fósforo Total (mg/L)	Fósforo Total (%)	Fósforo Reativo (mg/L)	Fósforo Reativo (%)
-----	Bruto	156±23	------	5,56±0,09	------	3,41±0,03	------
-----	0	88±1	44±37	6,64±0,14	------	4,12±0,19	------
-1; -1	30 + 50	80±12	49±37	5,21±0,04	6,21±29,27	3,46±0,14	------
1; -1	110 + 50	6±1	96±21	4,56±0,03	18,00±9,91	3,39±0,03	0,73±174,05
-1;1	30 + 150	84±18	46±43	3,52±0,04	36,72±5,32	3,20±0,03	6,16±19,09
1;1	110 + 150	4±1	97±21	4,58±0,23	17,64±25,38	2,86±0,03	16,13±7,56
0;0	70 + 100	54±17	66±32	3,02±0,03	45,72±4,16	3,08±0,04	9,82±13,65
0;0	70 + 100	9±4	94±22	3,98±0,01	28,44±6,17	3,08±0,01	9,68±9,09
0; 0	70 + 100	8±3	95±21	4,66±0,07	29,83±8,31	3,34±0,09	18,97±321,42
-1,41;0	13,44 + 100	74±9	53±33	4,57±0,01	31,24±7,18	4,06±0,04	1,50±97,29
1,41;0	126,56 + 100	5±4	97±21	5,96±0,02	10,21±21,21	4,40±0,18	------
0; -1,41	70 + 29,3	14±6	91±22	3,97±0,05	40,16±6,08	3,83±0,04	7,14±67,32
0;1,41	70 + 170,7	13±6	92±22	4,22±0,55	36,41±23,49	3,27±0,03	20,71±23,42

Figura 1: Concentração de Fósforo total (a) e Turbidez (b)



CONCLUSÕES:

Após a análise dos dados dos testes realizados, concluiu-se que a combinação do Tanfloc com o PAC não teve efeitos significativos na remoção de fósforo. Ao comparar com estudos de outros autores e com os testes preliminares, observou-se que a eficiência de remoção de fósforo dos dois coagulantes combinados superou a remoção do Tanfloc quando utilizado de forma isolada, porém ficou muito abaixo da remoção proporcionada pelo uso exclusivo do PAC.

BIBLIOGRAFIA

APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. **Washington: American Public Health Association**, p. 1360, 2012.

DAYARATHNE, H. N. P. *et al.* Removal of natural organic matter from source water: Review on coagulants, dual coagulation, alternative coagulants, and mechanisms. **Journal of Water Process Engineering**, v. 40, p. 101820, 1 abr. 2021.

DIVER, Denzil; NHAPI, Innocent; RUZIWA, Walter Rutendo. The potential and constraints of replacing conventional chemical coagulants with natural plant extracts in water and wastewater treatment. **Environmental Advances**, v. 13, p. 100421, 1 out. 2023.

HANJRA, Munir A. *et al.* Wastewater irrigation and environmental health: Implications for water governance and public policy. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 215, n. 3, p. 255–269, 1 abr. 2012.

JENICEK, P. *et al.* Energy self-sufficient sewage wastewater treatment plants: Is optimized anaerobic sludge digestion the key? **Water Science and Technology**, v. 68, n. 8, 2013.

KOUL, Bhupendra *et al.* **Application of Natural Coagulants in Water Treatment: A Sustainable Alternative to Chemicals**. **Water (Switzerland)**, 2022.

LEITE, Luan de Souza; HOFFMANN, Maria Teresa; DANIEL, Luiz Antonio. Coagulation and dissolved air flotation as a harvesting method for microalgae cultivated in wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, v. 32, 2019.

LIMA JÚNIOR; ABREU, F. O. M. S. Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes para tratamento de águas: uma revisão sobre benefícios e potencialidades. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 3, 2018.

LIMA, Paulo Renato; ALMEIDA, Igor Vivian de; VICENTINI, Veronica Elisa Pimenta. Os diferentes tipos de coagulantes naturais para o tratamento de água: uma revisão. **Evidência**, v. 20, n. 1, 2020.

LOPES, Jéssica Costa *et al.* Enhanced biological nitrogen and phosphorus removal from sewage driven by fermented glycerol: comparative assessment between sequencing batch- and continuously fed-structured fixed bed reactor. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 5, 2023.

METCALF & EDDY. INC. **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse**. 4 ed**.** New York: McGraw-Hill Book, 2003.

RIBEIRO, Maria Roseli Pires; SIMIONI, Deverson; PITOL-FILHO, Luizildo. Uso de tanino para remoção de nutrientes do esgoto sanitário da estação de tratamento de efluentes Nereu Ramos em Jaraguá do Sul - SC. **Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial - ISSN - 1983-1838**, v. 8, n. 1, 2015.

SANDINO, J. *et al.* Energy Efficiency in Wastewater Treatment in North America: A Compendium of Best Practices and Case Studies of Novel Approaches. **Proceedings of the Water Environment Federation**, v. 2011, n. 6, p. 169–182, 27 set. 2012.

SOROKA, V. D. et al. Remoção de Fósforo de Efluente Doméstico, Bruto e Tratado, Utilizando Quatro Diferentes Coagulantes: Cloreto Férrico, Policloreto de Alumínio, Sulfato de Alumínio e Tanfloc SG. *In:* POLETO, C. et al. (org.). **Anais do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de Estudos Ambientais**. Toledo: Editora GFM, 2020. cap. 24, p. 370-382.

SOUZA, M. V. **Relatório Parcial: O uso de tanfloc e coagulante químico para otimizar a remoção de fósforo**. Programa de Iniciação Científica Voluntária (PICV). Universidade Estadual de Campinas. Limeira. 2025.

SRIVASTAVA, Vimal Chandra; MALL, Indra Deo; MISHRA, Indra Mani. Treatment of pulp and paper mill wastewaters with poly aluminium chloride and bagasse fly ash. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 260, n. 1–3, p. 17–28, 15 jun. 2005.

SUKMANA, Hadid *et al.* **Adsorption and coagulation in wastewater treatment - Review**. **Progress in Agricultural Engineering Sciences**, 2021.

TANAC. **Boletim Informativo**. Montenegro - RS. Brasil (2008)