

Tratamento Físico-Químico por Coagulação de Efluente Laboratorial

RESUMO

Jean Carlos Petry
jean_carlospetry@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

Juliana Bortoli Rodrigues Mees
juliana@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

A coagulação é um processo aplicado no tratamento de efluentes com a finalidade de remover sólidos, desestabilizar os coloides e auxiliar a sedimentação. Foram realizados ensaios de coagulação/floculação/sedimentação em escala de bancada, com o objetivo de efetuar a otimização, por meio de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), das dosagens dos coagulantes: sulfato de alumínio, policloreto de alumínio (PAC) e Novfloc (a base de tanino), floculantes: polímero aniônico, catiônico e Polfloc (de origem orgânica), bem como da faixa de pH, avaliando a eficiência de remoção de turbidez. Foram testados três planejamentos: o primeiro, com dois produtos utilizados pelo empreendimento em sua planta de tratamento (sulfato de alumínio e polímero aniônico), o segundo, com coagulante parecido com o primeiro (PAC), no entanto, com floculante de característica oposta (polímero catiônico) e o terceiro, com coagulantes e floculantes de origem orgânica (Polfloc e Novfloc). Os três planejamentos demonstraram eficiências satisfatórias na remoção de turbidez, na faixa de 80 até 100% de remoção. Dos três modelos obtidos, dois deles foram válidos e um deles, preditivo. Constatou-se a possibilidade de substituição dos coagulantes podendo utilizar coagulante e floculante orgânicos e, também se percebeu, a dependência do pH na coagulação.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação. Efluente. Laboratorial. Coagulantes orgânicos.

INTRODUÇÃO

Para o tratamento de efluentes industriais, incluindo os laboratoriais, podem ser utilizados processos físico-químicos, como por exemplo, a coagulação seguida da floculação, que têm por finalidade remover partículas em suspensão e de tamanho coloidal, que causam cor e turbidez. Este processo de tratamento também contribui para a redução da matéria orgânica (SOLANA, 2014), sendo que o pH do meio líquido a ser tratado exerce grande influência sobre a eficiência da coagulação (CARVALHO, 2008).

Os colóides são partículas encontradas em águas residuárias e tipicamente possuem carga superficial negativa. São de pequenas dimensões e, devido a estas características, as forças de atração entre as partículas são inferiores que as forças de repulsão elétricas (METCALF & EDDY, 2016). Sendo assim, estas partículas encontram-se estabilizadas e não podem ser removidas por processos de tratamentos físicos convencionais.

A coagulação é o processo de desestabilização dessas partículas coloidais (0,1 a 1 μ m), a fim de que possam agrupar-se e ser eliminadas por floculação (ECKENFELDER, 2000). Os sais de alumínio e ferro são comumente empregados nos processos de coagulação e floculação, contudo são ambientalmente indesejáveis, pois os lodos produzidos podem disponibilizar íons solúveis que comprometem a saúde humana. É necessário, portanto, buscar coagulantes ambientalmente mais compatíveis (DA SILVA et al., 2003).

O uso de coagulantes e polímeros naturais pode apresentar-se como uma alternativa aos tratamentos com coagulantes convencionais, por apresentar algumas vantagens como a não-geração de subprodutos e precipitados de metal, o volume de lodo gerado pode ser de quatro a cinco vezes menor (FERREIRA, 2012), possuindo maior degradabilidade e podendo assim ser utilizado como adubo no solo (VAZ et al., 2010).

Deste modo, o objetivo do trabalho foi realizar a caracterização do efluente, verificar, por meio de ensaios de laboratório, os fatores que influenciam na eficiência do processo de coagulação/floculação. No tratamento por coagulação, além de buscar otimizar a forma de tratamento atual do efluente em estudo (Sulfato de alumínio e polímero aniônico), realizou-se ensaios de modo a apresentar resultados de duas formas alternativas, uma delas também com um sal de alumínio (PAC), porém com polímero catiônico e a outra, com polímeros naturais à base de tanino, o qual proporcionaria uma alternativa mais viável tecnicamente, já que o lodo gerado seria biodegradável e apresentaria metais em quantidade menor.

MÉTODOS

COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE:

A coleta de efluente foi realizada em uma estação de tratamento de um laboratório de análises físico-químicas, microbiológicas, testes de cozinha e análise sensorial, análise de sementes, análises sorológicas e de sanidade animal, localizado na região oeste do Paraná. A estação de tratamento é composta por caixa de gordura, caixa de coalescência (retenção de óleos), tanque de equalização, tratamento físico-químico (coagulação/floculação/sedimentação) seguida de filtração em filtros com camada de carvão ativado.

A caracterização físico-química do efluente em todas as etapas do tratamento foi fornecida pela empresa. Os parâmetros caracterizados foram: Matéria orgânica (DBO e DQO), Sólidos (SSed, ST, STF e STV, SST, SSF e SSV) e Óleos e Graxas (OG), seguindo-se as metodologias propostas pela APHA et al. (2012). Para os ensaios laboratoriais, de coagulação/floculação, o efluente foi coletado após a saída do tanque de equalização.

PREPARO DAS SOLUÇÕES:

Os coagulantes utilizados foram o Sulfato de Alumínio (à 20.000 ppm), Policloreto de Alumínio – PAC (50.000 ppm) e o Novfloc (10.000 ppm). Os floculantes utilizados foram os polímeros BASF Zetag® 4120 (carga aniônica e a 300 ppm), o Superfloc C-498 da Kemira (catiônico e a 3000 ppm) e o Polfloc D150 (orgânico, não-iônico e a 5000 ppm).

ENSAIOS PRELIMINARES DE DOSAGEM MÍNIMA E PH ÓTIMO:

A determinação da quantidade mínima de coagulante a ser dosada foi realizada em aparelho *Jar Teste*, utilizando-se de seis Becker com volume de 500 mL de efluente, com agitação de 30 rpm durante 3 minutos, para a visualização da formação dos flocos. No ensaio de determinação do pH ótimo, objetiva-se buscar o pH que melhor favorece a remoção de turbidez. Devido às faixas de aplicação de pH dos coagulantes, trabalhou-se com seis faixas de pH diferentes: 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5 e 8,0; Ao final, ainda foi realizado um ensaio com pH 5,0. Ajustado o pH em cada um dos Becker, estes foram colocados no aparelho *Jarteste*, que foi programado da seguinte maneira: Mistura rápida com 100 rpm durante 20 segundos, floculação à 30 rpm durante 15 minutos e, sedimentação durante 30 minutos.

ENSAIOS DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO:

O ensaio de dosagem ótima foi realizado no aparelho *Jar Teste* em cubas de plástico com volume de 1,5 L de efluente. Os gradientes de velocidades e os tempos foram tais quais como no ensaio de pH ótimo. Nestes ensaios, buscou-se analisar a interferência de três variáveis na resposta de remoção de turbidez: concentração de coagulante, concentração de floculante e pH. Os ensaios de dosagem ótima são realizados em duas etapas: Planejamento Inicial (fatorial 2³) e o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

O Delineamento Composto Central Rotacional permite ajustar um modelo matemático que seja capaz de prever os resultados que seriam alcançados quando se queira testar as variáveis. Os níveis das variáveis testadas no DCCR encontram-se no Quadro 1 abaixo.

Para análise dos resultados, fez-se uso do programa *Statística Versão 10.0* e com nível de significância de 95%.

Quadro 1 – Níveis dos Fatores no DCCR

Nível	-1,68	-1	0	+1	+1,68	-1,68	-1	0	+1	+1,68	-1,68	-1	0	+1	+1,68
Coagulante	Sulfato de Alumínio					PAC					Novfloc				
Conc. (ppm)	179	252	360	468	541	75	150	260	370	445	210	295	420	545	630
Floculante	BASF Zetag 4120					Kemira					Polfloc				
Conc. (ppm)	1,32	2	3	4	4,68	0,64	2	4	6	7,36	1,32	2	3	4	4,68
pH	5,74	6,25	7	7,75	8,26	5	5,5	6,25	7	7,5	4,32	5	6	7	7,68

Fonte: Autoria própria (2017)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE:

A caracterização do efluente é realizada periodicamente pela empresa, em todos os pontos do sistema de tratamento e, utiliza-se dados do efluente bruto e do ponto onde o efluente é coletado, na saída do tanque de equalização. O efluente bruto apresentou pH 10,24; concentração de matéria orgânica: DBO e DQO de 366 e 736 mg.L⁻¹, respectivamente e de sólidos totais de 1078 mg.L⁻¹. No tanque de equalização, o pH foi de 9,40; DBO e DQO de 399 e 758 mg.L⁻¹, respectivamente, e os sólidos totais, 1552 mg.L⁻¹.

DOSAGEM MÍNIMA DE COAGULANTE E PH ÓTIMO DE COAGULAÇÃO

Nos ensaios de dosagem mínima, verificou-se dosagens parecidas para os sais de alumínio (120 ppm para o Sulfato e 125 para o PAC) e uma dosagem maior para o coagulante orgânico (200 ppm). No ensaio do pH ótimo, percebeu-se que os sais de alumínio apresentaram maiores eficiências em condições de maior acidez, com pH ótimo de 5,5 e apresentando reduções conforme o aumento do pH. O coagulante orgânico praticamente não apresentou variações, exceto uma eficiência reduzida em pH 5,0.

OTIMIZAÇÃO DO SULFATO DE ALUMÍNIO E POLÍMERO ANIÔNICO

O planejamento fatorial demonstrou influência significativa apenas para o fator pH. O DCCR, realizado com o deslocamento para o nível superior das faixas de pH e de coagulante, apontou efeito significativo para todos os fatores. Em um nível de confiança de 95%, os termos significativos do modelo foram a concentração do coagulante (termos linear e quadrático), a concentração de floculante (termo linear), o pH (termos linear e quadrático) e as interações entre coagulante x pH e floculante x pH. O modelo obtido apresentou-se como válido ($F_{calculado}=4,74$ e $F_{tabelado}=3,39$) e explicando em 84,12% a remoção de turbidez. As melhores eficiências se deram em pH neutro, sendo que em pH mais altos a eficiência foi melhor em dosagens maiores de coagulantes.

OTIMIZAÇÃO DO POLICLORETO DE ALUMÍNIO (PAC) E POLÍMERO CATIONICO

O planejamento fatorial apontou influência significativa nos fatores da dosagem de coagulante e pH. O DCCR, foi realizado sem deslocamento de nenhuma das faixas. Todos os fatores tiveram efeito significativo e todos os termos do modelo também foram significativos. A equação do modelo explica em 97,058% o ajuste entre os valores reais e os valores preditos pelo modelo. A Análise de Variância demonstrou que o modelo é válido e preditivo ($F_{calc} > 4 * F_{tabelado}$). Prevaleceu melhores eficiências em pH neutro e acima de 7,0 e com remoção de turbidez de até 100% em pH 7,5. A regressão apontou que as concentrações superiores de coagulante e floculante, principalmente em pH ácido, tiveram menores porcentagens de eficiência.

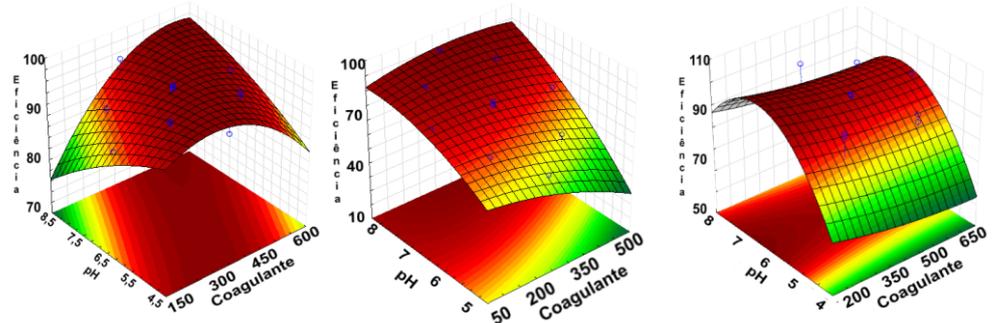
OTIMIZAÇÃO DO NOVFLC E POLFLC

O planejamento inicial demonstrou influência significativa apenas no fator pH. O DCCR, foi realizado com o deslocamento do pH para níveis inferiores e da dosagem de coagulante, para níveis superiores. Todos os fatores tiveram efeito significativo. No modelo apenas o termo da interação coagulante x pH não foi significativo. A equação explica em 69,978% o ajuste entre os valores reais e os valores preditos pelo modelo, porém, pela Análise de Variância conclui-se que o modelo é inválido, pois $F_{calculado}$ é menor que $F_{tabelado}$, bem como $p\text{-valor} > 0,05$.

ANÁLISE DOS TRÊS PLANEJAMENTOS

O primeiro planejamento, apresentou a maior eficiência, com valores entre 96% e 99,24% e com desvios pequenos. O segundo planejamento foi o que apresentou menores eficiências, com média de 81,31% e máximo de 94,1%. E o terceiro planejamento, apresentou valores médios de aproximadamente 90% de eficiência, podendo atingir até 99% de eficiência. Na figura 1, é possível visualizar os Gráficos de Superfícies para os três DCCR's, com os eixos de pH e dosagem de coagulante (ppm) e a resposta na eficiência de remoção de turbidez (%).

Figura 1 – Gráficos de Superfície de Resposta da Remoção de Turbidez



Fonte: *Software* Statística 10.0

CONCLUSÕES

Demonstrou-se nos estudos a possibilidade de uso dos três tipos de coagulantes, visto que apresentaram valores satisfatórios na remoção de turbidez. Além da otimização do coagulante em uso, a alternativa de utilizar produtos orgânicos se faz viável tecnicamente, tanto pela eficiência no tratamento como também pela possibilidade de tornar o lodo biodegradável. O estudo demonstra a possibilidade de tratamento, via coagulação, para efluentes de laboratório e também da otimização das dosagens em escala de bancada. Recomenda-se, para estudos futuros, observar comportamentos em efluentes com outras características para testar o uso de coagulantes orgânicos, pois são alternativas viáveis tecnicamente e ambientalmente.

Physical-Chemical Treatment of Laboratory Effluent By Coagulation

ABSTRACT

Coagulation is a process applied in the treatment of effluents for the purpose of removing solids, destabilizing colloids and aiding sedimentation. Coagulation/flocculation/sedimentation tests were carried out on a bench scale, with the purpose of optimizing, by means of a Rotational Central Compound Design (RCCD), of the dosages of coagulants: Aluminum sulfate, Aluminum polychloride (APC) and Novfloc (the tannin base), flocculants: anionic, cationic and Polfloc polymer (of organic origin), as well as pH range, evaluating the turbidity removal efficiency. Three plans were tested: the first one, with two products used by the project in its treatment plant (aluminum sulfate and anionic polymer), the second, with coagulant similar to the first (APC), however, with flocculant of opposite characteristic (cationic polymer) and the third, with coagulants and flocculants of organic origin (Polfloc and Novfloc). The three designs showed satisfactory turbidity removal efficiencies in the 80 to 100% removal range. Of the three models obtained, two of them were valid and one of them, predictive. It was possible to substitute the coagulants and to use organic coagulant and flocculant, and also the pH dependence on the coagulation.

KEYWORDS: Coagulation. Wastewater. Laboratory. Organic Coagulants.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UTFPR – Medianeira, pela concessão da Bolsa de PIBITI; à orientadora Juliana Bortoli, pela organização do projeto, direcionamento das atividades e pelo conhecimento compartilhado; aos demais colegas que auxiliaram na realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. Maringá, 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2008.

DA SILVA, F. J. A.; SOUZA, L. M. M.; MAGALHÃES, S. L. Uso potencial de biopolímeros de origem vegetal na descolorização de efluente têxtil índigo. In: **XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003**. Joinville - SC.

ECKENFELDER JR, W. **W. Industrial Water Pollution Control**. 3.ed, EUA: McGraw-Hill, 2000.

FERREIRA, R. P. **Uso de coagulantes naturais como pré-tratamento de efluente de laticínio**. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012

METCALF & EDDY. AECOM. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

SOLANA, Isabela. **Estudo da viabilidade de utilização de um polímero de base orgânica em substituição ao cloreto férrico no tratamento de efluente industrial**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014.

VAZ, L. G. L. KLEN, M. R. F. VEIT, M. T. SILVA, E. ABARBIERO, T. A. BERGAMASCO, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Revista Eclética Química**. São Paulo. Volume 35, número 4, 2010.

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017

Como citar:

PETRY, J. C.; MEES, J. B. R. Tratamento Físico-Químico por Coagulação de Efluente Laboratorial. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Jean Carlos Petry
Rua Avenida Brasil, 4232, Medianeira, Paraná, Brasil.

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

