

II-079 - OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE COAGULAÇÃO DE EFLUENTE INDUSTRIAL ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO DCCR

João Vitor Rodrigues de Souza⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas. Mestrando em Ciência e Engenharia Ambiental – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Alfenas.

Rafael de Oliveira Tiezzi⁽²⁾

Doutor em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais. Professor do Instituto de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas.

Rafael Brito de Moura⁽³⁾

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento. Professor do Instituto de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas.

Endereço⁽¹⁾: Rua Gabriel Rodrigues Martins, 38 – São Geraldo – Poços de Caldas - MG - CEP: 37701-338 - Brasil - Tel: (12) 99668-7347 - e-mail: jsouza.rois@gmail.com

RESUMO

O objetivo do trabalho foi a aplicação de um processo de tratamento físico-químico em um efluente de recicladora de PET, empregando um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), avaliando as influências da dosagem de coagulante e do pH, na eficiência de remoção de DQO e de ST. As variáveis independentes foram o pH e a dosagem de coagulante. Empregou-se o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) como coagulante e o hidróxido de cálcio (CaOH) como agente alcalinizante para controle do pH. Foram realizados um total de 12 ensaios, com variações de dosagem de coagulante na faixa de 1590 a 4410 mg/L e de pH de 6,3 a 7,7. Os resultados revelam que as condições ótimas para a redução DQO e ST foram dosagem de coagulante de 3000 mg. L-1, e pH 7, 0. O Delineamento utilizado foi apropriado para otimizar o processo de coagulação-floculação, possibilitando o uso de um coagulante amplamente empregado e de menor custo, satisfazendo uma elevada eficiência ao sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente PET, Coagulante, Tratamento Físico-químico, DCCR, Condição Ótima

INTRODUÇÃO

Um dos principais desafios ambientais enfrentados pelos municípios brasileiros se foca no controle da geração excessiva de resíduos sólidos urbanos, cuja produção alavancou tanto volume quanto diversificação, fazendo-se necessário esforços para tomar medidas que mitiguem ou ao menos minimizem a geração destes (AZEVEDO, 2004)

Dentre as alternativas que podem ser empregadas com o objetivo melhorar o gerenciamento destes resíduos, consiste na reciclagem. Segundo RIBEIRO (2014), o processo baseia-se no reaproveitamento dos resíduos sólidos, diminuindo consideravelmente o uso de matéria-prima e também a quantidade de lixo enviados à aterros sanitários, além de corroborar à geração de novos postos de trabalho e de fonte de renda para a população local.

No que diz respeito especificamente aos plásticos, a reciclagem é o modo mais convencional de se recuperar o valor agregado do Polietileno tereftalato (PET). No processo, os produtos plásticos são moídos, lavados, submetidos à secagem e reprocessados, transformando o polímero em produto acabado (GONÇALVES-DIAS, 2006). Contudo, apesar do ganho significativo creditado a este processo, a reciclagem de PET também causa diversos impactos ambientais, sobretudo no que diz respeito ao efluente gerado no processo, necessitando-se que seja feito um tratamento adequado e restrito as condições presentes no efluente.

Segundo Salgado et al. (2009), vários estudos já foram realizados, a fim de encontrar o melhor tratamento, tanto economicamente quanto ambientalmente correto para os efluentes industriais. Entre os tratamentos mais

utilizados encontram-se os físico-químicos, como por exemplo, a coagulação, sedimentação e filtração, seguidos de outros processos como o biológico ou processos de adsorção com carvão ativado.

O emprego da coagulação é amplamente utilizado para tratamento de águas residuais com elevado teor de sólidos, devido as condições simples de operação e elevada eficiência (ZHRIM e HILAL, 2013). Muitos fatores podem influenciar a eficiência de coagulação, como o tipo e a dosagem de coagulante, pH, velocidade de mistura, tempo de detenção hidráulica, dentre outros (ZHU et al, 2004 e DESJARDINS et al, 2002). Desta forma, a otimização desses fatores pode aumentar de forma significativa a eficiência do processo.

Nos experimentos multifatoriais convencionais, a otimização é geralmente realizada variando um único fator, mantendo todos outros fatores fixados em um conjunto específico de condições (WANG et al, 2007). Além de demandar mais tempo para sua realização, e possivelmente custos operacionais, o processo normalmente conduzido desta forma torna-se incapaz de alcançar uma condição ótima, uma vez que as interações entre as variáveis são ignoradas. Por outro lado, o planejamento experimental fatorial consiste em uma metodologia que envolve o processamento antes, durante e depois da obtenção dos dados, permitindo obter parâmetros estáticos representativos e encontrar as interações entre as variáveis nas respostas desejadas (SOUZA et al, 2018). Assim, o objetivo deste trabalho foi o uso da metodologia do Delineamento do Composto Central Rotacional (DCCR) na otimização do processo de coagulação para tratamento de efluente de uma recicladora de PET.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi o uso da metodologia de DCCR, aplicado para determinar as influências da dosagem de coagulante e do pH, na eficiência de remoção da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e de Sólidos Totais (ST) de um efluente de recicladora de PET.

MATERIAS E MÉTODOS

ÁGUA RESIDUÁRIA

O efluente bruto foi coletado de uma empresa recicladora de PET situada na região sul do estado de Minas Gerais. O efluente supracitado foi utilizado aproximadamente 15h após sua coleta, por questões operacionais, sendo durante este período mantidas em tambores fechados, sem contato com o ar, sob temperatura ambiente.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas foram realizadas de acordo com *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), sendo estas o potencial hidrogeniônico - pH (4500 H*), a Demanda Química de Oxigênio - DQO (5220 D) e a série de sólidos (2540 G), ressaltando ainda que as amostras não foram filtradas para a realização das análises.

PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Foram analisados os efeitos de dois fatores sobre a eficiência de remoção de DQO (%) e da eficiência de remoção de ST (%). Os fatores abordados, ditas como variáveis independentes, foram o pH e a dosagem de coagulante, expresso em mg/L. Empregou-se o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) como coagulante e o hidróxido de cálcio (CaOH) como agente alcalinizante para controle do pH.

A partir de estudos preliminares e ensaios laboratoriais, foram determinados faixa de observação das variáveis independentes, mostradas na Tabela 1. Com o intuito de reduzir o número de ensaios e obter a condição ótima, foi aplicado o delineamento DCCR (RODRIGUES e IEMMA, 2014). Neste delineamento, foram realizados um total de 12 ensaios, feitos de forma aleatória, sendo realizados 4 ensaios nos níveis +1 e -1 (delineamento fatorial), 4 ensaios realizados nos pontos axiais +1,41 e -1,41 e 4 repetições no ponto central.

Tabela 1- Variáveis independentes estudadas

Variáveis	Coeficientes	Níveis				
		-1,41	-1	0	1	1,41
Dosagem mg/L	X1	1590	2000	3000	4000	4410
PH	X2	6,3	6,5	7,0	7,5	7,7

JAR TEST

O jar-test foi montado à temperatura ambiente para execução experimental. Em cada jarro, foi adicionado 2000 mL do efluente bruto. Após o enchimento, foi realizada a dosagem de coagulante pré-determinada para cada jarro, conforme a Tabela 1, promovendo-se a agitação do efluente presente no jarro à 150rpm. Após a adição do coagulante, foi adicionando-se vagarosamente o agente alcalinizante até se atingir o valor de pH pré-fixado a cada ensaio. No instante que tal valor fora atingindo, diminuiu-se a velocidade de agitação para 30rpm, onde a mesma permaneceu por 30 minutos, para a ocorrência da coagulação. Após este tempo, suspendeu-se a agitação, permanecendo o jarro em repouso por mais 30 minutos, para a sedimentação dos sólidos. Após esse período, com auxílio de uma mangueira conectada a uma seringa, realizou-se a coleta da amostra sobrenadante (efluente clarificado), sendo esta utilizada para as análises de DQO e série de sólidos no efluente. As eficiências de remoções de DQO e de sólidos totais foram calculados usando equações 1 e 2, respetivamente:

$$\text{Remoção de Sólidos (\%)} = (ST_{\text{inicial}} - ST_{\text{final}}) / ST_{\text{inicial}} \quad \text{Equação 1.}$$

onde “ST_{Inicial}” corresponde a concentração inicial de sólidos totais presente no efluente (mg/L) e “ST_{Fncial}” a concentração final de sólidos totais presentes na amostra pós-tratamento físico-químico (mg/L).

$$\text{Remoção de DQO (\%)} = (DQO_{\text{inicial}} - DQO_{\text{final}}) / DQO_{\text{inicial}} \quad \text{Equação 2.}$$

onde “DQO_{Inicial}” corresponde a concentração inicial de DQO presente no efluente (mg/L) e “DQO_{Fncial}” a concentração final de DQO presentes na amostra pós-tratamento físico-químico (mg/L)

MODELO ESTATÍSTICO-MATEMÁTICO

Após a obtenção dos dados de cada ensaio, realizou-se uma análise de regressão múltipla, cujo objetivo foi de estimar parâmetros do modelo de regressão pelo método dos mínimos quadrados. Com isso, realizou-se um ajuste a um modelo estatístico-matemático de segunda ordem, que estabeleceu relações entre as variáveis independentes e as variáveis dependentes (RODRIGUES e IEMMA, 2014).

Propôs-se uma análise estatística baseado num modelo geral de segunda ordem com interação dos fatores. Segundo Montgomery¹ (2005), a função polinomial de segunda ordem que relaciona uma dada resposta y com k variáveis de entrada apresenta o formato descrito na equação 3.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad \text{Equação. 3}$$

onde “y” é a resposta de interesse (variável dependente), “β₀”, “β_i”, “β_{ii}” e “β_{ij}” são parâmetros do modelo, “k” corresponde ao número de fatores, “x” ao parâmetro de entrada (variáveis independentes) e “ε” o erro aleatório.

Para o estabelecimento do delineamento experimental e regressão múltipla dos dados, utilizou-se o software Protimiza Experimental Design (RODRIGUES e IEMMA, 2005). Tais modelos foram validados através da análise de variância ANOVA, sendo estatisticamente confiáveis a 95% (p<0,05), de acordo com o teste da razão F (F_{cal}>F_{tab}).

¹ apud GERALDINO, 2014, p.37

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Os valores encontrados de pH médio, de concentração de sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF), sólidos totais voláteis (STV) e de DQO no efluente bruto estão dispostos na Tabela 2. Pode-se perceber que a amostra estudada apresentou fração semelhante entre STF (fração inorgânica) e STV (fração orgânica). Desta forma, presume-se que o alto teor de STF presentes no efluente poderá dificultar uma eficaz biodegradação deste, tornando-se importante, desta forma, considerar mecanismos de tratamentos físico-químicos (VON SPERLING, 2005).

Tabela 2 - Caracterização do efluente bruto.

Parâmetro	pH médio	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	DQO mg/L
Valor mensurado	6,5	5403,0	2684,0	2539,0	6189,0

Ressalta-se também a alta concentração de DQO encontrado, sendo esta quase 10 vezes superior as concentrações usuais de esgoto sanitário (VON SPERLING, 1995). Em indústrias de reciclagem de PET, devido ao comumente emprego de detergentes, como insumo básico aplicado à limpeza das embalagens, acaba-se gerando um efluente com elevada carga orgânica ao sistema, e por consequência, dificultando a operação de sistemas biológicos para o tratamento dos efluentes de indústrias deste ramo (SCHOENHALS, 2006 e CASALI, 2011).

A Tabela 3 sintetiza as concentrações dos efluentes e as eficiências obtidas ao longo dos 12 ensaios realizados. Percebe-se que o sistema proposto apresentou baixa eficiência de remoção de ST. Em termos comparativos, o sistema atingiu a maior taxa de remoção no Ensaio 6 (25,78%), sendo este o teste submetido com maior dosagem de coagulante. Todavia, o Ensaio 3, apresentou uma taxa de remoção 5% menor do que o Ensaio 6, mesmo sendo realizado sob uma dosagem de coagulante de mais de 50% inferior a aquele. Logo, percebe-se que a variação da dosagem de coagulante, no intervalo estudado, não contribuiu significativamente à remoção de ST.

Tabela 3 - Valores de concentração de ST, STF, STV e DQO efluente, de remoção de ST e DQO obtidos a cada experimento, em relação a dosagem de coagulante e ao pH.

Ensaio	Dosagem mg/L	Nível	pH	Nível	ST mg/L	STF mg/L	STV mg/L	DQO mg/L	Remoção ST (%)	Remoção DQO (%)
1	2000,0	-1	6,5	-1	4240	2200	2040	1847,76	21,53	41,77
2	4000,0	1	6,5	-1	4040	1620	2420	3317,69	25,23	70,11
3	2000,0	-1	7,5	1	4280	1590	2680	2116,18	20,82	46,32
4	4000,0	1	7,5	1	4060	3670	390	4046,26	24,86	65,76
5	1590,0	1,41	7,0	0	4160	2760	1390	1950,02	23,08	34,54
6	4410,0	-1,41	7,0	0	4010	3460	550	2474,08	25,78	68,45
7	3000,0	0	6,3	1,41	4100	3280	820	2192,87	24,02	59,97
8	3000,0	0	7,7	-1,41	4150	3170	990	2512,42	23,14	64,52
9	3000,0	0	7,0	0	4110	1440	2670	2422,95	23,93	59,35
10	3000,0	0	7,0	0	4230	2630	1600	2295,13	21,71	60,80
11	3000,0	0	7,0	0	4320	3100	1220	2180,09	20,04	62,87
12	3000,0	0	7,0	0	4300	3160	1140	1847,76	20,40	64,73
Valores Médio					4170	2690	1490	2433,60	22,87	58,27

Já em relação a remoção de DQO, observa-se que as menores eficiências foram obtidas nos ensaios conduzidos com as menores dosagens de coagulante – ensaios 1,3 e 5 – demonstrando que elevadas dosagens de coagulante possibilitam melhores resultados de remoção de DQO. Paralelo a isso, os ensaios 1 e 3, que foram submetidos à mesmas dosagens de coagulante, apresentaram remoções distintas. Pode-se atribuir tal situação ao fato de os ensaios terem sido conduzidos sobre faixas de pH distintas, onde a melhor remoção fora obtida no ensaio com maior valor de pH. Ainda assim, o valor médio obtido para remoção de DQO se aproxima de outros estudos reportados em literatura. Bordonalli e Mendes (2009) conseguiram uma redução na DQO de 65,7% em um efluente de reciclagem plástica utilizando hidroxícloreto de alumínio. Cruz et al. (2005) utilizou tanino catiônico em efluente de lavanderia reduzindo a DQO em 84,1%. Casali (2011) obteve uma eficiência de

78% na remoção de DQO, tendo empregado tanino vegetal como agente floculante ao tratamento de um efluente de recicladora de resíduos plásticos. Assim, considerando que os efluentes apresentam diferentes tipos de sujidades e que estes variam diariamente, pode-se apontar que a remoção obtida foi satisfatória, considerando que o sulfato de alumínio é um coagulante amplamente utilizado, de fácil obtenção e economicamente viável.

De acordo com Pelegrine e Gasparetto (2003), durante o processo de coagulação ocorre um processo chamado ponto isoelétrico, definido como o pH característico no qual as cargas positivas e negativas se anulam, promovendo assim, a formação de flocos. Ao se comparar as remoções de DQO obtidas nos ensaios realizados, percebe-se que o pH característico para este efluente se encontra próximo de 7,0.

A título de comparação, os Ensaios 4 e 6 submetidos as maiores dosagens de coagulantes, apresentaram remoções próximo aos Ensaios 9,10,11 e 12, cuja dosagens foram 25% menores que as primeiras. Tal condição reforça a ideia de que, para este efluente, mesmo submetido a maiores dosagens de coagulantes, mantendo-se o pH em torno de 7,0, a remoção de DQO real a ser obtida possivelmente não variará significativamente, acarretando, desta forma, custos desnecessários ao processo.

Com base nos resultados experimentais, ajustou-se os dados ao modelo estatístico-matemático apresentado na Eq.3. A Tabela 5 apresenta o resultado da análise de variância (ANOVA) dos parâmetros de regressão. O valor de F é usado para estimar se o coeficiente é grande o suficiente para indicar significância estatística, isto é: se $F_{\text{calRegressão}} \geq F_{\text{tabRegressão}}$, e se $F_{\text{faltadeajuste}} \leq F_{\text{tab}}$. (SRIDHAR et al, 2014).

Tabela 5 - Resultado da análise de variância (ANOVA) dos modelos quadráticos para remoção de DQO e ST.

Fator	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	F _{Tab}
Remoção de DQO = $0,62 + 0,12X_1 - 0,06X_1^2 - 0,02X_1X_2$; $R^2 = 0,976$; p-valor (modelo) = 0,0496					
Regressão	0,1	3	0,0445	108,3	4,07
Resíduos	0,0	8	0,0004	0,0	-----
Falta de Ajuste	0,0	5	0,0002	0,5	5,41
Erro Puro	0,0	3	0,0006	0,0	-----
Total	0,1	11	0,0445	-----	-----
Remoção de ST = $0,22 + 0,01X_1 - 0,01X_1^2$; $R^2 = 0,5916$; p-valor (modelo) = 0,0476					
Regressão	0,0	2	0,0013	6,5	4,26
Resíduos	0,0	9	0,0002	0,0	-----
Falta de Ajuste	0,0	6	0,0001	0,4	4,76
Erro Puro	0,0	3	0,0003	0,0	-----
Total	0,0	11	0,0013	-----	-----

Em relação a remoção de DQO, conforme visto na Tabela 5, o efeito quadrático da dosagem de coagulante e o efeito linear do controle de pH foram significativos, além do efeito de interação entre esses dois fatores, sendo este modelo capaz de explicar até 97,6% da variabilidade dos dados. Pode-se observar ainda que o valor do nível descritivo (p-valor) encontrado foi inferior ao nível de significância admitida neste estudo. Isso significa que para um intervalo de confiança de 95%, pode-se dizer que os coeficientes relacionados aos fatores apresentados são significativos.

Para o processo de remoção de ST, apenas a dosagem de coagulante (linear e quadrático) foi significativo no modelo, sendo que o modelo explicou até 59,16% da variabilidade dos dados. Quando um modelo matemático apresenta R^2 abaixo de 70%, deve ser considerado inadequado para projeções sobre as observações futuras (SRIDHAR et al, 2014). Porém, deve ser analisado através do teste de falta de ajuste se $F_{\text{regressão/resíduos}} < F_{\text{tab}}$, indicando assim se o problema do modelo consiste na falta repetibilidade do processo, ou se as repostas obtidas apresentam pouca variação dentro do erro experimental da medição em análise RODRIGUES e IEMMA, 2005).

Para efeito comparativo, testou-se a falta de ajuste para os ensaios realizados neste estudo. Os valores calculados de F para a remoção de DQO e de ST, foram, respectivamente, F_{calc} (0,5) e (0,4). Usando um nível de significância de 5%, sob H_0 , tem-se para remoção de DQO, uma região crítica definida para $F > 5,41$ e para

remoção de ST, $F > 4,76$. Assim, como $F_{\text{calc DQO}}$ é igual a 0,5, menor que o F_{tab} (5,41) e $F_{\text{calc ST}}$ igual a 0,4, menor que o F_{tab} (4,76), a hipótese H_0 , isto é, a equação que descreve o modelo será paralela ao eixo x. Logo, com 5% de significância, tem-se que ambos modelos não apresentam falta de ajuste (RODRIGUES, 2014).

O modelo previsto para remoção de ST apresentou um coeficiente $X_2 = 0$. Isto significa que, para a faixa estudada neste trabalho, o efeito do controle do pH sob a remoção de ST foi estatisticamente insignificante. Entretanto, ressalta-se que o coeficiente X_1 obtido foi significativo ($p\text{-valor modelo} < p\text{-valor } 0,05$). A Figura 1 mostra relação entre fatores e respostas pelo gráfico de superfície de resposta da remoção de DQO e de ST

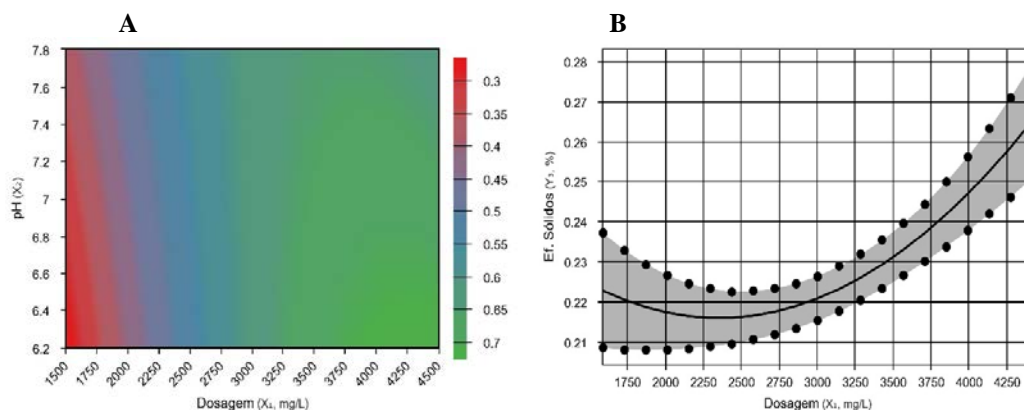


Figura 1 - Superfície de resposta dos efeitos da interação entre a dosagem de coagulante e pH na remoção de DQO (A) e de ST (B).

O gráfico de superfície de resposta para remoção de DQO indica os valores obtidos de eficiência de remoção de DQO em função das variáveis independentes. Percebe-se que, fixando uma mesma dosagem de coagulante, a eficiência de remoção poderá aumentar na medida em que se altera o pH no meio. Em outras palavras, alterando a faixa de operação do pH, é possível obter melhores eficiências de remoção de DQO mesmo reduzindo a quantidade de coagulante aplicada ao processo. Já para remoção de ST, o gráfico obtido indica a eficiência de remoção de ST é função somente da dosagem de coagulante, sendo as maiores eficiências encontradas com maiores dosagens de coagulantes.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi possível avaliar as influências da dosagem de coagulante e do pH, na eficiência de remoção de DQO e de ST de um efluente de recicladora de PET, aplicando um DCCR. Os resultados revelam que as condições ótimas para a redução de ir turbidez foram dosagem de coagulante de 3000 mg. L⁻¹, e pH 7, 0. A verificação experimentos demonstram que a abordagem DCCR foi apropriado para otimizar o processo de coagulação-floculação, possibilitando o emprego de um coagulante comumente aplicado à esta finalidade, satisfazendo uma elevada eficiência ao sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZEVEDO, G. O. D. Por menos lixo: A minimização dos resíduos sólidos urbanos na cidade do Salvador/Bahia. 2014. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.
2. RIBEIRO, L. C. S.; et al. Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do Estado do Rio de Janeiro. Nova econ., Belo Horizonte, v. 24, n. 1, p. 191-214, Abr. 2014
3. GONCALVES-DIAS, S. L. F. Há vida após a morte: um (re)pensar estratégico para o fim da vida das embalagens. Gest. Prod. [online]. Vol.13, n.3, pp.463-474. 2006. ISSN 0104-530X.
4. SALGADO, B.C.B.; et al. Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H2O2). Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 14, n. 1, p. 1-8, 2009.

5. ZAHIRIM, A, Y; HILAL N. Treatment of highly concentrated dye solution by coagulation/flocculation sand filtration and nanofiltration. *Water Resources and Industry*, v.3, p. 23-34. 2013.
6. ZHU, K; EL-DIN, M, G; MOAWAD, A, K; BROMLEY, D, Physical and chemical processes for removing suspended solids and phosphorus from liquid swine manure, *Environ. Technol* p.1177–1187. 2004.
7. DESJARDINS, C. KOUDJONOU, B; DESJARDINS, R. Laboratory study of ballasted flocculation. *Water Res.* 36. p.744–754. 2002
8. WANG, L. et al. Cloud point extraction coupled with HPLC-UV for the determination of phthalate esters in environmental water samples. *J. Environ. Sci. (China)*. n.19, p. 874–879. 2007.
9. SOUZA, L, D, P; AZEVEDO, G, A; SILVA, F, A. Comportamento do concreto sob altas temperaturas via planejamento experimental fatorial com configuração estrela. *Ambiente Construído*, v.18, n.1. p. 327-344. 2018.
10. APHA. Standard Methods for Water and Wastewater. American Public Health Association. Baltimore, MD: United Book Press, 22º Ed. 2012.
11. RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. Planejamento de experimentos e otimização de processos. 3ª ed. Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, Campinas-SP, 358p. 2014
12. GERALDINO, H. C. L. Eletrofloculação aplicada ao tratamento de efluente da indústria de laticínio. Itapetinga, 2014. Dissertação de mestrado - Ciências Ambientais - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2014.
13. MONTGOMERY, D. C. Design and analysis of experiments. 6ª ed. New York: John Wiley, 643 p. 2005.
14. RODRIGUES, M, I; IEMMA, A, F. Planejamento de experimentos e otimização de processos - uma estratégia sequencial de planejamentos. Editora Casa do Pão, 2005.
15. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG, vol. 1, 3º Ed. Belo Horizonte. 2005.
16. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. v.1. Belo Horizonte 1995.
17. SCHOENHALS, M. Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola. Florianópolis, 2006. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
18. BORDONALLI, A, C, O; MENDES, C, G, N. Water reuse on HDPE plastics recycling pack industry. *Eng. Sanit. Ambient.* [online], vol.14, n. 2, p 235-244. 2009.
19. CASALI, J. D. Tratamento do efluente de uma recicladora de plásticos utilizando coagulante não metálico e compostagem. Santa Maria, 2011. Dissertação de mestrado – Engenharia de Processos - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011
20. CRUZ, J.G.H.; MENEZES, J.C.S.S.; RUBIO, J.; SCHNEIDER, J.A.H. Aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação do efluente de uma lavanderia industrial. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 2005
21. PELEGRINE, D. H; GASPARETTO, C. A. Estudo da solubilidade das proteínas presentes no soro de leite e na clara de ovo. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.5, n.1, p.57-65, 2003
22. SRIDHAR, R.; et al. Influence of operating parameters on treatment of egg processing effluent by electrocoagulation process. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 11, 2014. p. 1619–1630. 2014