

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 05/02/2023.

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(MICROBIOLOGIA APLICADA)**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E
ECOTOXICOLÓGICAS DE EFLUENTES TÊXTEIS E PROPOSTA DE
TRATAMENTO POR COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO**

PEDRO HENRIQUE MAINARDI

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(MICROBIOLOGIA APLICADA)**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS E
ECOTOXICOLÓGICAS DE EFLUENTES TÊXTEIS E PROPOSTA DE
TRATAMENTO POR COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO**

PEDRO HENRIQUE MAINARDI

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas (Microbiologia Aplicada).

Orientador: Prof. Dr. Ederio Dino Bidoia.

M224c Mainardi, Pedro Henrique
Características físico-químicas, microbiológicas e ecotoxicológicas de efluentes têxteis e proposta de tratamento por coagulação/floculação / Pedro Henrique Mainardi. -- Rio Claro, 2021 225 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientador: Ederio Dino Bidoia

1. Efluente têxtil. 2. Ecotoxicologia. 3. Toxicidade aguda. 4. Decantação. 5. DCCR. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Características físico-químicas, microbiológicas e ecotoxicológicas de efluentes têxteis e proposta de tratamento por método de sedimentação

AUTOR: PEDRO HENRIQUE MAINARDI

ORIENTADOR: EDERIO DINO BIDOIA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (MICROBIOLOGIA APLICADA), área: Microbiologia Aplicada pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. EDERIO DINO BIDOIA (Participação Virtual)
Departamento de Biologia Geral e Aplicada / IB Rio Claro



Profa. Dra. DEJANIRA DE FRANCESCHI DE ANGELIS (Participação Virtual)
Departamento de Biologia Geral e Aplicada / IB Rio Claro



Prof. Dr. PAULO RENATO MATOS LOPES (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - UNESP



Prof. Dr. EDSON APARECIDO ABDUL NOUR (Participação Virtual)
Departamento de Saneamento e Ambiente / UNICAMP



Prof. Dr. PETERSON BUENO DE MORAES (Participação Virtual)
Laboratório de Desenvolvimento de Sistemas para Saneamento Ambiental / UNICAMP

Rio Claro, 05 de fevereiro de 2021

Título alterado para: "Características físico-químicas, microbiológicas e ecotoxicológicas de efluentes têxteis e proposta de tratamento por coagulação/floculação"

À memória de

Kikuko e Timaru Tomotani, Herminio e Luiza Moreli Mainardi

Agradecimentos

O longo caminho de produção desta Tese não seria possível sem a colaboração e amparo de pessoas queridas, às quais agradeço com muito carinho e orgulho.

Em especial, agradeço aos meus pais, Carmem Tomotani Mainardi e José Francisco Mainardi, e irmãs Camila Mainardi e Gabriela Mainardi, pilares de minha construção. Forneceram-me todo o amor, compreensão e apoio necessários durante meus caminhos. Também aos meus Tios, Tias, Avôs, Avós e Primos, que transmitiram importantes valores, sobretudo, de perseverança e dedicação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ederio Dino Bidoia, com importantes e decisivas contribuições. Seus ensinamentos, tanto acadêmicos, profissionais e pessoais, serão lembrados por toda minha vida. Agradeço de coração sua orientação e, principalmente, sua grande confiança e paciência.

Aos alunos e alunas do Programa de Microbiologia Aplicada e dos cursos de Pós e Graduação da Unesp de Rio Claro. O calor humano que recebi, desde meu ano de ingresso até o final, me forneceram grande acolhimento e incentivo. Não consigo sequer imaginar o quão difícil teria sido passar por todas essas etapas sem a presença de grandes amigos e amigas que fiz durante essa longa jornada. Recordarei com muito carinho as experiências únicas que vivenciei e guardarei no peito os ensinamentos tive. Desejo-lhes boas energias e muita sorte pela frente.

Aos Professores, Professoras e Servidores Técnicos e Administrativos do Departamento de Bioquímica e Microbiologia da Unesp. O suporte e amizade que me forneceram durante minha estadia foram imprescindíveis. Lembrarei com muito orgulho os conceitos tão fundamentais que me ensinaram, como o de responsabilidade, franqueza e iniciativa.

À Profa. Dra. Aparecida Marin-Morales e ao Professor Dr. Fernando Carlos Pagnocca. Suas importantes opiniões profissionais e enorme apoio motivacional foram decisivos na construção desta Tese.

À Profa. Dra. Dejanira de Franceschi, aos Profs. Dr. Edson Aparecido Abdul Nour, Dr. Paulo Renato Matos Lopes e Dr. Peterson Bueno de Moraes, que contribuíram imensamente em meus exames de qualificação e defesa.

Aos amigos e amigas da Unesp de Ilha Solteira. As grandes experiências e grandes momentos que compartilhamos durante a Graduação perduram até hoje. Pude perceber que a união faz o açúcar, que a integração é saudável, que o tempo faz chover e que nenhum caminho se faz sozinho. Desejo-lhes muita sorte e espero reencontrá-los sempre.

Às Profas. Dra. Heloiza Ferreira Alves do Prado e Dra. Lara Durães Sette, que me apresentaram à Microbiologia durante a Graduação e Mestrado.

Ao Rogério, Van e funcionários da cantina do Campus. Sentirei imensa saudade dos intervalos das atividades, em que podíamos respirar um pouco de ar livre e tomar um bom café com pessoas agradáveis.

Aos integrantes do restaurante universitário do Campus. O ambiente acolhedor, a positividade e, principalmente, a ótima comida, têm sido fundamentais para um bom ensino, uma pesquisa e uma extensão de qualidade. Espero que o RU seja mantido eternamente, um bem tão importante para os discentes, funcionários e também docentes.

A diretoria e aos funcionários do Instituto de Biociências da Unesp de Rio Claro, que me forneceram grande acolhimento e orientação em todos os momentos que precisei. Pude notar, em especial, através de integrantes da seção da Pós, como a Ivana, Felipe e Amanda, a grande dedicação e carinho que mantém com os discentes. Tenho certeza que essa atuação ainda lhes renderá grandes frutos pra ciência e sociedade.

À Dona Luzia, líder e zeladora do condomínio que residi em Rio Claro. A partir de nossas longas conversas, pude perceber a grande importância de sermos sempre humildes e respeitarmos sempre a opinião alheia. Sem sua presença, não teria conseguido terminar esta Tese.

Ao Adão e ao Seu Washington. Pela confiança que tiveram sobre mim e pela grande ajuda que me forneceram em momentos tão preciosos. Espero que continuem sempre assim.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Todas as ciências têm muita arte em suas composições”

John W. Tukey

Resumo

Efluentes têxteis são túrbidos, alcalinos, geralmente constituídos por altas concentrações de corantes, sólidos suspensos e dissolvidos, compostos orgânicos e inorgânicos, além de apresentarem quantidades significativas de bactérias viáveis, coliformes totais, termotolerantes e elevados níveis de ecotoxicidade. Devido ao grande potencial que efluentes têxteis detêm em causarem danos à saúde de humanos e ao meio ambiente, seus tratamentos são considerados como fundamentais. Métodos de coagulação/floculação e adsorção têm sido vistos por serem uma alternativa atraente no tratamento de efluentes têxteis. Os métodos, ainda que tenham demonstrado grande eficácia em estudos laboratoriais, têm enfrentado limitações quanto às suas implementações em escalas reais de tratamento têxteis, relacionadas principalmente com os custos dos processos e com o potencial ecotoxicológico que alguns compostos sedimentadores podem apresentar. Nesta Tese, utilizando-se de planejamentos estatísticos fatoriais e testes ecotoxicológicos de germinação da *L. sativa*, foi avaliado a eficiência da descoloração e efeito ecotóxico que o sulfato ferroso, policloreto de alumínio, carvão ativado e poliacrilamida aniônica ocasionavam em uma solução que continha o corante Acid Red 114. Os planejamentos experimentais, que possuíam as características de rotatabilidade e ortogonalidade, permitiram analisar com robustez os efeitos individuais e combinados dos fatores, calcular a magnitude da variabilidade experimental e derivar funções que descreviam o comportamento dos resultados. Os modelos estatísticos, sobretudo, foram capazes de estimar as concentrações de coagulantes, floculante e adsorvente que ocasionavam as melhores eficiências de descolorização e os menores efeitos ecotoxicológicos, assim, favorecer a implementação dos métodos em escalas reais de tratamento de efluentes têxteis.

Palavras-chave: Efluente têxtil, ecotoxicologia, toxicidade aguda, decantação, adsorção, corantes azo, Acid Red 114, DCCR.

Physicochemical, microbiological and ecotoxicological characteristics of textile effluents and treatment proposal by coagulation/flocculation

Abstract

Textile effluents are turbid, alkaline, generally consisted by high concentrations of dyes, suspended and dissolved solids, organic and inorganic compounds, in addition to significant amounts of viable bacteria, total coliforms, thermotolerant coliforms and high ecotoxicological levels. Due to the great potential that textile effluents have in causing damage to the health of humans and the environment, their treatments are considered as fundamental. Coagulation/flocculation and adsorption methods were seen to be an attractive alternative in the treatment of textile effluents. The methods, although they have demonstrated great efficacy in laboratory studies, have faced limitations regarding their implementation in real scales of textile treatment, mainly related to the costs of the processes and the ecotoxicological potential that some sedimenting compounds may exhibit. In this Thesis, using factorial statistical plans and ecotoxicological tests of *L. sativa* germination, it was evaluated the decolorization efficiency and ecotoxic effect that ferrous sulfate, aluminum polychloride, activated carbon and anionic polyacrylamide caused in a solution that contained the Acid Red 114 dye. The experimental designs, which had the rotatability and orthogonality characteristics, enabled a robust analysis of the individual and combined effects of the factors, the calculation of the magnitude of the experimental variability and the derivation of functions that described the behavior of the results. The statistical models, above all, were able to estimate the concentrations of coagulants, flocculant and adsorbent that caused the highest decolorization efficiencies and the lowest ecotoxicological effects, thus, supporting the implementation of the methods in real scales of textile effluent treatments.

Keywords: Textile effluent, ecotoxicology, acute toxicity, decantation, adsorption, azo dyes, Acid Red 114, CCRD.

Lista de ilustrações

Figura 1.1. Diagrama das fontes e caminhos percorridos por alguns poluentes ambientais (sem escala).	33
Figura 2.1. Unidades de absorvância em função do comprimento de onda do efluente têxtil real (diluição 1:64).	52
Figura 2.2. Concentração de efluente têxtil em função do efeito inibitório causado nos bioindicadores. As bandas representavam um intervalo de confiança de 95%.	55
Figura 3.1. Concentração de efluente têxtil em função do efeito inibitório causado nos bioindicadores.....	103
Figura 4.1. Representação de um modelo estatístico Fatorial Completo (FC) com três níveis e três fatores (3^3).	124
Figura 4.2. Representação de um modelo estatístico Fatorial Fracionado (FF) com três níveis e três fatores (3^{3-1}).	126
Figura 4.3. Representação de um modelo estatístico fatorial Composto Central Rotacional (CCR) com dois níveis, três fatores e seis pontos estrelas (2^3 , $\alpha = 8^{1/4} = 1,68$).	128
Figura 5.1. Estrutura molecular do corante Acid Red 114.	140
Figura 5.2. Comprimento de onda (nm) de diferentes concentrações do corante AR114 dissolvido em água desionizada em função do índice de unidades de absorvância (u.a.).	144
Figura 5.3. Comprimento de onda (nm) do corante AR114 (40 mg L^{-1}) dissolvido em soluções aquosas com diferentes valores de pH em função do índice de unidades de absorvância (u.a.).....	145
Figura 5.4. Comprimento de onda (nm) da solução contendo o corante AR114 (40 mg L^{-1}) dissolvido em tampão citrato-fosfato com diferentes valores de pH em função do índice de unidades de absorvância obtidos (u.a.).	146
Figura 5.5. Concentração do corante AR114 (mg L^{-1}) em função do índice de unidade de absorvância (u.a.) na faixa dos 520 nm. As bandas representavam um intervalo de confiança de 95%.....	146
Figura 5.6. Frequência das respostas dos valores de pH da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de coagulação/floculação utilizando o SF e PA.	152
Figura 5.7. Diagrama de Pareto do valor de pH da solução em função dos fatores SF, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.	153
Figura 5.8. Valores de pH observados em função dos valores previstos do modelo estatístico após reação de coagulação/floculação utilizando o SF e PA. As linhas pontilhadas adjacentes referiam-se a um intervalo de predição com 95% de confiança.	153
Figura 5.9. Frequência das respostas dos valores de pH da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de coagulação/floculação utilizando o PAC e PA.	156
Figura 5.10. Diagrama de Pareto do valor de pH da solução em função dos fatores PAC, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.	157
Figura 5.11. Valores de pH observados em função dos valores previstos do modelo estatístico após reação de coagulação/floculação utilizando o PAC e PA. As linhas pontilhadas adjacentes referiam-se a um intervalo de predição com 95% de confiança.	158

Figura 5.12. Frequência das respostas dos valores de pH da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de adsorção/floculação utilizando o CA e PA.	161
Figura 5.13. Diagrama de Pareto do valor de pH da solução em função dos fatores CA, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.	162
Figura 5.14. Valores de pH observados em função dos valores previstos pelo modelo estatístico da reação de adsorção/floculação utilizando o CA e PA. As linhas pontilhadas adjacentes referiam-se a um intervalo de predição com 95% de confiança.	162
Figura 5.15. Frequência das respostas dos valores de CE da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de coagulação/floculação utilizando o SF e PA.	165
Figura 5.16. Diagrama de Pareto do valor de CE da solução em função dos fatores SF, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.	166
Figura 5.17. Valores de CE observados em função dos valores previstos pelo modelo estatístico da reação de coagulação/floculação utilizando o SF e PA. As linhas pontilhadas adjacentes referiam-se a um intervalo de predição com 95% de confiança.	167
Figura 5.18. Frequência das respostas dos valores de CE da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de coagulação/floculação utilizando o PAC e PA.	170
Figura 5.19. Diagrama de Pareto do valor de CE da solução em função dos fatores PAC, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.	171
Figura 5.20. Valores de CE observados em função dos valores previstos pelo modelo estatístico da reação de coagulação/floculação utilizando o PAC e PA. As linhas pontilhadas adjacentes referiam-se a um intervalo de predição com 95% de confiança.	171
Figura 5.21. Frequência das respostas dos valores de CE da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de adsorção/floculação utilizando o CA e PA.	175
Figura 5.22. Diagrama de Pareto do valor de CE da solução em função dos fatores CA, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.	176
Figura 5.23. Valores de CE observados em função dos valores previstos pelo modelo estatístico da reação de adsorção/floculação utilizando o CA e PA. As linhas pontilhadas adjacentes referiam-se a um intervalo de predição com 95% de confiança.	176
Figura 5.24. Frequência das respostas dos valores da ED da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de coagulação/floculação utilizando o SF e PA.	180
Figura 5.25. Diagrama de Pareto do valor de ED da solução em função dos fatores SF, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.	181
Figura 5.26. Valores da ED observados em função dos valores previstos pelo modelo estatístico da reação de coagulação/floculação utilizando o SF e PA. As linhas pontilhadas adjacentes referiam-se a um intervalo de predição com 95% de confiança.	181
Figura 5.27. Frequência das respostas dos valores da ED da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de coagulação/floculação utilizando o PAC e PA.	185

Figura 5.28. Diagrama de Pareto do valor de ED da solução em função dos fatores PAC, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.....	186
Figura 5.29. Valores da ED observados em função dos valores previstos pelo modelo estatístico da reação de coagulação/floculação utilizando o PAC e PA. As linhas pontilhadas adjacentes referiam-se a um intervalo de predição com 95% de confiança.	186
Figura 5.30. Frequência das respostas dos valores da ED da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de adsorção/floculação utilizando o CA e PA.	189
Figura 5.31. Diagrama de Pareto do valor de ED da solução em função dos fatores CA, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.....	190
Figura 5.32. Valores da ED observados em função dos valores previstos pelo modelo estatístico da reação de adsorção/floculação utilizando o CA e PA. As linhas pontilhadas adjacentes referiam-se a um intervalo de predição com 95% de confiança.	191
Figura 5.33. Frequência das respostas dos valores de IG da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de coagulação/floculação utilizando o SF e PA.	194
Figura 5.34. Diagrama de Pareto do valor de IG da solução em função dos fatores SF, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.....	195
Figura 5.35. Valores do IG observados em função dos valores previstos pelo modelo estatístico da reação de coagulação/floculação utilizando o SF e PA. As linhas pontilhadas adjacentes referiam-se a um intervalo de predição com 95% de confiança.	195
Figura 5.36. Frequência das respostas dos valores de IG da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de coagulação/floculação utilizando o PAC e PA.	198
Figura 5.37. Diagrama de Pareto do valor de IG da solução em função dos fatores PAC, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.....	199
Figura 5.38. Valores do IG observados em função dos valores previstos pelo modelo estatístico da reação de coagulação/floculação utilizando o PAC e PA. As linhas pontilhadas adjacentes referiam-se a um intervalo de predição com 95% de confiança.	200
Figura 5.39. Frequência das respostas dos valores de IG da solução de reação após tratamento do corante AR114 por método de adsorção/floculação utilizando o CA e PA.	202
Figura 5.40. Diagrama de Pareto do valor de IG da solução em função dos fatores CA, PA e corante AR114. Os valores foram descritos em sua forma padronizada com nível de significância de 0,05.....	203
Figura 5.41. Concentração dos fatores AR114, SF, PAC, CA e PA (mg L^{-1}) em função do valor de pH das soluções de reação. As barras representavam um intervalo de confiança de 95%.	206
Figura 5.42. Concentração dos fatores AR114, SF, PAC, CA e PA (mg L^{-1}) em função da CE (mS/cm) das soluções de reação. As barras representavam um intervalo de confiança de 95%.	208
Figura 5.43. Concentração dos fatores AR114, SF, PAC, CA e PA (mg L^{-1}) em função da ED (%) das soluções de reação. As barras representavam um intervalo de confiança de 95%.....	210

Figura 5.44. Concentração dos fatores SF, PAC e PA (mg L^{-1}) em função do IG (%) das soluções de reação. As barras representavam um intervalo de confiança de 95%.....	212
Figura 5.45. Superfície de resposta dos valores do IG (%) em função das concentrações de SF e PA (mg L^{-1}).....	213
Figura 5.46. Superfície de resposta dos valores da ED (%) em função das concentrações de SF e PA (mg L^{-1}).....	214
Figura 5.47. Superfície de resposta dos valores do IG em função das concentrações de PAC e PA (mg L^{-1}).....	214
Figura 5.48. Superfície de resposta dos valores da ED (%) em função das concentrações de PAC e PA (mg L^{-1}).	215
Figura 5.49. Superfície de resposta dos valores da ED (%) em função das concentrações de CA e PA (mg L^{-1}).	215

Lista de tabelas

Tabela 2.1. Parâmetros do efluente têxtil real.	52
Tabela 2.2. Concentração de efluente têxtil em função da média de indivíduos imobilizados de <i>D. magna</i>	54
Tabela 2.3. Concentração de efluente têxtil em função da média de inibição da germinação de sementes de <i>L. sativa</i>	55
Tabela 2.4. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de efluentes têxteis.	58
Tabela 2.5. Componentes químicos detectados em efluentes têxteis (mg L ⁻¹).	69
Tabela 2.6. Concentrações de elementos detectados em efluentes têxteis (mg L ⁻¹).	76
Tabela 2.7. Parâmetros ecotoxicológicos obtidos a partir do efluente têxtil real.	77
Tabela 3.1. Classificação quanto a toxicidade aguda de amostras ambientais.	99
Tabela 3.2. Concentração de efluente em função da redução da luz (RL) emitida pela <i>V. fischeri</i>	100
Tabela 3.3. Concentração de efluente em função da inibição populacional microbiana (IPM) da <i>B. subtilis</i>	101
Tabela 3.4. Concentração de efluente em função da inibição populacional microbiana (IPM) da <i>S. cerevisiae</i>	101
Tabela 3.5. Índices ecotoxicológicos obtidos nas análises do efluente têxtil.	103
Tabela 4.1. Aplicações de modelos estatísticos fatoriais em estudos publicados na literatura.	129
Tabela 5.1. Matriz utilizada no DCCR com os valores codificados dos fatores de cada tratamento.	141
Tabela 5.2. Fatores, níveis codificados e reais (mg L ⁻¹) utilizados na matriz do DCCR.	142
Tabela 5.3. Concentração de corante AR114 (mg L ⁻¹) em função da média do IG (%) de sementes de <i>L. sativa</i>	147
Tabela 5.4. Resultados experimentais obtidos na reação de coagulação/floculação do corante Acid Red 114 (AR114) utilizando o sulfato ferroso (SF) e a poliacrilamida aniônica (PA).	147
Tabela 5.5. Resultados experimentais obtidos na reação de coagulação/floculação do corante Acid Red 114 (AR114) utilizando o policloreto de alumínio (PAC) e a poliacrilamida aniônica (PA).	148
Tabela 5.6. Resultados experimentais obtidos na reação de adsorção do corante Acid Red 114 (AR114) utilizando o carvão ativado (CA) e a poliacrilamida aniônica (PA).	148
Tabela 5.7. Concentração dos fatores (mg L ⁻¹), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de pH obtidos no tratamento do corante AR114 com o coagulante SF e o floculante PA.	151
Tabela 5.8. Análise de variância do valor de pH da solução em função da concentração de corante AR114, coagulante SF e PA (<i>p</i> -valor < 0,05 em negrito).	152
Tabela 5.9. Estimativas dos efeitos dos fatores AR114, SF e PA em função do valor de pH da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	154
Tabela 5.10. Concentração dos fatores (mg L ⁻¹), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de pH obtidos no tratamento do corante AR114 com o coagulante PAC e o floculante PA.	155
Tabela 5.11. Análise de variância do valor de pH da solução em função da concentração de corante AR114, coagulante PAC e PA (<i>p</i> -valor < 0,05 em negrito).	157

Tabela 5.12. Estimativas dos efeitos dos fatores AR114, SF e PA em função do valor de pH da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	158
Tabela 5.13. Concentração dos fatores (mg L^{-1}), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de pH obtidos no tratamento do corante AR114 com o adsorvente CA e o floculante PA.	160
Tabela 5.14. Análise de variância do valor de pH da solução em função da concentração de corante AR114, adsorvente CA e PA (<i>p-valor</i> < 0,05 em negrito).	161
Tabela 5.15. Estimativas dos efeitos AR114, CA e PA em função do valor de pH da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	163
Tabela 5.16. Concentração dos fatores (mg L^{-1}), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de CE (mS/cm) obtidos no tratamento do corante AR114 com o coagulante SF e o floculante PA.	164
Tabela 5.17. Análise de variância do valor de CE da solução em função da concentração de corante AR114, coagulante SF e PA (<i>p-valor</i> < 0,05 em negrito).	165
Tabela 5.18. Estimativas dos efeitos AR114, SF e PA em função do valor de CE da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	167
Tabela 5.19. Concentração dos fatores (mg L^{-1}), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de CE (mS/cm) obtidos no tratamento do corante AR114 com o coagulante PAC e o floculante PA.	169
Tabela 5.20. Análise de variância do valor de CE da solução em função da concentração de corante AR114, coagulante PAC e PA (<i>p-valor</i> < 0,05 em negrito).	170
Tabela 5.21. Estimativas dos efeitos AR114, PAC e PA em função do valor de CE da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	172
Tabela 5.22. Concentração dos fatores (mg L^{-1}), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de CE (mS/cm) obtidos no tratamento do corante AR114 com o adsorvente CA e o floculante PA.	174
Tabela 5.23. Análise de variância do valor de CE da solução em função da concentração de corante AR114, adsorvente CA e PA (<i>p-valor</i> < 0,05 em negrito).	175
Tabela 5.24. Estimativas dos efeitos AR114, CA e PA em função do valor de CE da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	177
Tabela 5.25. Concentração dos fatores (mg L^{-1}), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de ED (%) obtidos no tratamento do corante AR114 com o coagulante SF e o floculante PA.	179
Tabela 5.26. Análise de variância do valor de ED da solução em função da concentração de corante AR114, coagulante SF e PA (<i>p-valor</i> < 0,05 em negrito).	180
Tabela 5.27. Estimativas dos efeitos AR114, SF e PA em função do valor da ED da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	182
Tabela 5.28. Concentração dos fatores (mg L^{-1}), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de ED (%) obtidos no tratamento do corante AR114 com o coagulante PAC e o floculante PA.	184
Tabela 5.29. Análise de variância do valor de ED da solução em função da concentração de corante AR114, coagulante PAC e PA (<i>p-valor</i> < 0,05 em negrito).	185

Tabela 5.30. Estimativas dos efeitos AR114, PAC e PA em função do valor da ED da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	187
Tabela 5.31. Concentração dos fatores (mg L^{-1}), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de ED (%) obtidos no tratamento do corante AR114 com o adsorvente CA e o floculante PA.	189
Tabela 5.32. Análise de variância do valor de ED da solução em função da concentração de corante AR114, adsorvente CA e PA (<i>p-valor</i> < 0,05 em negrito).	190
Tabela 5.33. Estimativas dos efeitos AR114, CA e PA em função do valor da ED da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	191
Tabela 5.34. Concentração dos fatores (mg L^{-1}), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de IG (%) obtidos no tratamento do corante AR114 com o coagulante SF e o floculante PA.	193
Tabela 5.35. Análise de variância do valor de IG da solução em função da concentração de corante AR114, coagulante SF e PA (<i>p-valor</i> < 0,05 em negrito).	194
Tabela 5.36. Estimativas dos efeitos do AR114, SF e PA em função do valor do IG da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	196
Tabela 5.37. Concentração dos fatores (mg L^{-1}), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de IG (%) obtidos no tratamento do corante AR114 com o coagulante PAC e o floculante PA.	197
Tabela 5.38. Análise de variância do valor de IG da solução em função da concentração de corante AR114, coagulante PAC e PA (<i>p-valor</i> < 0,05 em negrito).	198
Tabela 5.39. Estimativas dos efeitos do AR114, PAC e PA em função do valor do IG da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	200
Tabela 5.40. Concentração dos fatores (mg L^{-1}), média, erro puro, tamanho amostral e intervalo de confiança (95%) referentes aos valores de IG (%) obtidos no tratamento do corante AR114 com o adsorvente CA e o floculante PA.	201
Tabela 5.41. Análise de variância do valor de IG da solução em função da concentração de corante AR114, adsorvente CA e PA (<i>p-valor</i> < 0,05 em negrito).	202
Tabela 5.42. Estimativas dos efeitos do AR114, PAC e PA em função do valor do IG da solução de reação. Os valores estatisticamente significativos para o nível de significância de 0,05 foram destacados em negrito.	203
Tabela 5.43. Concentrações recomendadas dos fatores e suas respectivas respostas. .	204

Lista de abreviaturas e siglas

A600: Absorbância na faixa dos 600 nm de comprimento de onda.
ANOVA: Análise de variância.
AR: Alongamento radicular.
AR114: Acid Red 114.
ATCC: *American Type Culture Collection*.
CA: Carvão ativado.
CAS: Registro no *Chemical Abstracts Service*.
CCR: Composto central rotacional.
CE: Condutividade elétrica.
CE₂₀: Concentração efetiva de 20%.
CE₅₀: Metade da concentração efetiva máxima.
Coef. Reg.: Coeficiente de regressão.
DBO: Demanda bioquímica de oxigênio.
DCCR: Delineamento composto central rotacional.
DL₂₀: Dose letal de 20%.
DL₅₀: Metade da dose letal máxima.
DP: Desvio padrão.
DQO: Demanda química de oxigênio.
ED: Eficiência de descoloração.
FC: Fatorial completo.
FF: Fatorial fracionado.
GL: Graus de liberdade.
GR: Germinação Relativa.
IC: Intervalo de confiança.
IG: Índice de germinação.
IPM: Inibição populacional microbiana.
NB: *Nutrient Broth*.
PA: Poliacrilamida aniônica.
PAC: Policloreto de alumínio.
PCA: *Plate Count Agar*.
QM: Quadrado médio.
RPM: Rotações por minuto.
SF: Sulfato ferroso.
SQ: Soma dos quadrados.
u.a.: Unidades de absorbância.
UTA: Unidades de toxicidade aguda.
UV-VIS: Ultravioleta visível.
n: Tamanho amostral.

Sumário

Características físico-químicas, microbiológicas e ecotoxicológicas de efluentes têxteis e proposta de tratamento por coagulação/floculação

Apresentação.....	21
Capítulo 1 Poluentes industriais: Conceitos e tendências de tratamento.....	24
Resumo	24
Introdução	24
Objetivo	26
Conceitos	26
Poluentes em estado líquido.....	27
Poluentes em estado sólido	27
Poluentes em estado gasoso	27
Tratamento de poluentes	28
Tratamento de resíduos líquidos	28
Tratamento de resíduos sólidos	29
Tratamento de resíduos gasosos.....	30
Tratamento de solos contaminados	30
Tratamento de águas subterrâneas contaminadas.....	31
Otimização de processos.....	31
Descentralização do sistema de tratamento	32
Monitoramento de resíduos	33
Uso consciente e reciclagem.....	34
Prevenção de poluição	35
Licenciamento ambiental.....	35
Considerações finais	36
Referências bibliográficas.....	37
Capítulo 2 Caracterização físico-química, microbiológica e ecotoxicológica de efluente de uma indústria têxtil do Brasil.....	46
Resumo	46
Introdução	46
Objetivo	48
Material e Métodos	48
Coleta da amostra	48
Análise espectrofotométricas, pH e condutividade elétrica	49
Análises físico-químicas	49
Análises microbiológicas	49
Análises ecotoxicológicas	50
Resultados	51
Parâmetros físico-químicos e microbiológicos	51
Ecotoxicidade	54
Discussão	56
Odor.....	56
Valor do pH.....	56
Condutividade elétrica.....	57
DBO e DQO	63
Turbidez	63
Sólidos totais	64
Óleos e graxas	65

Alcalinidade	66
Parâmetros microbiológicos	66
Componentes inorgânicos	67
Cianeto, organoclorados e hidrocarbonetos aromáticos	74
Metais pesados e traços de elementos	75
Parâmetros ecotoxicológicos	76
Conclusões	78
Referências bibliográficas	78
 Capítulo 3 Método de avaliação da inibição populacional microbiana através da absorção espectrofotométrica da luz visível aplicado em análises ecotoxicológicas	 95
Resumo	95
Introdução	95
Objetivo	97
Material e métodos	97
Microrganismos e condição de manutenção	97
Coleta da amostra e parâmetros físico-químicos	97
Inibição do crescimento populacional dos microrganismos	98
Redução da emissão de luz pela bactéria <i>V. fischeri</i>	98
Determinação da concentração de efeito	99
Resultados e discussão	99
Parâmetros físico-químicos	99
Redução da luminescência da <i>V. fischeri</i>	100
Inibição do crescimento populacional da <i>B. subtilis</i>	100
Inibição do crescimento populacional da <i>S. cerevisiae</i>	101
Parâmetros ecotoxicológicos	102
Conclusões	104
Referências bibliográficas	104
 Capítulo 4 Conceitos fundamentais e aplicações recentes de modelos estatísticos fatoriais	 109
Resumo	109
Introdução	110
Inferências estatísticas	112
Testes de hipóteses	112
Intervalos de confiança e previsão	114
Análises de regressão	115
Efeitos dos fatores	116
Coeficientes de determinação	117
Análises de variância	118
Testes de significância da ANOVA	119
Testes de falta-de-ajuste (<i>lack-of-fit</i>)	120
Outliers	121
Diagramas de Pareto	122
Superfície de resposta e plotagens de contorno	122
Modelos com múltiplo-fatores	123
Modelos fatoriais completos	123
Modelos fatoriais fracionados	125
Modelos compostos centrais rotacionais	127
Considerações finais	130
Referências bibliográficas	131

Capítulo 5 Estudo da reação de coagulação/floculação do corante Acid Red 114 através do método de superfície de resposta e proposta aplicação no tratamento de efluentes têxteis.....	135
Resumo	135
Introdução	135
Objetivo	139
Material e Métodos	140
Reagentes e organismo-teste	140
Ensaio de sedimentabilidade	140
Modelo estatístico	141
Análise do valor de pH e condutividade elétrica.....	142
Eficiência da descoloração	142
Germinação de sementes	143
Resultados	144
Perfil espectral.....	144
Ecotoxicidade do corante	147
Ensaio de sedimentabilidade.....	147
Cálculo do efeito dos coagulantes, floculante e adsorvente no valor do pH.....	149
Cálculo do efeito dos coagulantes, floculante e adsorvente na CE	163
Cálculo do efeito dos coagulantes, floculante e adsorvente na ED.....	177
Cálculo do efeito dos coagulantes, floculante e adsorvente no IG.....	192
Estimativa das melhores concentrações de coagulantes, floculante e adsorvente	204
Discussão	205
Influência dos fatores no pH da reação	205
Influência dos fatores na condutividade elétrica	207
Influência dos fatores na eficiência da descoloração	208
Influência dos fatores na ecotoxicidade	211
Estudo das reações de sedimentabilidade por método de superfície de resposta..	212
Conclusões	216
Considerações finais	216
Referências Bibliográficas	217

Apresentação

O aumento da poluição no planeta Terra tem se tornado cada dia mais preocupante. Embora detenha notória importância social e econômica, o setor industrial tem sido um dos grandes responsáveis por produzir grande quantidade de resíduo, muitas vezes danosos ao meio ambiente. A partir de uma revisão de literatura, apresentada no primeiro capítulo, foram conceitualizados os principais tipos poluentes industriais e descrito as últimas pesquisas voltadas para o desenvolvimento de novos métodos e estratégias de tratamento de resíduos industriais e detoxificação de áreas contaminadas. A revisão também abordou a importância de tópicos como a otimização e descentralização dos sistemas de tratamento, monitoramento de resíduos, uso consciente, reciclagem de água e matéria-prima, prevenção da poluição e licenciamento ambiental.

Dos vários setores industriais, enfatizou-se o têxtil, um tradicional setor que detém grande importância e abrange diversos seguimentos no Brasil e no mundo. A partir de relatos publicados na literatura e de um estudo de caracterização físico-química e microbiológica, apresentado no segundo capítulo, constatou-se que efluentes provindos de indústrias têxteis, na grande maioria das vezes, têm sido altamente turbidos, alcalinos, constituídos por altas concentrações de corantes, sólidos suspensos e dissolvidos, além de compostos orgânicos e inorgânicos, como cloreto, sulfato, fluoreto, nitrogênio, fosforo, potássio, magnésio, sódio, alumínio, bário, boro, incluindo metais pesados como o cobre, manganês, cromo, estanho, ferro, níquel, zinco. Os estudos também têm detectado quantidades significativas de bactérias viáveis, coliformes totais e termotolerantes.

Por meio de análises ecotoxicológicas utilizando o microcrustáceo *Daphnia magna*, a alface *Lactuca sativa*, a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, a bactéria gram-positiva *Bacillus subtilis* e a bactéria luminescente *Vibrio fischeri*, foi também constatado que o efluente têxtil exibiu um elevado grau de toxicidade ambiental. Como demonstrado no terceiro capítulo, a utilização de microrganismos como bioindicadores, que detêm fundamental importância na ciclagem de nutrientes e fluxo de energia, foi capaz de avaliar com sucesso os efeitos ecotoxicológicos ocasionados pela amostra de efluente. Métodos que se utilizam de microrganismos, especialmente os desenvolvidos por meio da absorvância da luz visível, têm sido cada vez mais utilizados, capazes de fornecer respostas conclusivas de forma simples, rápida e econômica.

Devido ao grande potencial que efluentes têxteis detêm em causarem danos na saúde de humanos, animais, plantas e microrganismos, além dos riscos relacionados com a eutrofização de corpos d'água, seus tratamentos têm sido considerados como cruciais. Os métodos de coagulação/floculação e adsorção físico-química, que se consistem na utilização de compostos inorgânicos e orgânicos na aglomeração, coagulação, floculação e precipitação das partículas suspensas e dissolvidas para subsequente remoção das mesmas por separação de fases, têm sido vistos por serem uma alternativa atraente no tratamento de efluentes têxteis. Os métodos, ainda que tenham demonstrado grande eficácia em estudos laboratoriais, têm enfrentado limitações quanto a suas implementações em escalas reais de tratamento têxteis, relacionadas principalmente com o custo do processo e com o potencial ecotoxicológico que alguns compostos sedimentadores podem apresentar quando em excesso.

Como demonstrado no quinto capítulo, utilizando-se de Delineamentos Compostos Centrais Rotacionais (DCCR), foi possível inferir as concentrações que propiciaram aos coagulantes sulfato ferroso e policloreto de alumínio, adsorvente carvão ativado e floculante poliacrilamida aniônica, as melhores eficiências de descolorização do corante Acid Red 114 e menores efeitos ecotoxicológicos frente ao índice de germinação da *L. sativa*. Modelos estatísticos fatoriais, como o DCCR, têm sido extremamente úteis na seleção das variáveis significativas e na determinação das condições de maiores eficiências em termos de *performance* de experimentos científicos. Como apresentado no quarto capítulo, esse tipo de modelo experimental tem propiciado o cálculo dos efeitos individuais e combinado das variáveis, a obtenção de estimativas precisas quanto a magnitude dos erros experimentais, além da derivação de funções matemáticas que descrevem e preveem o comportamento dos resultados.

De acordo com os cálculos de efeito dos fatores, as respectivas concentrações de apenas 0,14 mg L⁻¹ de sulfato ferroso, 0,35 mg L⁻¹ de policloreto de alumínio e 0,14 mg L⁻¹ de carvão ativado, juntamente com as presenças de 0,16; 0,16 e 0,014 mg L⁻¹ de poliacrilamida aniônica, foram capazes de remover cerca de 81,4; 53,7 e 42,0% da coloração de uma solução com 2,0 mg L⁻¹ de corante Acid Red 114. Os planejamentos fatoriais, que continham a combinação de todos os fatores utilizados nas reações por meio de matrizes com coeficientes pré-determinados e equidistantes, foram também capazes de calcular a influência que os compostos sedimentadores causavam no valor de pH e condutividade elétrica das soluções de reação. Além disso, os modelos estatísticos

fatoriais possibilitaram a construção de gráficos em três dimensões, chamados de superfície de resposta, frequentemente utilizados na otimização de variáveis de interesse de processos industriais.

Evidenciou-se, assim, a viabilidade que os métodos de coagulação/floculação e adsorção físico-química detinham na remoção do corante Acid Red 114 em soluções aquosas. Os métodos, se aliados a ferramentas de otimização de processos, têm demonstrado grande potencial de serem aplicados no tratamento de efluentes têxteis. As suas implementações, como demonstrado nesta Tese, dependem de amplos estudos de caracterização de efluentes e também da definição das condições ideais de reação. Recomenda-se, por conseguinte, a consideração das peculiaridades de cada água residual, assim como as características das estações de tratamento, o custo, a disponibilidade, e também os efeitos ecotoxicológicos que os compostos utilizados no processo de sedimentação podem apresentar caso estejam em excesso.

Considerações finais

Os métodos de coagulação/floculação e adsorção, ainda que dependam fortemente das condições de reação, como evidenciado neste estudo, demonstrou-se viável na remoção de corantes de soluções aquosas, preferivelmente feito com a utilização de baixas concentrações de compostos sedimentadores. O estudo das reações físico-químicas por meio de modelos estatísticos fatoriais, além de fornecer estimativas quanto as concentrações de reagentes que propiciavam os melhores índices de remoção de cor, também foi capaz de inferir as concentrações que ocasionavam os menores efeitos ecotoxicológicos, assim, favorecer de forma significativa a implementação de métodos de sedimentação em escalas reais de tratamento de efluentes têxteis. Recomenda-se, contudo, considerar as peculiaridades de cada efluente, assim como as características das estações de tratamento, o custo, a disponibilidade, e também os efeitos ecotoxicológicos que coagulantes, floculantes e adsorventes utilizados nas reações de tratamento podem apresentar caso estejam em excesso.

Referências Bibliográficas

- AHMAD, A. A.; HAMEED, B. H. Reduction of COD and color of dyeing effluent from a cotton textile mill by adsorption onto bamboo-based activated carbon. **Journal of Hazardous Materials**, v. 172, n. 2–3, p. 1538–1543, dez. 2009.
- AHMAD, A.; WONG, S.; TENG, T.; ZUHAIRI, A. Improvement of alum and PACl coagulation by polyacrylamides (PAMs) for the treatment of pulp and paper mill wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 137, n. 3, p. 510–517, 15 abr. 2008.
- AHMEDNA, M.; MARSHALL, W. E.; RAO, R. M. Production of granular activated carbons from select agricultural by-products and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties¹Louisiana Agricultural Experiment Station manuscript 99-21-0066.1. **Bioresource Technology**, v. 71, n. 2, p. 113–123, jan. 2000.
- AL-DEGS, Y. S.; EL-BARGHOUTHI, M. I.; EL-SHEIKH, A. H.; WALKER, G. M. Effect of solution pH, ionic strength, and temperature on adsorption behavior of reactive dyes on activated carbon. **Dyes and Pigments**, v. 77, n. 1, p. 16–23, 1 jan. 2008.
- ALMEIDA, V. C.; VARGAS, A. M. M.; GARCIA, J. C.; LENZI, E.; OLIVEIRA, C. C.; NOZAKI, J. Simultaneous Determination of the Textile Dyes in Industrial Effluents by First-Order Derivative Spectrophotometry. **Analytical Sciences**, v. 25, n. 4, p. 487–492, 2009.
- AL-MUTAIRI, N. Z. Coagulant toxicity and effectiveness in a slaughterhouse wastewater treatment plant. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 65, n. 1, p. 74–83, set. 2006.
- AMOKRANE, A.; COMEL, C.; VERON, J. Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. **Water Research**, v. 31, n. 11, p. 2775–2782, nov. 1997.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Plant bioassays to assess toxicity of textile sludge compost. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 3, p. 286–290, jun. 2005.
- ARSLAN, I.; BALCIOĞLU, I. A. Degradation of commercial reactive dyestuffs by heterogenous and homogenous advanced oxidation processes: a comparative study. **Dyes and Pigments**, v. 43, n. 2, p. 95–108, ago. 1999.
- AZENHA, Â. Textile workers. **Kanerva's Occupational Dermatology**, p. 1-17, 2018.
- BEDOUI, A.; TIGINI, V.; GHEDIRA, K.; VARESE, G. C.; CHEKIR GHEDIRA, L. Evaluation of an eventual ecotoxicity induced by textile effluents using a battery of biotests. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 21, p. 16700–16708, nov. 2015.
- BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. 2000. 161 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.
- BOLTO, B.; GREGORY, J. Organic polyelectrolytes in water treatment. **Water Research**, v. 41, n. 11, p. 2301–2324, jun. 2007.
- BOUZIDI, A.; YAHIA, I. S.; EL-SADEK, M. S. A. Novel and highly stable indigo (C.I. Vat Blue I) organic semiconductor dye: Crystal structure, optically diffused reflectance and the electrical conductivity/dielectric behaviors. **Dyes and Pigments**, v. 146, p. 66–72, nov. 2017.

- BOX, G. E. P.; HUNTER, J. S. Multi-Factor Experimental Designs for Exploring Response Surfaces. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 28, n. 1, p. 195–241, mar. 1957.
- BROSTOW, W.; LOBLAND; H. H., PAL, S.; SINGH, R. P. Polymeric flocculants for wastewater and industrial effluent treatment. **Journal of Materials Education**, v. 31, n. 3-4, p. 157-166, 2009.
- BRUSCO, M.; STEINLEY, D. Psychometrics: Combinatorial Data Analysis. **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**. Elsevier, 2015. p. 431–435.
- CAMPBELL, A. The potential role of aluminium in Alzheimer’s disease. **Nephrology Dialysis Transplantation**, v. 17, n. suppl 2, p. 17–20, 1 mar. 2002.
- CARMEN, Z.; DANIELA, S. Textile Organic Dyes – Characteristics, Polluting Effects and Separation/Elimination Procedures from Industrial Effluents – A Critical Overview. **Organic Pollutants Ten Years After the Stockholm Convention - Environmental and Analytical Update**, 24 fev. 2012.
- CHARLES, J.; SANCEY, B.; MORIN-CRINI, N.; BADOT, P.-M.; DEGIORGI, F.; TRUNFIO, G.; CRINI, G. Evaluation of the phytotoxicity of polycontaminated industrial effluents using the lettuce plant (*Lactuca sativa*) as a bioindicator. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, n. 7, p. 2057–2064, out. 2011.
- CHEN, J. P.; WU, S.; CHONG, K.-H. Surface modification of a granular activated carbon by citric acid for enhancement of copper adsorption. **Carbon**, v. 41, n. 10, p. 1979–1986, 2003.
- CHRISTENSEN, R. **Analysis of variance, design, and regression: applied statistical methods**. CRC Press, 1996.
- CHUANG, S. H.; CHANG, T. C.; OUYANG, C. F.; LEU, J. M. Colloidal silica removal in coagulation processes for wastewater reuse in a high-tech industrial park. **Water Science and Technology**, v. 55, n. 1–2, p. 187–195, 1 jan. 2007.
- CONAGIN, A. Delineamentos “compostos centrais ortogonais, rotacionais e divisíveis em blocos”. **Bragantia**, v. 41, n. 1, p. 49–56, 1982.
- CONSTANTINO, A. F.; YAMAMURA, V. D. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC. **Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Anais. Maringá-PR**, 2009.
- COOPER, P. Removing colour from dyehouse waste waters — a critical review of technology available. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**, v. 109, n. 3, p. 97–100, 1993.
- CORROQUÉ, N. A. **Avaliação da toxicidade do azocorante Acid Red 114 antes e após processo de biodegradação por meio de um consórcio de microorganismos**. 2014. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas (Biologia Celular e Molecular) - Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita Filho, Rio Claro, 2014.
- COSTA, R.; PEREIRA, J. L.; GOMES, J.; GONÇALVES, F.; HUNKELER, D.; RASTEIRO, M. G. The effects of acrylamide polyelectrolytes on aquatic organisms: Relating toxicity to chain architecture. **Chemosphere**, v. 112, p. 177–184, out. 2014.

- DĄBROWSKI, A.; PODKOŚCIELNY, P.; HUBICKI, Z.; BARCZAK, M. Adsorption of phenolic compounds by activated carbon—a critical review. **Chemosphere**, v. 58, n. 8, p. 1049–1070, fev. 2005.
- DAIFA, M.; SHMOELI, E.; DOMB, A. J. Enhanced flocculation activity of polyacrylamide-based flocculant for purification of industrial wastewater. **Polymers for Advanced Technologies**, v. 30, n. 10, p. 2636–2646, out. 2019.
- DE FEO, G.; DE GISI, S.; GALASSO, M. Definition of a practical multi-criteria procedure for selecting the best coagulant in a chemically assisted primary sedimentation process for the treatment of urban wastewater. **Desalination**, v. 230, n. 1–3, p. 229–238, set. 2008.
- DENTEL, S. K. Coagulant control in water treatment. **Critical Reviews in Environmental Control**, v. 21, n. 1, p. 41–135, jan. 1991.
- DOTTO, J.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VEIT, M. T.; PALÁCIO, S. M.; BERGAMASCO, R. Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 656–665, jan. 2019.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. John Wiley & Sons, 1998.
- DUAN, J.; GREGORY, J. Coagulation by hydrolysing metal salts. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 100–102, p. 475–502, fev. 2003.
- EDOMWONYI-OTU, L. C.; ADELAUN, D. O. Effect of heavy molecular weight polymer on quality of drinking water. **Materials Today Communications**, v. 15, p. 337–343, jun. 2018.
- EL AZHER, N.; GOURICH, B.; VIAL, C.; SOULAMI, M. B.; ZIYAD, M. Study of ferrous iron oxidation in Morocco drinking water in an airlift reactor. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 47, n. 9–10, p. 1877–1886, set. 2008.
- EL KHOURY, R.; CHOQUE, E.; EL KHOURY, A.; SNINI, S.; CAIRNS, R.; ANDRIANTSIFERANA, C.; MATHIEU, F. OTA Prevention and Detoxification by Actinobacterial Strains and Activated Carbon Fibers: Preliminary Results. **Toxins**, v. 10, n. 4, p. 137, 24 mar. 2018.
- ELETTA, O. a. A.; MUSTAPHA, S. I.; AJAYI, O. A.; AHMED, A. T. Optimization of dye removal from textile wastewater using activated carbon from sawdust. **Nigerian Journal of Technological Development**, v. 15, n. 1, p. 26–32, 7 mar. 2018.
- FANNING, P. E.; VANNICE, M. A. A DRIFTS study of the formation of surface groups on carbon by oxidation. **Carbon**, v. 31, n. 5, p. 721–730, 1993.
- FARIA, P. C. C.; ÓRFÃO, J. J. M.; PEREIRA, M. F. R. Adsorption of anionic and cationic dyes on activated carbons with different surface chemistries. **Water Research**, v. 38, n. 8, p. 2043–2052, abr. 2004.
- FERREIRA, R. de P.; MOREIRA, A.; RASSINI, J. B. **Toxidez de alumínio em culturas anuais**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006.
- FISHER, R. A. Design of Experiments. **BMJ**, v. 1, n. 3923, p. 554–554, 14 mar. 1936.
- FJÄLLBORG, B.; LI, B.; NILSSON, E.; DAVE, G. Toxicity Identification Evaluation of Five Metals Performed with Two Organisms (*Daphnia magna* and *Lactuca sativa*).

Archives of Environmental Contamination and Toxicology, v. 50, n. 2, p. 196–204, fev. 2006.

FOY, C. D. Soil Chemical Factors Limiting Plant Root Growth. *In*: HATFIELD, J. L.; STEWART, B. A. **Limitations to Plant Root Growth**. Advances in Soil Science. New York, NY: Springer, 1992. p. 97–149.

FRANZOL, A.; REZENDE, M. C. Estabilidade de emulsões: um estudo de caso envolvendo emulsionantes aniônico, catiônico e não-iônico. **Polímeros**, v. 25, n. SPE, p. 1–9, dez. 2015.

FREITAS, T. K. F. S.; ALMEIDA, C. A.; MANHOLER, D. D.; GERALDINO, H. C. L.; DE SOUZA, M. T. F.; GARCIA, J. C. Review of Utilization Plant-Based Coagulants as Alternatives to Textile Wastewater Treatment. *In*: MUTHU, S. S. **Detox Fashion: Waste Water Treatment**. Textile Science and Clothing Technology. Singapore: Springer, 2018. p. 27–79.

GAMBY, J.; TABERNA, P. L.; SIMON, P.; FAUVARQUE, J. F.; CHESNEAU, M. Studies and characterisations of various activated carbons used for carbon/carbon supercapacitors. **Journal of Power Sources**, v. 101, n. 1, p. 109–116, out. 2001.

GANESH, R.; BOARDMAN, G. D.; MICHELSEN, D. Fate of azo dyes in sludges. **Water Research**, v. 28, n. 6, p. 1367–1376, jun. 1994.

GEORGIU, D.; AIVAZIDIS, A.; HATIRAS, J.; GIMOUHOPOULOS, K. Treatment of cotton textile wastewater using lime and ferrous sulfate. **Water Research**, v. 37, n. 9, p. 2248–2250, maio 2003.

GOSAVI, V. D.; SHARMA, S. A general review on various treatment methods for textile wastewater. **Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology**, v. 3, p. 29–39, 2014.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71–78, fev. 2000.

GUPTA, V. K.; ALI, I.; SUHAS; MOHAN, D. Equilibrium uptake and sorption dynamics for the removal of a basic dye (basic red) using low-cost adsorbents. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 265, n. 2, p. 257–264, set. 2003.

GÜRSES, A.; YALÇIN, M.; DOGAR, C. Removal of Remazol Red RB by using Al (III) as coagulant-flocculant: effect of some variables on settling velocity. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 146, n. 1–4, p. 297–318, 2003.

GUTIÉRREZ, G.; LOBO, A.; ALLENDE, D.; CAMBIELLA, A.; PAZOS, C.; COCA, J.; BENITO, J. M. Influence of Coagulant Salt Addition on the Treatment of Oil-in-Water Emulsions by Centrifugation, Ultrafiltration, and Vacuum Evaporation. **Separation Science and Technology**, v. 43, n. 7, p. 1884–1895, maio 2008

HÅKANSSON, E.; LIN, T.; WANG, H.; KAYNAK, A. The effects of dye dopants on the conductivity and optical absorption properties of polypyrrole. **Synthetic Metals**, v. 156, n. 18–20, p. 1194–1202, nov. 2006.

HOFFMAN, D. J.; RATTNER, B. A.; BURTON, G. A.; CAIRNS, J. **Handbook of ecotoxicology**. CRC press, 2002.

HOLKAR, C. R.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D. V.; MAHAMUNI, N. M.; PANDIT, A. B. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. **Journal of Environmental Management**, v. 182, p. 351–366, nov. 2016.

- HOLME, I. Recent developments in colorants for textile applications. **Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions**, v. 85, n. 4, p. 243–264, nov. 2002.
- HOOPER, D.; COUGHLAN, J.; MULLEN, M. R. Structural equation modelling: guidelines for determining model fit. **Electronic Journal of Business Research Methods**, 6: 53–60. 2008.
- HUDSON, H. E.; WAGNER, E. G. Conduct and uses of jar tests. **Journal - American Water Works Association**, v. 73, n. 4, p. 218–223, abr. 1981.
- HUNGER, K. Toxicology and toxicological testing of colorants. **Review of Progress in Coloration and Related Topics**, v. 35, p. 76, 2005.
- ISLAM, M. R.; MOSTAFA, M. G. Characterization of textile dyeing effluent and its treatment using polyaluminum chloride. **Applied Water Science**, v. 10, n. 5, p. 119, maio 2020.
- JHA, P.; JOBBY, R.; DESAI, N. S. Remediation of textile azo dye acid red 114 by hairy roots of *Ipomoea carnea* Jacq. and assessment of degraded dye toxicity with human keratinocyte cell line. **Journal of Hazardous Materials**, v. 311, p. 158–167, jul. 2016.
- JIANG, J.-Q. The role of coagulation in water treatment. **Current Opinion in Chemical Engineering**, v. 8, p. 36–44, maio 2015.
- JIUHUI, Q. U. Research progress of novel adsorption processes in water purification: A review. **Journal of environmental sciences**, v. 20, n. 1, p. 1–13, 2008.
- KAINTHOLA, J.; KALAMDHAD, A. S.; GOUD, V. V. Optimization of methane production during anaerobic co-digestion of rice straw and hydrilla verticillata using response surface methodology. **Fuel**, v. 235, p. 92–99, jan. 2019.
- KATHERESAN, V.; KANSEDO, J.; LAU, S. Y. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 4, p. 4676–4697, ago. 2018.
- KAYKIOGLU, G.; GUNES, E. Comparison of acid red 114 Dye adsorption by Fe₃O₄ and Fe₃O₄ impregnated rice husk ash. **Journal of Nanomaterials**, v. 2016, 2016.
- KIM, S.-C. Application of response surface method as an experimental design to optimize coagulation–flocculation process for pre-treating paper wastewater. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 38, p. 93–102, jun. 2016.
- KOPRIVANAC, N.; BOSANAC, G.; GRABARIC, Z.; PAPIC, S. Treatment of wastewaters from dye industry. **Environmental Technology**, v. 14, n. 4, p. 385–390, abr. 1993.
- KUSHWAHA, J. P.; SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D. Treatment of dairy wastewater by commercial activated carbon and bagasse fly ash: Parametric, kinetic and equilibrium modelling, disposal studies. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 10, p. 3474–3483, maio 2010.
- LEE, C. S.; ROBINSON, J.; CHONG, M. F. A review on application of flocculants in wastewater treatment. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 92, n. 6, p. 489–508, nov. 2014.
- LEE, K. E.; MORAD, N.; TENG, T. T.; POH, B. T. Development, characterization and the application of hybrid materials in coagulation/flocculation of wastewater: A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 203, p. 370–386, set. 2012.

- LI, Z.; GERDROODBARY, M. B.; VALIPOUR, P.; MORADI, R.; BABAZADEH, H. The optimization via response surface method for micro hydrogen gas actuator. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 59, p. 31633–31643, nov. 2019.
- LIN, S. H.; PENG, C. F. Continuous treatment of textile wastewater by combined coagulation, electrochemical oxidation and activated sludge. **Water research**, v. 30, n. 3, p. 587-592, 1996.
- LITU, L.; CIOBANU, G.; CÎMPEANU, S. M.; KOTOVA, O.; CIOCINTA, R.; BUCUR, D.; HARJA, M. Comparative Study Between Flocculation-Coagulation Processes in Raw/Wastewater Treatment. **AgroLife Scientific Journal**, v. 8, n. 1, p. 139-145, 2019.
- MA, H.; KÖKKILIÇ, O.; WATERS, K. E. The use of the emulsion liquid membrane technique to remove copper ions from aqueous systems using statistical experimental design. **Minerals Engineering**, v. 107, p. 88–99, jun. 2017.
- MAILLER, R.; GASPERI, J.; COQUET, Y.; DESHAYES, S.; ZEDEK, S.; CRENO-LIVÉ, C.; CARTISER, N.; EUDES, V.; BRESSY, A.; CAUPOS, E.; MOILLERON, R.; CHEBBO, G.; ROCHER, V. Study of a large scale powdered activated carbon pilot: Removals of a wide range of emerging and priority micropollutants from wastewater treatment plant effluents. **Water Research**, v. 72, p. 315–330, abr. 2015.
- MAINARDI, P. H.; BIDOIA, E. D. Microbial Population Inhibition Method Through Spectrophotometry Absorption of Visible Light Applied to Ecotoxicological Analyses. **Journal of Applied Biotechnology**, v. 8, n. 1, p. 1, 30 mar. 2020a.
- MAINARDI, P. H.; BIDOIA, E. D. Modelos Estatísticos Fatoriais: Conceitos e Aplicações. **Exatas Online**, v. 11, n. 1, p. 32-49, jun. 2020b.
- MAINARDI, P. H.; BIDOIA, E. D. Physicochemical, Microbial and Ecotoxicological Characteristics of Textile Effluent Collected in the Southeast Region of Brazil. **Journal of Environment and Ecology**, v. 10, n. 1, p. 1, 16 jun. 2019.
- MANI, S.; CHOWDHARY, P.; BHARAGAVA, R. N. Textile Wastewater Dyes: Toxicity Profile and Treatment Approaches. In: BHARAGAVA, R. N.; CHOWDHARY, P. **Emerging and Eco-Friendly Approaches for Waste Management**. Singapore: Springer, 2019. p. 219–244.
- MANSOUR, Sh. A.; YAHIA, I. S.; YAKUPHANOGLU, F. The electrical conductivity and dielectric properties of C.I. Basic Violet 10. **Dyes and Pigments**, v. 87, n. 2, p. 144–148, out. 2010.
- MARAÑÓN, E.; CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; FERNÁNDEZ-MÉNDEZ, A.; FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, A. Coagulation–flocculation as a pretreatment process at a landfill leachate nitrification–denitrification plant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 156, n. 1–3, p. 538–544, ago. 2008.
- MARGOT, J.; KIENLE, C.; MAGNET, A.; WEIL, M.; ROSSI, L.; DE ALENCASTRO, L. F.; ABEGGLEN, C.; THONNEY, D.; CHÈVRE, N.; SCHÄRER, M.; BARRY, D. A. Treatment of micropollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon? **Science of The Total Environment**, v. 461–462, p. 480–498, set. 2013.
- MASON, R. L.; GUNST, R. F.; HESS, J. L. **Statistical design and analysis of experiments: with applications to engineering and science**. John Wiley & Sons, 2003.
- MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M.; SILLANPÄÄ, M. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 159, n. 2, p. 189–197, set. 2010.

- MCILVAINE, T. C. A buffer solution for colorimetric comparison. **Journal of Biological Chemistry**, v. 49, n. 1, p. 183-186, 1921.
- MEHTA, P. Treating textile effluents by coagulation–flocculation method using different dosing compositions. **Advances in Applied Science Research**, v. 3, p. 2514-2517, 2012.
- MIRANDA, R.; LATOUR, I.; HÖRSKEN, A.; JARABO, R.; BLANCO, A. Enhanced Silica Removal by Polyamine- and Polyacrylamide-Polyaluminum Hybrid Coagulants. **Chemical Engineering & Technology**, v. 38, n. 11, p. 2045–2053, nov. 2015.
- MO, J.; HWANG, J.-E.; JEGAL, J.; KIM, J. Pretreatment of a dyeing wastewater using chemical coagulants. **Dyes and Pigments**, v. 72, n. 2, p. 240–245, jan. 2007.
- MOAWAD, H.; EL–RAHIM, W. M. A.; KHALAFALLAH, M. Evaluation of biotoxicity of textile dyes using two bioassays. **Journal of Basic Microbiology**, v. 43, n. 3, p. 218–229, jun. 2003.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. John Wiley & Sons, 2017.
- MUDHOO, A.; RAGEN, A. K.; DOOKEE, G. Performance of four polyelectrolytes as flocculation aids in the primary treatment of textile effluents. **International Journal of Environment and Waste Management**, v. 5, n. 3/4, p. 211, 2010.
- National Toxicology Program - NTP. Toxicology and Carcinogenesis Studies of CI Acid Red 114 (CAS No. 6459-94-5) in F344/N Rats (Drinking Water Studies). **National Toxicology Program technical report series**, v. 405, p. 1, 1991.
- ORESCANIN, V.; RUK, D.; KOLLAR, R.; MIKELIC, I. L.; NAD, K.; MIKULIC, N. A combined treatment of landfill leachate using calcium oxide, ferric chloride and clinoptilolite. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 46, n. 3, p. 323–328, 31 jan. 2011.
- ÓRFÃO, J. J. M.; SILVA, A. I. M.; PEREIRA, J. C. V.; BARATA, S. A.; FONSECA, I. M.; FARIA, P. C. C.; PEREIRA, M. F. R. Adsorption of a reactive dye on chemically modified activated carbons—Influence of pH. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 296, n. 2, p. 480–489, abr. 2006.
- PACKHAM, R. F. Some studies of the coagulation of dispersed clays with hydrolyzing salts. **Journal of Colloid Science**, v. 20, n. 1, p. 81–92, jan. 1965.
- PATEL, H. Charcoal as an adsorbent for textile wastewater treatment. **Separation Science and Technology**, v. 53, n. 17, p. 2797–2812, 22 nov. 2018.
- PATEL, H.; VASHI, R. T. Treatment of textile wastewater by adsorption and coagulation. **Journal of Chemistry**, v. 7, n. 4, p. 1468-1476, 2010.
- PATHE, P. P.; BISWAS, A. K.; RAO, N. N.; KAUL, S. N. Physico-chemical Treatment of Wastewater From Clusters of Small Scale Cotton Textile Units. **Environmental Technology**, v. 26, n. 3, p. 313–328, mar. 2005.
- PAZ, A.; CARBALLO, J.; PÉREZ, M. J.; DOMÍNGUEZ, J. M. Biological treatment of model dyes and textile wastewaters. **Chemosphere**, v. 181, p. 168–177, ago. 2017.
- PHUGARE, S. S.; KALYANI, D. C.; SURWASE, S. N.; JADHAV, J. P. Ecofriendly degradation, decolorization and detoxification of textile effluent by a developed bacterial consortium. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 74, n. 5, p. 1288–1296, jul. 2011.

- RANA, S.; SURESH, S. Comparison of different Coagulants for Reduction of COD from Textile industry wastewater. **Materials Today: Proceedings**, v. 4, n. 2, Part A, p. 567–574, 1 jan. 2017.
- RANDTKE, S. J.; JEPSEN, C. P. Chemical pretreatment for activated-carbon adsorption. **Journal - American Water Works Association**, v. 73, n. 8, p. 411–419, ago. 1981.
- REIFFERSCHIED, G.; HEIL, J. Validation of the SOS/umu test using test results of 486 chemicals and comparison with the Ames test and carcinogenicity data. **Mutation Research/Genetic Toxicology**, v. 369, n. 3–4, p. 129–145, ago. 1996.
- RODRIGUES, C. S. D.; MADEIRA, L. M.; BOAVENTURA, R. A. R. Treatment of textile dye wastewaters using ferrous sulphate in a chemical coagulation/flocculation process. **Environmental Technology**, v. 34, n. 6, p. 719–729, mar. 2013.
- RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamentos**. Casa do Pão Editora, 2005. 329p.
- ROSA, E. V. C.; SIMIONATTO, E. L.; DE SOUZA SIERRA, M. M.; BERTOLI, S. L.; RADETSKI, C. M. Toxicity-based criteria for the evaluation of textile wastewater treatment efficiency. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 20, n. 4, p. 839–845, abr. 2001.
- RUDÉN, C. Acrylamide and cancer risk—expert risk assessments and the public debate. **Food and Chemical Toxicology**, v. 42, n. 3, p. 335–349, mar. 2004.
- RYBAK, M.; JONIAK, T. Changes in Chara hispida L. morphology in response to phosphate aluminium coagulant application. **Limnological Review**, v. 18, n. 1, p. 31–37, 1 mar. 2018b.
- RYBAK, M.; JONIAK, T. Changes of physical and chemical features of water under the influence of iron coagulant in natural charophytes communities. **International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management**, v. 18, p. 181–188, 2018a.
- SABUR, M. A.; KHAN, A. A.; SAFIULLAH, S. Treatment of Textile Wastewater by Coagulation Precipitation Method. **Journal of Scientific Research**, v. 4, n. 3, p. 623–633, 28 ago. 2012.
- SALGADO, B. C. B.; NOGUEIRA, M. I. C.; RODRIGUES, K. A.; SAMPAIO, G. M. M. S.; BUARQUE, H. L. de B.; ARAÚJO, R. dos S. Descoloração de efluentes aquosos sintéticos e têxtil contendo corantes índigo e azo via processos Fenton e foto-assistidos (UV e UV/H₂O₂). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 1–8, mar. 2009.
- SATYA SAI, P. M.; KRISHNAIAH, K. Development of the Pore-Size Distribution in Activated Carbon Produced from Coconut Shell Char in a Fluidized-Bed Reactor. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 44, n. 1, p. 51–60, jan. 2005.
- SELCUK, H. Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes. **Dyes and Pigments**, v. 64, n. 3, p. 217–222, mar. 2005.
- SHI, B.; LI, G.; WANG, D.; FENG, C.; TANG, H. Removal of direct dyes by coagulation: The performance of preformed polymeric aluminum species. **Journal of Hazardous Materials**, v. 143, n. 1–2, p. 567–574, maio 2007.
- SINGH, R. P.; KARMAKAR, G. P.; RATH, S. K.; KARMAKAR, N. C.; PANDEY, S. R.; TRIPATHY, T.; PANDA, J.; KANAN, K.; JAIN, S. K.; LAN, N. T. Biodegradable

drag reducing agents and flocculants based on polysaccharides: Materials and applications. **Polymer Engineering & Science**, v. 40, n. 1, p. 46–60, jan. 2000.

SINGH, R. P.; NAYAK, B. R.; BISWAL, D. R.; TRIPATHY, T.; BANIK, K. Biobased polymeric flocculants for industrial effluent treatment. **Materials Research Innovations**, v. 7, n. 5, p. 331–340, out. 2003.

SOLANKI, M.; SURESH, S.; DAS, S. N.; SHUKLA, K. Treatment of real textile wastewater using coagulation technology. **International Journal of ChemTech Research**, v. 5, n. 2, p. 610–615, 2013.

SOTO, M. L.; MOURE, A.; DOMÍNGUEZ, H.; PARAJO, J. C. Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 105, n. 1, p. 1–27, jul. 2011.

STEPHENSON, R. J.; DUFF, S. J. B. Coagulation and precipitation of a mechanical pulping effluent—II. Toxicity removal and metal salt recovery. **Water Research**, v. 30, n. 4, p. 793–798, abr. 1996.

TARTAGLIONE, L.; PELIN, M.; MORPURGO, M.; DELL’AVERSANO, C.; MONTENEGRO, J.; SACCO, G.; SOSA, S.; REIMER, J. D.; CIMINIELLO, P.; TUBARO, A. An aquarium hobbyist poisoning: Identification of new palytoxins in *Palythoa* cf. *toxica* and complete detoxification of the aquarium water by activated carbon. **Toxicon**, v. 121, p. 41–50, out. 2016.

TATSI, A. A.; ZOUBOULIS, A. I.; MATIS, K. A.; SAMARAS, P. Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. **Chemosphere**, v. 53, n. 7, p. 737–744, nov. 2003.

TEH, C. Y.; BUDIMAN, P. M.; SHAK, K. P. Y.; WU, T. Y. Recent Advancement of Coagulation–Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 55, n. 16, p. 4363–4389, 27 abr. 2016.

TETTEH, E. K.; RATHILAL, S. Application of Organic Coagulants in Water and Wastewater Treatment. In: **Organic Polymers**. IntechOpen, 2019.

TIAN, C.; FENG, C.; WEI, M.; WU, Y. Enhanced adsorption of anionic toxic contaminant Congo Red by activated carbon with electropositive amine modification. **Chemosphere**, v. 208, p. 476–483, out. 2018.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normality of variables: diagnosis methods and comparison of some nonparametric tests by simulation. **Revista HCPA**, v. 32, n. 2, 2012.

TUKEY, J. W. Comparing Individual Means in the Analysis of Variance. **Biometrics**, v. 5, n. 2, p. 99, jun. 1949.

VEPSÄLÄINEN, M.; KIVISAARI, H.; PULLIAINEN, M.; OIKARI, A.; SILLANPÄÄ, M. Removal of toxic pollutants from pulp mill effluents by electrocoagulation. **Separation and Purification Technology**, v. 81, n. 2, p. 141–150, set. 2011.

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 93, n. 1, p. 154–168, jan. 2012.

WALKER, G. M.; WEATHERLEY, L. R. Adsorption of acid dyes on to granular activated carbon in fixed beds. **Water Research**, v. 31, n. 8, p. 2093–2101, ago. 1997.

- WAN, Y.; HUANG, X.; SHI, B.; SHI, J.; HAO, H. Reduction of organic matter and disinfection byproducts formation potential by titanium, aluminum and ferric salts coagulation for micro-polluted source water treatment. **Chemosphere**, v. 219, p. 28–35, mar. 2019.
- WANG, C.; ALPATOVA, A.; MCPHEDRAN, K. N.; GAMAL EL-DIN, M. Coagulation/flocculation process with polyaluminum chloride for the remediation of oil sands process-affected water: Performance and mechanism study. **Journal of Environmental Management**, v. 160, p. 254–262, set. 2015.
- WANG, W.; KETURI, P. H. Comparative seed germination tests using ten plant species for toxicity assessment of a metal engraving effluent sample. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 52, n. 3–4, p. 369–376, ago. 1990.
- WEI, N.; ZHANG, Z.; LIU, D.; WU, Y.; WANG, J.; WANG, Q. Coagulation behavior of polyaluminum chloride: Effects of pH and coagulant dosage. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 23, n. 6, p. 1041–1046, jun. 2015.
- WONG, S.; NGADI, N.; INUWA, I. M.; HASSAN, O. Recent advances in applications of activated carbon from biowaste for wastewater treatment: A short review. **Journal of Cleaner Production**, v. 175, p. 361–375, fev. 2018.
- YANG, W. Y.; QIAN, J. W.; SHEN, Z. Q. A novel flocculant of $\text{Al}(\text{OH})_3$ –polyacrylamide ionic hybrid. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 273, n. 2, p. 400–405, maio 2004.
- YU, F.; LI, Y.; HAN, S.; MA, J. Adsorptive removal of antibiotics from aqueous solution using carbon materials. **Chemosphere**, v. 153, p. 365–385, jun. 2016.
- YUE, Q. Y.; GAO, B. Y.; WANG, Y.; ZHANG, H.; SUN, X.; WANG, S. G.; GU, R. R. Synthesis of polyamine flocculants and their potential use in treating dye wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 152, n. 1, p. 221–227, 21 mar. 2008.
- ZAHARIA, C.; SUTEU, D.; MURESAN, A. Options and solutions for textile effluent decolorization using some specific physico-chemical treatment steps. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 11, n. 2, p. 493–509, 1 fev. 2012.
- ZHU, K.; GAMAL EL-DIN, M.; MOAWAD, A. K.; BROMLEY, D. Physical and Chemical Processes for Removing Suspended Solids and Phosphorus from Liquid Swine Manure. **Environmental Technology**, v. 25, n. 10, p. 1177–1187, out. 2004.