

GEMIMA SANTOS ARCANJO

**FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COM TiO_2 , MODIFICADO COM
HIDROTALCITA E ÓXIDO DE FERRO PARA A REMOÇÃO DE COR E
TOXICIDADE DO EFLUENTE SECUNDÁRIO DE UMA FÁBRICA TÊXTIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS- BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

A668f
2017

Arcanjo, Gemima Santos, 1991-
Fotocatálise heterogênea com TiO₂ modificado com hidrocalcita e óxido de ferro para a remoção de cor e toxicidade do efluente secundário de uma fábrica têxtil / Gemima Santos Arcanjo. – Viçosa, MG, 2017.
xvii, 182f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Inclui apêndice.

Orientador: Ann Honor Mounteer.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.97-111.

1. Resíduos industriais. 2. Indústria têxtil. 3. Tratamento de resíduos. 4. Água - Purificação. 5. Água - Toxicidade.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.

II. Título.


CDD 22. ed. 628.4

GEMIMA SANTOS ARCANJO


FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COM TiO_2 MODIFICADO COM HIDROTALCITA E
ÓXIDO DE FERRO PARA A REMOÇÃO DE COR E TOXICIDADE DO EFLUENTE
SECUNDÁRIO DE UMA FÁBRICA TÊXTIL

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Viçosa, como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.


APROVADA: 20 de fevereiro de 2017.



Camila Costa de Amorim



Carlos Roberto Bellato
(Coorientador)



Ann Honor Mounteer
(Orientadora)

Dedico à minha família, por
todo amor e confiança
depositados em mim.

“Empregue o seu tempo em melhorar a si mesmo pelos escritos de outros homens, para que você possa facilmente ganhar aquilo pelo qual os outros têm trabalhado duro para conseguir.” – Sócrates

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por mais essa vitória.

Agradeço ao meu pai, José Arcanjo, minha mãe, Maria de Lourdes, e irmãs, Georgia e Geara, por todo amor incondicional e apoio em todas as horas, sem eles eu não estaria aqui.

Ao Santos Henrique, muito obrigada por todo amor e companheirismo, pelas ideias e por montar meu reator.

À Professora Ann, pela oportunidade e por todos os ensinamentos e orientação que foram os melhores que já tive.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela oportunidade de realizar o mestrado e à Capes pela bolsa.

À minha tia Solange, por sempre me incentivar a crescer. E Renato, pela amizade.

À Tatiana, por estar sempre por perto e dividir a melhor receita de comida japonesa comigo.

À Maria do Carmo, pelos almoços de domingo e grande amizade.

À Ecotox: Elisa, Déborah, Natália, Nirlane, Andreiva, Ellen, Eder e Isabela por toda a amizade e companhia feitas no laboratório.

À Laís, por estar presente no projeto desde o início e me ajudar nas análises.

À Priscila, Carlos, Agostinho, Júlio e todos do LESA pelos melhores cafés do mestrado e por fazerem o laboratório um lugar melhor. Ao Capelão, por todo carinho e pelos bolos. E à Juliana pela companhia no laboratório aos sábados, domingos e feriados.

À Cilene, por ser tão prestativa em resolver os problemas.

Ao Professor Carlos Roberto Bellato pela coorientação e a todos do Laboratório de Química Ambiental, José Neto, Danilo, Jaderson, Thaís e Fernanda, por toda a ajuda na síntese dos catalisadores.

À Liany Miranda, por tirar todas as minhas dúvidas em relação aos catalisadores e pela amizade.

Ao Professor Cláudio Mudadu Silva por me deixar usar o sistema de filtração por membranas. Ao Luís Eduardo do Nascimento e ao Erly Nogueira da Silva pela ajuda.

Ao Leonardo de Oliveira Cordeiro e à indústria têxtil pelo fornecimento de efluentes e corantes.

Ao Professor Mauricio Paulo Ferreira Fontes e ao José Francisco Dias, do laboratório de Mineralogia, Departamento de Solos, pelas análises de raios X.

Ao Marcio José Gomes Alvarenga, do Departamento de Química, pelas análises de infravermelho.

Ao Professor Antônio Augusto Neves, pelas análises de reflectância difusa e pela paciência.

Ao Professor Rafael Kopschitz Xavier Bastos e ao Janderson Badim Bepler pelos tubos de vidro.

Ao Pedro Manoel do Nascimento, da Hialotecnia, por consertar a vidraria quebrada.

Ao Professor Luis Antônio Minim e à Janaína, do Departamento de Engenharia de Alimentos, pelas análises de potencial zeta.

À Professora Marisa Alves Nogueira Diaz e João Guilherme Pereira Mendonça, do Departamento de Bioquímica e Biologia molecular, por me fornecerem hidroquinona.

Ao Professor Francisco de Assis de Carvalho Pinto e ao doutorando Gregory Oliveira Mayrink do Departamento de Engenharia Agrícola pelo uso do espectroradiômetro.

Ao Professor Eber Antonio Alves Medeiros e à doutoranda Taíla Veloso de Oliveira, do Laboratório de Embalagens do Departamento de Tecnologia de Alimentos da UFV, pela análise de microscopia eletrônica de varredura.

Ao Núcleo de Microscopia e Microanálise da UFV, também pela análise de microscopia eletrônica de varredura.

A todos aqueles que eu tenha me esquecido de mencionar e que contribuíram de alguma forma na minha vida tanto pessoal quanto profissional, o meu muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiv
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Importância da indústria têxtil no Brasil.....	4
3.2 Processo produtivo da indústria têxtil.....	5
3.3 Corantes.....	7
3.4 Efluentes de fábricas têxteis.....	10
3.5 Legislação referente ao lançamento de efluente líquidos	12
3.6 Ecotoxicologia aquática	13
3.7 Fotocatálise heterogênea	14
3.7.1 Fatores que afetam a fotocatálise	16
3.7.2 Toxicidade.....	24
3.7.3 Reúso de fotocatalisadores.....	25
3.7.4 Modificações dos catalisadores.....	26
3.7.5 Publicações sobre fotocatálise.....	46
3.7.6 Fotocatálise com efluente de fábrica têxtil.....	48
4 MATERIAL E MÉTODOS	53

4.1 Coleta e caracterização físico-química do efluente.....	53
4.1.1 DQO	55
4.1.2 COD	55
4.1.3 Cor ADMI	55
4.1.4 Potencial zeta	56
4.1.5 Espectro UV-visível	56
4.2 Tratabilidade biológica dos corantes têxteis	56
4.3 Síntese dos catalisadores	58
4.4 Caracterização dos catalisadores.....	59
4.4.1 Composição química.....	59
4.4.2 Espectroscopia no infravermelho.....	59
4.4.3 Difração de raios X	59
4.4.4 Reflectância difusa.....	60
4.4.5 Microscopia eletrônica de varredura.....	60
4.4.6 Ponto de carga zero (pH_{PCZ}).....	61
4.5 Testes fotocatalíticos.....	61
4.6 Espécies ativas na fotocatalise	62
4.7 Reúso do catalisador	62
4.8 Recuperação do catalisador.....	63
4.9 Testes de toxicidade	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5.1 Caracterização do efluente secundário.....	64
5.2 Toxicidade aguda dos corantes têxteis.....	66
5.3 Tratabilidade biológica dos corantes têxteis	68
5.3.1 Remoção de corantes.....	68
5.3.2 Toxicidade aguda	71

5.4 Caracterização dos catalisadores.....	72
5.4.1 Composição química.....	72
5.4.2 Espectroscopia no infravermelho.....	72
5.4.3 Difração de raios X	73
5.4.4 Reflectância difusa.....	75
5.4.5 Microscopia eletrônica de varredura.....	77
5.4.6 Ponto de carga zero	77
5.5 Testes fotocatalíticos.....	79
5.5.1 Efeito da concentração de TiO ₂ sob radiação UV.....	79
5.5.2 Efeito da concentração de TiO ₂	80
5.5.3 Efeito do pH do efluente	81
5.5.4 Efeito da aeração.....	83
5.5.5 Tipo de catalisador: comparação entre TiO ₂ e os compósitos HT/Fe/TiO ₂ ...	84
5.5.6 Efeito do pH do efluente para o compósito HT/Fe/TiO ₂ 4:4	86
5.5.7 Mineralização do efluente	87
5.5.8 Mecanismo de degradação	89
5.5.9 Reúso e recuperação do compósito HT/Fe/TiO ₂ 4:4.....	90
5.6 Toxicidade.....	93
6 CONCLUSÃO	95
7 SUGESTÕES	96
REFERÊNCIAS	97
APÊNDICE A - RESULTADOS EXPERIMENTAIS	112
ANEXO A - FICHAS DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS.....	127

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confecção
- ADMI - Instituto Americano de Manufatores de Corantes
- APHA - *American Public Health Association*
- BET - Branauer, Emmet e Teller
- CE₅₀ - Concentração efetiva a 50% dos organismos
- CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais
- COD - Carbono Orgânico Dissolvido
- CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente
- COPAM - Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais
- COT - Carbono Orgânico Total
- DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DE - Adams Nickerson Color Difference
- DQO - Demanda Química de Oxigênio
- e⁻ - elétron
- FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais
- FIEMG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
- FISPQ - Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos
- h⁺ - lacuna
- HDL - Hidróxidos Duplos Lamelares
- HT - Hidrotalcita
- IPPC - Prevenção e Controle Integrado de Poluição
- IV - Infravermelho
- MEV - Microscopia eletrônica de varredura
- OH - Radical hidroxila
- O₂^{·-} - Radical superóxido
- pH_{PCZ} - pH do ponto de carga zero
- PIZ - Ponto Isoelétrico
- POA - Processos Oxidativos Avançados

PZ - Potencial Zeta

RAIS - Relação Anual de Informações Sociais

SEMAD - Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIAM - Sistema Integrado de Informação Ambiental

SS - Sólidos Suspensos

SSV - Sólidos Suspensos Voláteis

UNT - Unidades Nefelométricas de Turbidez

UT - Unidade de Toxicidade

UV- Ultravioleta

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo úmido e componentes liberados no efluente.	5
Figura 2 - Importação de corantes têxteis pelo Brasil.	8
Figura 3 - Princípio do processo de degradação na fotocatalise heterogênea.	15
Figura 4 - Publicações anuais sobre fotocatalise.	46
Figura 5 - Publicações anuais sobre fotocatalise com efluente real.	47
Figura 6 - (a) Sistema utilizado para os testes de fotocatalise e (b) Detalhes do reator fotocatalítico.	62
Figura 7 - Espectro de absorção do efluente secundário.	65
Figura 8 - Potencial zeta do efluente secundário em função do pH.	66
Figura 9 - Remoção dos corantes no tratamento biológico simulado.	69
Figura 10 - Corantes têxteis antes e após 96 h de tratamento biológico simulado. (A) Remazol Preto Intenso RGB, (B) Indanthren Preto Direto 5589 Coll, (C) Preto Bezathren RI EPS, (D) Solanthrene Marinho RA, (E) Bezathren Azul RCL EPS, (F) Novacron Marinho Intenso S-R, (G) Novacron Rubi S-3B, (H) Reactron Turquesa VG ultra concentrado e (I) Azul Brilhante Remazol Azul RN gran.	70
Figura 11 - Espectro de IV: (A) HT/Fe/TiO ₂ 1:4, (B) HT/Fe/TiO ₂ 2:4, (C) HT/Fe/TiO ₂ 3:4 e (D) HT/Fe/TiO ₂ 4:4.	73
Figura 12 - Difratoograma de raios X para TiO ₂ . Picos: (a) anatásio e (r) rutilo.	74
Figura 13 - Difratoogramas de raios X: (A) HT/Fe/TiO ₂ 1:4, (B) HT/Fe/TiO ₂ 2:4, (C) HT/Fe/TiO ₂ 3:4 e (D) HT/Fe/TiO ₂ 4:4. Picos: (a) anatásio; (r) rutilo; (ht) hidrotalcita; (m) maghemita e (g) goethita.	75
Figura 14 - Função Kubelka-Munk versus comprimento de onda para TiO ₂ e os compósitos HT/Fe/TiO ₂ nas diferentes proporções de Fe:Ti.	76
Figura 15 - Relação de Tauc e energia de <i>bandgap</i> para TiO ₂ e os compósitos HT/Fe/TiO ₂ nas diferentes proporções de Fe:Ti.	76
Figura 16 - Imagens de MEV: (a) TiO ₂ e (b) HT/Fe/TiO ₂ 4:4.	77

Figura 17 - Resultados da análise do ponto de carga zero (pH_{PCZ}) do catalisador HT/Fe/TiO ₂ 4:4.	78
Figura 18 - Remoção de cor ADMI na fotocatalise com diferentes concentrações de TiO ₂ . (pH do efluente de 8,5, sob radiação UV).....	79
Figura 19 - Remoção de cor ADMI na fotocatalise com diferentes concentrações de TiO ₂ . (pH do efluente de 8,5, com aeração, sob radiação UV-visível, adsorção sem radiação).....	80
Figura 20 - Remoção de cor ADMI na fotocatalise em diferentes valores de pH. (2 g/L de TiO ₂ , com aeração, radiação UV-visível).	82
Figura 21 - Remoção de cor ADMI do efluente secundário da fábrica têxtil durante a fotocatalise com e sem aeração. (2 g/L de TiO ₂ , pH 10, radiação UV-visível).	83
Figura 22 - Remoção de cor ADMI do efluente secundário de uma fábrica têxtil durante a fotocatalise com diferentes catalisadores, TiO ₂ , HT/Fe/TiO ₂ 1:4, HT/Fe/TiO ₂ 2:4, HT/Fe/TiO ₂ 3:4, HT/Fe/TiO ₂ 4:4. (2 g/L do catalisador, pH 10, radiação UV-visível).	85
Figura 23 - Efluente têxtil secundário, à esquerda, e efluente têxtil secundário após 6 h de fotocatalise com HT/Fe/TiO ₂ 4:4, à direita.	85
Figura 24 - Remoção de cor ADMI do efluente secundário de uma fábrica têxtil durante a fotocatalise com HT/Fe/TiO ₂ 4:4. (2 g/L de HT/Fe/TiO ₂ , radiação UV-visível, adsorção sem radiação).	87
Figura 25 - Remoção de cor ADMI, DQO e COD na fotocatalise com TiO ₂ e HT/Fe/TiO ₂ 4:4. (2 g/L do catalisador, pH 10, radiação UV-visível).....	89
Figura 26 - Remoção de cor ADMI por HT/Fe/TiO ₂ 4:4, HT/Fe/TiO ₂ 4:4 + 2-propanol (0,1 M) e fotólise. (2 g/L de HT/Fe/TiO ₂ , pH 10, radiação UV-visível).	90
Figura 27 - Remoção de cor ADMI durante 5 ciclos consecutivos de reuso do catalisador HT/Fe/TiO ₂ 4:4. (Concentração de catalisador de 2 g/L e pH 10, 6 h de radiação UV-visível por ciclo).	91
Figura 28 - Espectro de IV: (A) HT/Fe/TiO ₂ 4:4, (B) HT/Fe/TiO ₂ 4:4 após o primeiro ciclo de 6h de radiação UV-visível, (C) HT/Fe/TiO ₂ 4:4 após 5 ciclos de 6 h de radiação UV-visível.....	92

Figura 29 - Difractogramas de raios X: (A) HT/Fe/TiO₂ 4:4, (B) HT/Fe/TiO₂ 4:4 após o primeiro ciclo de 6h de radiação UV-visível, (C) HT/Fe/TiO₂ 4:4 após 5 ciclos de 6 h de radiação UV-visível. 92

Figura 30 - Imagens de MEV: (a) HT/Fe/TiO₂ 4:4 e (b) HT/Fe/TiO₂ 4:4 após 5 ciclos de 6 h sob radiação UV-visível..... 93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dopagem de TiO ₂ com metais nobres para degradação fotocatalítica de corantes têxteis.....	28
Tabela 2 - Dopagem de TiO ₂ com metais de transição para degradação fotocatalítica de corantes têxteis.....	30
Tabela 3 - Dopagem de TiO ₂ com metais lantanídeos para degradação fotocatalítica de corantes têxteis.....	32
Tabela 4 - Dopagem de TiO ₂ com ametais para degradação fotocatalítica de corantes têxteis.....	34
Tabela 5 - Codopagem de TiO ₂ para degradação fotocatalítica de corantes têxteis.....	36
Tabela 6 - Combinação de TiO ₂ com semicondutores para degradação fotocatalítica de corantes têxteis.....	39
Tabela 7 - Estudos de intercalação de TiO ₂ com estruturas suporte para degradação fotocatalítica de corantes têxteis.....	42
Tabela 8 - Compósitos magnéticos com TiO ₂ utilizados para degradação fotocatalítica de corantes têxteis.....	45
Tabela 9 - Fotocatálise heterogênea para a degradação de efluente de fábrica têxtil utilizando TiO ₂	49
Tabela 10 - Métodos utilizados para caracterização físico-química do efluente.....	54
Tabela 11 - Corantes e quantidades utilizadas na fábrica têxtil.....	54
Tabela 12 - Corantes utilizados no estudo de tratabilidade biológica e comprimentos de onda de absorbância máxima (λ_{max}).....	58
Tabela 13 - Caracterização do efluente têxtil secundário.....	64
Tabela 14 - Toxicidade aguda a <i>D. similis</i> e a <i>D. magna</i> dos corantes têxteis.....	67
Tabela 15 - Remoção de absorbância e de DQO após 96 h de tratamento biológico.....	70
Tabela 16 - Toxicidade aguda a <i>D. similis</i> de soluções de corantes têxteis (50 mg/L) antes e após o tratamento biológico aeróbio.....	71

Tabela 17 - Composição química do compósito HT/Fe/TiO₂ 3:4..... 72

Tabela 18 - Toxicidade aguda do efluente têxtil antes e após a fotocatalise 94

RESUMO

ARCANJO, Gemima Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Fotocatálise heterogênea com TiO₂ modificado com hidrotalcita e óxido de ferro para a remoção de cor e toxicidade do efluente secundário de uma fábrica têxtil.** Orientadora: Ann Honor Munteer. Coorientador: Carlos Roberto Bellato.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a remoção de cor ADMI de um efluente têxtil secundário pela fotocatalise heterogênea com TiO₂ modificado com hidrotalcita e óxido de ferro (HT/Fe/TiO₂), sob radiação UV-visível. Nos testes de simulação de tratamento biológico, os corantes reativos utilizados na indústria têxtil não foram biodegradados, mesmo após 96 h, enquanto houve mais que 50% de remoção dos corantes a cuba, o que indica que o efluente secundário ainda continha muitos corantes reativos aniônicos. A fotocatalise foi realizada com TiO₂ e HT/Fe/TiO₂ (razão molar Fe:Ti de 1:4, 2:4, 3:4 e 4:4) e diferentes concentrações do catalisador (0 - 3 mg/L), valores de pH (4 -10) e tempos de radiação UV-visível (0 - 6 h). A maior remoção de cor ADMI com TiO₂ foi encontrada em pH 4, com 2 g/L do catalisador. O composto mais eficiente foi o HT/Fe/TiO₂ 4:4, em pH 10, sendo inclusive melhor que TiO₂, com eficiências de remoção de 96% e 88% de cor ADMI, respectivamente, após 6 h de radiação UV-visível e 2 g/L do catalisador. Para HT/Fe/TiO₂ 4:4, cuja energia de *bandgap* foi de 2,34 eV, o pH 10 foi melhor para a fotocatalise, porque nesse pH a produção de radicais hidroxila foi favorecida, devido à maior concentração de OH⁻ e foi demonstrado em teste com adição de 2-propanol, um sequestrador de •OH, que o mecanismo de degradação foi por radicais hidroxila. A remoção de DQO foi de cerca de 20% para TiO₂ e HT/Fe/TiO₂ 4:4, após 6 h sob radiação UV-visível. Após a fotocatalise, a toxicidade aguda moderada do efluente secundário (CE₅₀ = 70,7%) foi reduzida, mais com TiO₂ (CE₅₀ = 95,0 %) do que com o composto HT/Fe/TiO₂ 4:4 (CE₅₀ = 78,6 %). A fotocatalise heterogênea com HT/Fe/TiO₂ mostrou-se adequada como pós tratamento por prover elevada eficiência de remoção de cor ADMI e remoção adicional de DQO e toxicidade e, devido ao caráter magnético do catalisador, reduziria custos quanto à sua recuperação se comparado ao TiO₂.

ABSTRACT

ARCANJO, Gemima Santos, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Heterogeneous photocatalysis using TiO₂ modified with hydrotalcite and iron oxide for color and toxicity removal from biologically treated textile mill effluent.** Adviser: Ann Honor Munteer. Co-adviser: Carlos Roberto Bellato.

The objective of this study was to evaluate ADMI color removal from a biologically treated textile mill effluent by heterogeneous photocatalysis using TiO₂ modified with hydrotalcite and iron oxide (HT/Fe/TiO₂) under UV-visible radiation. Simulated biological treatment of solutions of the dyes (50 mg/L) used in the greatest amounts at the mill where the effluent was collected, resulted in no color removal in the reactive dye solutions and about 50% color removal in vat dye solutions, after 96 hours, indicating that the secondary effluent contained a large proportion of anionic reactive dyes. Photocatalytic treatments were carried out with TiO₂ and HT/Fe/TiO₂ (Fe:Ti molar ratios of 1:4, 2:4, 3:4 and 4:4), with varying catalyst concentration (0 - 3 mg/L), pH (4 - 10) and UV-visible irradiation time (0 - 6 h). The highest ADMI color removal with unmodified TiO₂ alone was found at pH 4 and 2 g/L of the catalyst. The most efficient composite was HT/Fe/TiO₂ 4:4, at pH 10, and this composite provided more complete ADMI color removal (96%) than unmodified TiO₂ (88%), after 6 h under UV-visible irradiation, with 2 g/L of catalyst. For HT/Fe/TiO₂ 4:4, with bandgap energy equal to 2.34 eV, pH 10 was better since hydroxyl radical formation was favored because of the higher concentration of hydroxide ions present in solution and hydroxyl radicals were shown to be responsible for the color reduction, since when 2-propanol, an •OH scavenger, was added, color removal was very low. COD removal was similar, approximately 20% for both catalysts after 6 h under UV-visible irradiation. Secondary effluent toxicity to *Daphnia similis* (EC50 = 70.7%) decreased more after photocatalysis with TiO₂ (EC50 = 95.0%) than with the HT/Fe/TiO₂ 4:4 composite (EC50 = 78.6%). The HT/Fe/TiO₂ 4:4 composite catalyst proved efficient in tertiary treatment of textile mill effluent for ADMI color removal and toxicity reduction and its magnetic nature facilitated its recovery compared to TiO₂, which would reduce treatment costs.

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é um dos setores mais importantes das indústrias de transformação brasileiras. O processo produtivo envolve a produção de fios e tecidos, passando pelo tingimento e estampagem. O consumo de água na indústria é elevado e há grande volume de efluentes líquidos gerados, com características físico-químicas variadas, que dependem dos processos empregados na produção. Além de elevados valores de DBO, DQO, pH, temperatura e alcalinidade, tem-se a presença de corantes, que conferem uma cor bem forte aos efluentes.

Ainda que em baixas concentrações, os corantes podem causar desequilíbrio ecológico no ambiente aquático, uma vez que impedem a penetração da luz e ainda podem alterar a cor de rios e lagos. A toxicidade aquática e efeitos carcinogênicos provenientes de corantes também têm sido considerados de elevada preocupação ambiental.

O tratamento biológico convencional é eficiente para a remoção de DBO, porém, como os corantes têm baixa biodegradabilidade, a cor ainda é elevada após o tratamento. Além disso, a toxicidade de alguns corantes requer tratamento terciário para sua remoção.

O tratamento físico-químico por coagulação, floculação e sedimentação é um dos mais empregados para o tratamento terciário, devido ao baixo custo, porém, gera grande volume de lodo e, dependendo do tipo de corante, pode ser ineficiente. Filtração por membranas, adsorção, troca iônica e eletrocoagulação também têm sido usados para a remoção de corantes de efluentes de fábricas têxteis, entretanto, produzem soluções concentradas ou lodo, para as quais se deve dar a disposição adequada, o que gera custos operacionais adicionais.

Os processos oxidativos avançados (POA) têm se mostrado bastante eficientes para a degradação de corantes. POA baseiam-se na geração de espécies reativas, como radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$), para a degradação de compostos orgânicos, que pode chegar à completa mineralização dos mesmos. Entre os POA, a fotocatalise heterogênea emprega semicondutores que, na presença de radiação UV, aceleram os processos de degradação. Dependendo das condições nas quais ocorre, a fotocatalise pode provocar o aumento da toxicidade, devido à formação de subprodutos intermediários da degradação.

O dióxido de titânio (TiO_2) é o semicondutor mais utilizado na fotocatalise e tem apresentado altas taxas de degradação e remoção de toxicidade de corantes. Diversas modificações do TiO_2 têm sido realizadas para melhorar a produção de radicais hidroxila, a afinidade por compostos orgânicos, a área superficial específica e a sua recuperação após o tratamento. No entanto, mais de 99% dos trabalhos sobre fotocatalise encontrados na literatura foram realizados com compostos modelo, como corantes, e não avaliaram a formação de subprodutos tóxicos. Faltam estudos da avaliação do desempenho de novos semicondutores para o tratamento de efluentes reais contendo corantes, como os da indústria têxtil, e, ainda do seu efeito sobre a toxicidade desses efluentes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo do estudo foi avaliar a eficiência de remoção de cor em efluente secundário da indústria têxtil pela fotocatalise com TiO_2 modificado com hidrotalcita e óxido de ferro, sob radiação UV-visível.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a remoção dos principais corantes utilizados em uma fábrica têxtil por tratamento biológico aeróbio;
- Comparar o desempenho dos catalisadores TiO_2 e TiO_2 modificado com hidrotalcita e óxido de ferro na descoloração e redução da DQO e do COD do efluente secundário de uma fábrica têxtil;
- Estudar o efeito dos parâmetros pH, concentração do catalisador e tempo na descoloração e redução da DQO e do COD do efluente secundário de uma fábrica têxtil;
- Avaliar a toxicidade do efluente secundário antes e após a fotocatalise.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância da indústria têxtil no Brasil

A indústria têxtil é uma das mais antigas do mundo e envolve a produção de fios, tecidos, malhas e bens de consumos acabados, como roupas, tecidos para móveis e ambientes internos e produtos industriais (USEPA, 1997). Em 2015 a produção mundial foi de 90,6 milhões de toneladas de tecidos e fios (CIRFS, 2016). O Brasil é o quarto maior produtor de manufaturas têxteis, com produção anual de cerca de 2,08 milhões de toneladas, correspondentes a 2,3% da produção mundial (ABIT, 2015).

O Brasil é um dos únicos países do ocidente que possui cadeia têxtil completa, ou seja, produz desde a plantação de algodão, passando pela fiação, tecelagem e beneficiamento, até as confecções, em 32 mil empresas que empregam 1,7 milhões de pessoas (ABIT, 2013). A indústria têxtil é um dos setores mais importantes da economia brasileira, pois representa 5,6% do valor total da produção da indústria de transformação, faturando 126 bilhões de reais em 2014 (IEMI, 2015).

Em Minas Gerais, a indústria têxtil emprega 112.619 pessoas, representando 9,5% dos empregos gerados no estado. De acordo com a Relação Anual de Informações Sociais – RAIS do Ministério do Trabalho e Emprego, o estado possuía em julho de 2013, 774 indústrias com mais de 5 funcionários, sendo que mais de 80% eram consideradas micro e pequena empresas e 4% de grande porte (com mais de 250 empregados). Apenas 13% das 774 empresas registradas no Sistema Integrado de Informações Ambientais – SIAM, da SEMAD encontram-se em situação regular (possuem Autorização Ambiental de Funcionamento ou Licenciamento Ambiental válido). Na Zona da Mata mineira encontram-se 16% das fábricas têxteis do estado, representando uma boa parcela do total, abaixo apenas do Sul de Minas, que comporta 45% das fábricas (FIEMG e FEAM, 2014).

3.2 Processo produtivo da indústria têxtil

O processo produtivo da indústria têxtil envolve a produção de fios, a tecelagem, o processo úmido e o acabamento. Na produção de fios, as fibras naturais ou sintéticas passam por processos de abertura e limpeza, seguidos de uma série de operações como estiramento e paralelização, para orientá-las em uma mesma direção, e torção, para que se prendam umas às outras por atrito, visando à obtenção de fios (FIEMG e FEAM, 2014).

Na produção de tecidos, os fios são preparados para a tecelagem, por meio do urdimento, que consiste em um sistema de fios paralelos, com mesmo comprimento e tensão, em um rolo de urdume, que é levado à engomagem, para tornar os fios resistentes à abrasão nos teares. Os tecidos passam, então, pelo processo úmido, que melhora sua aparência, durabilidade e manutenção, transformando-os em bens de consumo (USEPA, 1997). Nesse estágio, incluem-se as etapas de preparação do tecido, tingimento, estampagem e acabamento, onde se gera o maior volume de efluentes, como apresentado na Figura 1.

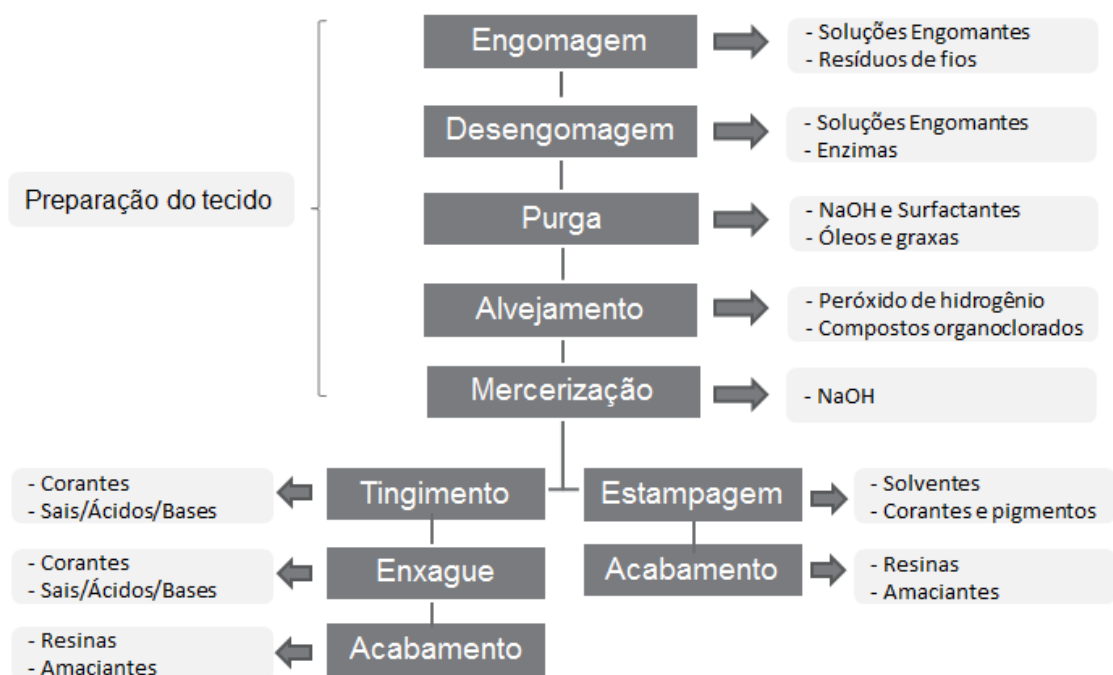


Figura 1 - Processo úmido e componentes liberados no efluente.

Fonte: Adaptado de Dos Santos, Cervantes e Van Lier (2007) e USEPA (1997).

O preparo dos tecidos ou fios antes do tingimento e da estampagem envolve as etapas de desengomagem, purga, alveijamento e mercerização. A desengomagem consiste na remoção de produtos da engomagem, aplicados antes da etapa de tecelagem que podem provocar mudanças de cor dos tecidos quando expostos a hidróxido de sódio no processo de purga. A remoção é feita com a aplicação de água quente, no caso de produtos de engomagem solúveis, ou com a aplicação de enzimas, utilizadas para quebrar os produtos de engomagem insolúveis e torná-los solúveis. Na etapa de purga, há remoção de impurezas da fibra ou do tecido pela lavagem com soluções alcalinas como hidróxido de sódio. Dentre as impurezas removidas encontram-se lubrificantes, poeira, produtos de engomagem, agentes antiestáticos e alguns pigmentos. A etapa de purga é responsável por grande carga orgânica no efluente das etapas de preparação (USEPA, 1996).

Durante o alveijamento ocorre a remoção de materiais que dão cores indesejáveis às fibras ou tecidos. Esse processo descolore as impurezas que não foram removidas durante a desengomagem e a purga. Os alvejantes mais utilizados são peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio, clorito de sódio e gás sulfúrico. A mercerização é a última etapa de preparação antes do tingimento ou da estampagem e consiste em um tratamento químico que objetiva otimizar a ação dos corantes nas fibras de tecido para produzir cores mais vivas e brilhantes. Durante essa etapa, o tecido passa por um banho de soda cáustica e é esticado, para posterior lavagem em um banho ácido, para remoção do residual de soda. Em seguida, o tecido é lavado com água para remover a solução ácida (USEPA, 1997).

No tingimento, o tecido passa por soluções de corantes específicos, que adicionam cor às fibras. Normalmente, requer grande quantidade de água, tanto para o tingimento, quanto para a lavagem, que remove os corantes que não se ligaram às fibras, juntamente com diferentes compostos como metais, sais, surfactantes, sulfetos entre outros, que auxiliam a adsorção dos corantes às fibras (DOS SANTOS; CERVANTES; VAN LIER, 2007).

A estampagem confere cor e estampas a locais específicos nos tecidos, sendo a técnica mais utilizada a de telas rotativas. Nesse caso, são utilizados pigmentos que são tipicamente insolúveis e sua fixação se faz com solventes que evaporam logo após o processo. Não há etapa de lavagem dos tecidos, porém é necessário lavar as telas rotativas, o que gera efluentes líquidos (USEPA, 1997).

Durante o acabamento, os tecidos passam por processos para melhorar sua aparência, textura e desempenho. São aplicados compostos químicos, como resinas e amaciantes, que dão brilho, limpeza e toque agradável, de forma a atender às exigências do consumidor. Esses compostos também podem ser encontrados no efluente da fábrica têxtil (USEPA, 1997).

3.3 Corantes

Corantes são substâncias sintéticas ou naturais que conferem cor a diferentes produtos. Os corantes sintéticos causam uma preocupação maior do que os naturais em relação a problemas ambientais, uma vez que são compostos xenobióticos. Esses são produzidos por reações químicas que dão origem a compostos aromáticos, com grupos cromóforos (aceptores de elétrons) e auxocromos (doadores de elétrons). Os grupos cromóforos são responsáveis pela cor e os auxocromos pela intensidade de cor (CARMEN; DANIELA, 2012). Os grupos cromóforos mais importantes são os grupos azo (-N=N-), carbonila (-C=O), metino (-CH=), nitro (-NO₂) e antraquinona. Os auxocromos mais importantes são os grupos funcionais amina (-NH₃), carboxila (-COOH), sulfonato (-SO₃H) e hidroxila (-OH) (DOS SANTOS; CERVANTES; VAN LIER, 2007).

De acordo com a forma de aplicação, os corantes podem ser classificados em reativos, ácidos, básicos, diretos, a cuba, dispersos e azoicos. Mais de 20 mil toneladas de corantes foram importadas pelo Brasil em 2015. Os corantes reativos representaram uma parcela maior que 32%, com mais de 6,5 mil toneladas importadas, contra cerca de 5 mil toneladas de corantes ácidos, seguidos dos corantes a cuba, dispersos, diretos e básicos (Figura 2).

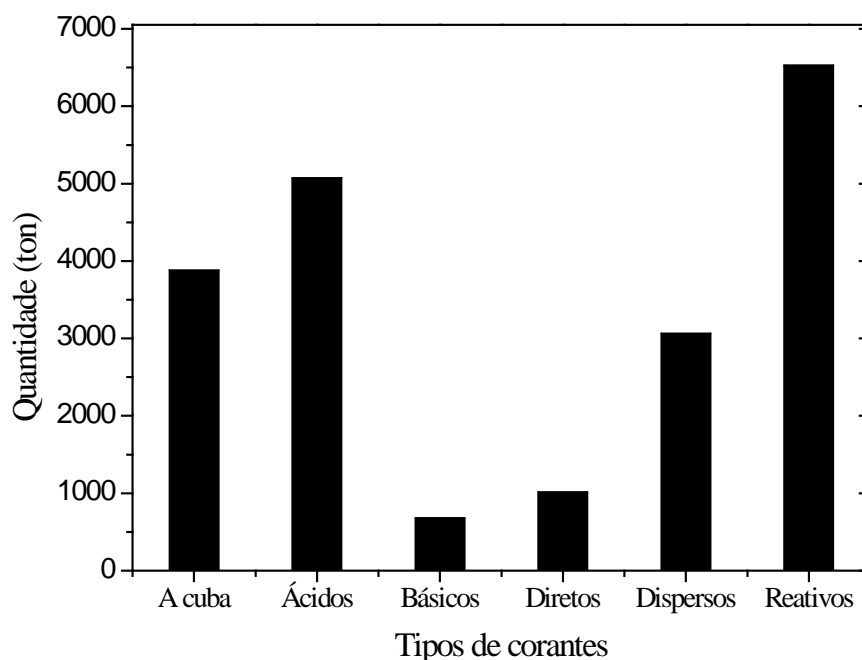


Figura 2 - Importação de corantes têxteis pelo Brasil.

Fonte: UNSD (2016).

As classificações dos corantes que são apresentadas a seguir baseiam-se no documento preparado pela Comissão Europeia: Prevenção e Controle Integrado de Poluição - Documento de Referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis para a Indústria Têxtil (IPPC, 2003).

Corantes ácidos são compostos aniônicos, solúveis em água, que possuem grupos sulfônicos ou carboxílicos. Ao se adicionarem ácidos ao processo de fixação, os grupos amino presentes nas fibras adquirem carga positiva, formando, então, ligações iônicas com os grupos dos corantes (O'NEILL et al., 1999). Os corantes ácidos são usados principalmente em lã e fibras de poliamida e apresentam baixa afinidade por fibras de poliéster e de celulose. O grau de fixação é de 85 a 98%. Geralmente, não são tóxicos, porém existe uma preocupação ambiental em relação aos corantes ácido laranja 156 e 165 e ácido violeta 17.

Os corantes básicos são catiônicos e usados quase exclusivamente para fibras de acrílico, fibras modificadas de poliamida e combinadas. Os grupos catiônicos amino formam ligações iônicas com os sítios aniônicos das fibras. São pouco solúveis em água e altamente solúveis em ácido acético, etanol e outros solventes orgânicos. Muitos dos corantes básicos são tóxicos aos organismos aquáticos, porém sua fixação às fibras é

quase total. Dessa forma, a principal forma de serem encontrados nos efluentes se deve a procedimentos inadequados na etapa de tingimento e vazamentos durante a limpeza dos equipamentos.

Corantes diretos são aplicados em soluções com pH neutro a levemente alcalino, contendo eletrólitos e são usados para colorir fibras de algodão, seda, linho e poliamida. Devido à estrutura molecular longa e planar, os corantes diretos podem se alinhar às macromoléculas de celulose e são mantidos principalmente por forças de Van der Waals e pontes de hidrogênio, sendo que entre 64 e 96% dos corantes são fixados. Os corantes contendo grupos benzidina podem apresentar efeitos carcinogênicos.

Os corantes dispersos recebem essa denominação por serem bastante insolúveis em água e serem aplicados com soluções dispersoras, à alta temperatura e pressão para sua fixação. Eles são usados principalmente no tingimento de fibras de poliéster, mas também podem ser usados em fibras de celulose, poliamida e acrílico, apresentando fixação entre 88 e 99%. Alguns corantes dispersos podem conter haletos orgânicos, porém são facilmente removidos dos efluentes por adsorção. Outros corantes nos tons de vermelho, laranja, azul e amarelo podem apresentar efeitos alergênicos e carcinogênicos (LIMA et al., 2007).

Corantes a cuba são frequentemente usados no tingimento e estampagem de algodão e fibras de celulose, mas podem também ser usados para fibras de poliéster e poliamida. São insolúveis em água, mas sua aplicação em condições alcalinas, juntamente com um agente redutor, como hidrossulfeto de sódio, torna-os solúveis, fazendo com que se liguem às fibras para, então, serem oxidados à forma original e permanecerem fixados. O grau de fixação é de 70 a 95%. Devido à baixa solubilidade, são pouco biodisponíveis, sendo removidos principalmente dos efluentes por adsorção.

Corantes azoicos, ou corantes naftol, contêm grupos azo e são impregnados às fibras com sal de diazônio, para sua estabilização (O'NEILL et al, 1999). São usados para o tingimento de fibras de celulose, viscosa, e algumas vezes de poliéster, com grau de fixação entre 76 e 89%. Sua toxicidade não se deve ao corante em si, mas aos auxiliares de aplicação, como cloroaminas, que tiveram seu uso proibido nos Estados Unidos.

Corantes reativos são os corantes mais utilizados no tingimento de fibras de algodão e viscosa, com as quais formam ligações covalentes, devendo ser aplicados em

pH alcalino e elevada temperatura (GHALY et al., 2014). São corantes aniônicos que, em solução, são repelidos pelas fibras de algodão, carregadas negativamente e se faz necessário realizar o tingimento em uma solução eletrolítica, contendo sais como NaCl ou Na₂SO₄, para promover a fixação do corante à fibra (KHATRI et al., 2015). Os grupos reativos conferem aos corantes elevada solubilidade em água e são esses grupos que reagem com os grupos hidroxila das fibras de celulose. A elevadas temperaturas e pH, condições ideais para aplicação, podem sofrer hidrólise, o que diminui sua afinidade pelas fibras e aumenta a possibilidade de serem lavados após o tingimento para o efluente. Dessa forma, grande parte dos corantes aplicados no tingimento é perdida para o efluente (DOS SANTOS; CERVANTES; VAN LIER, 2007). Para o tingimento de fibras de algodão, entre 55 e 80% dos corantes reativos são fixados. Devido à elevada quantidade de sais necessária para o tingimento e também aos corantes altamente solúveis que são perdidos para o efluente, sua eliminação pelo tratamento biológico é difícil, e esses podem chegar aos corpos d'água. Alguns corantes reativos podem ter em seus grupos cromóforos metais pesados, como ftalocianina que contém Cu, usado para tons de azul e turquesa, que eleva seu potencial tóxico. Esses corantes são extensivamente usados, pois ainda não existem substitutos disponíveis no mercado.

3.4 Efluentes de fábricas têxteis

O consumo de água no processo produtivo da indústria têxtil está entre 10 e 300 m³ por tonelada de tecido produzida e depende muito dos processos empregados, dos equipamentos utilizados e da filosofia de consumo de água da indústria (SCHOEBERL et al., 2004; VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

Os efluentes da indústria têxtil são bastante complexos, uma vez que são formados por uma mistura das diversas substâncias utilizadas no processo produtivo (Figura 1). Dependendo do grupo reativo dos corantes, tanto os sais inorgânicos não biodegradáveis quanto os corantes não fixados podem ser lançados no efluente, caracterizado principalmente por altos valores de cor, DBO, DQO, COD, pH, temperatura, turbidez, condutividade e toxicidade (VERMA; DASH; BHUNIA, 2012).

Os processos biológicos mais utilizados para o tratamento de efluentes de fábricas têxteis são lagoas aeradas, filtros biológicos e lodos ativados (GHALY et al., 2014). Esses sistemas são eficientes na remoção de DBO e sólidos suspensos, porém a maioria dos corantes utilizados na indústria têxtil não é biodegradável, devido à complexidade de suas estruturas e à alta massa molar e o efluente secundário continua altamente colorido (GAO et al., 2007; KIM et al., 2004).

Mesmo em baixas concentrações, em relação a outros compostos presentes no efluente, os corantes causam diversos problemas, entre eles estéticos, devido ao elevado poder colorante que pode alterar a cor dos corpos d'água receptores. Além disso, o acúmulo de corantes em rios e lagos pode diminuir a penetração da luz solar e interferir em processos biológicos como a fotossíntese. Diversos estudos têm demonstrado a toxicidade aquática de efluentes de fábricas têxteis, devido aos corantes e a subprodutos formados pela oxidação no curso d'água (BYBERG et al., 2013; MERZOUK; MADANI; SEKKI, 2010; PEKAKIS; XEKOUKOULOTAKIS; MANTZAVINOS, 2006; VERMA, 2008; VILLEGAS-NAVARRO et al., 2001). Corantes azo têm sido reportados como tóxicos para diversos organismos aquáticos incluindo algas, peixes e crustáceos como dafnídeos (BAFANA; DEVI; CHAKRABARTI, 2011). Efeitos mutagênicos e carcinogênicos de corantes em seres humanos também têm sido reportados na literatura, bem como efeitos adversos no pulmão e pele, náuseas e má formação congênita (LIMA et al., 2007; MATHUR; BHATNAGAR; BAKRE, 2006; NILSSON et al., 1993; SHARMA; SOBTI, 2000; TÜFEKCI; SIVRI; TOROZ, 2007).

Dessa forma, os efluentes secundários da indústria têxtil necessitam de tratamento terciário para remoção de corantes e demais compostos tóxicos ainda presentes. O processo convencional de tratamento terciário para efluentes de fábricas têxteis, coagulação/floculação/sedimentação, e os avançados, de adsorção, troca iônica e filtração por membranas, podem ser eficientes, dependendo dos tipos de corantes presentes, porém, não os eliminam definitivamente, mas os transferem para uma fase diferente ou os concentram, gerando uma poluição secundária que requer tratamento e disposição adequada (LAHKIMI et al., 2007). Por outro lado, a grande vantagem desses processos é a não formação de intermediários que podem ser mais tóxicos que os compostos originais (BYBERG et al., 2013).

Os processos oxidativos avançados (POA) têm recebido considerável atenção para o tratamento de efluentes de fábricas têxteis. Esses processos baseiam-se na

geração de espécies altamente reativas (H_2O_2 , $\cdot\text{OH}$, $\text{O}_2\cdot^-$ e O_3) para a degradação não-seletiva dos compostos recalcitrantes e podem levar à completa eliminação ou degradação parcial dos poluentes, com aumento de sua biodegradabilidade (HERNÁNDEZ-RAMÍREZ; MEDINA-RAMÍREZ, 2015). Entre os POA, tem-se a fotocatalise heterogênea, na qual são usados semicondutores como TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , CdS , entres outros, para aumentar a taxa de degradação, uma vez que aumentam a produção de espécies reativas (CHONG et al., 2010).

3.5 Legislação referente ao lançamento de efluente líquidos

A Resolução CONAMA nº 357 de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. A Resolução CONAMA nº 430 de 2011, altera e complementa a Resolução CONAMA 357/2005 e dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes no corpo hídrico receptor. No seu Art. 3º, estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente podem ser lançados diretamente nos corpos d'água receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos na Resolução.

A legislação federal para corpos d'água de classe 2 proíbe a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processos de coagulação, sedimentação e filtração convencionais; e estabelece limites de cor verdadeira de até 75 mg Pt/L e de turbidez de até 100 UNT. Além disso, os efluentes lançados em águas dessa classe não devem causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo d'água receptor, de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

Em Minas Gerais, a Resolução Conjunta COPAM/CERH nº 01 de 2008 estabelece o padrão de até 250 mg/L de DQO e 100 UNT para efluentes têxteis lançados nos corpos d'água. Estabelece também que corantes devem estar virtualmente ausentes em corpos d'água de classe 1 e os que não sejam removíveis por processos de coagulação, sedimentação e filtração convencionais devem estar ausentes em corpos d'água de classe 2, com limite máximo de cor verdadeira de 75 mg Pt/L. Porém, ainda não há um padrão de toxicidade para o lançamento de efluentes em Minas Gerais.

3.6 Ecotoxicologia aquática

Mesmo após o tratamento de efluentes, a toxicidade remanescente pode afetar significativamente os corpos d'água receptores bem como a vida aquática e faz-se necessário um tratamento de efluentes que seja capaz de remover ou reduzir a toxicidade de efluentes a níveis aceitáveis (MELO et al., 2013).

Testes de toxicidade são usados para determinar se um composto, água ou efluentes apresentam potencial para serem tóxicos a organismos biológicos e quão tóxicos podem ser. A principal vantagem dos testes de toxicidade é a detecção da presença de compostos tóxicos, baseando-se na atividade biológica, e não requer um conhecimento prévio do contaminante (LEUSCH; CHAPMAN, 2012).

Deve-se considerar também que águas superficiais são os principais receptores de efluentes industriais, portanto, o uso de organismos provenientes de águas superficiais é de grande importância para avaliar a toxicidade (DE LUNA et al., 2014).

Organismos como os crustáceos *Daphnia magna*, *Daphnia pulex*, *Daphnia similis*, *Ceriodaphnia dubia* e *Hyalella azteca*, *Artemia salina*, a bactéria *Allivibrio fischeri*, algas, *Raphidocelis subcapitata* e *Chlorella vulgaris*, e peixes, *Danio rerio* e *Pimephales promelas*, são amplamente utilizados por agências de proteção ambiental para avaliar e mensurar a toxicidade aguda e crônica de efluentes industriais e de misturas complexas que podem estar presentes no ambiente (COSTA et al., 2008; JÚNIOR et al., 2007).

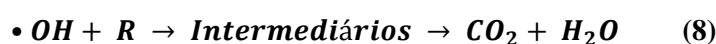
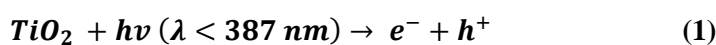
Os microcrustáceos de água doce da ordem *Cladocera* e do gênero *Daphnia*, conhecidos como pulgas d'água, são extensivamente utilizados para avaliar toxicidade aguda e crônica de efluentes e compostos químicos. Isso porque são amplamente distribuídos nos corpos d'água doce, são organismos bastante sensíveis a um grande número de contaminantes aquáticos, apresentam importância na cadeia alimentar e são fontes significativas de alimento para peixes, podem ser cultivados em laboratórios, com reprodução partenogenética, o que garante a reprodução de organismos geneticamente idênticos, necessitam de menores volumes de amostras-teste e água de diluição, comparado aos testes realizados com alga e peixes, permitindo realizar ensaios com organismos teste com adequada sensibilidade (BURATINI; BERTOLETTI; ZAGATTO, 2004; COSTA et al., 2008).

D. similis tem sido amplamente utilizada para ensaios ecotoxicológicos no Brasil e mesmo não sendo uma espécie nativa, é facilmente cultivada em laboratório e atende aos critérios de procedimentos padrões para a seleção de espécies alternativas (BURATINI; BERTOLETTI; ZAGATTO, 2004; COSTA et al., 2008). Diversos estudos demonstraram que *D. similis* pode ser usada da mesma forma que *D. magna* e *D. pulex* para avaliar a toxicidade de efluentes (DA SILVA LEITE et al., 2016; FERRAZ; GRANDO; OLIVEIRA, 2011; ROCHA et al., 2017; SOTERO-SANTOS; ROCHA; POVINELLI, 2005).

3.7 Fotocatálise heterogênea

A fotocatalise heterogênea faz uso de semicondutores para a degradação de compostos orgânicos. Na presença de radiação ultravioleta ou visível, o semicondutor pode absorver um fóton com energia igual ou maior que a energia de *bandgap* (equivalente à diferença de energia entre as bandas de valência e de condução) e formar pares elétron/lacuna, capazes de produzir radicais hidroxila e superóxido (HERRMANN, 2005). Na ausência de aceptores de elétrons, ocorre a recombinação dos pares e a diminuição da produção de radicais hidroxila.

O mecanismo de degradação de compostos orgânicos pela fotocatalise com TiO_2 tem sido explicado pelas reações ilustradas nas equações de 1 a 8, nas quais R é o poluente orgânico a ser degradado (AHMED et al., 2011a; AJMAL et al., 2014):



Quando o catalisador absorve um fóton ($h\nu$), o elétron (e^-) é promovido da banda de valência para a banda de condução. Consequentemente, a banda de valência fica com uma lacuna (h^+) e a banda de condução com um elétron e formam-se pares elétron/lacuna (1) (HERRMANN, 1999). Os elétrons na banda de condução têm alto potencial de redução e reagem com o O_2 presente em solução ou outro acceptor de elétrons, como H_2O_2 , para formar radicais superóxido, $O_2^{\bullet-}$ (2), que podem ser protonados e formar radicais hidroperoxilo (HO_2^{\bullet}) (3) e, depois, peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (4), que se dissocia em radicais hidroxila (5) (AJMAL et al., 2014). Os compostos orgânicos também podem ser oxidados pela lacuna, sendo esse o caminho direto da fotocatalise (6) (RAUF; MEETANI; HISAINDEE, 2011). A lacuna tem elevado potencial para oxidar a água, adsorvida na forma do íon OH^- , e formar radicais hidroxila, $\bullet OH$ (7). A presença de O_2 em solução é importante para evitar a recombinação do par elétron/lacuna (AHMED et al., 2011a), como mostrado na Figura 3. Os radicais $\bullet OH$ formados atacam os compostos orgânicos, o que produz compostos intermediários que reagem continuamente com $\bullet OH$, até sua completa mineralização (8) (HERRMANN, 1999). As reações (7) e (8) definem o caminho indireto da fotocatalise (RAUF; MEETANI; HISAINDEE, 2011).

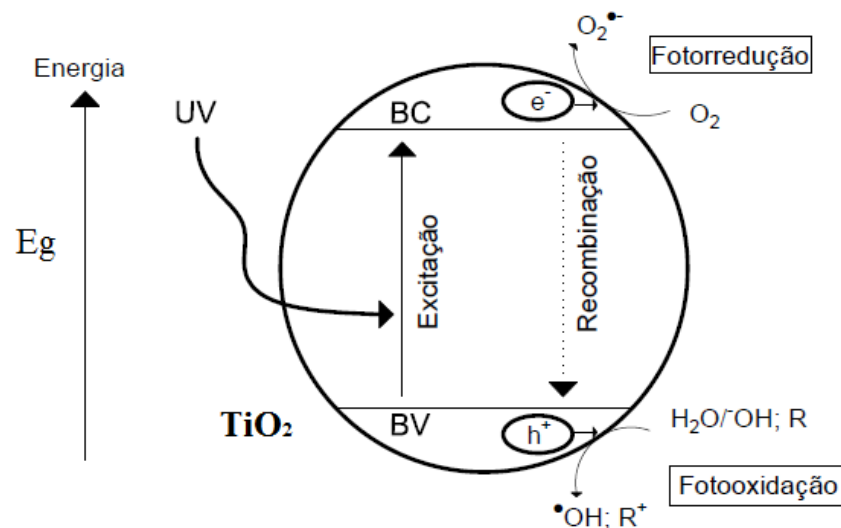


Figura 3 - Princípio do processo de degradação na fotocatalise heterogênea.

Fonte: adaptado de AHMED et al. (2011a).

Dióxido de titânio (TiO_2) é o semicondutor mais utilizado nos processos de fotocatalise devido ao melhor desempenho em relação aos outros semicondutores, principalmente sob radiação UV. Além disso, TiO_2 é química e biologicamente inerte, não tóxico, de baixo custo, devido à fácil produção, e resistente à corrosão química (AKPAN; HAMEED, 2009). As formas minerais de TiO_2 são anatásio, rutilo e bruquita, sendo a forma anatásio a mais usada para a fotocatalise, por apresentar melhor desempenho (AKPAN; HAMEED, 2009). O TiO_2 -P25, que é uma mistura de 75% anatásio e 25% rutilo, tem sido amplamente usado, principalmente devido à melhor eficiência na degradação de corantes em menor tempo (AHMED et al., 2011a).

3.7.1 Fatores que afetam a fotocatalise

A fotocatalise pode ser afetada por vários fatores, como pH, concentração de compostos inorgânicos, intensidade de radiação, tempo de contato e presença de sólidos suspensos. Na literatura, encontram-se diversos trabalhos que mostram os efeitos desses fatores na degradação de compostos modelo, sendo encontrados poucos trabalhos utilizando efluentes reais. Segue uma breve discussão sobre os fatores que afetam a fotocatalise, com enfoque na degradação de corantes e efluentes de fábricas têxteis utilizando TiO_2 .

3.7.1.1 Tempo

Quanto maior o tempo, maior a degradação de compostos orgânicos durante a fotocatalise. Entretanto, a eficiência de remoção de corantes varia consideravelmente dependendo de outras condições, como pH, concentração do catalisador, concentração do corante, etc. Na literatura podem ser encontrados tempos tão curtos quanto 2 min, bem como tempos longos, de dias.

Na degradação de 50 mg/L do corante ácido laranja 20, Papadam et al. (2007) conseguiram eficiência de remoção de cor de 96%, após 120 min com 0,05 g/L de TiO_2 sob radiação UV. Por outro lado, no estudo de Baran, Makowski e Wardas (2003), com apenas 15 min, 97% do corante básico azul 41 (48 mg/L) já foram removidos, com 2,5

g/L de TiO_2 , também sob radiação UV. Tempos ainda menores foram suficientes para reduzir, consideravelmente, a absorvância de outros corantes. O corante azul de metileno (10 mg/L) teve remoção de 92% após 10 min, utilizando 0,5 g/L de Ag- TiO_2 no UV e nas mesmas condições, alcançou-se 100% de degradação de rodamina B, após 180 min (BARAKAT et al., 2013). Somente dois min foram necessários para a remoção de mais de 97% dos corantes azul de metileno, alaranjado de metila e rodamina B, quando utilizada a combinação de CdS- TiO_2 , a uma concentração de 20 mg/L de cada corante e 3 g/L do catalisador, sob luz visível (ARABZADEH; SALIMI, 2016). Outrossim, com 16 h, conseguiu-se remoção de 95% de 20 mg/L de rodamina B, com TiO_2 imobilizado em fibra de celulose, sob radiação UV (BARKA et al., 2008). Deve-se considerar que os resultados apresentados neste parágrafo foram para a redução da absorvância no comprimento de onda de absorvância máxima (λ_{max}) de cada corante.

Normalmente, o tempo necessário para a mineralização dos corantes é maior que o tempo para a redução da absorvância. Com a geração de radicais hidroxila, os grupos cromóforos dos corantes são rapidamente destruídos, perdendo a cor característica, porém é necessária uma grande quantidade de radicais hidroxila para que se chegue à completa degradação dos compostos (BERGAMONTI et al., 2014). Muitas vezes, os compostos intermediários produzidos na fotocatalise são mais difíceis de degradar, sendo requeridos tempos muito maiores para a mineralização (BERGAMINI; AZEVEDO; ARAÚJO, 2009). De fato, 44 horas foram necessárias para remover 98% da absorvância de uma solução de 100 mg/L de vermelho de metila, utilizando TiO_2 imobilizado em fibra de celulose e ligado por SiO_2 , enquanto que para a remoção de 87% do COD, foram necessárias 48 h (CHEBLI et al., 2010). Na fotodegradação de efluente têxtil utilizando TiO_2 na forma anatásio, sob radiação UV, conseguiu-se completa remoção da absorvância a 304 nm dentro de 42 min, mas a completa mineralização do COT, somente após 600 min (HUSSEIN, 2013a, 2013b). Pekakis, Xekoukoulotakis e Mantzavinos (2006) conseguiram eficiência de remoção de 92% da DQO de um efluente têxtil, após 4 horas de tratamento com TiO_2 em pH 3, com radiação UV. A descoloração do efluente, a 584 nm, nesse mesmo intervalo chegou a 100%.

3.7.1.2 Concentração do catalisador

A concentração da suspensão do semicondutor aplicada no reator de fotocatalise é um importante fator que afeta não somente a taxa de degradação do(s) substrato(s), mas também os custos do tratamento. Tem sido reportado que a degradação de compostos orgânicos é diretamente proporcional à concentração do catalisador, uma vez que aumenta o número de sítios disponíveis na superfície para a produção de radicais hidroxila e superóxido, bem como da adsorção dos compostos. Entretanto, existe um valor ótimo acima do qual o aumento da concentração do catalisador passa a não influenciar na taxa de degradação, ou até ter efeito negativo na taxa de reação (AHMED et al., 2011a; AKPAN; HAMEED, 2009; CHONG et al., 2010; HERRMANN, 1999). Quando a concentração do catalisador em suspensão atinge valores elevados, o excesso de partículas dificulta a penetração da luz, reduz a área superficial exposta à radiação e inibe a absorção de fótons pelo próprio catalisador. Assim, ocorre uma redução da produção de radicais (CHONG et al., 2010).

Diversos valores de concentração são reportados na literatura. Rupa e Sivamukar (2011) utilizaram 6 g/L de TiO_2 modificado com metais nobres, para a degradação de efluente têxtil, e conseguiram remoções de cor maiores que 65% após 12 horas sob radiação visível, porém o estudo não foi de otimização, sendo a concentração utilizada escolhida pelos autores. Das e Basu (2015) observaram que a remoção de DQO aumentou com o aumento da concentração de $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$, sob radiação UV, até 0,5 g/L, porém, com 0,8 g/L a eficiência de remoção diminuiu e foi similar à observada com 0,15 g/L de catalisador. Pekakis, Xekoukoulotakis e Mantzavinos (2006) testaram concentrações entre 0 e 3 g/L de TiO_2 e com 0,25 g/L obtiveram 82% de remoção de absorbância a 584 nm, que aumentou para 90% com 0,5 g/L e 100% com 3 g/L. As eficiências de remoção de DQO foram 40, 41 e 55% para as concentrações de 0,25, 0,5 e 3 g/L de TiO_2 , respectivamente, após 4 h de fotocatalise.

Hosseini, Fallah e Royae (2016) utilizaram a metodologia de superfície de resposta para otimizar a degradação fotocatalítica de um efluente têxtil e encontraram as seguintes condições ótimas: pH 7, 3 g/L de TiO_2 e fluxo de 1,5 L/min de ar, com as quais se alcançaram remoções de cor, a 465 nm, de 98,5% e de DQO de 91,5%, após 150 min sob radiação UV.

Portanto, para aumentar a taxa de degradação de compostos orgânicos, deve-se operar o reator fotocatalítico na faixa ótima de concentração do catalisador, evitando seu excesso, para garantir a maior absorção de fótons no processo e, assim, reduzir os custos de operação.

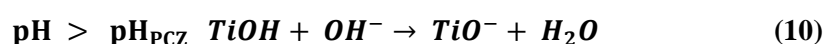
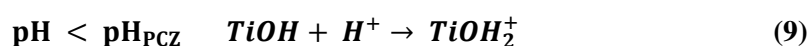
3.7.1.3 Intensidade de radiação

A intensidade de radiação afeta a eficiência de degradação de compostos orgânicos, uma vez que a formação de pares elétron/lacuna depende desse fator. A distribuição da radiação no reator também é um fator importante, devendo-se buscar reatores mais uniformes possíveis (PAREEK et al., 2008).

Diversos autores avaliaram a intensidade de radiação na fotocatalise heterogênea e mostraram que para baixas intensidades, até 25 mW/cm^2 , a taxa de degradação depende da intensidade de radiação porque sob baixa intensidade, a formação de pares elétron/lacuna são predominantes e a taxa de recombinação é baixa. Para intensidades maiores, a taxa de degradação passa a ser independente da intensidade porque há elevada taxa de recombinação, sem influenciar a formação de pares elétron/lacuna e, portanto, a degradação dos poluentes (AHMED et al., 2011a).

3.7.1.4 pH

O pH tem grande influência na eficiência da fotocatalise, uma vez que tanto o fotocatalisador quanto os corantes no efluente exibem cargas diferentes em função do pH. O pH_{PCZ} é definido como o pH no qual a soma de cargas de superfície é igual a zero. Para o TiO_2 esse valor é aproximadamente 6,3 (CHONG et al., 2010; EVGENIDOU; FYTIANOS; POULIOS, 2005). As equações 9 e 10 mostram o caráter anfótero do TiO_2 , em que TiOH representa o grupo funcional hidratado na superfície do semiconductor (HOFFMANN et al., 1995).



Abaixo do pH_{PCZ} , a superfície encontra-se na forma protonada ($TiOH^+$) e acima do pH_{PCZ} , assume carga negativa (TiO^-).

Os corantes podem se apresentar na forma aniônica, catiônica ou no estado neutro, dependendo do seu pK_a . Pekakis, Xekoukoulotakis e Mantzavinos (2006) mostraram que, para a degradação e mineralização de corantes reativos em um efluente de fábrica têxtil, conseguiu-se 100% de descoloração e 90% de remoção de DQO com 0,5 g/L de TiO_2 em pH 3, sendo que em pH 9,8 e 6,7 a remoção de cor (584 nm) e DQO foram menores que 92% e 50%, respectivamente. A maioria dos corantes do efluente em estudo era do tipo reativo, com grupos sulfônicos de carga negativa e houve maior adsorção dos corantes na superfície do catalisador carregada positivamente em pH 3 e, conseqüentemente, maior taxa de degradação foi alcançada. Além disso, a concentração do catalisador que resultou na maior descoloração em pH 7, 0,5 g/L, diminuiu para 0,125 g/L em pH 3, com 100% de descoloração.

Para a degradação de azul de metileno usando TiO_2 intercalado com hidróxidos duplos lamelares (HDL), Seftel et al. (2010) obtiveram eficiências menores que 40% em pH 4 e 6,5. Porém, em pH 10, a eficiência de degradação chegou a 90%, principalmente pelo aumento da adsorção, uma vez que azul de metileno é um corante catiônico, e em pH 10, a superfície do TiO_2 encontrou-se carregada negativamente.

Em contrapartida, a adsorção pode ser prejudicial para a fotocatalise, uma vez que quanto maior o número de sítios de adsorção ocupados pelos corantes, menor a quantidade de sítios disponíveis no catalisador para adsorver água ou íons hidroxila (OH^-), menor a produção de radicais hidroxila e, conseqüentemente, menor a degradação fotocatalítica, se esses radicais são os principais responsáveis pela degradação. Além disso, a elevada adsorção de corantes causa o envenenamento do catalisador, uma vez que também bloqueia a absorção de luz e reduz a formação de pares elétron/lacuna (WANG et al., 2009). De fato, no estudo de Alaton e Balcioglu (2001) com TiO_2 , o pH 11 foi melhor do que 4 e 7 para a degradação do corante reativo preto 5, ao contrário do que se esperava, uma vez que o corante é aniônico e em pH ácido a adsorção no TiO_2 é favorecida. No entanto, em pH alcalino, houve maior quantidade de íons OH^- no meio que puderam ser adsorvidos no semicondutor e, provavelmente, o principal mecanismo de degradação do corante foi via radicais hidroxila.

Akpan e Hameed (2009) observaram que diversos corantes reportados na literatura apresentaram diferentes valores de pH para o qual a taxa de degradação foi máxima, enfatizando a necessidade de se conhecerem os corantes e o efluente a serem tratados pela fotocatalise para determinar a faixa ideal de pH. Não somente é necessário o conhecimento dos compostos, mas é também importante realizar testes de fotocatalise, para se chegarem às condições ótimas, uma vez que, na prática, nem sempre o pH ideal é o esperado.

3.7.1.5 Compostos inorgânicos

A presença de ânions inorgânicos em solução tende a reduzir a eficiência da degradação de compostos orgânicos na fotocatalise. Em efluentes industriais, como os da indústria têxtil, é comum encontrar elevadas concentrações de Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_3^{2-} e HCO_3^- , que funcionam como sequestradores de radicais hidroxila e podem ser adsorvidos pelo semicondutor, diminuindo os sítios de adsorção disponíveis para OH^\cdot e corantes (MANTZAVINOS; PSILLAKIS, 2004). Geralmente, carbonato tem maior efeito inibitório na degradação de corantes, sendo a ordem de inibição: $\text{CO}_3^{2-} > \text{PO}_4^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ (GUILLARD et al., 2003).

Neppolian et al. (2002) reportaram que o aumento na concentração de carbonatos e cloretos promoveu significativa diminuição na degradação do corante reativo azul 4 com TiO_2 , devido ao poder dos ânions em sequestrar radicais hidroxila. Papadam et al. (2007) mostraram que a descoloração de uma solução do corante ácido laranja 20 diminuiu na presença de 5 g/L de NaCl e Na_2SO_4 , quando comparada com o corante em água destilada, uma vez que os ânions Cl^- e SO_4^{2-} podem ser oxidados pela lacuna e ainda reagir com os radicais hidroxila, formando radicais menos reativos.

Por outro lado, no estudo de fotodegradação do corante reativo preto 5 (TANG; CHEN, 2004), não se observou efeito da presença de NaCl , mesmo em concentrações de 10 e 80 g/L. Os autores atribuíram o fato à elevada concentração de oxigênio dissolvido, um ótimo aceptor de elétrons que inibiu a recombinação e assim aumentou a formação de radicais hidroxila. Chen, Zhao e Hidaka (2003) observaram que a adição do ânion fosfato a soluções de rodamina B e azul de metileno influenciou, positivamente, a degradação fotocatalítica desses corantes com TiO_2 . Na presença de

PO_4^{3-} , o pH_{PCZ} do semiconductor caiu de pH 6, aproximadamente, para pH 2, o que resultou no aumento da adsorção dos corantes catiônicos estudados e, conseqüentemente, na taxa de degradação.

Assim, nem sempre a presença de compostos inorgânicos prejudica a fotodegradação de corantes, mas as condições adequadas para o tratamento devem ser conhecidas, principalmente quando se trata de efluentes reais, que contêm uma ampla quantidade de sais, surfactantes e solventes, entre outros compostos que podem influenciar fortemente a degradação fotocatalítica.

3.7.1.6 Sólidos suspensos ou turbidez

A presença de sólidos suspensos (SS) e turbidez nos efluentes a serem tratados por fotocatalise pode diminuir bastante a eficiência do processo, pois os SS afetam as propriedades ópticas da solução e impedem a penetração da luz, tanto pela dispersão, quanto pela absorção de fótons que chegariam ao semiconductor (TANG; CHEN, 2004). Adicionalmente, as partículas podem proteger compostos tóxicos, reduzindo ainda mais a eficiência de remoção porque os radicais hidroxila podem não conseguir degradar as partículas para chegar aos poluentes-alvo (CHONG et al., 2010).

Assim, é necessário avaliar a necessidade de remoção de SS antes da fotocatalise, já que esses reduzem a eficiência do reator fotocatalítico. Na literatura encontram-se estudos que recomendam que a turbidez esteja abaixo de 5 UNT para utilização ótima da luz (CHONG et al., 2010).

3.7.1.7 Temperatura

A taxa de degradação fotocatalítica pode aumentar com o aumento da temperatura, sendo explicada pelo aumento da colisão entre as moléculas e não pela formação de pares elétron/lacuna, uma vez que a energia de *bandgap* é muito alta para ser superada termicamente (EVGENIDOU; FYTIANOS; POULIOS, 2005). Barakat et al. (2013) explicaram que mesmo que as colisões sejam mais frequentes com o aumento da temperatura, esse mecanismo sozinho não é suficiente para aumentar a taxa de

degradação e atribuíram maior importância à maior energia das moléculas, sendo mais fácil atingir a energia de ativação das reações de degradação. Provavelmente, tanto o aumento das colisões, quanto o aumento da energia dos compostos são responsáveis pela maior degradação fotocatalítica com o aumento da temperatura. Entretanto, a temperatura deve ser controlada, uma vez que o aumento da temperatura ($>80^{\circ}\text{C}$) eleva a taxa de recombinação e a desorção dos compostos adsorvidos, o que reduz a eficiência da fotocatalise (GAYA; ABDULLAH, 2008).

Barakat et al. (2013) trabalharam com temperaturas de 5 a 55°C na fotodegradação do corante rodamina B com nanopartículas de Ag-TiO₂ sob radiação UV e encontraram diferentes temperaturas ótimas para as diferentes proporções de Ag, sendo a maior taxa de degradação conseguida com a temperatura de 25°C para um conteúdo de Ag de 1% (m/m).

A temperatura ótima para a fotocatalise geralmente está entre 20 e 80°C e o sistema não necessita de aquecimento, pois a própria absorção da radiação pelos elétrons e a recombinação, que libera energia, mantêm a temperatura nessa faixa (HERRMANN, 1999).

3.7.1.8 Oxigênio molecular como aceptor de elétrons

A maior desvantagem no uso de TiO₂ é a elevada taxa de recombinação dos pares elétron/lacuna, que reduz a geração de radicais hidroxila, e a presença de aceptores de elétrons é um fator importante para reduzir a taxa de recombinação (AHMED et al., 2011b). Oxigênio molecular (O₂) é o aceptor de elétrons mais utilizado na fotocatalise, uma vez que já está presente no efluente, devido à troca com o ar atmosférico. O fluxo de oxigênio no sistema deve ser bem ajustado, pois pode trazer efeitos adversos, como reportado por Das e Basu (2015), que observaram que o aumento do fluxo de ar de 0 a 0,3 L/min promoveu o aumento da remoção de DQO, porém o aumento para 0,5 L/min levou à redução da eficiência, aproximando-se da obtida com 0,1 g/L. O aumento inicial do fluxo de ar pode melhorar a mistura entre o efluente e o catalisador, resultando em melhor taxa de transferência de massa, porém com elevado fluxo de ar, a turbulência das bolhas passa a impedir a penetração da luz,

fazendo com que haja redução na eficiência da degradação fotocatalítica (LAM; SIN; MOHAMED, 2010).

3.7.2 Toxicidade

Uma grande preocupação em relação aos POA é a toxicidade após o tratamento, uma vez que a mineralização incompleta pode formar compostos intermediários ainda mais tóxicos que os compostos primários (RIZZO et al., 2009). Existem poucos estudos na literatura que utilizam testes de toxicidade para avaliar a eficiência da fotocatalise para a degradação de corantes, e menos ainda utilizando efluente têxtil real, mais susceptível à formação de subprodutos tóxicos, devido à enorme variedade de substâncias presentes no efluente.

Byberg et al. (2013) utilizaram TiO_2 imobilizado em fibra de celulose, sob radiação UV, para o tratamento dos corantes diretos vermelho 80, 81 e 23, violeta 51 e amarelo 27 e 50, todos a 25 mg/L e avaliariam a toxicidade no ensaio de germinação de sementes de *Lactuca sativa* (alface). Após a remoção de 100% da absorbância no λ_{max} , a toxicidade relativa diminuiu somente para os corantes diretos vermelho 80, 81 e 23 e amarelo 50. Para os outros corantes, a toxicidade aumentou. Chebli et al. (2010) utilizaram *Allivibrio fischeri*, uma bactéria cuja luminescência diminui de acordo com a toxicidade, na avaliação da degradação de quatro corantes com TiO_2 imobilizado em fibra de celulose. A toxicidade do ácido vermelho 183 e escarlata de Biebrich aumentou após a fotocatalise, mesmo com a redução de 90 a 100% da absorbância no λ_{max} e mais de 70% do COD. Para os corantes vermelho de metila e ácido laranja 7, a toxicidade diminuiu após a fotocatalise.

Lizama et al. (2002) utilizaram TiO_2 para degradar o corante reativo azul 19 e observaram surgimento de toxicidade a *A. fischeri* nos primeiros 10 min e eliminação dessa toxicidade após 50 minutos de tratamento.

Para o efluente têxtil utilizado por Garcia et al. (2009) na fotocatalise com TiO_2 , a toxicidade relativa a *L. sativa* reduziu de 90 para 80% de inibição de germinação, mas continuou tóxico, sendo necessário um tempo maior para remover a toxicidade. No estudo de Souza et al. (2016), também utilizando TiO_2 , a remoção de DQO e absorbância a 660 nm foram de 70 e 96%, respectivamente, e a CL_{50} para o

microcrustáceo *Artemia salina*, passou de 27,6 para 90,9%, uma redução acentuada da toxicidade do efluente têxtil. Bizani et al. (2006) utilizaram TiO_2 na degradação de um efluente têxtil e reportaram uma redução da inibição da luminescência de *A. fischeri* de 100% para 65%, ou seja, redução da toxicidade do efluente, mesmo com remoção de apenas 29% do COD.

Diante do exposto, se torna importante avaliar o efeito da fotocatalise de efluentes de fábricas têxteis, uma vez que nem sempre há remoção da toxicidade, e possivelmente há até aumento da mesma, mesmo com elevada remoção de cor e COD.

3.7.3 Reúso de fotocatalisadores

A recuperação e o reúso de fotocatalisadores são fatores importantes, pois tendem a reduzir custos e gerar menor quantidade de resíduos no processo fotocatalítico. Além disso, demonstram a estabilidade do fotocatalisador e a ausência de sua alteração durante o processo.

O reúso de fotocatalisadores por vários ciclos consecutivos tem sido reportado na literatura. Hu et al. (2006) testaram TiO_2 modificado com prata e brometo de prata e não obtiveram decréscimos nas eficiências de degradação de corantes azo não biodegradáveis, mesmo após oito ciclos sob radiação visível, e cinco ciclos sob radiação UV. Após 60 horas sob radiação UV, o catalisador ainda apresentou elevada eficiência de degradação. Miranda et al. (2015) reportaram que o catalisador HT-DS/ TiO_2 /Fe23 (TiO_2 modificado com hidrotalcita, dodecilsulfato de sódio e óxido de ferro), após tratamento de azul de metileno e seco a 60°C, não apresentou variação, e que o dodecilsulfato permaneceu intercalado no fotocatalisador. A eficiência de degradação de azul de metileno passou de 94%, no primeiro ciclo, para 89%, após o 4º ciclo de 2 horas, mostrando o grande potencial prático da recuperação e reúso do catalisador.

Das e Basu (2015) obtiveram eficiências de remoção de DQO de um efluente têxtil de 73% no primeiro ciclo de uso do catalisador TiO_2 - ZrO_2 e 64% no quinto ciclo, considerado ainda, bastante eficiente. Pekakis, Xekoukoulotakis e Mantzavinos (2006) também observaram uma pequena redução na eficiência de remoção de cor (584nm) e DQO utilizando TiO_2 , cujas remoções foram de 90% e 45% no primeiro ciclo e de 85% e 39% após o terceiro ciclo.

3.7.4 Modificações dos catalisadores

Diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de melhorar a aplicabilidade do TiO₂. Entre as principais desvantagens do uso de TiO₂ comercial está a sua difícil recuperação após o tratamento, pois são nanopartículas que podem se acumular nos reatores ou podem ser lançadas nos corpos d'água, juntamente com o efluente tratado. Alguns sistemas de tratamento com TiO₂ têm utilizado a sedimentação, centrifugação e filtração para remover o catalisador, altamente disperso e suspenso no efluente tratado, porém os custos e o tempo desses processos são elevados (HAN et al., 2009). A agregação das nanopartículas também é uma desvantagem, pois diminui a área superficial do semicondutor exposta à luz (HUANG et al., 2013).

Outra desvantagem do TiO₂ é a energia de *bandgap* de 3,2 eV ($\lambda < 387$ nm), que corresponde ao espectro da radiação UV. Entretanto, somente 5% da radiação solar que chega à superfície terrestre estão no espectro do UV. Adicionalmente, a elevada taxa de recombinação dos pares elétron/lacuna reduz consideravelmente a degradação dos compostos orgânicos (AKPAN; HAMEED, 2009).

3.7.4.1 Dopagem de TiO₂

Diferentes alternativas têm sido estudadas visando a utilizar a energia solar como fonte de radiação. A dopagem de semicondutores tem sido feita com o objetivo de diminuir a energia de *bandgap* e favorecer a transferência do elétron da banda de valência para a banda de condução. Dessa forma, permite que o catalisador absorva fótons com maior comprimento de onda, o que permite que os semicondutores sejam utilizados no espectro do visível com aproveitamento da radiação solar, que contém aproximadamente 45% de luz visível. Além disso, facilita a separação dos pares elétron/lacuna e aumenta a eficiência da produção de radicais hidroxila (HAN et al., 2009). A dopagem de semicondutores pode ser feita com metais nobre, de transição, lantanídeos, alcalinos e também com ametais. Metais nobres como ouro (Ag), prata (Au), platina (Pt) e paládio (Pd) foram utilizados na dopagem de TiO₂ para a remoção de corantes (Tabela 1).

Ag-TiO₂ foi utilizado para remover os corantes ácido amarelo 17 e reativo azul 220 e Proncion vermelho MX-5B, com remoções mais eficientes que TiO₂ (KHANNA; SHETTY, 2013, 2014; LIN; LEE, 2010). Sakthivel et al. (2004) utilizaram Pt, Au e Pd para dopar TiO₂ e testaram a eficiência de cada catalisador com o corante ácido verde 16. As maiores taxas de degradação do corante foram para as proporções de 0,8, 0,8 e 0,05% (m/m) para Pt, Au e Pd, respectivamente, pois a proporção de dopagem também afeta o desempenho do catalisador. Em altas concentrações de dopagem, o próprio metal pode agir como um centro de recombinação para os pares elétron/lacuna (SOO et al., 2016). Em outro estudo, Pd-TiO₂ foi muito mais eficiente para a remoção de azul de metileno, porém no visível, o tempo de 250 h foi muito longo (CHAN et al., 2009).

Tabela 1 - Dopagem de TiO₂ com metais nobres para degradação fotocatalítica de corantes têxteis

Referência	Tipo de catalisador	Radiação	Corante	Melhores condições		Descoloração	
				pH	Concentração do catalisador (g/L)	Eficiência de remoção de absorbância (%)	Tempo (min)
Khanna e Shetty (2013, 2014)	TiO ₂	Solar	Ácido amarelo 17 (10 mg/L)	3	0,1	60	60
	Ag-TiO ₂ (Ag:Ti = 1:1)	Solar				100	
	Ag-TiO ₂ (Ag:Ti = 1:1)	Solar	Reativo vermelho 220 (50 mg/L)	3	0,5	100	60
	Ag-TiO ₂ (Ag:Ti = 1:1)	UV				1	100
Lin e Lee (2010)	TiO ₂	UV	Proncion vermelho MX-5B (30 mg/L)	natural	3	70	120
	Ag-TiO ₂ (50% m/m)					80	
Chan et al. (2009) ^a	TiO ₂	UV	Azul de metileno (2g/L)	natural		30	360
	Pd-TiO ₂ (Pd/Ti = 0,05)					90	
	TiO ₂	Visível				10	
Pd-TiO ₂ (Pd/Ti = 0,05)	60						
Sakthivel et al. (2004)	TiO ₂	UV	Ácido verde 16 (2x 10 ⁻⁴ M)	4	1	80	60
	Pt-TiO ₂ (0,8% m/m)					100	
	Au-TiO ₂ (0,8% m/m)					100	
	Pd-TiO ₂ (0,05% m/m)					90	

^a Catalisador na forma de filmes.

A avaliação do uso de metais de transição para a dopagem de TiO_2 tem crescido muito, uma vez que os custos dos metais nobres são muito maiores e os metais de transição têm se tornado uma alternativa eficiente de menor custo (Tabela 2) (HAN et al., 2009).

Ferro (Fe) é um dos metais mais usados para dopagem de TiO_2 , apresentando bons resultados. Na degradação de alaranjado de metila, verde malaquita e ácido vermelho 88, Fe- TiO_2 apresentou eficiências melhores que TiO_2 não dopado (NARAYANA et al., 2011; SATHISHKUMAR et al., 2011; TONG et al., 2008). A dopagem com Fe^{3+} pode promover elevada atividade fotocatalítica do TiO_2 , pois favorece a adsorção de água na superfície do semicondutor e melhora a separação dos elétrons fotoexcitados, impedindo a recombinação do par elétron/lacuna (HAN et al., 2009). Além disso, materiais dopados com Fe^{3+} apresentam propriedades magnéticas, sendo removidos facilmente com a aplicação de um campo magnético, o que possibilita sua recuperação e, conseqüentemente, reduz os custos operacionais (DENKBAŞ et al., 2002).

Ghasemi et al. (2009) utilizaram os metais de transição cromo (Cr), manganês (Mn), Fe, Co, níquel (Ni), cobre (Cu) e zinco (Zn) na dopagem de TiO_2 e avaliaram a eficiência de remoção de ácido azul 92. Todos os catalisadores foram melhores que TiO_2 , seguindo a ordem decrescente de eficiência: Fe- $\text{TiO}_2 >$ Co- $\text{TiO}_2 >$ Cr- $\text{TiO}_2 >$ Mn- $\text{TiO}_2 >$ Cu- $\text{TiO}_2 >$ Ni- $\text{TiO}_2 >$ Zn- $\text{TiO}_2 >$ TiO_2 .

Sood et al. (2015) doparam TiO_2 com Sr, um metal alcalino terroso na degradação de verde malaquita e obtiveram resultado melhor com Sr- TiO_2 do que com TiO_2 .

Tabela 2 - Dopagem de TiO₂ com metais de transição para degradação fotocatalítica de corantes têxteis

Referência	Tipo de catalisador	Radiação	Corante	pH	Condições Concentração do catalisador (g/L)	Eficiência de remoção de absorbância (%)	Eficiência de remoção de DQO (%)	Tempo (min)
Sood et al. (2015) ^a	TiO ₂	Solar	Verde malaquita (25 mg/L)		0,5	50		60
	Sr-TiO ₂ (Sr:Ti = 1%)					98		
Narayana et al. (2011)	TiO ₂	Luz do dia	Verde malaquita (100 mg/L)	8,5	0,2	53		180
	Fe-TiO ₂ (0,05%, m/m)					98		
	Co-TiO ₂ (0,05%, m/m)					83		
Sathishkumar et al (2011)	Fe-TiO ₂ (Fe:Ti = 2%)	Visível	Ácido vermelho 88 (5 x 10 ⁻⁵ M)		1,8	20		540
Ghasemi et al. (2009)	TiO ₂	UV	Ácido azul 92 (20 mg/L)	2	0,06	4	25	120
	Fe-TiO ₂ (Fe:Ti = 1:2)					91	70	
	Co-TiO ₂ (Co:Ti = 1:2)					80	65	
	Cr-TiO ₂ (Cr:Ti = 1:2)					60	55	
	Mn-TiO ₂ (Mn:Ti = 1:2)					35	45	
	Cu-TiO ₂ (Cu:Ti = 1:2)					20	45	
	Ni-TiO ₂ (Ni:Ti = 1:2)					18	40	
	Zn-TiO ₂ (Zn:Ti = 1:2)					10	38	
Tong et al. (2008)	TiO ₂	UV	Alaranjado de metila (30 mg/L)	3,5	1	70		75
	Fe-TiO ₂ (0,1% m/m)					80		
	TiO ₂	Visível				50		
	Fe-TiO ₂ (0,2% m/m)					70		

^a Dopagem com metal alcalino terroso.

O uso de metais lantanídeos também tem se tornado uma alternativa para a dopagem de TiO_2 , pois esses metais são capazes de capturar os elétrons na banda de condução e também podem diminuir a energia de *bandgap*.

Na degradação do corante direto azul 53, reativo amarelo 4, reativo brilhante vermelho X-3B, reativo amarelo 4 e rodamina B, foram utilizados TiO_2 dopado com lantanídeos (Tabela 3). Gd-TiO_2 foi o melhor metal para a dopagem nos estudos que o utilizaram e todos os catalisadores dopados foram melhores que TiO_2 não dopado (EL-BAHY; ISMAIL; MOHAMED, 2009; LIANG et al., 2009; XU et al., 2009a, 2009b). TiO_2 dopado com lantanídeos tem a grande vantagem de diminuir a energia de *bandgap* do semicondutor e pode aumentar consideravelmente as propriedades fotocatalíticas (EL-BAHY; ISMAIL; MOHAMED, 2009).

Tabela 3 - Dopagem de TiO₂ com metais lantanídeos para degradação fotocatalítica de corantes têxteis

Referência	Tipo de catalisador	Radiação	Corante	Condições		Descoloração	
				pH	Concentração do catalisador (g/L)	Eficiência de remoção de absorbância (%)	Tempo (min)
El-Bahy, Ismail e Mohamed (2009)	TiO ₂	UV-visível	Direto azul 53 (100 mg/L)	7,7	0,25	86	30
	La-TiO ₂ (1% m/m)					89,9	
	Nd-TiO ₂ (1% m/m)					86,4	
	Sm-TiO ₂ (1% m/m)					87,3	
	Eu-TiO ₂ (1% m/m)					90	
	Gd-TiO ₂ (1% m/m)					91,5	
Yb-TiO ₂ (1% m/m)	89,8						
Liang et al. (2009)	TiO ₂	UV	Reativo amarelo 4 (6 x 10 ⁻⁵ M)	6,6	1	70	60
	Pr-TiO ₂ (Pr:Ti = 1,5%)	Visível				92	
	TiO ₂					60	
	Pr-TiO ₂ (Pr:Ti = 1,5%)					88	
Xu et al. (2009a)	TiO ₂	UV	Reativo vermelho brilhante X-3B (50 mg/L)		0,35	50	80
	Gd-TiO ₂ (Gd:Ti = 0,5%)	Visível				65	
	TiO ₂					25	
	Gd-TiO ₂ (Gd:Ti = 0,5%)	UV	Rodamina B (25 mg/L)			46	
	TiO ₂					50	
	Gd-TiO ₂ (Gd:Ti = 0,5%)					42	
	TiO ₂	Visível		5			
	Gd-TiO ₂ (Gd:Ti = 0,5%)			50			
Xu et al. (2009b)	TiO ₂	UV	Reativo vermelho brilhante X-3B (50 mg/L)		0,35	55	80
	Gd-TiO ₂ (Gd:Ti = 0,5%)					70	
	Ce-TiO ₂ (Ce:Ti = 0,2%)					58	
	TiO ₂	Solar	25				
	Gd-TiO ₂ (Gd:Ti = 0,5%)		55				
	Ce-TiO ₂ (Ce:Ti = 0,2%)		63				

O uso de metais de transição tem algumas desvantagens, como a instabilidade térmica, portanto, o uso de ametais também tem sido estudado como alternativa para a dopagem de TiO_2 . TiO_2 dopado com ametais tem apresentado larga absorção na região do visível e aumentado a taxa de degradação de corantes, especialmente sob radiação solar (HAN et al., 2009). Nitrogênio e carbono são os ametais mais usados na dopagem de TiO_2 e tem apresentado bons resultados (Tabela 4). Na degradação dos corantes preto direto 38, Proncion vermelho MX-5B, ácido laranja 7 e azul de metileno, N- TiO_2 obteve eficiências elevadas tanto sob radiação visível, quanto solar com melhores resultados que TiO_2 , inclusive para a remoção de COT (COLLAZZO et al., 2012; KUO et al., 2011; LIU et al., 2005). C- TiO_2 também foi melhor que TiO_2 na degradação dos corantes reativo vermelho 198, reativo preto 5, direto verde 99, remazol azul brilhante (JANUS; KUSIAK; MORAWSKI, 2009; MATTLE; THAMPI, 2013). Para o corante reativo azul 19, TiO_2 foi melhor que C- TiO_2 , porém, segundo os autores, a remoção de C- TiO_2 foi muito mais fácil, uma vez que o material sedimentou espontaneamente quando a agitação cessou (DA COSTA; ZAMORA; ZARBIN, 2012). A dopagem com C e N pode mudar a absorção óptica do UV para comprimentos de onda no visível (SAKTHIVEL; KISCH, 2003).

Tabela 4 - Dopagem de TiO₂ com ametais para degradação fotocatalítica de corantes têxteis

Referência	Tipo de catalisador	Radiação	Corante	pH	Condições Concentração do catalisador (g/L)	Eficiência de remoção de absorbância (%)	Eficiência de remoção de COT (%)	Tempo (min)
Mattle e Thampi (2013)	TiO ₂	Visível	Remazol azul brilhante (10 mgC/L)		1	100	20	390
	C-TiO ₂					100	70	
Da Costa, Zamora e Zarbin (2012)	TiO ₂	UV	Reativo azul 19 (50 mg/L)	7	0,25	100		30
	C-TiO ₂					100		60
Collazzo et al. (2012)	TiO ₂	Visível	Preto direto 38 (55 mg/L)	2,5	1	5		360
	N-TiO ₂					60		
	TiO ₂	Solar				100		
Kuo et al. (2011)	N-TiO ₂	Visível	Azul de metileno (10 mg/L)	5	1	25		240
	TiO ₂					75		
	TiO ₂	Visível	Direto azul 86 (50 mg/L)			17		
	N-TiO ₂					33		
Janus, Kusiak e Morawski (2009)	TiO ₂	UV	Reativo vermelho 198 (5 mg/L)		0,2	100		17
	C-TiO ₂					100		3
	TiO ₂					100		25
	C-TiO ₂					100		10
	TiO ₂					100		40
Liu et al. (2005)	C-TiO ₂	UV	Direto verde 99 (5 mg/L)		0,01	100		20
	TiO ₂					98		240
	N-TiO ₂					100		120
	N-TiO ₂	Solar	Ácido laranja 7 (3 x 10 ⁻⁵ M)			100		88 ^a
						100		87,5 ^a
						100		84 ^a

^aTempo de remoção de 420 min.

A codopagem também é uma técnica utilizada para modificar o TiO_2 . O uso simultâneo de dois tipos de elementos tem apresentado melhores resultados que TiO_2 não dopado ou dopado com um elemento (DONG et al., 2015). Na Tabela 5 são apresentados resultados da codopagem com TiO_2 .

A combinação de vanádio e nitrogênio, V-N- TiO_2 , foi usada para remover rodamina B e foi melhor que TiO_2 , N- TiO_2 e B- TiO_2 , principalmente devido à maior área superficial, melhor absorção da luz e melhor separação de cargas (JAISWAL et al., 2012). A codopagem de TiO_2 com cobalto e boro também melhorou o desempenho da fotocatalise para a remoção de rodamina B e também foi melhor que TiO_2 não dopado e dopado com um elemento, Co- TiO_2 e B- TiO_2 (JAISWAL et al., 2016). O uso de Bi-Zn- TiO_2 também foi melhor na degradação de índigo carmine do que TiO_2 (BENALIOUA et al., 2015). O uso de Fe e N na dopagem de TiO_2 promoveu melhor degradação de alaranjado de metila, devido à redução da energia de *bandgap* que favoreceu bastante a formação de pares elétron/lacuna e a separação de cargas para aumentar a eficiência da fotocatalise (ZHANG et al., 2014a). No estudo de Zhang et al. (2014b), a degradação de azul de metileno com B-N- TiO_2 , B- TiO_2 e TiO_2 foi semelhante quando utilizada a luz UV, porém quando foi utilizada luz visível, o material B-N- TiO_2 foi melhor que os outros. Charanpahari et al. (2013) multidoparam TiO_2 com Gd, N e S para a degradação de alaranjado de metila e obtiveram maior remoção de absorbância com Gd-N-S- TiO_2 , principalmente por causa da maior absorção de fótons no visível e melhor separação de cargas o que melhorou a atividade fotocatalítica do material multidopado.

Tabela 5 - Codopagem de TiO₂ para degradação fotocatalítica de corantes têxteis

Referência	Tipo de catalisador	Radiação	Corante	Condições		Descoloração		
				pH	Concentração do catalisador (g/L)	Eficiência de remoção de absorvância (%)	Tempo (min)	
Jaiswal et al. (2016)	TiO ₂	Visível	Rodamina B (10 mg/L)	0,4	28	90	120	
	Co-B-TiO ₂ (Co:Ti = 0,1%; B:Ti = 2%)							369
	Co-TiO ₂ (Co:Ti = 0,1%)							
	B-TiO ₂ (B:Ti = 2%)	72						
Benalioua et al. (2015)	TiO ₂	Visível	Índigo carmine (5 mg/L)	6,1	1	100	120	
	Bi-Zn-TiO ₂ (Ti/Bi = 9,65 e (Bi+Zn)/Ti = 1,45)					100	70	
Zhang et al. (2014a)	Fe-N-TiO ₂	Visível	Alaranjado de metila (10 mg/L)	0,7	67	510		
	Fe-TiO ₂				55			
	N-TiO ₂				60			
Zhang et al. (2014b)	TiO ₂	UV	Azul de metileno (10 mg/L)	0,5	97	90		
	B-N-TiO ₂ (B:Ti = 0,03 e N:Ti = 1)				97			
	B-TiO ₂ (B:Ti = 0,03)	97						
	TiO ₂	13			360			
	B-N-TiO ₂ (B:Ti = 0,03 e N:Ti = 1)	62						
	B-TiO ₂ (B:Ti = 0,03)	42						
Charanpahari et al. (2013)	Gd-N-S-TiO ₂	UV	Alaranjado de metila (13 mg/L)	2,8	82	50		
	N-S-TiO ₂				70			
	Gd-TiO ₂				42			
	TiO ₂				10			
Jaiswal et al. (2012)	TiO ₂	Visível	Rodamina B (2 x 10 ⁻⁴ M)	0,28	100	155		
	V-N-TiO ₂ (V:Ti = 2% e N:Ti = 2%)				100	60		
	V-TiO ₂ (V:Ti = 2%)				100	82		
	N-TiO ₂ (N:Ti = 2%)				100	118		

3.7.4.2 Combinação de TiO₂ com semicondutores

A combinação de TiO₂, que tem elevada energia de *bandgap*, com um semicondutor com menor energia de *bandgap* surgiu como uma ideia para estender a absorção de luz do TiO₂ e reduzir a alta taxa de recombinação dos pares elétron/lacuna, que resulta em baixa taxa de formação de radicais hidroxila (BESSEKHOUD; ROBERT; WEBER, 2005; HAN et al., 2009). Os semicondutores devem ter diferentes níveis de energia nas bandas de condução e de valência para se obterem as vantagens de melhor separação de cargas, bem como o aumento da área superficial para adsorção do substrato a ser degradado (BESSEKHOUD; ROBERT; WEBER, 2005). Na Tabela 6 são apresentados alguns estudos da combinação de semicondutores para a degradação de corantes.

Ajmal et al. (2016) utilizaram Cu₂O-CuO/TiO₂ para degradar o corante reativo azul 49 e a eficiência foi mais que duas vezes maior que a do TiO₂. A deposição de Cu₂O-CuO, cuja energia de *bandgap* é de 2,1 eV, aumentou a absorção de fótons com maior comprimento de onda e ainda impediu a rápida recombinação dos elétrons (AJMAL et al., 2016; HERNÁNDEZ-RAMÍREZ; MEDINA-RAMÍREZ, 2015). Saepurahman, Abdullah e Chong (2010) reportaram taxa de degradação de azul de metileno duas vezes maior com o uso de WO₃-TiO₂ em relação ao TiO₂. O pH_{PCZ} do TiO₂ mudou de 6,4 para 3 no WO₃-TiO₂, e como o corante azul de metileno é catiônico, apresentou carga positiva, logo, ocorreu maior interação entre o catalisador e o corante, o que resultou em degradação maior do corante. A combinação de sulfato de cádmio e TiO₂ também foi reportada. Para a degradação de laranja ácido 7, sob luz visível, CdS-TiO₂ foi cinco vezes melhor que TiO₂ não modificado (BESSEKHOUD et al., 2006). A degradação de azul de metileno com luz visível foi melhor com CdS-TiO₂ que somente com TiO₂, porém ainda baixa. Ao se adicionar fulereno, a adsorção do corante pelo catalisador e a eficiência da fotocatalise foram melhores, (MENG et al., 2012). Ahmed, El-Katori e Gharni (2013) utilizaram Fe₂O₃-TiO₂ para a degradação de azul de metileno e o melhor resultado foi obtido com 7% de Fe₂O₃. Com o aumento da proporção de Fe₂O₃ até 7%, houve um aumento na área superficial e melhor absorção de fótons no visível, logo, melhor degradação do corante.

Para proporções maiores, houve maior tamanho de partículas, redução da área superficial e também no conteúdo de TiO_2 na fase anatásio, prevalecendo a forma de rutilo.

Além dos semicondutores binários (CdS , SnO_2 , ZrO_2 , Cu_2O), semicondutores ternários, como BiOBr também podem ser usados para melhorar a aplicabilidade do TiO_2 . Wang et al. (2015) utilizaram nanofilmes de BiOBr com TiO_2 e testaram sua atividade fotocatalítica no espectro do visível com alaranjado de metila. A remoção de absorbância de 90%, atingida pelo compósito contendo 15% de TiO_2 , pode ser atribuída à maior área superficial BET do compósito ternário. A remoção de absorbância por TiO_2 foi insignificante e, ainda, o principal mecanismo de degradação do catalisador foram as lacunas h^+ , mostrando que nem sempre os radicais hidroxila e superóxido são os responsáveis pela degradação dos compostos orgânicos.

No estudo de Yang, Yan e Xiao (2012), foram usados três semicondutores combinados, $\text{SnO}_2/\text{ZnO}/\text{TiO}_2$, para a degradação de alaranjado de metila, sob luz visível e UV. Os semicondutores SnO_2 e ZnO tem energias de *bandgap* de 3,5 e 3,2 eV, respectivamente, sendo maiores ou igual à energia de *bandgap* de TiO_2 (HERNÁNDEZ-RAMÍREZ; MEDINA-RAMÍREZ, 2015). Mesmo com maiores energias, houve melhor taxa de degradação em relação ao TiO_2 , o que foi explicado pela melhor separação de cargas entre os semicondutores, com diferentes níveis de energia nas bandas de condução e de valência, o que aumentou o tempo de vida dos pares elétron/lacuna (YANG; YAN; XIAO, 2012). Li et al. (2013) também usaram a combinação de três semicondutores ($\text{ZrO}_2/\text{CeO}_2/\text{TiO}_2$) para a degradação de rodamina B, sob luz visível. Mesmo com a elevada energia de *bandgap* do ZnO_2 , de 5 eV, e de 2,94 eV do CeO_2 (HERNÁNDEZ-RAMÍREZ; MEDINA-RAMÍREZ, 2015), pouco menor que do TiO_2 , a energia do compósito $\text{ZrO}_2/\text{CeO}_2/\text{TiO}_2$ foi muito menor, de 2,75 eV (LI et al., 2013), o que resultou em aumento considerável da absorção de fótons no visível e melhoria no seu desempenho fotocatalítico.

Tabela 6 - Combinação de TiO₂ com semicondutores para degradação fotocatalítica de corantes têxteis

Referência	Tipo de catalisador	Radiação	Corante	Condições		Descoloração	
				pH	Concentração do catalisador (g/L)	Eficiência de remoção de absorvância (%)	Tempo (min)
Ajmal et al. (2016)	TiO ₂ Cu ₂ O-CuO/TiO ₂ (4% m/m)	UV	Azul reativo 49 (5 mg/L)	6,5	0,025	32 72	120
Ahmed, El-Katori e Gharni (2013)	TiO ₂ Fe ₂ O ₃ -TiO ₂ (7% m/m)	UV	Azul de metileno (1 x 10 ⁻⁵ M)	7	1	56 95	60
Meng et al. (2012)	TiO ₂ CdS-TiO ₂ CdS-TiO ₂ -Fulereno	Visível	Azul de metileno (1 x 10 ⁻⁵ M)		1 g/L de TiO ₂	2 19 88	120
Saepurahman, Abdulah e Chong (2010)	TiO ₂ WO ₃ -TiO ₂ (WO ₃ :TiO ₂ = 1%)	UV	Azul de metileno (40 mg/L)	5,1	1	78 92	180
Bessekhouad et al. (2006)	TiO ₂ CdS-TiO ₂ (5% m/m) TiO ₂ CdS-TiO ₂ (5% m/m)	UV- visível Visível	Ácido laranja 7 (10 mg/L)		0,05	70 70 10 60	35
Wang et al. (2015)	TiO ₂ TiO ₂ -BiOBr (15% m/m)	Visível	Alaranjado de metila (10 mg/L)		1	0 90	80
Li et al. (2013)	TiO ₂ ZrO ₂ /CeO ₂ /TiO ₂	Visível	Rodamina B (20 mg/L)		1,67	10 90	160
Yang, Yan e Xiao (2012)	TiO ₂ SnO ₂ /ZnO/TiO ₂ (Sn(Zn)/Ti = 0,05%) TiO ₂ SnO ₂ /ZnO/TiO ₂ (Sn(Zn)/Ti = 0,05%)	UV Visível	Alaranjado de metila (10 mg/L)		1	72 85 5 50	40 300

3.7.4.3 Estruturas suporte para o TiO_2

O uso de suportes para TiO_2 , além de facilitarem a remoção do catalisador, também favorecem a adsorção dos corantes, aproximando-os dos radicais produzidos na superfície do catalisador e melhorando a taxa de degradação (Tabela 7).

Chandraboss, Kamalakkannan e Senthivelan (2016) utilizaram TiO_2 dopado com bismuto e suportado em carvão ativado (AC-Bi- TiO_2) para degradar azul de metileno com radiação solar e a melhor eficiência foi conseguida para o compósito, mostrando que tanto a adsorção do corante quanto a mudança de absorção do catalisador no espectro do visível foram importante para a degradação. Wang et al. (2009) testaram carvão ativado com diferentes porosidades como suporte para TiO_2 na remoção de alaranjado de metila, e encontraram que o melhor suporte não foi o de maior porosidade e maior área superficial BET. Mesmo que tenha tido melhor adsorção do corante, a elevada saturação da superfície do compósito de maior porosidade com o corante pode ter bloqueado a absorção de luz pelo TiO_2 e reduzido a adsorção de OH e a geração de radicais hidroxila, com perda na eficiência fotocatalítica.

O uso de argilas minerais para a fotocatalise com TiO_2 também tem sido muito reportado na literatura. TiO_2 suportado em montmorilonita foi mais eficiente que TiO_2 na remoção de azul de metileno e também mais fácil foi sua remoção da solução (CHEN; ZHU; WANG, 2014). Nikazar, Gholivand e Mahanpoor (2008) usaram clinoptilonita, um tipo de zeólita, como suporte para TiO_2 na remoção de vermelho ácido 114. A dopagem de TiO_2 com nitrogênio e ferro suportados em bentonita aumentou a eficiência de remoção de azul de metileno, mesmo com redução da área superficial do catalisador exposta à radiação (CAO et al., 2016). A hidrotalcita (HT), um tipo de hidróxido duplo lamelar, foi utilizada por Miranda et al. (2015) para suportar TiO_2 e foi menos eficiente que TiO_2 na degradação de azul de metileno, pois a maior afinidade da HT é por compostos aniônicos e o azul de metileno é catiônico. Ao se acrescentar dodecilsulfato de sódio, para adsorção de compostos catiônicos, à estrutura do compósito, tanto a eficiência de degradação quanto a recuperação do compósito aumentaram, com menor quantidade de TiO_2 utilizada.

Chen et al. (2010) utilizaram Nafion, um fluoropolímero, e flúor para aumentar a atividade fotocatalítica do TiO_2 na degradação de azul básico 11 e obtiveram maior remoção de absorvância com Nafion- TiO_2 . Com a adição de Nafion ao TiO_2 , o pH_{PCZ} abaixou e como o corante é catiônico, a adsorção e a fotocatalise melhoraram, nas condições estudadas. Kuo (2009) e Zhao, D. et al. (2013) testaram a atividade fotocatalítica de TiO_2 suportado em nanotubos de carbono com os corantes vermelho reativo 2 e azul de metileno, respectivamente. O uso de nanotubos de carbono preveniu a recombinação dos pares elétron/lacuna e ainda incrementou a área superficial, com mudança de absorção para o visível, e promoveu o aumento do número de radicais hidroxila na superfície do compósito, logo, apresentou melhor atividade fotocatalítica.

Tabela 7 - Estudos de intercalação de TiO₂ com estruturas suporte para degradação fotocatalítica de corantes têxteis

Referência	Tipo de catalisador	Radiação	Corante	Condições		Descoloração	
				pH	Concentração do catalisador (g/L)	Eficiência de remoção de absorvância (%)	Tempo (min)
Chandraboss, Kamalakkannan e Senthivelan (2016)	TiO ₂	Solar	Azul de metileno (1 x 10 ⁻⁴ M)		2	79	100
	Bi-TiO ₂					85	
	AC-Bi-TiO ₂ (Bi:Ti = 0,25%)					97	
Cao et al. (2016)	TiO ₂	UV	Azul de metileno (10 mg/L)		1	70	120
	Bentonita-N-Fe-TiO ₂					100	
Miranda et al. (2015)	TiO ₂	UV-visível	Azul de metileno (24 mg/L)		0,3	98	120
	HT-TiO ₂ (Ti:Al = 2)					80	
	HT-DS-TiO ₂ (Ti:Al = 2)					98	
Chen, Zhu e Wang (2014)	TiO ₂	UV	Azul de metileno (30 mg/L)		0,2	25	150
	Montmorilonita-TiO ₂					52	
Zhao, D. et al. (2013)	TiO ₂	UV	Azul de metileno (10 mg/L)		0,5	60	250
	CNT-TiO ₂ (CNT:TiO ₂ = 1:3)	Visível				90	
	CNT-TiO ₂ (CNT:TiO ₂ = 1:3)					20	
Chen et al. (2010)	TiO ₂	UV	Básico azul 11 (50 mg/L)		9	82,4	180
	Nafion-TiO ₂ (1% m/m)					96,8	
Kuo et al. (2009)	TiO ₂	UV	Reativo vermelho 2 (20 mg/L)		7	85	150
Wang et al. (2009)	TiO ₂	UV	Alaranjado de metila (50 mg/L)		2	98	60
	AC-TiO ₂					100	
Nikazar, Gholivand e Mahanpoor (2008)	TiO ₂	UV	Ácido vermelho 114 (50 mg/L)		7	60	300
	Clinoptilonita-TiO ₂ (Clinoptilonita:Ti = 99:1)					100	

AC = Carvão ativado; DS = Dodecilsulfato de sódio; CNT = Nanotubos de carbono.

3.7.4.4 Magnetização para melhorar a remoção de TiO_2

O uso de catalisadores magnéticos tem sido bastante reportado na literatura, uma vez que é uma solução muito conveniente para o problema de separação dos semicondutores (TOLEDO et al., 2011). Com a aplicação de um campo magnético externo, as partículas podem ser separadas, recuperadas e reutilizadas com redução de custos do processo de fotocatalise (DONG et al., 2015). Diferentes materiais podem ser usados para magnetizar TiO_2 , como Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , CoFe_2O_4 , NiFe_2O_4 entre outros, sendo o mais utilizado Fe_3O_4 , por apresentar baixa toxicidade (DONG et al., 2015). Na Tabela 8 são apresentados trabalhos com fotocatalisadores magnéticos.

Harifi e Montazer (2014) utilizaram Fe_3O_4 combinado com TiO_2 , e obtiveram melhores resultados que para o TiO_2 para a degradação de azul de metileno, inclusive não houve diferença significativa no desempenho do compósito em três ciclos consecutivos de reuso. Gad-Allah et al. (2009) utilizaram $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{Fe}_3\text{O}_4$ para a fotodegradação de uma mistura de remazol amarelo ouro G, remazol azul brilhante R e reativo laranja 16 e obtiveram elevada taxa de degradação, porém, com o reuso, as taxas diminuíram, principalmente porque a superfície do catalisador continha corantes adsorvidos, o que prejudicou os próximos ciclos. No estudo de Bian et al. (2013), a combinação de CdS, TiO_2 , Fe_3O_4 e SiO_2 foi bem sucedida na degradação de rodamina B, devido à eficiente separação dos pares elétron/lacuna no material.

Miranda et al. (2015) usaram a hidrotalcita, como suporte para o TiO_2 , intercalada com dodecilsulfato de sódio e óxido de ferro, na degradação de azul de metileno. O fotocatalisador modificado teve sua energia de *bandgap* reduzida de 3,34 eV para 2,92 eV, possibilitando seu uso com luz visível. Lee et al. (2014) utilizaram carvão ativado suportado em óxidos de ferro para melhorar a adsorção de TiO_2 , bem como facilitar sua remoção e o compósito apresentou bons resultados, mesmo após o reuso.

Lee et al. (2014) utilizaram carvão ativado suportado em óxidos de ferro para melhorar a adsorção de TiO_2 , bem como facilitar sua remoção e, mesmo após 15 ciclos consecutivos de 70 minutos sob radiação UV, a remoção do corante rodamina 5 foi 95,5%, sendo que somente TiO_2 apresentou remoção de menos de 10%. Li, C-J. et al. (2012)

utilizaram nanofibras de TiO_2 combinado com CoFe_2O_4 e avaliaram a degradação fotocatalítica de azul de metileno sob radiação UV, sendo menos eficiente que TiO_2 , igualando as eficiências após 5 horas de teste. A deposição de Ni sobre $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ para a degradação de ácido preto 1 foi reportada por Mahesh e Kuo (2015), apresentando 100% de remoção com 90 min de radiação UV, sendo necessários mais de 130 min para a mesma eficiência de $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$. Além de promover a redução da recombinação dos pares elétron/lacuna, Ni tornou o catalisador magnético, facilitando sua remoção.

Tabela 8 - Compósitos magnéticos com TiO₂ utilizados para degradação fotocatalítica de corantes têxteis

Referência	Tipo de catalisador	Radiação	Corante	pH	Condições Concentração do catalisador (g/L)	Descoloração Eficiência de remoção de absorbância (%)	Tempo (min)	
Miranda et al. (2015)	TiO ₂	UV- visível	Azul de metileno (24 mg/L)		0,3	98	120	
	HT-TiO ₂ (Ti:Al = 2)					80		
	HT-Fe-TiO ₂ (Ti:Al = 2 e Fe:Ti = 3:4)					70		
	HT-DS-TiO ₂ (Ti:Al = 2) HT-DS-Fe-TiO ₂ (Ti:Al = 2 e Fe:Ti = 2:3)					98 96		
Mahesh e Kuo (2015)	SiO ₂ -TiO ₂	UV- visível	Ácido preto 1 (10 mg/L)		0,2	100	90	
	Ni-SiO ₂ -TiO ₂ (3% m/m)					100	130	
Harifi e Montazer (2014)	TiO ₂	UV	Azul de metileno (10 mg/L)		0,5	98	360	
	Fe ₃ O ₄ -TiO ₂					100		
Lee et al. (2014)	TiO ₂	Visível	Rodamina B (3 mg/L)	5,5	0,5	10	70	
	AC-Fe ₂ O ₃ -Fe ₃ O ₄ -TiO ₂					100	60	
	TiO ₂		Reativo preto 5 (3 mg/L)	6,7	12	70		
	AC-Fe ₂ O ₃ -Fe ₃ O ₄ -TiO ₂				100	60		
Bian et al. (2013)	TiO ₂ -SiO ₂ -Fe ₃ O ₄	UV	Rodamina B (1 x 10 ⁻³ M)		0,25	47	10	
	CdS-TiO ₂ -Fe ₃ O ₄ -SiO ₂					100		
	TiO ₂ -SiO ₂ -Fe ₃ O ₄	Visível				20		40
	CdS-TiO ₂ -Fe ₃ O ₄ -SiO ₂					90		
Li et al. (2012)	TiO ₂	UV	Azul de metileno (25 mg/L)		0,062	100	3 h	
	CoFe ₂ O ₄ -TiO ₂					96	5 h	
Gad- Allah et al. (2009)	TiO ₂ -SiO ₂ -Fe ₃ O ₄	UV- visível	Remazol amarelo ouro G (10 mg/L) + Remazol azul brilhante R (15 mg/L) + Reativo laranja 16 (10 mg/L)	3	2,5	92	30 min	

3.7.5 Publicações sobre fotocatalise

Uma recente pesquisa na base Web of Science resultou em 72.753 trabalhos relacionados à fotocatalise (Photocataly*) desde 2000. Desses, 59% utilizaram TiO_2 (Photocataly* TiO_2) como catalisador e 19% avaliaram o desempenho dos catalisadores com corantes (Photocataly* Dye). Na Figura 4 pode-se observar o número de publicações anuais relacionadas à fotocatalise e as que utilizaram TiO_2 . As pesquisas publicadas anualmente têm crescido muito, principalmente devido à grande busca por novos catalisadores para superar as desvantagens do TiO_2 .

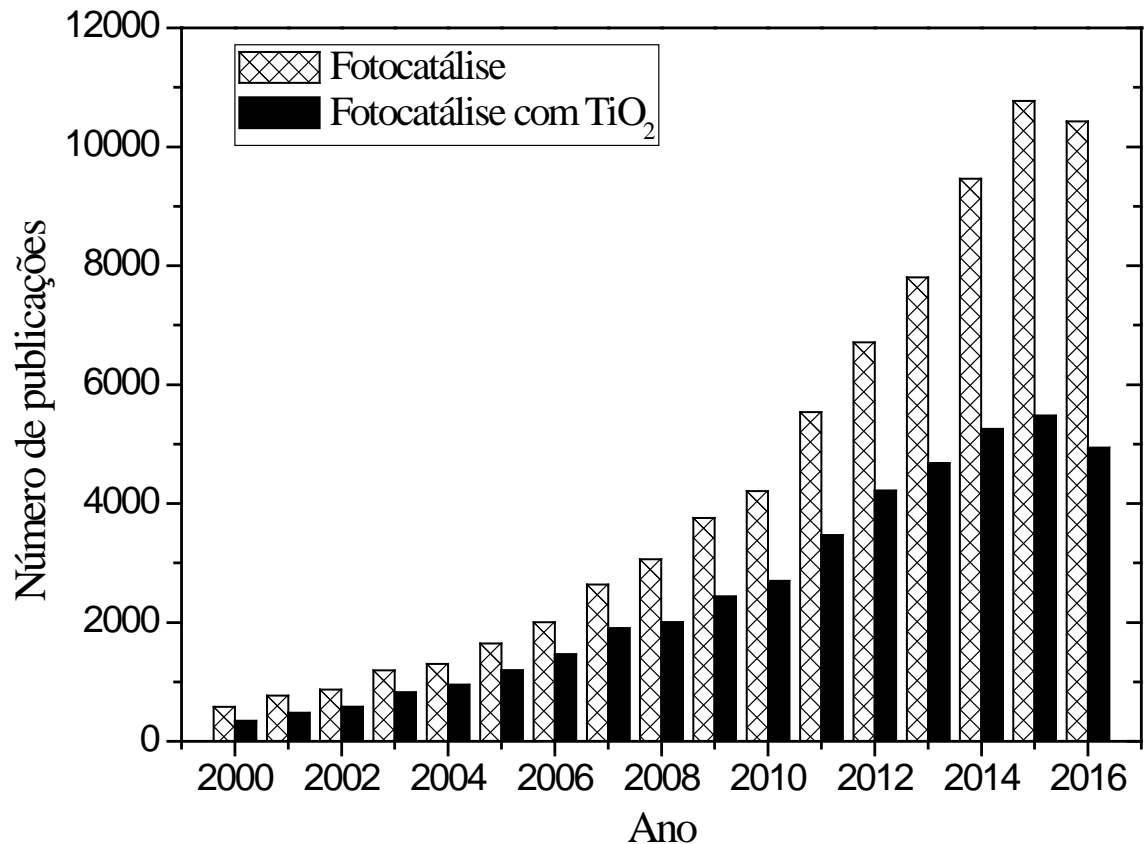


Figura 4 - Publicações anuais sobre fotocatalise.

Fonte: Web of Science (2016). (Busca 12/12/2016: Fotocatalise - Photocataly*; Fotocatalise com TiO_2 - Photocataly* TiO_2).

Ao se compararem as Figuras 4 e 5, observa-se que o grande número de novos catalisadores à base de TiO_2 desenvolvidos não contempla sua aplicação real, pois menos de 1% (0,07%) do total de trabalhos com fotocatalise foram realizados com efluente têxtil real (Photocataly* “Real textile”). Além disso, apenas 44 pesquisas sobre fotocatalise utilizaram testes de toxicidade para avaliar a formação de subprodutos tóxicos (Photocataly* “toxicity tests”).

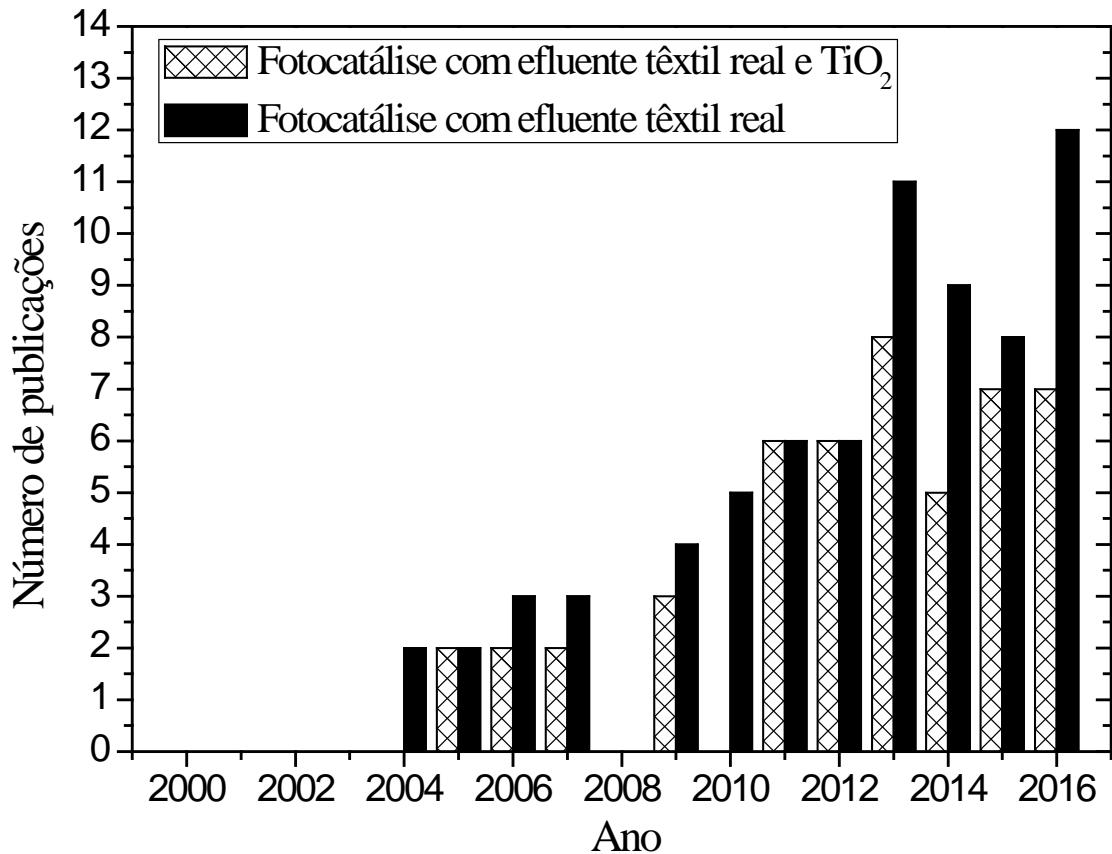


Figura 5 - Publicações anuais sobre fotocatalise com efluente real.

Fonte: Web of Science (2016). (Busca 12/12/2016: Fotocatalise com efluente têxtil real e TiO_2 - Photocataly* TiO_2 “Real textile”; Fotocatalise com efluente têxtil real - Photocataly* “Real textile”).

3.7.6 Fotocatálise com efluente de fábrica têxtil

Na literatura, encontram-se diversos trabalhos mostrando os efeitos de fatores como pH, concentração de ânions e turbidez na degradação de compostos modelo, porém, pouco enfoque é dado à aplicabilidade de novos catalisadores em efluente real. Em efluentes reais, como o da indústria têxtil, esses parâmetros podem variar bastante e é necessário avaliar a eficiência do processo fotocatalítico que, para efluentes reais, pode ser muito menor quando comparado com compostos modelo. Na Tabela 9 são apresentados resultados de fotocatálise encontrados na literatura e que utilizaram TiO_2 .

Tabela 9 - Fotocatálise heterogênea para a degradação de efluente de fábrica têxtil utilizando TiO₂

Referência	Tipo de Catalisador	Radiação	Condições		Eficiência de remoção de absorvância (%)	Eficiência de mineralização (%)	Tempo (h)	Toxicidade	
			pH	Concentração do catalisador (g/L)				Antes (%)	Depois (%)
Cardoso et al. (2016) ^a	TiO ₂	UV	original		6,5				
Chaker et al. (2016)	Ag-TiO ₂	Visível		0,33		100 (COT)	5		
Guesh et al. (2016)	TiO ₂ -Zeólita	UV	7,6	0,66	84	49 (COT)	9		
Souza et al. (2016)	TiO ₂	UV	3	0,25	95,9	70 (DQO)	5	<i>Artemia salina</i> (CL ₅₀)	
								27,6	90,9
Hosseini, Fallah e Royae (2016)	TiO ₂	UV	7	3	98,5	91,5 (DQO)	2,5		
Zhang et al. (2016) ^b	ZnO-CdS-TiO ₂	UV-visível	original	6 cm ²	60	51 (COT)	6		
	CdS-TiO ₂				60	10 (COT)			
	TiO ₂				40	30 (COT)			
Çifçi e Meriç (2015) ^c	TiO ₂	UV	5	2		55 (DQOs)	3	<i>Daphnia magna</i> (48h)	
								NT	NT
Manenti et al. (2015)	TiO ₂	Solar		0,2		33,3 (DQO)	40 kJUV/L		

^a Nanotubos de TiO₂ imobilizados em nanotubos de PVC; ^b Filme de nanotubos; ^c Efluente após o tratamento biológico.

NT = Não tóxico.

Tabela 9 - Fotocatálise heterogênea para a degradação de efluente de fábrica têxtil utilizando TiO₂ (continuação)

Referência	Tipo de Catalisador	Radiação	Condições		Eficiência de remoção de absorvância (%)	Eficiência de mineralização (%)	Tempo (h)	Toxicidade	
			pH	Concentração do catalisador (g/L)				Antes (%)	Depois (%)
Das e Basu (2015)	TiO ₂ -ZrO ₂	UV	3	0,25		97 (DQO)	1,25		
Kulkarni e Thakur (2015)	TiO ₂	UV		0,8		75 (DQO)	12		
Da Motta et al. (2014) ^a	TiO ₂	UV	5,5 5,5		69 ^b 83 ^c		24		
Adameck et al. (2013)	TiO ₂ TiO ₂	UV	8,2 6,9	2,5 2,5	5 ^d 22 ^e		5,5 1		
Habibi et al. (2013)	TiO ₂ -ZnO	solar	7	6	80		2		
Hussein (2013a, 2013b)	TiO ₂	UV		1,75	100	100 (COT) ^f	0,7		
Lin, Wang e Sun (2012)	TiO ₂ -Diatomita					60,9 (DQO)			
Sahoo, Gupta e Pillai (2012)	Ag- TiO ₂	UV		2,5	88	47 (DQO)	6		
Hussein (2012)	TiO ₂	UV		7,5	79		1		
Rupa e Sivakumar (2011)	Ag-TiO ₂ Au-TiO ₂ Pt-TiO ₂	visível	7	6	67 75 65	28 (COT) 30 (COT) 25 (COT)	24		
Barakat (2011)	TiO ₂	UV	5	1	85,2		3		

^a TiO₂ imobilizado em fibras de celulose; ^b Efluente têxtil 1; ^c Efluente têxtil 2; ^d Efluente de fábrica de tecido de algodão; ^e Efluente de fábrica de tecido de linho; ^f Após 10 h.

Tabela 9 - Fotocatálise heterogênea para a degradação de efluente de fábrica têxtil utilizando TiO₂ (continuação)

Referência	Tipo de Catalisador	Radiação	Condições		Eficiência de remoção de absorvância (%)	Eficiência de mineralização (%)	Tempo (h)	Toxicidade	
			pH	Concentração do catalisador (g/L)				Antes (%)	Depois (%)
Gümüş e Akbal (2011)	TiO ₂	UV-visível	3	3	97,8	84,9 (DQO)	2		
Garcia et al. (2009)	TiO ₂	UV		0,25		88 (DQO) 67 (COT)	6	<i>Lactuca sativa</i> (germinação)	
Attia et al. (2008)	TiO ₂	UV		5	96		2,5		
Garcia et al. (2007)	TiO ₂	UV	3,5	0,25		83 (DQO) ^a 85 (DQO) ^b 84 (DQO) ^c	6		
Alinsafi et al. (2007) ^d	TiO ₂	visível	7,2	20 g/m ² de tecido	74		2		
Bizani et al. (2006)	TiO ₂	UV-visível	6	1	100	29 (COD)	6	<i>Allivibrio fischeri</i> (inibição)	
Pekakis, Xekoukoulotakis e Mantzavinos (2006)	TiO ₂	UV	3	0,5	100	92 (DQO)	4	<i>Allivibrio fischeri</i> (CE ₅₀)	
Moraes, Freire e Durán (2000)	TiO ₂	UV	11	0,1	90	50 (COT)	1	<i>Escherichia coli</i> (inibição da respiração)	
								100	40

^a Efluente dia 1; ^b Efluente dia 2; ^c Efluente dia 3; ^d TiO₂ imobilizado em tecido.

Observa-se que a menor parte destes trabalhos, apenas 8 em 27, utilizaram TiO_2 modificado, o que mostra a falta de conhecimento acerca do comportamento de novos catalisadores quando utilizado efluente real. Ainda, dos 27 trabalhos apresentados, somente seis avaliaram a toxicidade após a fotocatalise e não houve nenhuma avaliação da remoção de toxicidade por TiO_2 modificado.

Exceto no estudo de Garcia et al. (2009), em que a toxicidade aumentou, nos outros cinco estudos houve redução de toxicidade após o tratamento. Entretanto, mesmo com elevadas remoções de absorvância e DQO, alguns efluentes ainda permaneceram tóxicos.

Assim, a avaliação das condições ótimas para o tratamento de efluentes de fábricas têxteis reais bem como a avaliação da toxicidade, tanto com TiO_2 quanto com suas modificações, é de grande importância para se conhecerem as variáveis que mais influenciam os processos fotocatalíticos, sem formarem produtos tóxicos ao ambiente.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta e caracterização físico-química do efluente

O efluente desse estudo foi coletado em uma indústria têxtil, localizada na Zona da Mata, em Minas Gerais, que processa fibra de algodão, transformando-as em fios e tecidos, através das etapas fiação, engomagem, tecelagem, desemgomagem, purga, alvejamento, mercerização, tingimento de fios e tecidos, enxague, estampagem e acabamento. A vazão de efluentes é de 130 m³/h, com operação 26 dias por mês. O sistema de tratamento de efluente recebe os efluentes de todas as etapas do processo produtivo e é composto por peneiras, seguido de um tanque de equalização, sistema de lodo ativado convencional e tratamento terciário por coagulação, floculação e decantação.

Foram realizadas duas coletas simples, uma em abril e outra em novembro de 2016. O efluente foi coletado na saída do tanque de aeração do sistema de lodo ativado em frascos de polietileno. O efluente foi filtrado em papel de filtro quantitativo com tamanho nominal de poros de 28 µm (JP41, J Prolab) e refrigerado a 4°C até a sua utilização.

Os parâmetros físico-químicos para caracterizar o efluente foram quantificados de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), conforme apresentado na Tabela 10. As análises foram realizadas no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Tabela 10 - Métodos utilizados para caracterização físico-química do efluente

Parâmetro	Método SMEWW^a
pH	4500-H ⁺
Condutividade	2510
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	5220D
Carbono orgânico dissolvido (COD)	5310B
Alcalinidade	2320B
Cor (ADMI)	2120E
Turbidez	2130B
Cloreto (Cl ⁻)	4500-Cl ⁻
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	4500-SO ₄ ²⁻ E
Nitrato (NO ₃ ⁻)	4110
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	4110B

^a SMEWW = Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Os principais corantes utilizados na indústria têxtil são os reativos e a cuba (Tabela 11). As FISPQ dos corantes encontram-se no Anexo A.

Tabela 11 - Corantes e quantidades utilizadas na fábrica têxtil

Corante (nome comercial)	Fornecedor	Classificação	Quantidade gasta (Kg/mês)
Remazol Preto Intenso RGB	Dystar	Reativo	854
Indanthren Preto Direto 5589 Coll	Dystar	A cuba	597
Preto Bezathren RI EPS	Cht	A cuba	557
Solanthrene Marinho RA	Dystar	A cuba	493
Bezathren Azul RCL EPS	Cht	A cuba	451
Novacron Marinho Intenso S-R	Huntsman	Reativo	374
Novacron Rubi S-3B	Huntsman	Reativo	264
Reactron Turquesa VG ultra concentrado	Crw corantes	Reativo	200
Azul Brilhante Remazol RN gran	Dystar	Reativo	183
Vermelho Remazol RGB gran	Dystar	Reativo	147
Preto Remazol B 133% gran	Dystar	Reativo	140
Remazol Brilhante Vermelho 3BS-A 150%	Dystar	Reativo	138

4.1.1 DQO

A DQO foi medida pelo método 5220D (APHA, 2012) que utiliza o princípio de colorimetria por refluxo fechado. Foram adicionadas ao efluente uma solução digestora de $K_2Cr_2O_7 / H_2SO_4 / HgSO_4$ e uma solução catalisadora com H_2SO_4 / Ag_2SO_4 . Como o efluente apresentou baixa DQO, menor que 100 mg/L, a DQO foi avaliada por meio da diminuição de $Cr_2O_7^{2-}$, com medição, por espectrofotometria, a 420 nm. O valor da absorbância foi comparado com a curva padrão preparada com biftalato de potássio.

4.1.2 COD

As análises de COD foram realizadas no analisador (SHIMADZU, Barueri, São Paulo), modelo TOC-VCSH.

4.1.3 Cor ADMI

O método espectrofotométrico tristímulo 2120E (APHA, 2012) foi utilizado para medição de cor ADMI, conforme recomendado para efluentes cuja tonalidade difere da cor encontrada em águas naturais (KAO et al., 2001). Foram medidas as transmitâncias em três comprimentos de onda: 590 (T_1), 540 (T_2) e 438 nm (T_3), utilizando o espectrofotômetro HACH DR 3800. Os valores de transmitância foram usados para calcular os valores intermediários de acordo com as equações de (11) a (13):

$$X_S = (T_3 \times 0,1899) + (T_1 \times 0,791) \quad (11)$$

$$Y_S = T_2 \quad (12)$$

$$Z_S = T_3 \times 1,1835 \quad (13)$$

Os valores de X_S , Y_S e Z_S foram convertidos a valores de Munsell, V_{xs} , V_{ys} , e V_{zs} , respectivamente, usando as tabelas publicadas por McLaren (1970) para calcular o valor de DE (Adams Nickerson Color Difference), de acordo com a equação (14):

$$DE = \sqrt{[0,23 \times (V_{yc} - V_{ys})]^2 + [(V_{xc} - V_{yc}) - (V_{xs} - V_{ys})]^2 + [0,4 \times (V_{yc} - V_{zc}) - (V_{ys} - V_{zs})]^2}$$

(14)

onde os valores V_{xc} , V_{yc} , e V_{zc} são os valores de Munsell para a água destilada.

Com o valor de DE, calcularam-se os valores de cor em ADMI, pela curva padrão de Pt-Co, construída utilizando o método tristímulo (ADMI), sendo 1 uC igual a 1 unidade de cor ADMI. As amostras foram filtradas em membrana Millipore de nitrato de celulose, com poros de 0,45 μm , para medição da cor verdadeira, tanto em pH original quanto em pH 7,6.

4.1.4 Potencial zeta

O potencial zeta do efluente foi medido com o instrumento Zetasizer Nano ZS (Malvern, São Paulo, São Paulo) em valores de pH entre 5 e 12.

4.1.5 Espectro UV-visível

O espectro de absorção UV-visível do efluente têxtil foi obtido utilizando o espectrofotômetro 8453 (Agilent, Barueri, São Paulo).

4.2 Tratabilidade biológica dos corantes têxteis

O lodo utilizado nos testes de simulação de tratamento biológico foi coletado no decantador secundário do sistema de lodos ativados da ETE de uma indústria de processamento de alimentos e adaptado durante 30 dias com efluente têxtil bruto, que continha todos os corantes avaliados. Durante a adaptação, o lodo foi alimentado com efluente têxtil bruto, após correção do pH para 7, em intervalos de 3 a 4 dias, sendo mantido sob aeração constante, a temperatura ambiente. Para manter a relação DQO/N/P igual a 300/5/1 foram adicionados cloreto de amônio (NH_4Cl) e bifosfato de potássio

(K_2HPO_4). O lodo têxtil não foi utilizado devido à preocupação com a dessorção de corantes já adsorvidos ao lodo na estação de tratamento do efluente têxtil.

A simulação do tratamento biológico foi realizada com o objetivo de avaliar a remoção dos nove corantes têxteis mais usados na indústria em questão (Tabela 12) pelo tratamento biológico e determinar quais corantes podem estar presentes no efluente secundário. A 150 mL da solução de corante (50 mg/L), com pH natural entre 6,6 e 7, foram adicionados 12,5 mL do lodo adaptado (para 50 mg SSV nos 150 mL da solução), em frascos de Erlenmeyer de 250 mL. Os frascos foram deixados em banho-maria, a 30 °C, sob agitação constante. Um branco, contendo água destilada e lodo, foi deixado sob as mesmas condições que as soluções de corantes. Nos tempos de 3, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 horas, 10 mL de cada frasco foram coletados e filtrados em membrana de 1,2 μ m e suas absorvâncias lidas nos comprimentos de onda de absorvância máxima de cada corante (Tabela 12), para determinar a degradação do corante. Para os corantes que não apresentaram picos de absorvância, utilizou-se o comprimento de onda de 465 nm, correspondente a cor Pt-Co. No final dos testes, mediu-se a DQO e a toxicidade aguda a *Daphnia similis* de cada solução.

Tabela 12 - Corantes utilizados no estudo de tratabilidade biológica e comprimentos de onda de absorbância máxima (λ_{max})

Corante (nome comercial)	λ_{max} (nm)
Remazol Preto Intenso RGB	597
Indanthren Preto Direto 5589 Coll	465
Preto Bezathren RI EPS	465
Solanthrene Marinho RA	580
Bezathren Azul RCL EPS	465
Novacron Marinho Intenso S-R	598
Novacron Rubi S-3B	546
Reactron Turquesa VG ultra concentrado	668
Azul Brilhante Remazol RN gran	592

4.3 Síntese dos catalisadores

O dióxido de titânio na forma anatásio foi adquirido da empresa MV Química (Jandira, São Paulo) e foi utilizado conforme recebido.

Os catalisadores compósitos foram preparados conforme a metodologia descrita por Miranda et al. (2015). Primeiramente, foi preparada a solução de hidrotalcita intercalada com TiO_2 (HT/ TiO_2), na proporção de 2 mol de TiO_2 em relação ao Al, sendo a razão molar entre os metais Al e Mg, $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Mg})$, igual a 0,25. Assim, adicionou-se, gota a gota, 100 mL de uma solução de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,075 mol) e $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (0,025 mol) em 100 mL de uma solução de NaOH (0,1805 mol), Na_2CO_3 (0,084 mol) e TiO_2 (2 mol em relação ao Al), deixando-se em agitação por 24 h, a 60 °C, em agitador magnético com chapa aquecedora. Então, as suspensões foram aquecidas até 70 °C e acrescentaram-se 20 mL de soluções de diferentes quantidades de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ e $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ($3,7 \cdot 10^{-3}$ e $8,6 \cdot 10^{-3}$; $7,4 \cdot 10^{-3}$ e $1,7 \cdot 10^{-2}$; $1,1 \cdot 10^{-2}$ e $2,6 \cdot 10^{-2}$; $1,5 \cdot 10^{-2}$ e $3,5 \cdot 10^{-2}$ mol), mantendo uma relação molar de Fe^{3+} e Fe^{2+} de 0,5. A precipitação do óxido de ferro foi obtida pela adição de NaOH, 5 mol/L, até que o pH 10 fosse atingido. Os catalisadores foram tratados hidrotermicamente a 70 °C durante 24 h, e os precipitados lavados com água destilada, para abaixar o pH para próximo de 8, e secos a 60 °C. Os catalisadores magnéticos foram

rotulados por HT/Fe/TiO₂ 1:4, HT/Fe/TiO₂ 2:4, HT/Fe/TiO₂ 3:4, HT/Fe/TiO₂ 4:4, de acordo com as relações molares de Fe:Ti igual a 1:4, 2:4, 3:4 e 4:4, respectivamente.

4.4 Caracterização dos catalisadores

4.4.1 Composição química

A composição química dos fotocatalisadores foi determinada com a mistura de 0,1000 g do catalisador, 4 mL HNO₃ (65%), 4 mL HCl (37%) e 1 mL HF (40%), submetidas à digestão em forno de microondas industrial (Milestone ETHOS) pelo aquecimento até 230 °C em 15 min e mantidas a temperatura por 25 min em 1200 W. As soluções já digeridas foram diluídas e a concentração de Ti foi determinada por ICP-MS, Perkin-Elmer modelo NexION 300D. Para determinar as concentrações de Fe, Al e Mg, as amostras diluídas foram lidas em um espectrômetro de absorção atômica, marca VARIAN, modelo SpectrAA-200, equipado com um gerador de hidretos modelo VGA77 (EAA-GH).

4.4.2 Espectroscopia no infravermelho

As análises por espectroscopia no infravermelho (IV) foram realizadas diretamente sobre a amostra com o espectrofotômetro infravermelho (VARIAN, Barueri, São Paulo), modelo 660-IR, com acessório de reflectância atenuada PIKE GladiATR na região de 400 a 4000 cm⁻¹.

4.4.3 Difração de raios X

As análises de difração de raios X foram realizadas em difratômetro X-Ray Diffraction System modelo X' Pert PRO (PANalytical, São Paulo, São Paulo), utilizando

filtro de Ni e radiação Cu- α ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$) e variação angular de 0-70° (2θ), com um intervalo de 0,017°.

4.4.4 Reflectância difusa

Os espectros de reflectância difusa foram adquiridos em um espectrofotômetro de duplo feixe (GBC, Piracicaba, São Paulo), modelo CINTRA 2020, na região de 300 a 700 nm do espectro eletromagnético. Carbonato de cálcio foi utilizado como padrão não absorvente. O espectro de cada amostra foi obtido por varredura na faixa estabelecida, com uma velocidade de 100 nm/min, em aproximadamente 4 minutos. As medidas foram adquiridas com resolução de 0,96 nm em uma fenda de espessura de 2 nm.

A função Kubelka-Munk foi calculada pela equação 15:

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (15)$$

em que R é a reflectância difusa absoluta do feixe. Para os semicondutores, a dependência do coeficiente de absorbância é dada pela equação 16:

$$F(R)hv = A (hv - Eg)^n \quad (16)$$

onde E_g é a energia de *bandgap*, hv é a energia do fóton e A é uma constante. Usou-se o valor de $n = 2$, para o TiO_2 da fase anatásio, com transição indireta (LARUMBE; MONGE; GÓMEZ-POLO, 2015). Obteve-se o valor de E_g do gráfico da relação de Tauc $(F(R)hv)^2$ versus hv , pela extrapolação da região linear da curva para o eixo das abcissas (LEE et al., 2013).

4.4.5 Microscopia eletrônica de varredura

A morfologia das partículas de TiO_2 e HT/Fe/ TiO_2 4:4 foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando o microscópio eletrônico Leo 1430VP (Zeiss, São Paulo, São Paulo).

4.4.6 Ponto de carga zero (pH_{PCZ})

O pH_{PCZ} foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Regalbutto e Robles (2004). Vinte mg do catalisador foram adicionadas a 20 mL de solução aquosa de NaNO_3 0,01M, sob diferentes condições de pH (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12), ajustados com soluções de HNO_3 e NaOH , e deixados sob agitação, a 22 °C, por 24 h. O pH final foi medido, sendo o pH_{PCZ} o pH no qual o pH final se mantinha constante, independentemente do pH inicial. O pH_{PCZ} é o pH para o qual a soma de cargas de superfície do catalisador é igual a zero.

4.5 Testes fotocatalíticos

Os experimentos foram realizados em um reator fotocatalítico em batelada de bancada. O sistema (Figura 6) foi constituído de proveta de vidro cortada (28,5 cm x 8,5 cm) contendo no seu centro uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão de 125 W sem o bulbo protetor, envolta por um cilindro de vidro Pyrex ($\lambda > 300$ nm), para uso de radiação UV-visível, ou de quartzo, para uso de radiação UV. O reator foi mantido dentro de um banho de refrigeração e circulação para manter a temperatura em $35^\circ\text{C} \pm 2$. Foram adicionadas massas de TiO_2 ou dos compósitos HT/Fe/ TiO_2 , em concentrações de suspensão entre 0 e 3 g/L. O pH foi ajustado para 4, 6,5, 8,5 e 10, utilizando H_2SO_4 ou NaOH . O sistema foi mantido sob aeração constante, quando desejado, ou sob agitação magnética constante, para melhorar a mistura do efluente com o catalisador, quando não utilizada a aeração. Foram retiradas amostras em diferentes intervalos de tempo. As amostras foram centrifugadas (Hitachi CR21 GIII) a 18.800 g durante 10 minutos, ou deixadas sobre um imã de neodímio retirado de um disco rígido, quando utilizados os catalisadores magnéticos, e filtradas com membrana Millipore HA 0,45 μm . A eficiência do fotocatalisador foi avaliada em função da remoção de cor ADMI. A DQO e o COD foram medidos para avaliar a degradação e mineralização da matéria orgânica no efluente.

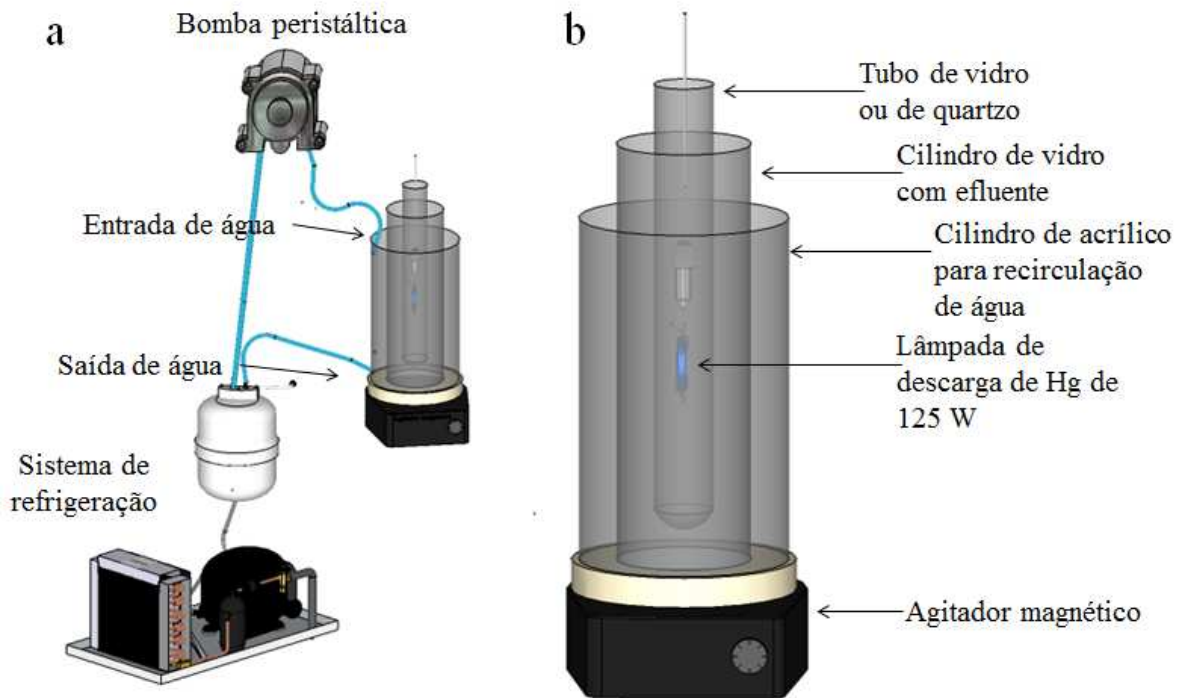


Figura 6 - (a) Sistema utilizado para os testes de fotocatalise e (b) Detalhes do reator fotocatalítico.

4.6 Espécies ativas na fotocatalise

Para determinar se as espécies envolvidas na degradação dos corantes foram os radicais hidroxila, foi adicionado 2-propanol (0,1M) ao efluente (JIMÉNEZ et al., 2015; ZHAO, C et al., 2013), com o teste fotocatalítico realizado conforme descrito no item 4.5.

4.7 Reúso do catalisador

Para avaliar a reutilização do catalisador, o mesmo foi coletado após os ensaios, seco a 60°C e utilizado novamente em 4 testes fotocatalíticos consecutivos. A atividade fotocatalítica após 6h de teste foi comparada em cada ciclo.

4.8 Recuperação do catalisador

Para avaliar quanto do catalisador foi perdido após sua diluição, determinada massa do catalisador foi colocada em um béquer de peso conhecido. Adicionaram-se 200 mL de água e o béquer foi deixado sob agitação por 10 min e, então, colocado sobre um imã e deixado em repouso por 3 horas. O sobrenadante foi descartado e o béquer junto com o catalisador foi seco a 60°C até peso constante. A diferença entre as massas inicial e final do béquer com o catalisador indicou a quantidade de catalisador perdida.

4.9 Testes de toxicidade

Testes quantitativos de toxicidade aguda do efluente antes e após a fotocatalise com o catalisador que obteve maior remoção de cor ADMI e qualitativos de soluções dos corantes mais utilizados na fábrica têxtil antes e após o tratamento biológico simulado foram realizados com o organismo-teste *D. similis*, de acordo com a norma NBR 12713 (ABNT, 2009). Os organismos-teste foram incubados em diluições seriais do efluente ou em soluções sem diluição dos corantes, a 22°C e fotoperíodo de 12 h luz / 12 h escuro. Foi avaliada a mobilidade dos organismos-teste após 48 horas. Nos testes quantitativos, foi quantificada a diluição que causou 50% de imobilidade (CE_{50}) por meio do programa Probit ou Trimmed Spearman-Kärber (USEPA, 2002). Os resultados foram convertidos a unidades de toxicidade (UT) por:

$$UT = 100/CE_{50} \quad (17)$$

Nos testes qualitativos, as amostras que apresentaram imobilidade significativamente menor do que o controle, pelo teste de Dunnet ($\alpha = 0,05$), foram consideradas tóxicas (USEPA, 2002).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do efluente secundário

A caracterização do efluente e os limites para lançamento de efluentes da legislação vigente para o estado de Minas Gerais (COPAM/CERH, 2008) estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Caracterização do efluente têxtil secundário

Parâmetro	Efluente secundário ^a	Limite de lançamento ^b
DQO (mg/L)	78	250
DQOs (mg/L)	68	-
COR (ADMI) pH original	302	-
COR (ADMI) pH 7,6	303	75 (UC)
COD (mg/L)	25,7	-
Turbidez	15	-
pH	9	6 a 9
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1608	-
Alcalinidade (mg/L CaCO_3)	264	-
Cloretos (mg/L Cl^-)	42,3	-
Nitratos (mg/L NO_3^-)	6,2	-
Sulfatos (mg/L SO_4^{2-})	136	-
Fosfatos (mg/L PO_4^{3-})	0,4	0,15

^aMédias das duas coletas; ^bDN Conjunta COPAM/CERH n° 1, 2008.

Após o tratamento secundário, a DQO do efluente esteve muito abaixo do permitido pela legislação, porém a cor ainda foi elevada, o que indica a necessidade de tratamento terciário para sua redução. A Deliberação Normativa conjunta COPAM/CERH n° 01 de 2008 estabeleceu que não será permitida, no efluente, a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais, devendo ser removidos.

A alcalinidade do efluente foi elevada e pode afetar significativamente a taxa de degradação da fotocatalise, visto que a presença de carbonatos e bicarbonatos reduz a

quantidade de radicais hidroxila que chegam a degradar os poluentes orgânicos. Além da alcalinidade, as concentrações de Cl^- e SO_4^{2-} também foram altas e podem interferir no processo de fotocatalise.

O espectro de absorbância do efluente secundário está apresentado na Figura 7, que mostra a baixa absorção do efluente no espectro do visível, porém, como já apresentado na Tabela 13, a cor ADMI ainda foi alta. É importante observar que o efluente não apresentou um pico de absorbância, sendo mais adequada, então, a medição da cor ADMI, que é uma composição de três comprimentos de onda, e não depende da tonalidade do efluente, ou seja, se tem pico de absorbância ou não.

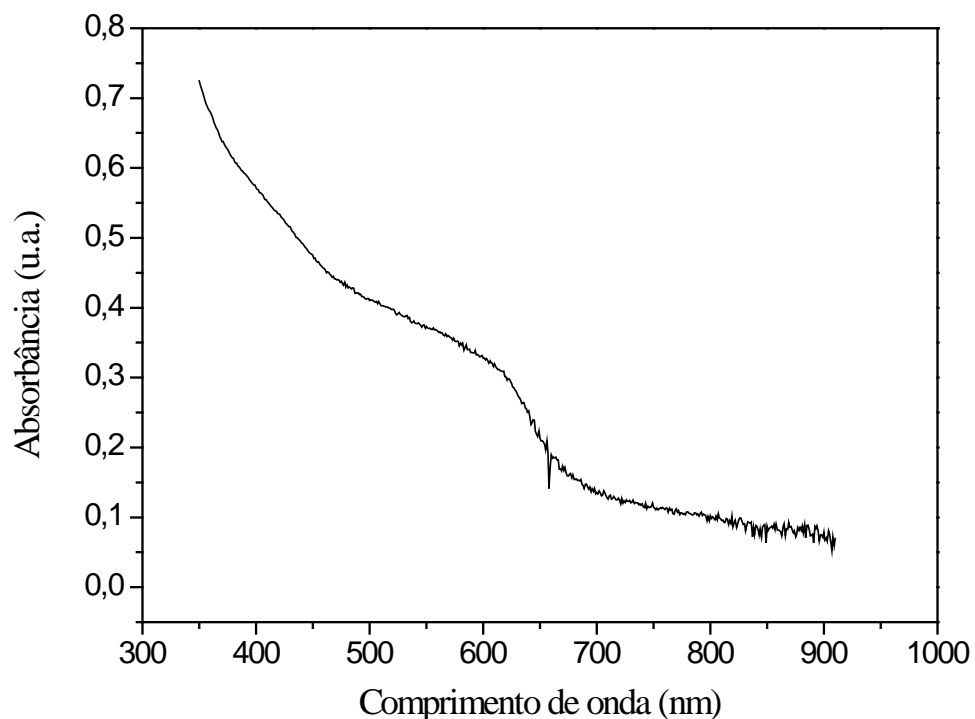


Figura 7 - Espectro de absorção do efluente secundário.

O potencial zeta do efluente medido na faixa de pH de 5 a 12 sempre esteve negativo (Figura 8), variando de -24 mV a -35 mV, mostrando que o somatório das cargas de superfície do efluente era negativo. Isso se deve à presença de corantes reativos aniônicos que apresentaram carga negativa na faixa de pH avaliada. Além disso, nessa faixa

de pH não se conseguiu atingir o ponto isoelétrico (PIZ), no qual o potencial zeta é igual zero, provavelmente devido à grande quantidade de cargas negativas.

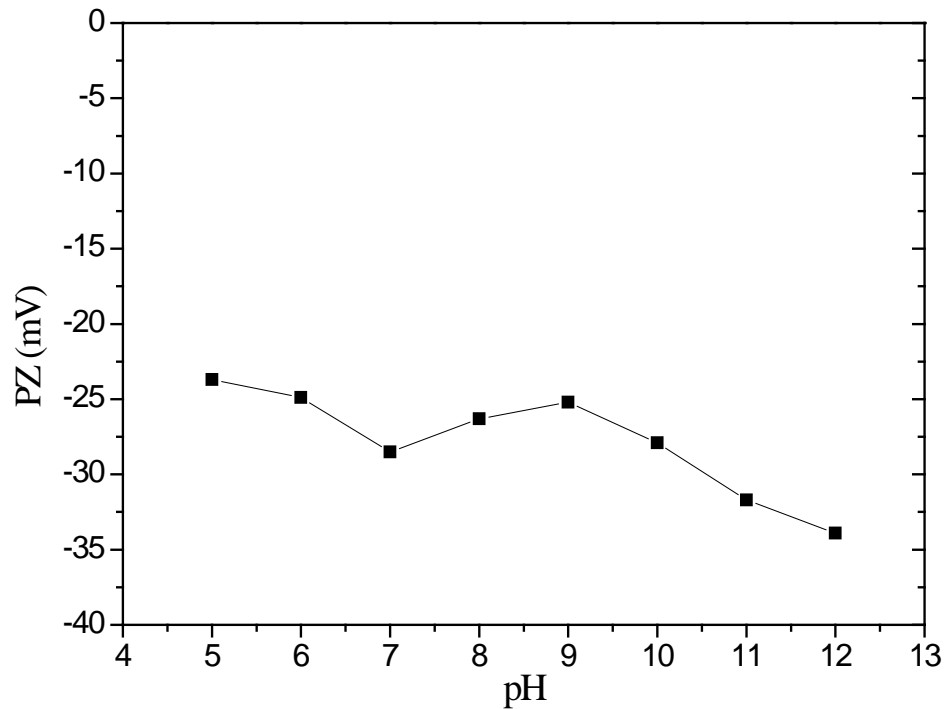


Figura 8 - Potencial zeta do efluente secundário em função do pH.

5.2 Toxicidade aguda dos corantes têxteis

Muitos dos corantes comerciais utilizados na fábrica têxtil são misturas de corantes reativos ou a cuba, o que dificulta a identificação do composto tóxico em si, por isso a necessidade de se avaliar a toxicidade dos corantes a um organismo-teste. Os valores de CE_{50} para os 12 corantes mais utilizados na fábrica têxtil estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Toxicidade aguda a *D. similis* e a *D. magna* dos corantes têxteis

Corante	Toxicidade aguda a <i>D. similis</i>		Toxicidade aguda a <i>D. magna</i> ^a
	CE ₅₀ (48h) (mg/L)	IC 95% ^b	CE ₅₀ (48h) (mg/L)
Remazol Preto Intenso RGB	60,1	53,73-67,21	750
Indanthren Preto Direto 5589	46,8	36,95-59,26	
Bezathren Preto Ri	57,2	45,92-71,13	
Solanthrene Marinho RA	95,0	69,83-129,2	
Bezathren Azul RCL EPS	29,9	23,52-37,95	
Novacron Marinho Intenso S-R	25,2	19,55-32,57	>100
Novacron Rubi S-3B	38,6	31,58-46,76	>100
Reactron Turquesa VG ultra conc.	35,4	25,56-49,10	
Remazol Azul RN Gran	43,7	32,24-59,11	
Remazol Vermelho Intenso RGB	112	89,62-139,8	
Remazol Preto B A 133	35,0	23,39-52,29	
Remazol Vermelho 3BS	23,0	15,30-34,50	10-100

^a Valores retirados das FISPQ (Anexo A); ^b Intervalo de confiança de 95%.

Como observado, os resultados de toxicidade a *D. similis* foram muito maiores que os encontrados nas FISPQ para *D. magna*. Mesmo que esses resultados sejam para espécies diferentes, ambas são do mesmo gênero e os valores não deveriam ser tão diferentes, o que mostra a necessidade de se realizarem testes com ambas as espécies para comparação.

Os corantes mais tóxicos, com CE₅₀ menor que 30 mg/L, foram os corantes Bezathren Azul RCL EPS, Novacron Marinho Intenso S-R e Remazol Vermelho 3BS e os menos tóxicos, com CE₅₀ maior que 90 mg/L, foram Solanthrene Marinho RA e Remazol Vermelho intenso RGB. Reactron Turquesa, um corante a base de ftalocianina, contendo cobre em sua estrutura, apresentou CE₅₀ de 35,42 mg/L, pouco maior que os corantes mais tóxicos. Mesmo com a mistura dos corantes, no caso do Remazol Preto Intenso RGB, que contém reativo preto 5 (40 - 60%) e reativo amarelo 201 (5 - 15%), sua toxicidade foi menor que a do Remazol Preto B A 133, que contém reativo preto 5 (70 - 80%), provavelmente devido às quantidades do corante reativo preto 5, que foi maior para o

segundo corante. Esses resultados mostram que a toxicidade aquática dos corantes comerciais depende não somente da classificação dos corantes, mas também de sua composição.

5.3 Tratabilidade biológica dos corantes têxteis

5.3.1 Remoção de corantes

Os corantes removidos em maiores quantidades (> 50% em 96h) na simulação do tratamento biológico (Figura 9) foram Indathren Preto Direto 5589 Coll, Preto Bezathren RI EPS, Solanthrene Marinho RA e Bezathren Azul RCL EPS. Esses quatro corantes são a cuba e, por apresentarem baixa solubilidade, o principal mecanismo de remoção pode ter sido a adsorção ao lodo biológico, não a biodegradação (IPPC, 2003; SIRIANUNTAPIBOON; CHAIRATTANAWAN; JUNGPHUNGSUKPANICH, 2006). Entretanto, será necessário realizar testes com o lodo inativado, para confirmar essa hipótese. Todos os corantes reativos tiveram menos que 50% de remoção, após 96 h, mostrando a baixa biodegradabilidade desses corantes. Na literatura são reportadas baixas eficiências na biodegradação de corantes reativos (LUANGDILOK; PANSWAD, 2000; O'NEILL et al., 2000), bem como altas eficiências (VAN DER ZEE, 2002), o que indica que o sucesso do tratamento depende muito da estrutura dos corantes.

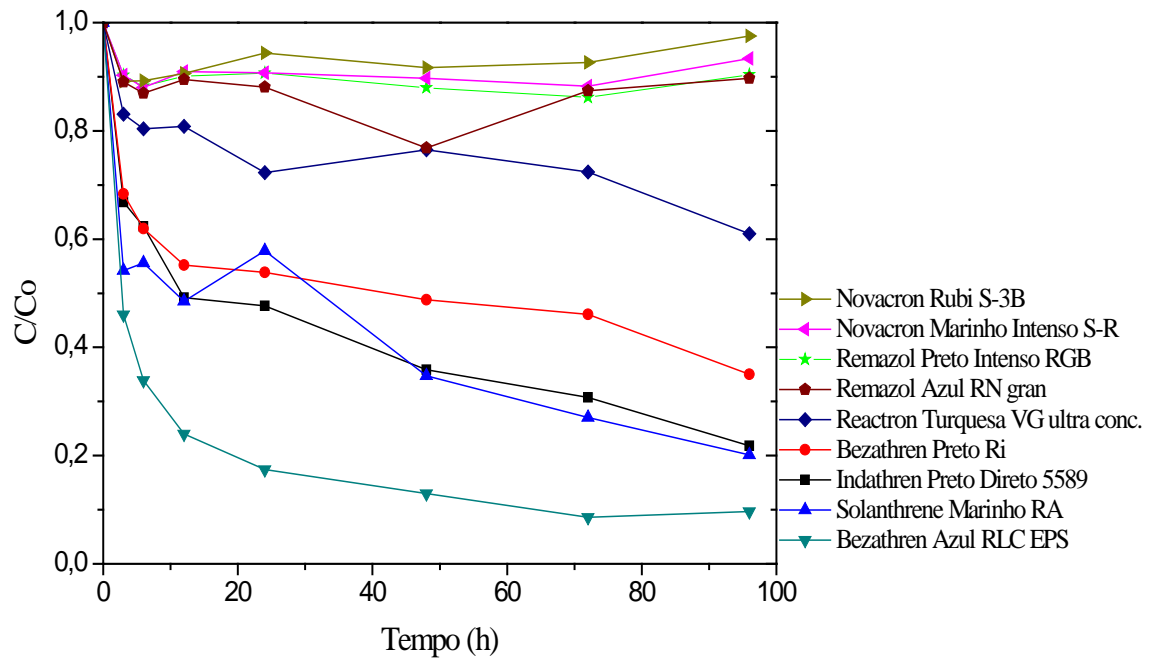


Figura 9 - Remoção dos corantes no tratamento biológico simulado.

As eficiências de remoção de DQO e de absorbância para o tempo de 96 h estão apresentadas na Tabela 15. Observou-se que a remoção de DQO foi muito baixa para a maioria dos corantes e que as maiores eficiências de remoção de DQO e de absorbância foram conseguidas para os corantes a cuba. Para o corante Remazol Preto Intenso RGB a maior remoção de DQO do que de absorbância pode ser explicada pela remoção de outros grupos, sem a remoção de grupos cromóforos.

Tabela 15 - Remoção de absorvância e de DQO após 96 h de tratamento biológico

Corante	Remoção de absorvância no λ_{\max} (%)	Remoção de DQO (%)
Remazol Preto Intenso RGB	9,6	40,9
Indanthren Preto Direto 5589 Coll	78,2	23,9
Preto Bezathren RI EPS	65,0	33,4
Solanthrene Marinho RA	79,9	50,0
Bezathren Azul RCL EPS	90,3	25,4
Novacron Marinho Intenso S-R	6,6	0,0
Novacron Rubi S-3B	2,4	0,0
Reactron Turquesa VG ultra concentrado	39,0	0,0
Azul Brilhante Remazol RN gran	10,3	4,0

Assim, após o tratamento pelo sistema de lodos ativados, espera-se que haja elevada eficiência de remoção dos corantes a cuba e baixa eficiência de remoção dos corantes reativos, por isso o potencial zeta do efluente secundário apresentou caráter negativo, devido à maior presença de corantes aniônicos. Na Figura 10, são mostradas as soluções de corantes antes e após o tratamento biológico simulado.

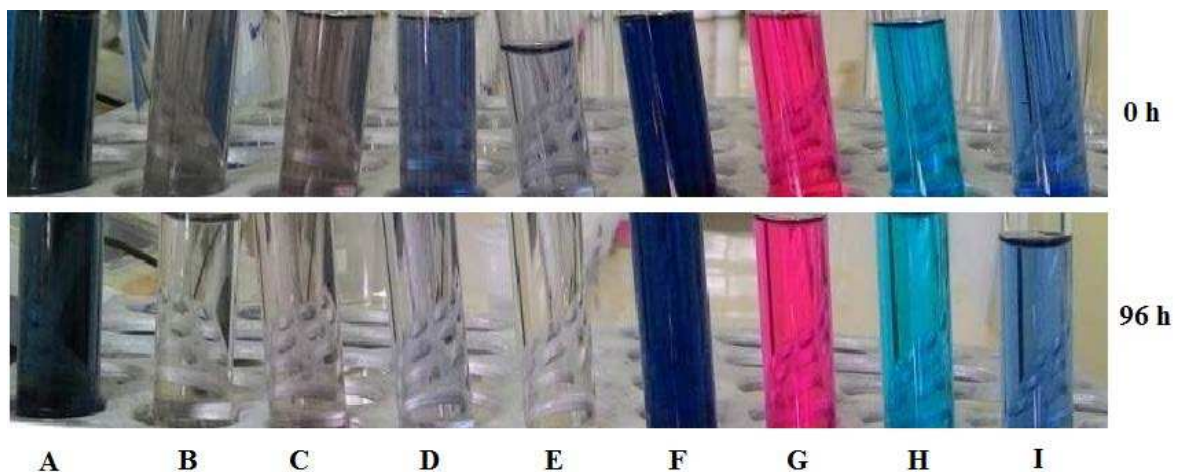


Figura 10 - Corantes têxteis antes e após 96 h de tratamento biológico simulado. (A) Remazol Preto Intenso RGB, (B) Indanthren Preto Direto 5589 Coll, (C) Preto Bezathren RI EPS, (D) Solanthrene Marinho RA, (E) Bezathren Azul RCL EPS, (F) Novacron Marinho Intenso S-R, (G) Novacron Rubi S-3B, (H) Reactron Turquesa VG ultra concentrado e (I) Azul Brilhante Remazol Azul RN gran.

5.3.2 Toxicidade aguda

A toxicidade dos corantes antes e após os testes de biodegradabilidade está apresentada na Tabela 16. Os corantes Indanthren Preto Direto 5589 Coll e Preto Bezathren Ri EPS, que não apresentavam toxicidade, passaram a tê-la, após o tratamento biológico, mostrando que foram formados subprodutos da degradação mais tóxicos que os próprios corantes e, provavelmente, a remoção desses corantes não foi somente por adsorção ao lodo, mas também por biodegradação. O corante Azul Brilhante Remazol RN gran, mesmo com a baixa remoção de absorvância, teve sua toxicidade removida, enquanto os demais corantes mantiveram a toxicidade inicial.

Tabela 16 - Toxicidade aguda a *D. similis* de soluções de corantes têxteis (50 mg/L) antes e após o tratamento biológico aeróbio

Corante	Antes do tratamento biológico	Após o tratamento biológico
Remazol Preto Intenso RGB	Não Tóxico	Não Tóxico
Indanthren Preto Direto 5589 Coll	Não Tóxico	Tóxico
Preto Bezathren RI EPS	Não Tóxico	Tóxico
Solanthrene Marinho RA	Não Tóxico	Não Tóxico
Bezathren Azul RCL EPS	Tóxico	Tóxico
Novacron Marinho Intenso S-R	Tóxico	Tóxico
Novacron Rubi S-3B	Tóxico	Tóxico
Reactron Turquesa VG ultra concentrado	Tóxico	Tóxico
Azul Brilhante Remazol RN gran	Tóxico	Não Tóxico

5.4 Caracterização dos catalisadores

5.4.1 Composição química

Os resultados das análises de absorção atômica e do ICP-MS estão apresentados na Tabela 17. A proporção molar real do compósito analisado se aproxima da composição teórica de Fe:Ti de 3:4, o que mostra que a metodologia para a síntese do catalisador foi realizada com êxito. A massa de TiO₂ no compósito foi de 0,412 g/g de catalisador. Dessa forma, em relação à mesma concentração de TiO₂ utilizada na fotocatalise, somente 41,2% da massa do compósito corresponderá ao TiO₂. A formação de pares elétron/lacuna pode ser prejudicada, devido à menor quantidade do semicondutor e, conseqüentemente, pode-se reduzir a eficiência da fotocatalise. Espera-se que o compósito HT/Fe/TiO₂ 4:4 tenha menor teor de TiO₂, devido à maior proporção de Fe:Ti.

Tabela 17 - Composição química do compósito HT/Fe/TiO₂ 3:4

Catalisador	Concentração (g/g de catalisador)				Proporção molar	
	Fe	Mg	Al	TiO ₂	Al:Ti	Fe:Ti
HT/Fe/TiO ₂ 3:4	0,234	0,563	0,096	0,412	1,32:2	3,16:4

5.4.2 Espectroscopia no infravermelho

Os espectros de infravermelho obtidos para os compósitos HT/Fe/TiO₂ nas diferentes proporções de Fe:TiO₂ (Figura 11) apresentaram bandas de absorção características da hidrotalcita (HT-CO₃), do óxido de ferro e do TiO₂. A banda de absorção em 3394 cm⁻¹ foi resultado do estiramento das moléculas de água interlamelares (ν O-H) na camada de hidróxidos e o pico de absorção em 1359 cm⁻¹ pôde ser atribuído à vibração das espécies carbonato (MIRANDA et al., 2015). A banda de vibração da água apareceu em 1636 cm⁻¹ com intensidade que depende do tipo de ânion e das quantidades de água interlamelar (CONCEIÇÃO et al., 2007). Houve sobreposição das bandas características do

estiramento metal-oxigênio, Al-O e Mg-O, nos intervalos de 450-780 cm^{-1} pela banda do Fe-O (560 cm^{-1}) e pelo ombro do Ti-O-O de 450-780 cm^{-1} (MIRANDA et al., 2015).

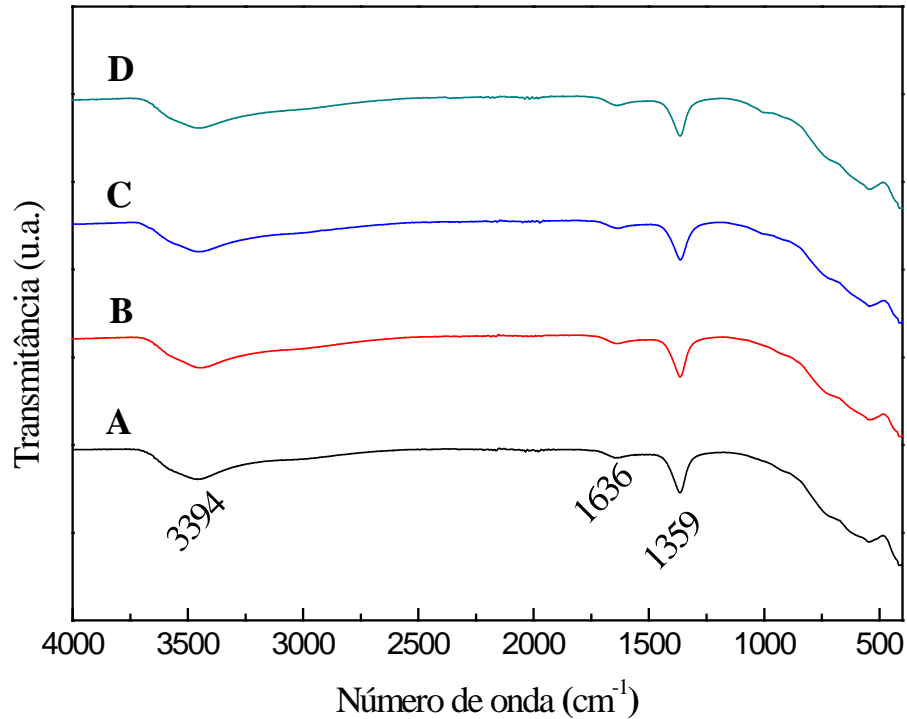


Figura 11 - Espectro de IV: (A) HT/Fe/TiO₂ 1:4, (B) HT/Fe/TiO₂ 2:4, (C) HT/Fe/TiO₂ 3:4 e (D) HT/Fe/TiO₂ 4:4.

5.4.3 Difração de raios X

O difratograma de raios X do TiO₂ utilizado nesse trabalho, apresentado na Figura 12, mostra os picos característicos das formas anatásio (2θ de $29,6^\circ$ e $63,5^\circ$) e rutilo (2θ de $44,2^\circ$, $56,5^\circ$ e 65°) (ANTIC' et al., 2012; BA-ABBAD et al., 2012).

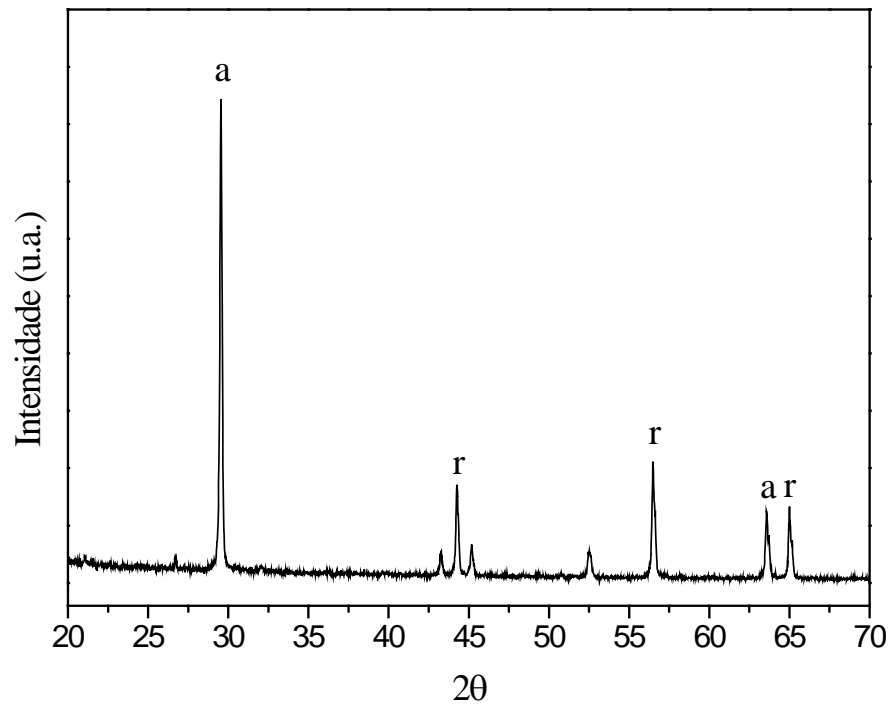


Figura 12 - Difratoograma de raios X para TiO_2 . Picos: (a) anatásio e (r) rutilo.

Os difratogramas dos compósitos sintetizados HT/Fe/ TiO_2 (Figura 13) mostram que os picos característicos do TiO_2 se mantiveram. Os picos de difração em 2θ de $13,7^\circ$, $26,6^\circ$ e $40,1^\circ$ corresponderam à hidrotalcita e os óxidos de ferro magnéticos foram indicados pelos picos de difração em 2θ de $35,4^\circ$, $41,5^\circ$, $50,5^\circ$, correspondentes à maghemita, e de $67,3^\circ$, que correspondeu à goethita (TOLEDO et al., 2011). Assim, a estrutura de todos os compósitos HT/Fe/ TiO_2 nas diferentes proporções de Fe: TiO_2 mantiveram as características dos precursores, conforme indicado por Miranda et al. (2015), o que ocorreu foi um processo físico, com a sobreposição dos picos, combinando óxido de ferro, HT- CO_3 e TiO_2 .

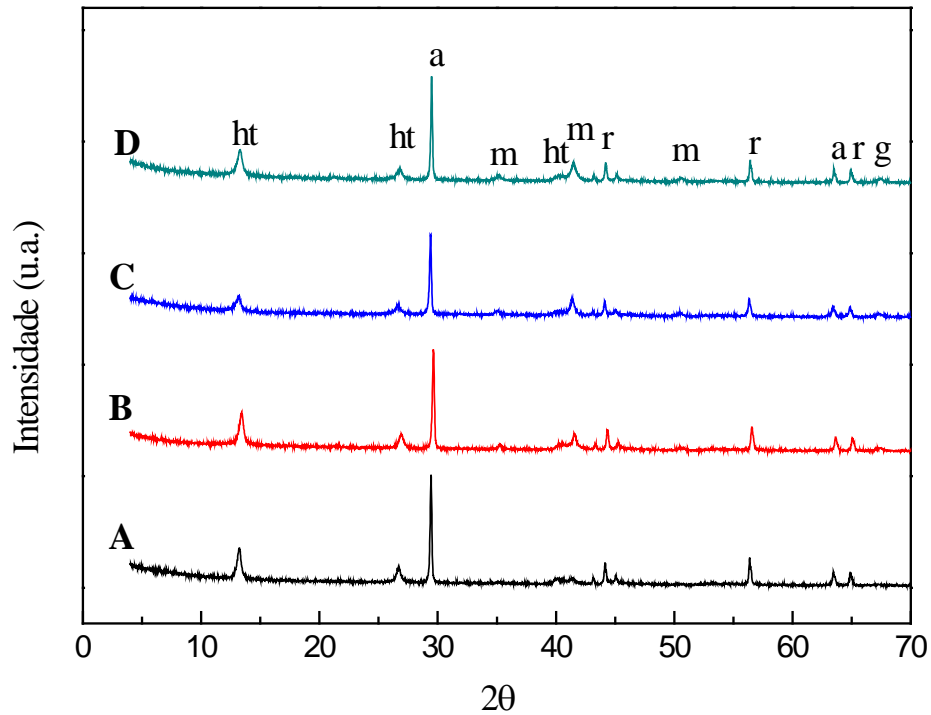


Figura 13 - Difratoogramas de raios X: (A) HT/Fe/TiO₂ 1:4, (B) HT/Fe/TiO₂ 2:4, (C) HT/Fe/TiO₂ 3:4 e (D) HT/Fe/TiO₂ 4:4. Picos: (a) anatásio; (r) rutilo; (ht) hidrotalcita; (m) maghemita e (g) goethita.

5.4.4 Reflectância difusa

Os espectros de reflectância difusa e os valores da energia de *bandgap* (E_g) (Figura 14 e Figura 15) mostram a maior absorção para TiO₂ na região do UV (300 a 400 nm). À medida que a proporção de ferro aumentou, com diminuição da quantidade de TiO₂ para a mesma massa de catalisador, a absorção diminuiu. A menor E_g , de 2,34 eV, foi encontrada para HT/Fe/TiO₂ 4:4, que corresponde a absorbância em $\lambda < 530$ nm. TiO₂, com $E_g = 3,25$ eV, não absorve fótons com $\lambda > 381$ nm, o que mostra a maior aplicabilidade dos compósitos HT/Fe/TiO₂ em absorver comprimentos de onda muito maiores que os absorvíveis pelo TiO₂ no espectro da radiação solar.

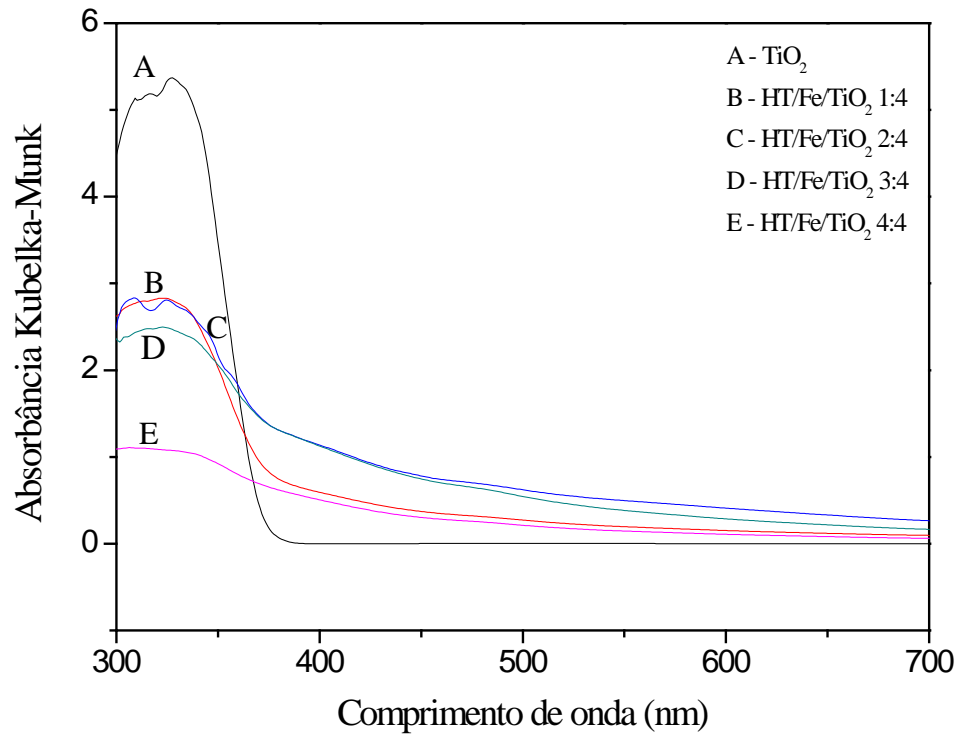


Figura 14 - Função Kubelka-Munk versus comprimento de onda para TiO_2 e os compostos HT/Fe/ TiO_2 nas diferentes proporções de Fe:Ti.

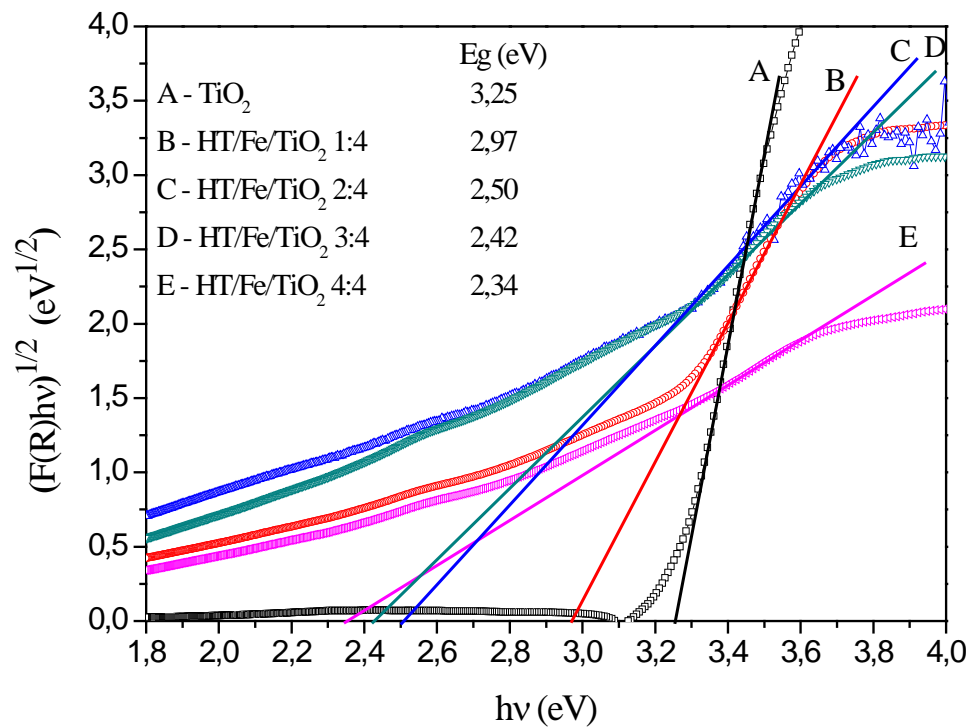


Figura 15 - Relação de Tauc e energia de *bandgap* para TiO_2 e os compostos HT/Fe/ TiO_2 nas diferentes proporções de Fe:Ti.

5.4.5 Microscopia eletrônica de varredura

A imagem de MEV do TiO_2 (Figura 16a) mostrou uma dispersão homogênea das partículas, com grande número de agregação de partículas esféricas (AHMED; EL-KATORI; GHARNI, 2013). Para o compósito HT/Fe/ TiO_2 4:4 (Figura 16b), o MEV mostrou que a deposição de ferro sobre a hidrotalcita e o TiO_2 formou aglomerados esponjosos, que promoveu o aumento da heterogeneidade do compósito (MIRANDA et al., 2015; TOLEDO et al., 2011).

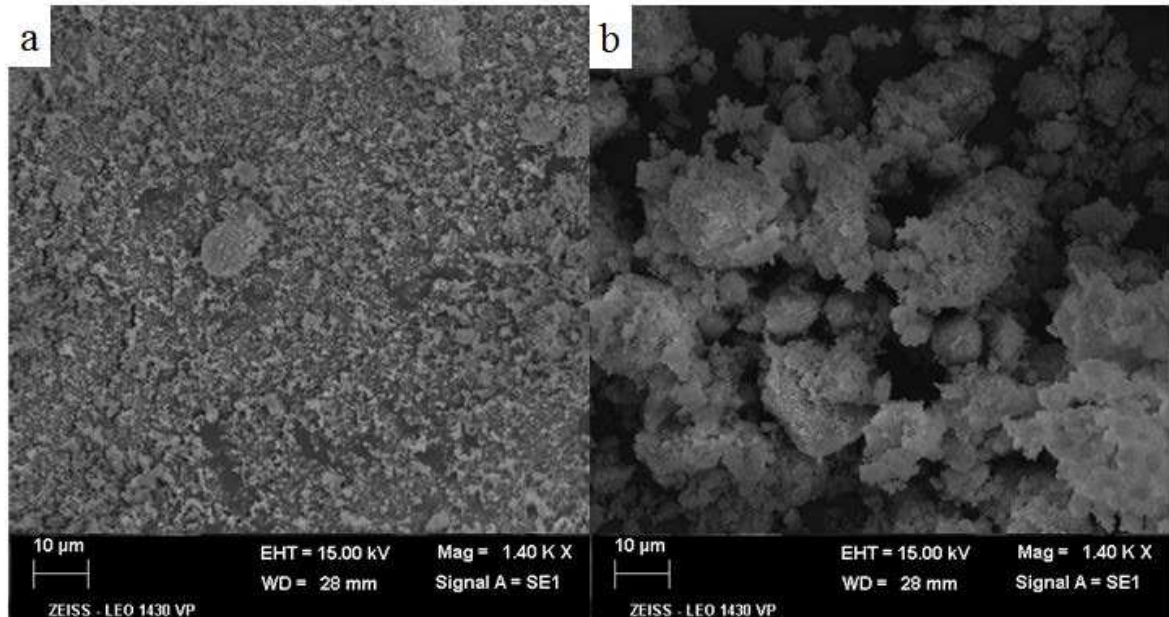


Figura 16 - Imagens de MEV: (a) TiO_2 e (b) HT/Fe/ TiO_2 4:4.

5.4.6 Ponto de carga zero

O pH_{PCZ} do TiO_2 é de cerca de 6,3, sendo a superfície do catalisador carregada positivamente em pH abaixo do pH_{PCZ} , e carregada negativamente em pH acima do pH_{PCZ} (CHONG et al., 2010; EVGENIDOU; FYTIANOS; POULIOS, 2005). O pH_{PCZ} do compósito sintetizado HT/Fe/ TiO_2 4:4 foi em pH 7,6 (Figura 17), maior que o pH_{PCZ} do

TiO₂, provavelmente porque o pH_{PCZ} da hidrotalcita é também maior, de 8,5 como reportado por Miranda et al. (2014). Assim, em pH menor que 7,6 a soma de cargas de superfície de HT/Fe/TiO₂ 4:4 será positiva, devido à adsorção de H⁺ e em pH maior que 7,6, a soma de cargas será negativa, com maior adsorção de OH⁻. Como os corantes usados na indústria são aniônicos e o potencial zeta do efluente entre pH 4 e 12 estava abaixo de zero (Figura 8), espera-se, então, que o melhor pH para a fotocatalise no tratamento do efluente têxtil em questão esteja abaixo de 6,3, para TiO₂, e de 7,6, para HT/Fe/TiO₂ 4:4, uma vez que essas condições favorecem a adsorção, devido à maior atração entre as cargas positivas do catalisador e as cargas negativas do efluente.

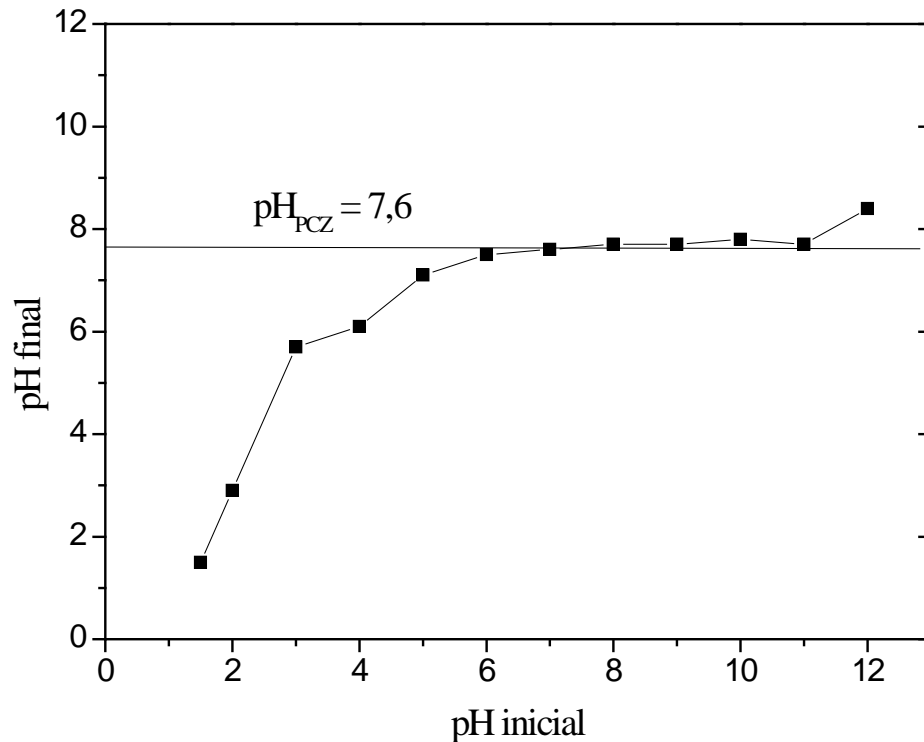


Figura 17 - Resultados da análise do ponto de carga zero (pH_{PCZ}) do catalisador HT/Fe/TiO₂ 4:4.

5.5 Testes fotocatalíticos

5.5.1 Efeito da concentração de TiO_2 sob radiação UV

Quando se utilizou o tubo de quartzo no reator ($\lambda < 400 \text{ nm}$) (Figura 18), a fotólise apresentou resultado melhor do que a fotocatalise com TiO_2 . A elevada potência (125 W) da lâmpada usada foi, aparentemente, suficiente para a degradação e o TiO_2 adicionado pode ter funcionado apenas como partícula que bloqueou a transmissão da radiação UV, sem influenciar a taxa de degradação. É possível também que a mistura entre o TiO_2 e o efluente não tenha sido eficiente, com menor contato entre o catalisador e os corantes, reduzindo a eficiência de remoção de cor. Assim, para esse efluente, sob radiação UV, a fotólise foi melhor que a fotocatalise heterogênea. Os testes realizados posteriormente foram feitos com tubo de vidro ($\lambda > 300 \text{ nm}$), sob radiação UV-visível.

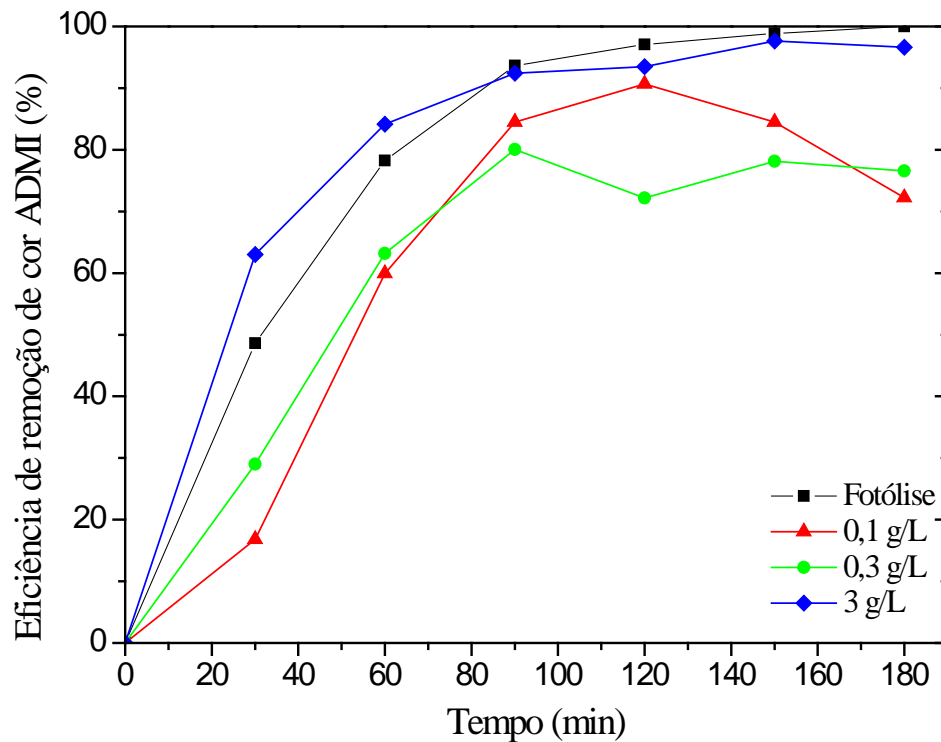


Figura 18 - Remoção de cor ADM na fotocatalise com diferentes concentrações de TiO_2 . (pH do efluente de 8,5, sob radiação UV).

5.5.2 Efeito da concentração de TiO_2

Na Figura 19, tem-se a remoção de cor ADMI na fotocatalise com concentrações crescentes de TiO_2 , de 0 a 3 g/L, e a adsorção, com 2 g/L na ausência de radiação. A fotólise (0 mg/L) foi responsável por cerca de 20% da remoção de cor ADMI após 330 min e a adsorção removeu cerca de 10% de cor ADMI em 360 min de contato. Observou-se que, na fotocatalise, com o aumento da concentração de TiO_2 , houve aumento da eficiência, com as maiores remoções (> 97%) de cor ADMI conseguidas nas concentrações de 2 e 3 g/L de TiO_2 , após 330 min.

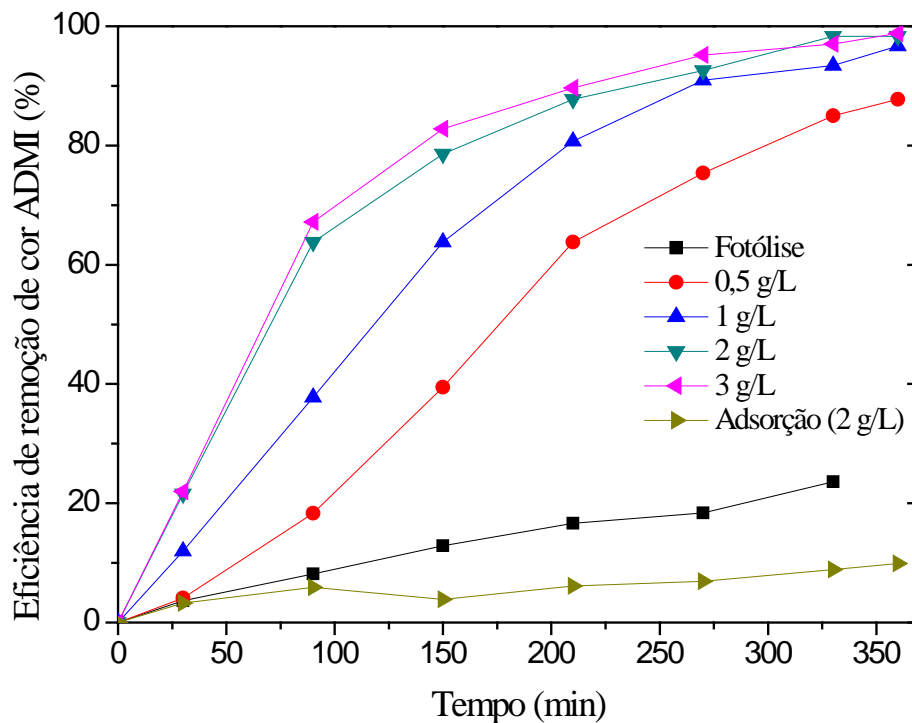


Figura 19 - Remoção de cor ADMI na fotocatalise com diferentes concentrações de TiO_2 . (pH do efluente de 8,5, com aeração, sob radiação UV-visível, adsorção sem radiação).

A eficiência máxima de remoção de cor ADMI foi atingida na concentração de 3 g/L de TiO_2 (98,8% em 360 min), mas com 2 g/L a remoção foi quase igual, de 98,3%. Assim, a concentração ótima escolhida nesse trabalho foi de 2 g/L, pois mesmo com o

aumento da concentração de 2 g/L para 3 g/L não houve aumento significativo na remoção de cor ADMI. O aumento da concentração do catalisador melhora o desempenho da fotocatalise, pois aumenta a quantidade de sítios disponíveis no TiO_2 para a absorção de luz e consequente geração de radicais hidroxila. No entanto, existe um ponto ótimo, no qual o aumento da concentração influencia negativamente, pois as partículas do catalisador reduzem a penetração de luz e a eficiência (CHONG et al., 2010). Além disso, o aumento da concentração pode aumentar a aglomeração das partículas de TiO_2 e reduzir a área superficial exposta à luz e sua absorção (DAS; BASU, 2015).

5.5.3 Efeito do pH do efluente

Os resultados da fotocatalise com TiO_2 em diferentes valores de pH (Figura 20) mostram que a maior eficiência foi obtida em pH 4, como já esperado, uma vez que o pH_{PCZ} do TiO_2 é 6,3 e em pH abaixo desse valor, o catalisador estava carregado positivamente, o que aumentou a adsorção dos corantes aniônicos do efluente.

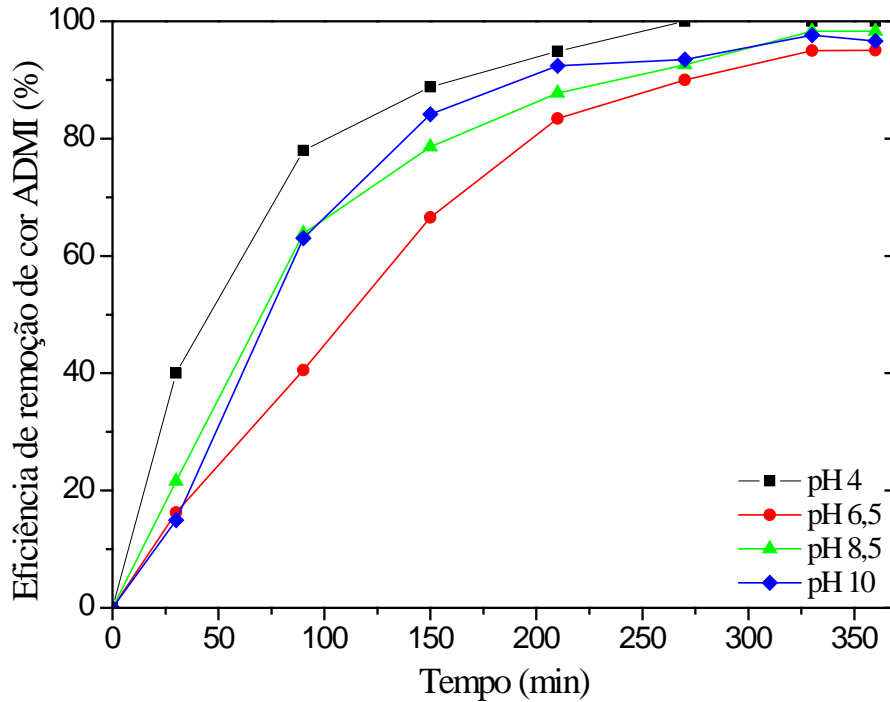


Figura 20 - Remoção de cor ADM1 na fotocatalise em diferentes valores de pH. (2 g/L de TiO_2 , com aeração, radiação UV-visível).

A remoção de cor ADM1 somente por adsorção, em pH 8,5, foi de menos de 10% (Figura 19), o que mostra que em pH acima do pH_{PCZ} há baixa interação entre o catalisador e os corantes presentes no efluente. As eficiências de remoção de cor ADM1 pela fotocatalise em pH 8,5 e 10 foram elevadas, atingindo valores maiores que 98% após 330 min, mesmo com o catalisador carregado negativamente ($\text{pH} > \text{pH}_{\text{PCZ}}$). Uma possível explicação para esses resultados é que a maior concentração de hidróxidos (OH^-) no meio alcalino possibilitou maior adsorção de hidróxidos na superfície do TiO_2 , maior geração de radicais hidroxila, e, conseqüentemente, elevadas eficiências de degradação, mesmo que a interação entre o catalisador e os corantes tenha sido desfavorável (ALATON; BALCIOGLU, 2001). Diante desses resultados, o pH 10 foi escolhido em vez do pH 4 para os ensaios posteriores, por ser mais próximo do pH inicial do efluente secundário.

5.5.4 Efeito da aeração

Após escolhido o pH e a concentração de TiO_2 , foram realizados testes fotocatalíticos com e sem aeração (Figura 21). Houve pouca diferença com e sem aeração, sendo que nas primeiras duas horas a fotodegradação sem aeração foi um pouco melhor que com um fluxo de ar. Isso sugere que o efluente já continha oxigênio dissolvido suficiente para atuar como acceptor de elétrons. Dessa forma, os testes realizados posteriormente não foram aerados e a mistura do conteúdo do reator foi realizado pelo uso de um agitador magnético.

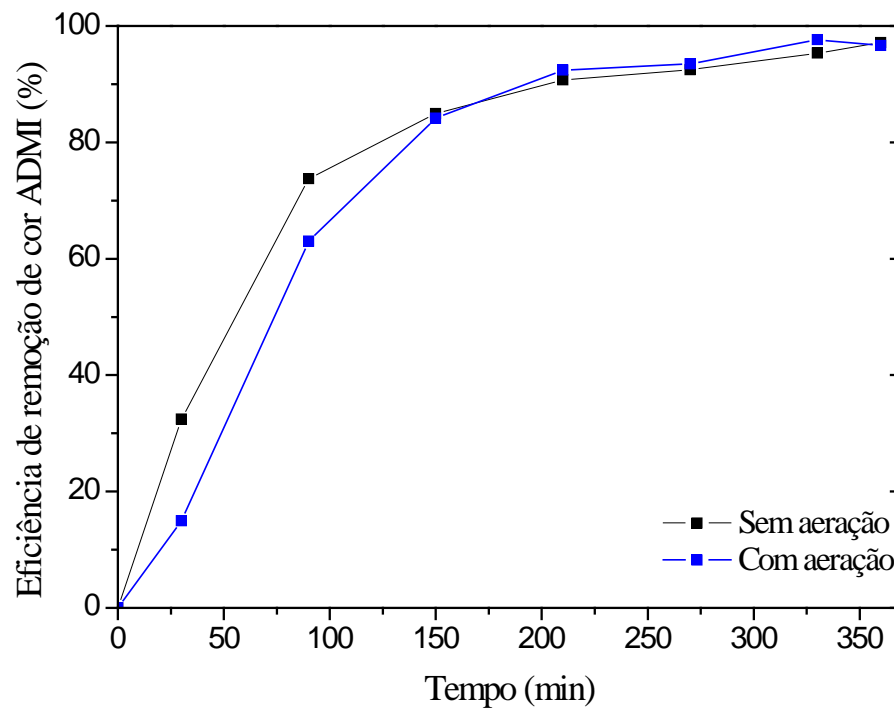


Figura 21 - Remoção de cor ADMI do efluente secundário da fábrica têxtil durante a fotocatálise com e sem aeração. (2 g/L de TiO_2 , pH 10, radiação UV-visível).

5.5.5 Tipo de catalisador: comparação entre TiO_2 e os compósitos HT/Fe/ TiO_2

Na Figura 22, são apresentados os resultados da fotocatalise com TiO_2 suportado em hidrotalcita e dopado com diferentes proporções de ferro. Nos primeiros 30 min, a menor eficiência foi obtida com TiO_2 não modificado, provavelmente porque, inicialmente, houve efeito da adsorção, que foi menor para TiO_2 do que para os compósitos com hidrotalcita. Os compósitos com proporções de Fe:Ti de 1:4, 2:4 e 3:4 foram menos eficientes que TiO_2 não modificado na remoção de cor ADMI, provavelmente porque a quantidade de ferro não foi suficiente para superar a redução da massa proporcional de TiO_2 , para a mesma massa total de catalisador. A melhor proporção Fe:Ti para a remoção de cor ADMI do efluente foi de 4:4, com a qual se atingiu mais de 96% de remoção, após 6 h, maior até do que foi obtida com TiO_2 não modificado, mesmo com menor quantidade de TiO_2 em reação. A proporção 4:4 apresentou melhor desempenho devido à menor energia de *bandgap*, de 2,34 eV (Figura 15) e foi capaz de absorver comprimentos de onda de até 530 nm, maiores que os absorvíveis pelo TiO_2 , menores que 381 nm (ver item 5.4.3). Assim, ocorreu maior absorção de fótons pelo HT/Fe/ TiO_2 4:4, que proporcionou maior produção de radicais hidroxila e foi capaz de superar a menor quantidade de TiO_2 adicionada, para uma mesma concentração de catalisador (ver item 5.4.1). Outra vantagem do uso do compósito HT/Fe/ TiO_2 4:4 é que esse pode ser removido magneticamente, o que reduziria os custos de operação do tratamento e reduziria o risco de lançamento do catalisador no corpo d'água receptor do efluente tratado.

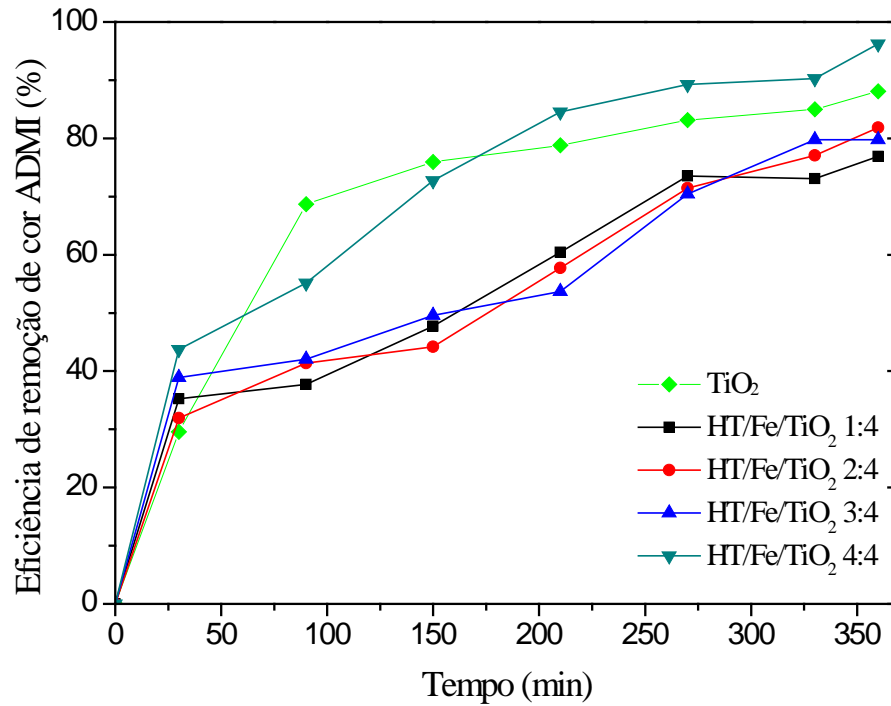


Figura 22 - Remoção de cor ADMI do efluente secundário de uma fábrica têxtil durante a fotocatalise com diferentes catalisadores, TiO₂, HT/Fe/TiO₂ 1:4, HT/Fe/TiO₂ 2:4, HT/Fe/TiO₂ 3:4, HT/Fe/TiO₂ 4:4. (2 g/L do catalisador, pH 10, radiação UV-visível).

A Figura 23 mostra a eficiente descoloração do efluente têxtil após a fotocatalise com HT/Fe/TiO₂ 4:4.



Figura 23 - Efluente têxtil secundário, à esquerda, e efluente têxtil secundário após 6 h de fotocatalise com HT/Fe/TiO₂ 4:4, à direita.

5.5.6 Efeito do pH do efluente para o compósito HT/Fe/TiO₂ 4:4

Para avaliar o desempenho de HT/Fe/TiO₂ 4:4 em diferentes valores de pH, foram realizados testes em pH 4, 8,5 e 10. Um teste no pH natural do efluente, 8,5, também foi realizado na ausência de luz, para avaliar o efeito da adsorção pelo catalisador. Os resultados apresentados na Figura 24 mostram que a adsorção foi responsável por cerca de 50% de remoção de cor ADMI após 90 min, não obtendo maiores eficiências com o passar do tempo, devido à saturação da superfície do catalisador. Ao contrário do que foi observado com TiO₂ não modificado (Figura 20), em pH 4, a eficiência de remoção de cor ADMI foi baixa, em comparação às obtidas em pH 8,5 e 10, e foi similar à remoção por adsorção. Em pH 4, a superfície do catalisador estava protonada, tendendo a adsorver compostos aniônicos, como os corantes presentes no efluente, o que deveria levar ao melhor desempenho da fotocatalise nesse pH. Entretanto, a elevada adsorção pode ter causado a saturação da superfície do compósito com os corantes, bloqueado a absorção de fótons pelo TiO₂ e reduzido a adsorção de OH⁻, resultando em menor produção de radicais hidroxila. Os resultados indicam que o único mecanismo atuando na remoção de cor ADMI em pH 4 foi a adsorção, uma vez que a fotocatalise foi prejudicada.

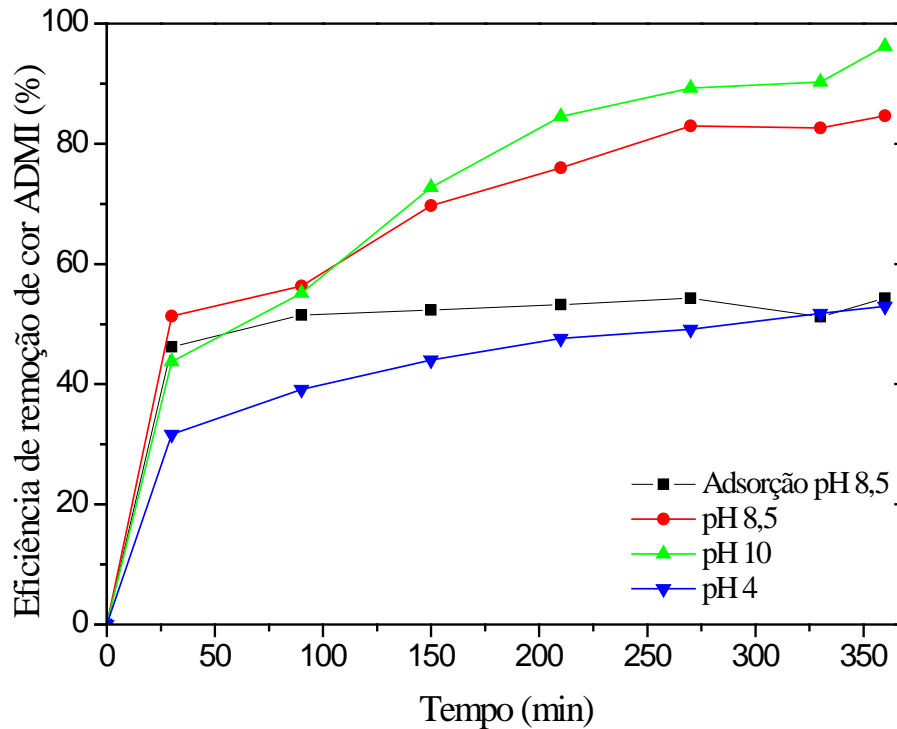


Figura 24 - Remoção de cor ADMI do efluente secundário de uma fábrica têxtil durante a fotocatalise com HT/Fe/TiO₂ 4:4. (2 g/L de HT/Fe/TiO₂, radiação UV-visível, adsorção sem radiação).

Em pH 8,5 conseguiu-se elevada eficiência de remoção de cor ADMI, de 85% em 6 h, porém, em pH 10 a eficiência para o mesmo tempo foi de 96%. Como já mencionado no item 5.5.3, em meio básico houve maior produção de radicais hidroxila, devido à maior concentração de hidróxidos (OH), resultando em elevada eficiência da fotocatalise (ALATON; BALCIOGLU, 2001). Como o compósito HT/Fe/TiO₂ 4:4 continha hidrotalcita, mesmo em pH maior que seu pHP_{CZ} houve adsorção de compostos aniônicos e a eficiência em pH 10 foi maior que a obtida pelo TiO₂, pois para esse último, devido ao seu pHP_{CZ}, a adsorção foi muito baixa (Figura 19).

5.5.7 Mineralização do efluente

A mineralização do efluente foi avaliada em função da remoção de COD (Figura 25). Após 360 min de reação com HT/Fe/TiO₂ 4:4, a remoção de cor ADMI foi 96% e a de

DQO foi de 20% enquanto a remoção de COD foi menor que 10%. As baixas remoções de DQO e COD também foram observadas para TiO_2 não modificado, cuja remoção de DQO atingiu 20% com apenas 90 min, a partir do qual não se obteve ganho na eficiência. A DQO e o COD iniciais do efluente secundário eram de 63 mg/L e 25,7 mg/L, respectivamente, valores relativamente baixos, sendo provável que a maior parte dessa carga orgânica fosse de compostos recalcitrantes, levando à maior dificuldade em se atingirem elevadas eficiências de remoção de DQO e COD pela fotodegradação. Além disso, os compostos intermediários produzidos nos primeiros 90 min podem ter sido de degradação mais difícil, mesmo que se tenha conseguido elevada descoloração do efluente. Tem sido reportado que a descoloração pode ser conseguida rapidamente, quando comparada ao tempo necessário para a completa mineralização do efluente (BERGAMINI; AZEVEDO; ARAÚJO, 2009).

Mesmo com o menor conteúdo de TiO_2 no compósito HT/Fe/ TiO_2 4:4, em relação à mesma massa de catalisador utilizada, a remoção de cor ADMI, DQO e COD não foi prejudicada, o que mostra a elevada aplicabilidade do compósito à base de hidrotalcita, ferro e dióxido de titânio no tratamento de efluente têxtil.

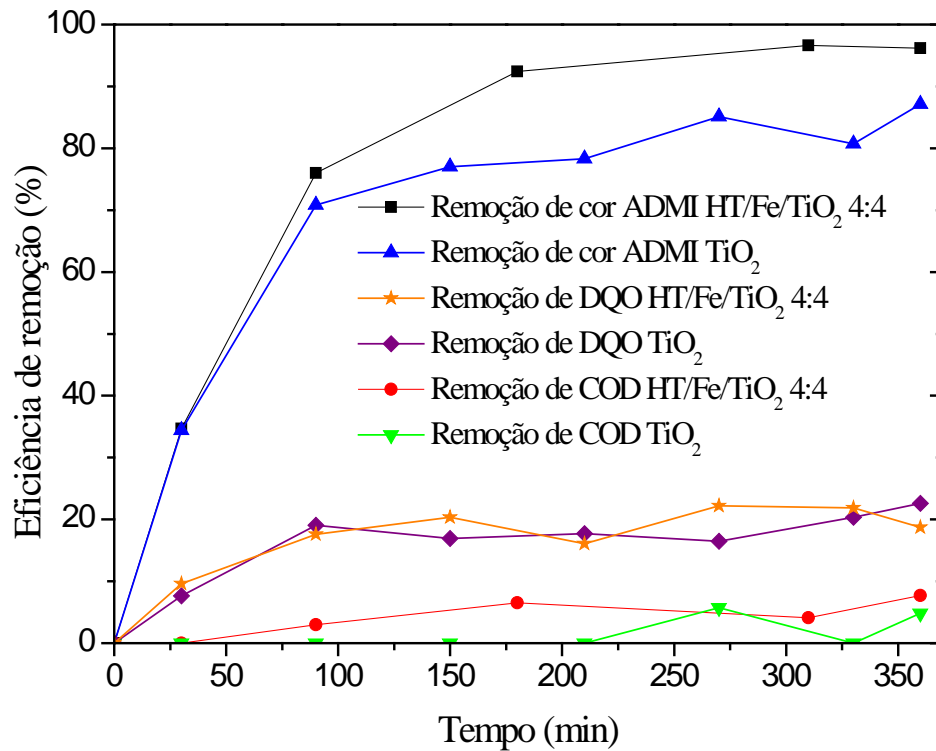


Figura 25 - Remoção de cor ADMI, DQO e COD na fotocatalise com TiO₂ e HT/Fe/TiO₂ 4:4. (2 g/L do catalisador, pH 10, radiação UV-visível).

5.5.8 Mecanismo de degradação

Na presença de 2-propanol (0,1M), um sequestrador de radicais hidroxila, houve pouca remoção de cor ADMI durante a fotocatalise com HT/Fe/TiO₂ 4:4 (Figura 26), sendo apenas um pouco melhor que a fotólise, evidência de que os radicais hidroxila foram responsáveis pela maior parte da descoloração do efluente (CHANG et al., 2014). Dessa forma, ficou comprovado que em pH 10 a remoção de cor ADMI foi maior devido à maior geração de radicais hidroxila.

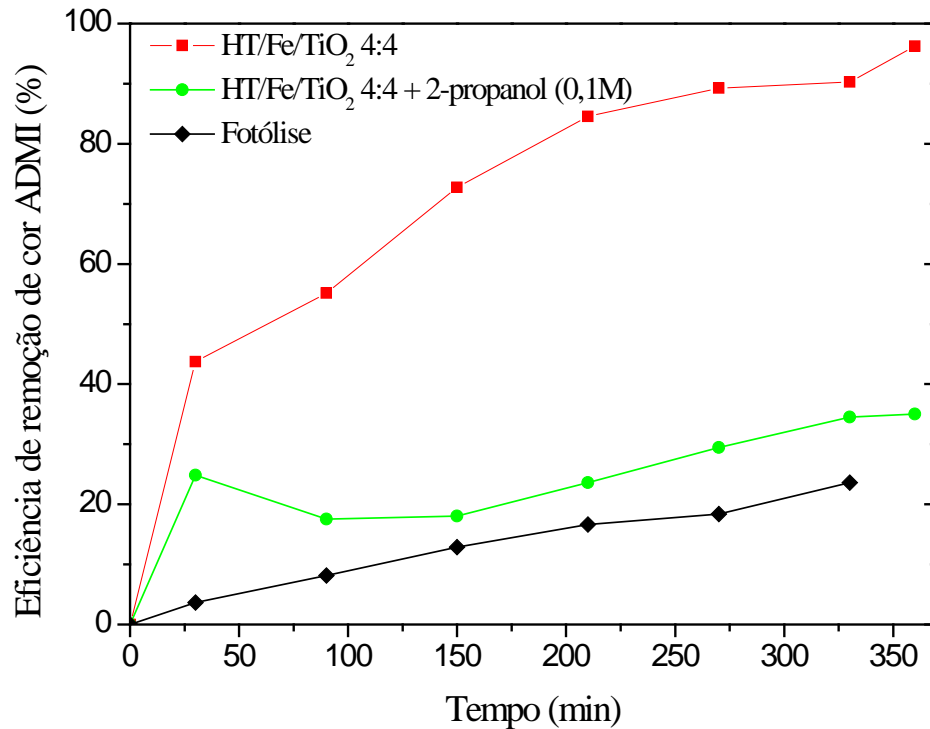


Figura 26 - Remoção de cor ADMI por HT/Fe/TiO₂ 4:4, HT/Fe/TiO₂ 4:4 + 2-propanol (0,1 M) e fotólise. (2 g/L de HT/Fe/TiO₂, pH 10, radiação UV-visível).

5.5.9 Reúso e recuperação do compósito HT/Fe/TiO₂ 4:4

O compósito HT/Fe/TiO₂ 4:4 foi usado em cinco ciclos de fotocatalise, com duração de 6 h sob radiação UV-visível em cada ciclo. A eficiência de remoção de cor ADMI reduziu de 96% para 79% no quinto ciclo (Figura 27), ainda suficiente para manter a cor ADMI remanescente de 52 (ADMI), abaixo do limite de 75 UC, permitido pela legislação mineira. Foi possível recuperar 98,3% do catalisador HT/Fe/TiO₂ 4:4 após a fotocatalise. A recuperação de fotocatalisadores é um fator importante, pois tende a reduzir custos e gerar menor quantidade de resíduos no processo fotocatalítico. Além disso, demonstra a boa estabilidade do fotocatalisador, que não foi degradado durante o processo.

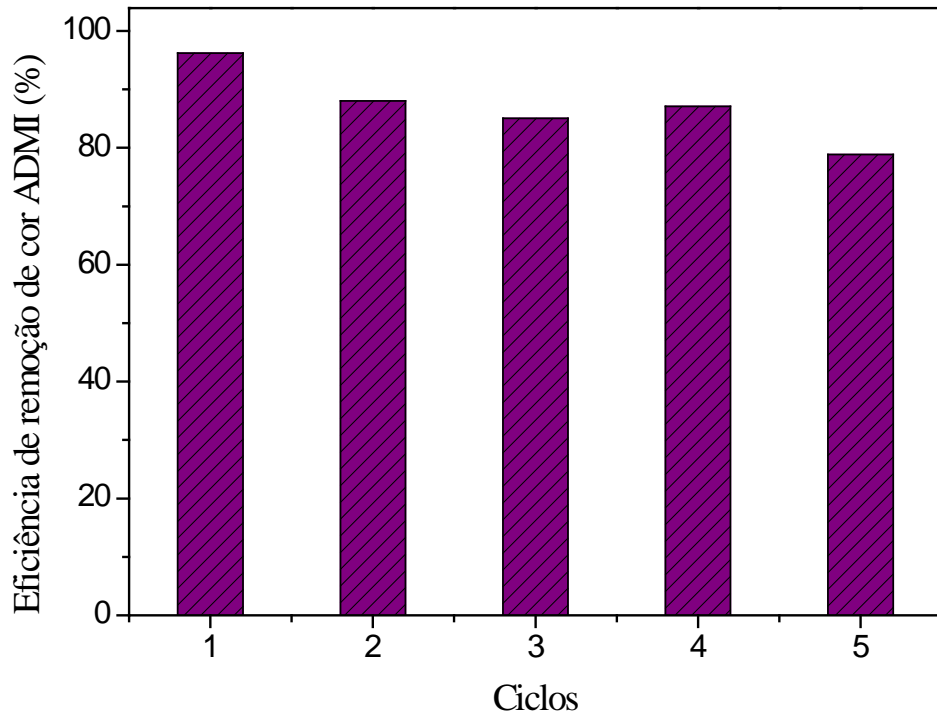


Figura 27 - Remoção de cor ADMI durante 5 ciclos consecutivos de reúso do catalisador HT/Fe/TiO₂ 4:4. (Concentração de catalisador de 2 g/L e pH 10, 6 h de radiação UV-visível por ciclo).

O espectro do infravermelho (Figura 28) do catalisador após o reúso indica que os corantes adsorvidos ao material foram degradados. Os difratogramas de raios X (Figura 29) mostram que a estrutura do compósito foi mantida e as características do TiO₂ e dos óxidos de ferro foram preservadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Miranda et al. (2015) na fotodegradação de azul de metileno, utilizando HT/Fe/TiO₂ 3:4.

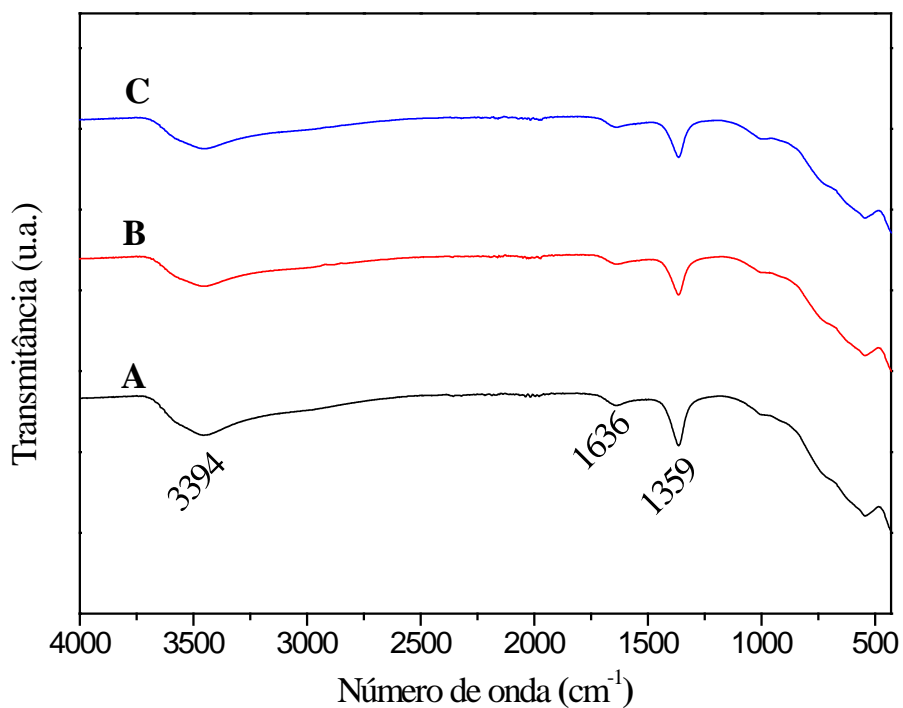


Figura 28 - Espectro de IV: (A) HT/Fe/TiO₂ 4:4, (B) HT/Fe/TiO₂ 4:4 após o primeiro ciclo de 6h de radiação UV-visível, (C) HT/Fe/TiO₂ 4:4 após 5 ciclos de 6 h de radiação UV-visível.

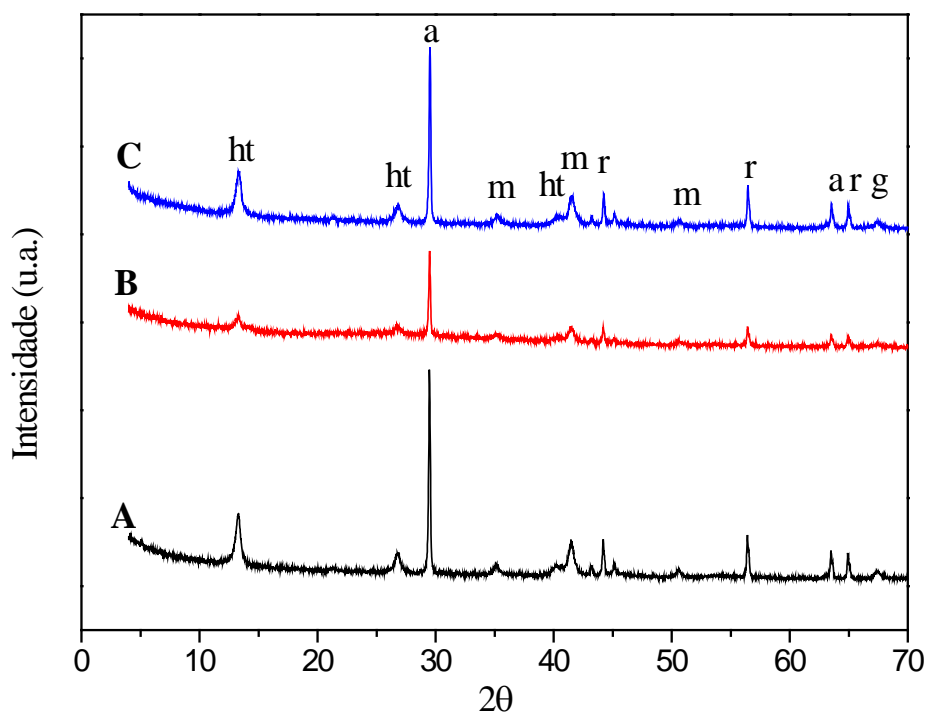


Figura 29 - Difratoogramas de raios X: (A) HT/Fe/TiO₂ 4:4, (B) HT/Fe/TiO₂ 4:4 após o primeiro ciclo de 6h de radiação UV-visível, (C) HT/Fe/TiO₂ 4:4 após 5 ciclos de 6 h de radiação UV-visível.

As imagens de MEV do compósito HT/Fe/TiO₂ 4:4 sem uso na fotocatalise (Figura 30A) e após 5 ciclos fotocatalíticos de 6 h (Figura 30B) mostram que a morfologia do compósito se manteve com aspecto esponjoso e, juntamente com os resultados de raios X e IV, confirmam a estabilidade do catalisador.

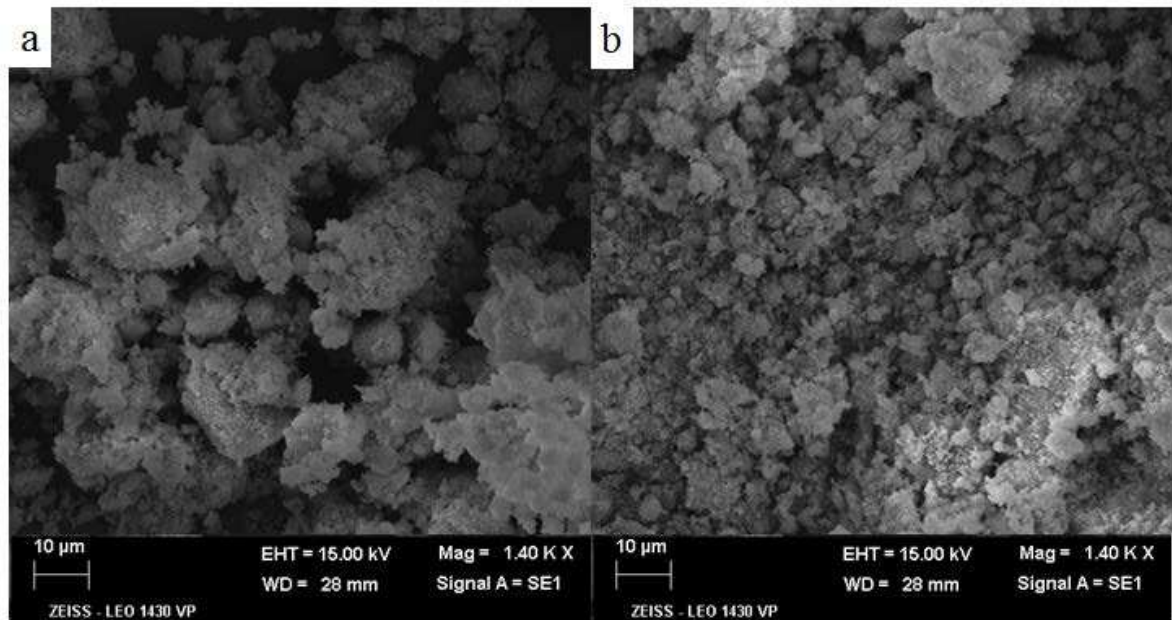


Figura 30 - Imagens de MEV: (a) HT/Fe/TiO₂ 4:4 e (b) HT/Fe/TiO₂ 4:4 após 5 ciclos de 6 h sob radiação UV-visível.

5.6 Toxicidade

O efluente secundário da fábrica têxtil apresentou baixa toxicidade a *D. similis* e após a fotocatalise com TiO₂ e com HT/Fe/TiO₂ 4:4 a toxicidade diminuiu ainda mais, devido à degradação de corantes tóxicos aos organismos-teste (Tabela 18). Uma das maiores preocupações em relação aos processos oxidativos avançados é a formação de subprodutos intermediários ainda mais tóxicos que os compostos iniciais devido à incompleta mineralização (RIZZO et al., 2009). TiO₂ demonstrou melhor desempenho que o compósito HT/Fe/TiO₂ 4:4 em termos de redução da toxicidade aguda, mesmo com eficiências similares de remoção de DQO. De qualquer forma, o efluente terciário ficou

menos tóxico, demonstrando o elevado potencial do compósito sintetizado nesse trabalho e a não formação de subprodutos tóxicos.

Tabela 18 - Toxicidade aguda do efluente têxtil antes e após a fotocatalise

Amostra	CE₅₀(%)	UT	Remoção (%)
Efluente secundário	70,7	1,4	-
Efluente secundário - Pós fotocatalise TiO ₂	95,0	1,1	25,6
Efluente secundário - Pós fotocatalise HT/Fe/TiO ₂ 4:4	78,6	1,3	10,0

6 CONCLUSÃO

A fotocatalise heterogênea se mostrou uma alternativa tecnicamente viável para a remoção de cor do efluente têxtil secundário.

Houve maior remoção dos corantes a cuba do que os reativos durante o tratamento biológico, porém não se sabe se a remoção ocorreu por biodegradação ou adsorção ao lodo, devido à insolubilidade desses corantes. Os corantes reativos foram pouco degradados durante o tratamento biológico, uma indicação de que mesmo após o tratamento biológico, ainda podem permanecer no efluente.

A maior remoção de cor ADMI do efluente secundário na fotocatalise com TiO_2 não modificado foi observada em pH 4 e 2 g/L de TiO_2 . O melhor compósito foi o HT/Fe/ TiO_2 4:4 e a maior remoção de cor ADMI foi em pH 10, sendo os radicais hidroxilas, os principais responsáveis pela degradação dos corantes.

O compósito HT/Fe/ TiO_2 4:4 foi mais eficiente que TiO_2 não modificado para a remoção de cor ADMI, com eficiências de 96% e 88%, respectivamente. A remoção de DQO foi de cerca de 20% e a de COD foi menor que 10%, para os dois catalisadores, após 6 h sob radiação UV-visível. Esses resultados mostraram que o compósito não teve seu desempenho prejudicado, mesmo com o menor teor de TiO_2 em sua composição.

O efluente secundário apresentou reduzida toxicidade aguda e o tratamento por fotocatalise não o tornou mais tóxico, mas a reduziu em 25,6% para TiO_2 e 10% para HT/Fe/ TiO_2 4:4, após 6 h sob radiação UV-visível.

7 SUGESTÕES

Diante dos resultados encontrados, sugere-se investigar os produtos formados na fotodegradação, como ácidos carboxílicos. Para o seu lançamento no curso d'água, avaliar se houve aumento da biodegradabilidade do efluente após a fotocatalise.

Avaliar o reúso do efluente após a fotocatalise na própria fábrica têxtil, visando à redução de custos com captação e tratamento de água.

Como a melhor proporção Fe:Ti foi a 4:4, a maior testada nesse trabalho, recomenda-se aumentar a proporção, uma vez que proporções maiores podem ser ainda melhores. Recomenda-se também utilizar aceptores de elétrons como H_2O_2 , $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ e O_3 e avaliar se há aumento da taxa de degradação.

Estudos de interferentes como SS, CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^- e NO_3^- poderiam ser realizados para avaliar o efeito das concentrações desses parâmetros na taxa de degradação.

O tratamento do efluente secundário da fábrica têxtil por fotocatalise com HT/Fe/TiO₂ pode ser realizado com a utilização de radiação solar a fim de reduzir custos com energia elétrica.

REFERÊNCIAS

- ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confecção. Cartilha Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira. Brasília, Distrito Federal, 2013.
- ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confecção. Setor Têxtil e de Confecção: Momento Atual e Agenda de Trabalho. Brasília, Distrito Federal, 2015.
- ADAMEK, E. et al. The Comparison of Photocatalytic Degradation and Decolorization Processes of Dyeing Effluents. **International Journal of Photoenergy**, v. 2013, p. 1–11, 2013.
- AHMED, M. A.; EL-KATORI, E. E.; GHARNI, Z. H. Photocatalytic degradation of methylene blue dye using Fe₂O₃/TiO₂ nanoparticles prepared by sol–gel method. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 553, p. 19–29, 2013.
- AHMED, S. et al. Influence of parameters on the heterogeneous photocatalytic degradation of pesticides and phenolic contaminants in wastewater: A short review. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 3, p. 311–330, 2011a.
- AHMED, S. et al. Advances in Heterogeneous Photocatalytic Degradation of Phenols and Dyes in Wastewater: A Review. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 215, p. 3–29, 2011b.
- AJMAL, A. et al. Principles and mechanisms of photocatalytic dye degradation on TiO₂ based photocatalysts: a comparative overview. **RSC Advances**, v. 4, n. 70, p. 37003, 5 ago. 2014.
- AJMAL, A. et al. Photocatalytic degradation of textile dyes on Cu₂O-CuO/TiO₂ anatase powders. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 2, p. 2138–2146, 2016.
- AKPAN, U. G.; HAMEED, B. H. Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO₂-based photocatalysts: A review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, p. 520–529, 2009.
- ALATON, I. A.; BALCIOGLU, I. A. Photochemical and heterogeneous photocatalytic degradation of waste vinylsulphone dyes: a case study with hydrolysed Reactive Black 5. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 141, p. 247–254, 2001.
- ALINSAFI, A. et al. Treatment of textile industry wastewater by supported photocatalysis. **Dyes and Pigments**, v. 74, n. 2, p. 439–445, 2007.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th edition. New York: APHA, AWWA, WPCF. 1995.

ANTIC, Ž. et al. Multisite luminescence of rare earth doped TiO₂ anatase nanoparticles. **Materials Chemistry and Physics**, v. 135, p. 1064–1069, 2012.

ARABZADEH, A.; SALIMI, A. One dimensional CdS nanowire@TiO₂ nanoparticles core-shell as high performance photocatalyst for fast degradation of dye pollutants under visible and sunlight irradiation. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 479, p. 43–54, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12713**: Ecotoxicologia aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia* spp (Crustacea, Cladocera). Rio de Janeiro, 2009. 23 p.

ATTIA, A. J.; KADHIM, S. H.; HUSSEIN, F. H. Photocatalytic degradation of textile dyeing wastewater using titanium dioxide and zinc oxide. **Journal of Chemistry**, v. 5, n. 2, p. 219–223, 2008.

BA-ABBAD, M. M. et al. Synthesis and catalytic activity of TiO₂ nanoparticles for photochemical oxidation of concentrated chlorophenols under direct solar radiation. **Int. J. Electrochem. Sci**, v. 7, p. 4871–4888, 2012.

BAFANA, A.; DEVI, S. S.; CHAKRABARTI, T. Azo dyes: past, present and the future. **Environmental Reviews**, v. 19, n. NA, p. 350–371, 2011.

BARAKAT, M. A. Adsorption and photodegradation of Procion yellow H-EXL dye in textile wastewater over TiO₂ suspension. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 5, n. 2, p. 137–142, jun. 2011.

BARAKAT, N. A. M. et al. Influence of temperature on the photodegradation process using Ag-doped TiO₂ nanostructures: Negative impact with the nanofibers. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, v. 366, p. 333–340, 2013.

BARAN, W.; MAKOWSKI, A.; WARDAS, W. The influence of FeCl₃ on the photocatalytic degradation of dissolved azo dyes in aqueous TiO₂ suspensions. **Chemosphere**, v. 53, n. 1, p. 87–95, out. 2003.

BARKA, N. et al. Factors influencing the photocatalytic degradation of Rhodamine B by TiO₂-coated non-woven paper. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 195, p. 346–351, 2008.

BENALIOUA, B. et al. The layered double hydroxide route to Bi–Zn co-doped TiO₂ with high photocatalytic activity under visible light. **Journal of Hazardous Materials**, v. 288, p. 158–167, 2015.

BERGAMINI, R. B. M.; AZEVEDO, E. B.; ARAÚJO, L. R. R. DE. Heterogeneous photocatalytic degradation of reactive dyes in aqueous TiO₂ suspensions: Decolorization kinetics. **Chemical Engineering Journal**, v. 149, p. 215–220, 2009.

BERGAMONTI, L. et al. Synthesis and characterization of nanocrystalline TiO₂ with application as photoactive coating on stones. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 23, p. 13264–13277, dez. 2014.

BESSEKHOUD, Y. et al. UV–vis versus visible degradation of Acid Orange II in a coupled CdS/TiO₂ semiconductors suspension. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 183, p. 218–224, 2006.

BESSEKHOUD, Y.; ROBERT, D.; WEBER, J.-V. Photocatalytic activity of Cu₂O/TiO₂, Bi₂O₃/TiO₂ and ZnMn₂O₄/TiO₂ heterojunctions. **Catalysis Today**, v. 101, p. 315–321, abr. 2005.

BIAN, X. et al. Magnetically separable hybrid CdS–TiO₂–Fe₃O₄ nanomaterial: Enhanced photocatalytic activity under UV and visible irradiation. **Applied Surface Science**, v. 280, p. 349–353, 2013.

BIZANI, E. et al. Photocatalytic decolorization and degradation of dye solutions and wastewaters in the presence of titanium dioxide. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 1, p. 85–94, 2006.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Relação Anual de Informações Sociais – RAIS. Disponível em: < <http://pdet.mte.gov.br/anuario-rais>>. Acesso em: 27 de novembro de 2016.

BURATINI, S. V.; BERTOLETTI, E.; ZAGATTO, P. A. Evaluation of Daphnia similis as a Test Species in Ecotoxicological Assays. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 73, n. 5, p. 878–882, nov. 2004.

BYBERG, R. et al. Comparison of photocatalytic degradation of dyes in relation to their structure. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 20, n. 6, p. 3570–3581, 2013.

CARDOSO, J. C.; BESSEGATO, G. G.; BOLDRIN ZANONI, M. V. Efficiency comparison of ozonation, photolysis, photocatalysis and photoelectrocatalysis methods in real textile wastewater decolorization. **Water Research**, v. 98, p. 39–46, 2016.

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. **Anais**. InTech: Croácia, 2012. Disponível em: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/29369/InTech-Textile_organic_dyes_characteristics_polluting_effects_and_separation_elimination_procedures_from_industrial_effluents_a_critical_overview.pdf>. Acesso em: 30/12/2016.

CHAKER, H. et al. Photocatalytic degradation of methyl orange and real wastewater by silver doped mesoporous TiO₂ catalysts. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 318, p. 142–149, mar. 2016.

CHAN, C.-C. et al. Photocatalytic activities of Pd-loaded mesoporous TiO₂ thin films. **Chemical Engineering Journal**, v. 152, p. 492–497, 2009.

CHANDRABOSS, V. L.; KAMALAKKANNAN, J.; SENTHILVELAN, S. Synthesis of activated charcoal supported Bi-doped TiO₂ nanocomposite under solar light irradiation for enhanced photocatalytic activity. **Applied Surface Science**, v. 387, p. 944–956, 2016.

CHANG, F. et al. Fabrication, characterization, and photocatalytic performance of exfoliated g-C₃N₄-TiO₂ hybrids. **Applied Surface Science**, v. 311, p. 574–581, 2014.

CHARANPAHARI, A. et al. Enhanced photocatalytic activity of multi-doped TiO₂ for the degradation of methyl orange. **Applied Catalysis A: General**, v. 443–444, p. 96–102, 2013.

CHEBLI, D. et al. Supported photocatalysis as a pre-treatment prior to biological degradation for the removal of some dyes from aqueous solutions; Acid Red 183, Biebrich Scarlet, Methyl Red Sodium Salt, Orange II. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 85, p. 555–563, 2010.

CHEN, D.; ZHU, H.; WANG, X. A facile method to synthesize the photocatalytic TiO₂/montmorillonite nanocomposites with enhanced photoactivity. **Applied Surface Science**, v. 319, p. 158–166, 2014.

CHEN, F.; ZHAO, J.; HIDAHA, H. Adsorption factor and photocatalytic degradation of dye-constituent aromatics on the surface of TiO₂ in the presence of phosphate anions. **Research on Chemical Intermediates**, v. 29, n. 7–9, p. 733–748, 2003.

CHEN, K. T. et al. Comparison of photodegradative efficiencies and mechanisms of Victoria Blue R assisted by Nafion-coated and fluorinated TiO₂ photocatalysts. **Journal of Hazardous Materials**, v. 174, p. 598–609, 2010.

CHONG, M. N. et al. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review. **Water Research**, v. 44, p. 2997–3027, 2010.

ÇİFÇİ, D. I.; MERİÇ, S. Optimization of suspended photocatalytic treatment of two biologically treated textile effluents using TiO₂ and ZnO catalysts. **Global NEST Journal**, v. 17, n. 4, p. 653–663, 2015.

CIRFS - International Rayon and Synthetic Fibres Committee. World Man-Made Fibres Production. 2016. Disponível em: <<http://www.cirfs.org/KeyStatistics/WorldManMadeFibresProduction.aspx>>. Acesso em: 12/09/2016.

COLLAZZO, G. C. et al. Degradation of Direct Black 38 dye under visible light and sunlight irradiation by N-doped anatase TiO₂ as photocatalyst. **Journal of Environmental Management**, v. 98, p. 107–111, 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Brasília, Distrito Federal. 2005.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, do CONAMA. Brasília, DF. 2011.

CONCEIÇÃO, L. DA et al. Compósitos magnéticos baseados em hidrotalcitas para a remoção de contaminantes aniônicos em água. **Química Nova**, v. 30, p. 1077–1081, 2007.

COPAM/CERH-MG - Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais / Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. Deliberação Normativa Conjunta nº 1, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Belo Horizonte, MG. 2005.

COSTA, C. R. et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820–1830, 2008.

DA COSTA, E.; ZAMORA, P. P.; ZARBIN, A. J. G. Novel TiO₂/C nanocomposites: Synthesis, characterization, and application as a photocatalyst for the degradation of organic pollutants. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 368, n. 1, p. 121–127, 2012.

DA MOTTA, M. et al. UV/TiO₂ photocatalytic reactor for real textile wastewaters treatment. **Water Science & Technology**, v. 70, n. 10, p. 1670, nov. 2014.

DA SILVA LEITE, L. et al. Monitoring ecotoxicity of disperse red 1 dye during photo-Fenton degradation. **Chemosphere**, v. 148, p. 511–517, abr. 2016.

DAS, L.; BASU, J. K. Photocatalytic treatment of textile effluent using titania–zirconia nano composite catalyst. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 24, p. 245–250, abr. 2015.

DE LUNA, L. A. V. et al. Aquatic toxicity of dyes before and after photo-Fenton treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 276, p. 332–338, jul. 2014.

DE MORAES, S. G.; FREIRE, R. S.; DURAN, N. Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonation processes. **Chemosphere**, v. 40, n. 4, p. 369–373, 2000.

DENKBAŞ, E. B. et al. Magnetic chitosan microspheres: preparation and characterization. **Reactive and Functional Polymers**, v. 50, n. 3, p. 225–232, 2002.

DONG, H. et al. An overview on limitations of TiO₂-based particles for photocatalytic degradation of organic pollutants and the corresponding countermeasures. **Water Research**, v. 79, p. 128–146, 2015.

DOS SANTOS, A. B.; CERVANTES, F. J.; VAN LIER, J. B. Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: Perspectives for anaerobic biotechnology. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 2369–2385, 2007.

EL-BAHY, Z. M.; ISMAIL, A. A.; MOHAMED, R. M. Enhancement of titania by doping rare earth for photodegradation of organic dye (Direct Blue). **Journal of Hazardous Materials**, v. 166, n. 1, p. 138–143, 2009.

EVGENIDOU, E.; FYTIANOS, K.; POULIOS, I. Photocatalytic oxidation of dimethoate in aqueous solutions. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 175, n. 1, p. 29–38, 2005.

FERRAZ, E. R. A.; GRANDO, M. D.; OLIVEIRA, D. P. The azo dye Disperse Orange 1 induces DNA damage and cytotoxic effects but does not cause ecotoxic effects in *Daphnia similis* and *Vibrio fischeri*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 192, n. 2, p. 628–633, ago. 2011.

FIEMG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais. Guia Técnico Ambiental da Indústria Têxtil. Belo Horizonte, MG, 2003.

GAD-ALLAH, T. A. et al. Treatment of synthetic dyes wastewater utilizing a magnetically separable photocatalyst (TiO₂/SiO₂/Fe₃O₄): Parametric and kinetic studies. **Desalination**, v. 244, p. 1–11, 2009.

GAO, B.-Y. et al. Color removal from dye-containing wastewater by magnesium chloride. **Journal of Environmental Management**, v. 82, n. 2, p. 167–172, 2007.

GARCIA, J. et al. Comparative study of the degradation of real textile effluents by photocatalytic reactions involving UV/TiO₂/H₂O₂ and UV/Fe²⁺/H₂O₂ systems. **Journal of Hazardous Materials**, v. 147, n. 1–2, p. 105–110, 17 ago. 2007.

GARCIA, J. C. et al. Evolutive follow-up of the photocatalytic degradation of real textile effluents in TiO₂ and TiO₂/H₂O₂ systems and their toxic effects on *Lactuca sativa* seedlings. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 9, p. 1589–1597, 2009.

GAYA, U. I.; ABDULLAH, A. H. Heterogeneous photocatalytic degradation of organic contaminants over titanium dioxide: A review of fundamentals, progress and problems. **Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews**, v. 9, n. 1, p. 1–12, 2008.

GHALY, A. et al. Production, Characterization and Treatment of Textile Effluents: A Critical Review. **Journal of Chemical Engineering & Process Technology**, v. 5, n. 1, 2014.

GHASEMI, S. et al. Transition metal ions effect on the properties and photocatalytic activity of nanocrystalline TiO₂ prepared in an ionic liquid. **Journal of Hazardous Materials**, v. 172, p. 1573–1578, 2009.

GUESH, K. et al. Enhanced photocatalytic activity of TiO₂ supported on zeolites tested in real wastewaters from the textile industry of Ethiopia. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 225, p. 88–97, maio 2016.

GUILLARD, C. et al. Influence of chemical structure of dyes, of pH and of inorganic salts on their photocatalytic degradation by TiO₂ comparison of the efficiency of powder and supported TiO₂. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 158, n. 1, p. 27–36, 2003.

GÜMÜŞ, D.; AKBAL, F. Photocatalytic Degradation of Textile Dye and Wastewater. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 216, n. 1–4, p. 117–124, mar. 2011.

HABIB, A. et al. Synthesis and characterization of ZnO-TiO₂ nanocomposites and their application as photocatalysts. **International Nano Letters**, v. 3, p. 1–8, 2013.

HAN, F. et al. Tailored titanium dioxide photocatalysts for the degradation of organic dyes in wastewater treatment: A review. **Applied Catalysis A: General**, v. 359, p. 25–40, 2009.

HARIFI, T.; MONTAZER, M. A novel magnetic reusable nanocomposite with enhanced photocatalytic activities for dye degradation. **Separation and Purification Technology**, v. 134, p. 210–219, 2014.

HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, A.; MEDINA-RAMÍREZ, I. (EDS.). **Photocatalytic Semiconductors**. 1. ed. Switzerland: Springer, 2015.

HERRMANN, J.-M. Water treatment by heterogeneous photocatalysis. **Catalytic Science Series**, v. 1, p. 171–194, 1999.

HERRMANN, J.-M. Heterogeneous photocatalysis: state of the art and present applications. **Topics in Catalysis**, v. 34, n. 1–4, p. 49–65, 2005.

HOFFMANN, M. R. et al. Environmental applications of semiconductor photocatalysis. **Chemical reviews**, v. 95, n. 1, p. 69–96, 1995.

HOSSEINI, S. M. B.; FALLAH, N.; ROYAEE, S. J. Optimization of photocatalytic degradation of real textile dye house wastewater by response surface methodology. **Water Science and Technology**, v. 74, n. 9, p. 1999–2009, 14 nov. 2016.

HU, C. et al. Ag/AgBr/TiO₂ Visible Light Photocatalyst for Destruction of Azodyes and Bacteria. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 110, n. 9, p. 4066–4072, 2006.

HUANG, Z. et al. Enhancement of photocatalytic degradation of dimethyl phthalate with nano-TiO₂ immobilized onto hydrophobic layered double hydroxides: A mechanism study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 246–247, p. 70–78, 2013.

HUSSEIN, F. H. Comparison between Solar and Artificial Photocatalytic Decolorization of Textile Industrial Wastewater. **International Journal of Photoenergy**, v. 2012, p. 1–10, 2012.

HUSSEIN, F. H. Effect of Photocatalytic Treatments on Physical and Biological Properties of Textile Dyeing Wastewater. **Asian Journal of Chemistry**, v. 25, n. 16, 2013a.

HUSSEIN, F. H. Chemical Properties of Treated Textile Dyeing Wastewater. **Asian Journal of Chemistry**, v. 25, n. 16, 2013b.

IEMI - Inteligência de Mercado. IEMI lança Relatório Setorial da Indústria Têxtil Brasileira. São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: < <http://www.iemi.com.br/press-release-iemi-lanca-relatorio-setorial-da-industria-textil-brasileira-2/>> Acesso em: 26/01/2017.

IPPC. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry, 2003.

JAISWAL, R. et al. Improved visible light photocatalytic activity of TiO₂ co-doped with Vanadium and Nitrogen. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 126, p. 47–54, 2012.

JAISWAL, R. et al. Efficient Co-B-codoped TiO₂ photocatalyst for degradation of organic water pollutant under visible light. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 183, p. 242–253, 2016.

JANUS, M.; KUSIAK, E.; MORAWSKI, A. W. Carbon Modified TiO₂ Photocatalyst with Enhanced Adsorptivity for Dyes from Water. **Catalysis Letters**, v. 131, p. 506–511, 2009.

JIMÉNEZ, M. et al. Supported TiO₂ solar photocatalysis at semi-pilot scale: degradation of pesticides found in citrus processing industry wastewater, reactivity and influence of photogenerated species: Supported TiO₂ solar photocatalysis at semi-pilot scale. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 90, n. 1, p. 149–157, jan. 2015.

JÚNIOR, H. M. et al. Evaluation of genotoxicity and toxicity of water and sediment samples from a Brazilian stream influenced by tannery industries. **Chemosphere**, v. 67, n. 6, p. 1211–1217, abr. 2007.

KAO, C. M. et al. Regulating colored textile wastewater by 3/31 wavelength ADMI methods in Taiwan. **Chemosphere**, v. 44, n. 5, p. 1055–1063, 2001.

KHANNA, A.; SHETTY, V. Solar photocatalysis for treatment of Acid Yellow-17 (AY-17) dye contaminated water using Ag@TiO₂ core-shell structured nanoparticles. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 20, n. 8, p. 5692–5707, 2013.

KHANNA, A.; SHETTY, V. K. Solar light induced photocatalytic degradation of Reactive Blue 220 (RB-220) dye with highly efficient Ag@TiO₂ core-shell nanoparticles: A comparison with UV photocatalysis. **Solar Energy**, v. 99, p. 67–76, 2014.

KHATRI, A. et al. A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 50–57, 2015.

KIM, T.-H. et al. Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and Fenton oxidation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 112, p. 95–103, 2004.

KULKARNI, M.; THAKUR, P. Photocatalytic Degradation of Real Textile Industrial Effluent under UV Light Catalyzed by Metal Oxide Nanoparticles. **Nepal Journal of Science and Technology**, v. 15, n. 2, p. 105–110, 2015.

KUO, C.-Y. Convenient dye-degradation mechanisms using UV/TiO₂/carbon nanotubes process. **Journal of Hazardous Materials**, v. 163, n. 1, p. 239–244, 2009.

KUO, Y.-L. et al. A study of parameter setting and characterization of visible-light driven nitrogen-modified commercial TiO₂ photocatalysts. **Journal of Hazardous Materials**, v. 190, p. 938–944, 2011.

LAHKIMI, A. et al. Removal of textile dyes from water by the electro-Fenton process. **Environmental Chemistry Letters**, v. 5, n. 1, p. 35–39, 2007.

LAM, S.-M.; SIN, J.-C.; MOHAMED, A. R. Parameter effect on photocatalytic degradation of phenol using TiO₂-P25/activated carbon (AC). **Korean Journal of Chemical Engineering**, v. 27, n. 4, p. 1109–1116, 2010.

LARUMBE, S.; MONGE, M.; GÓMEZ-POLO, C. Comparative study of (N, Fe) doped TiO₂ photocatalysts. **Applied Surface Science**, v. 327, p. 490–497, feb. 2015.

LEE, H. U. et al. Efficient visible-light responsive TiO₂ nanoparticles incorporated magnetic carbon photocatalysts. **Chemical Engineering Journal**, v. 240, p. 91–98, 2014.

LEE, S. S. et al. Novel-structured electrospun TiO₂/CuO composite nanofibers for high efficient photocatalytic cogeneration of clean water and energy from dye wastewater. **Water Research**, v. 47, n. 12, p. 4059–4073, ago. 2013.

LEUSCH, F.; CHAPMAN, H. The role of toxicity testing in identifying toxic substances: A framework for identification of suspected toxic compounds in water. **Griffith University**, 2012.

LI, C.-J. et al. A novel magnetically separable TiO₂/CoFe₂O₄ nanofiber with high photocatalytic activity under UV–vis light. **Materials Research Bulletin**, v. 47, n. 2, p. 333–337, 2012.

LI, M. et al. A thermally stable mesoporous ZrO₂–CeO₂–TiO₂ visible light photocatalyst. **Chemical Engineering Journal**, v. 229, p. 118–125, 2013.

- LIANG, C. et al. The effect of Praseodymium on the adsorption and photocatalytic degradation of azo dye in aqueous Pr^{3+} - TiO_2 suspension. **Chemical Engineering Journal**, v. 147, p. 219–225, 2009.
- LIMA, R. O. A. DE et al. Mutagenic and carcinogenic potential of a textile azo dye processing plant effluent that impacts a drinking water source. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 626, p. 53–60, 2007.
- LIN, J. X.; WANG, L.; SUN, C. Photocatalytic Degradation of Dyes Using TiO_2 - Supported Diatomite. **Advanced Materials Research**, v. 441, p. 568–572, 2012.
- LIN, Y.-C.; LEE, H.-S. Effects of TiO_2 coating dosage and operational parameters on a TiO_2/Ag photocatalysis system for decolorizing Procion red MX-5B. **Journal of Hazardous Materials**, v. 179, p. 462–470, 2010.
- LIU, Y. et al. Photocatalytic degradation of azo dyes by nitrogen-doped TiO_2 nanocatalysts. **Chemosphere**, v. 61, n. 1, p. 11–18, 2005.
- LIZAMA, C. et al. Optimized photodegradation of Reactive Blue 19 on TiO_2 and ZnO suspensions. **Catalysis Today**, v. 76, p. 235–246, 2002.
- LUANGDILOK, W.; PANSWAD, T. Effect of chemical structures of reactive dyes on color removal by an anaerobic-aerobic process. **Water science and technology**, v. 42, p. 377–382, 2000.
- MAHESH, K. P. O.; KUO, D.-H. Synthesis of Ni nanoparticles decorated $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ magnetic spheres for enhanced photocatalytic activity towards the degradation of azo dye. **Applied Surface Science**, v. 357, p. 433–438, 2015.
- MANENTI, D. R. et al. Performance evaluation of different solar advanced oxidation processes applied to the treatment of a real textile dyeing wastewater. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 2, p. 833–845, jan. 2015.
- MANTZAVINOS, D.; PSILLAKIS, E. Enhancement of biodegradability of industrial wastewaters by chemical oxidation pre-treatment. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 79, n. 5, p. 431–454, 2004.
- MATHUR, N.; BHATNAGAR, P.; BAKRE, P. Assessing mutagenicity of textile dyes from Pali(Rajasthan) using Ames bioassay. **Applied ecology and environmental research**, v. 4, n. 1, p. 111–118, 2006.
- MATTLE, M. J.; THAMPI, K. R. Photocatalytic degradation of Remazol Brilliant Blue® by sol-gel derived carbon-doped TiO_2 . **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 140–141, p. 348–355, 2013.
- MCLAREN, K. The Adams-Nickerson Colour-difference Formula. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**, v. 86, p. 364–366, 1970.

MELO, E. D. DE et al. Toxicity identification evaluation of cosmetics industry wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 244–245, p. 329–334, jan. 2013.

MENG, Z.-D. et al. Fullerene modification CdS/TiO₂ to enhancement surface area and modification of photocatalytic activity under visible light. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 113–114, p. 141–149, 2012.

MERZOUK, B.; MADANI, K.; SEKKI, A. Using electrocoagulation–electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies. **Desalination**, v. 250, n. 2, p. 573–577, 2010.

MIRANDA, L. D. L. et al. Preparation and evaluation of hydrotalcite-iron oxide magnetic organocomposite intercalated with surfactants for cationic methylene blue dye removal. **Chemical Engineering Journal**, v. 254, p. 88–97, out. 2014.

MIRANDA, L. D. L. et al. Hydrotalcite-TiO₂ magnetic iron oxide intercalated with the anionic surfactant dodecylsulfate in the photocatalytic degradation of methylene blue dye. **Journal of Environmental Management**, v. 156, p. 225–235, 2015.

NARAYANA, R. L. et al. Photocatalytic decolourization of basic green dye by pure and Fe, Co doped TiO₂ under daylight illumination. **Desalination**, v. 269, p. 249–253, 2011.

NEPPOLIAN, B. et al. Solar light induced and TiO₂ assisted degradation of textile dye reactive blue 4. **Chemosphere**, v. 46, n. 8, p. 1173–1181, 2002.

NIKAZAR, M.; GHOLIVAND, K.; MAHANPOOR, K. Photocatalytic degradation of azo dye Acid Red 114 in water with TiO₂ supported on clinoptilolite as a catalyst. **Desalination**, v. 219, p. 293–300, 2008.

NILSSON, R. et al. Asthma, rhinitis, and dermatitis in workers exposed to reactive dyes. **British Journal of Industrial Medicine**, v. 50, n. 1, p. 65–70, 1993.

O'NEILL, C. et al. Azo-dye degradation in an anaerobic-aerobic treatment system operating on simulated textile effluent. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 53, n. 2, p. 249–254, 2000.

PAPADAM, T. et al. Photocatalytic transformation of acid orange 20 and Cr(VI) in aqueous TiO₂ suspensions. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 186, p. 308–315, 2007.

PAREEK, V. et al. Light intensity distribution in heterogenous photocatalytic reactors. **Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering**, v. 3, n. 2, p. 171–201, 2008.

PEKAKIS, P. A.; XEKOUKOULOTAKIS, N. P.; MANTZAVINOS, D. Treatment of textile dyehouse wastewater by TiO₂ photocatalysis. **Water Research**, v. 40, n. 6, p. 1276–1286, 2006.

RAUF, M. A.; MEETANI, M. A.; HISAINDEE, S. An overview on the photocatalytic degradation of azo dyes in the presence of TiO₂ doped with selective transition metals. **Desalination**, v. 276, p. 13–27, 2011.

REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. **The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation**. University of Illionis, , 2004.

RIZZO, L. et al. Degradation of diclofenac by TiO₂ photocatalysis: UV absorbance kinetics and process evaluation through a set of toxicity bioassays. **Water Research**, v. 43, n. 4, p. 979–988, 2009.

ROCHA, O. P. et al. Ecotoxicological risk assessment of the “Acid Black 210” dye. **Toxicology**, v. 376, p. 113–119, 2017.

RUPA, A. V.; VAITHIYANATHAN, R.; SIVAKUMAR, T. Noble metal modified titania catalysts in the degradation of Reactive Black 5: a kinetic approach. **Water Science & Technology**, v. 64, n. 5, p. 1040, 2011.

SAEPURAHMAN; ABDULLAH, M. A.; CHONG, F. K. Preparation and characterization of tungsten-loaded titanium dioxide photocatalyst for enhanced dye degradation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 176, p. 451–458, 2010.

SAHOO, C.; GUPTA, A. K.; PILLAI, I. M. S. Heterogeneous photocatalysis of real textile wastewater: Evaluation of reaction kinetics and characterization. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 47, n. 13, p. 2109–2119, nov. 2012.

SAKTHIVEL, S. et al. Enhancement of photocatalytic activity by metal deposition: characterisation and photonic efficiency of Pt, Au and Pd deposited on TiO₂ catalyst. **Water Research**, v. 38, n. 13, p. 3001–3008, 2004.

SAKTHIVEL, S.; KISCH, H. Daylight Photocatalysis by Carbon-Modified Titanium Dioxide. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 42, n. 40, p. 4908–4911, 20 out. 2003.

SATHISHKUMAR, P. et al. Synthesis of Fe³⁺ doped TiO₂ photocatalysts for the visible assisted degradation of an azo dye. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 375, p. 231–236, 2011.

SCHOEBERL, P. et al. Treatment and recycling of textile wastewater —case study and development of a recycling concept. **Desalination**, v. 171, n. 2, p. 173–183, 2004.

SEFTEL, E. M. et al. New TiO₂/MgAl-LDH Nanocomposites for the Photocatalytic Degradation of Dyes. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 10, p. 1–7, 2010.

SHARMA, M. K.; SOBTI, R. C. Rec effect of certain textile dyes in *Bacillus subtilis*. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 465, n. 1, p. 27–38, 2000.

SIAM- Sistema Integrado de Informação Ambiental. SEMAD- Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/siam/processo/index.jsp?pageheader=null>>. Acesso em 25 de novembro de 2016.

SIRIANUNTAPIBOON, S.; CHAIRATTANAWAN, K.; JUNGPHUNGSUKPANICH, S. Some properties of a sequencing batch reactor system for removal of vat dyes. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1243–1252, 2006.

SOO, C. W. et al. Fe-doped mesoporous anatase-brookite titania in the solar-light-induced photodegradation of Reactive Black 5 dye. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 68, p. 153–161, nov. 2016.

SOOD, S. et al. Efficient photocatalytic degradation of brilliant green using Sr-doped TiO₂ nanoparticles. **Ceramics International**, v. 41, n. 3, p. 3533–3540, 2015.

SOTERO-SANTOS, R. B.; ROCHA, O.; POVINELLI, J. Evaluation of water treatment sludges toxicity using the Daphnia bioassay. **Water Research**, v. 39, n. 16, p. 3909–3917, out. 2005.

SOUZA, R. P. et al. Photocatalytic activity of TiO₂, ZnO and Nb₂O₅ applied to degradation of textile wastewater. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 329, p. 9–17, 2016.

TANG, C.; CHEN, V. The photocatalytic degradation of reactive black 5 using TiO₂/UV in an annular photoreactor. **Water Research**, v. 38, n. 11, p. 2775–2781, 2004.

TOLEDO, T. V. et al. Adsorção de arsênio(V) pelo compósito magnético hidrotalcita - óxido de ferro. **Química Nova**, v. 34, n. 4, p. 561–567, 2011.

TONG, T. et al. Preparation of Fe³⁺-doped TiO₂ catalysts by controlled hydrolysis of titanium alkoxide and study on their photocatalytic activity for methyl orange degradation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 155, n. 3, p. 572–579, 2008.

TÜFEKCI, N.; SIVRI, N.; TOROZ, İ. Pollutants of textile industry wastewater and assessment of its discharge limits by water quality standards. **Turkish journal of fisheries and aquatic sciences**, v. 7, n. 2, 2007.

UNSD - United Nations Statistics Division. 2016. Disponível em: <http://data.un.org/Data.aspx?d=ComTrade&f=_11Code%3a33>. Acesso em: 28/08/2016

USEPA. **Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry**. Environmental Protection Agency, , 1996.

USEPA. **Profile of the textile industry**. Environmental Protection Agency, , 1997.

USEPA. **Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms**. 5. ed. Washington, DC: [s.n.].

VAN DER ZEE, F. P. **Anaerobic azo dye reduction**. Wageningen, The Netherlands: Wageningen University, 2002.

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, 2012.

VERMA, Y. Acute toxicity assessment of textile dyes and textile and dye industrial effluents using *Daphnia magna* bioassay. **Toxicology and Industrial Health**, v. 24, n. 7, p. 491–500, 2008.

VILLEGAS-NAVARRO, A. et al. Determination of Wastewater LC₅₀ of the Different Process Stages of the Textile Industry. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 48, n. 1, p. 56–61, 2001.

WANG, X. et al. Degradation of methyl orange by composite photocatalysts nano-TiO₂ immobilized on activated carbons of different porosities. **Journal of Hazardous Materials**, v. 169, p. 1061–1067, 2009.

WANG, X. et al. Construction of amorphous TiO₂/BiOBr heterojunctions via facets coupling for enhanced photocatalytic activity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 292, p. 126–136, 2015.

Web of Science. 2016. Disponível em: < http://apps-webofknowledge.ez35.periodicos.capes.gov.br/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=2E3xAqRGi3WfwWVmlmX&preferencesSaved => Acesso em: 12/12/2016.

XU, J. et al. Synthesis of Gd-doped TiO₂ nanoparticles under mild condition and their photocatalytic activity. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 334, p. 107–111, 2009a.

XU, J. et al. Study on photocatalytic performance and degradation kinetics of X-3B with lanthanide-modified titanium dioxide under solar and UV illumination. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, p. 762–768, 2009b.

YANG, G.; YAN, Z.; XIAO, T. Preparation and characterization of SnO₂/ZnO/TiO₂ composite semiconductor with enhanced photocatalytic activity. **Applied Surface Science**, v. 258, p. 8704–8712, 2012.

ZHANG, A.-Y. et al. Degradation of refractory pollutants under solar light irradiation by a robust and self-protected ZnO/CdS/TiO₂ hybrid photocatalyst. **Water Research**, v. 92, p. 78–86, abr. 2016.

ZHANG, K. et al. Preparation of highly visible light active Fe–N co-doped mesoporous TiO₂ photocatalyst by fast sol–gel method. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 16, n. 2, 2014a.

ZHANG, K. et al. Preparation and photocatalytic activity of B–N co-doped mesoporous TiO₂. **Powder Technology**, v. 253, p. 608–613, 2014b.

ZHAO, C. et al. Role of pH on photolytic and photocatalytic degradation of antibiotic oxytetracycline in aqueous solution under visible/solar light: Kinetics and mechanism studies. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 134–135, p. 83–92, 2013.

ZHAO, D. et al. Enhanced photocatalytic degradation of methylene blue on multiwalled carbon nanotubes–TiO₂. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 398, p. 234–239, 2013.

APÊNDICE A - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Tabela 1A - Resultados de DQO, COD, cor ADMI e pH para a fotólise do efluente secundário com pH natural (8,5), aeração constante e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros				pH
	DQO (mg/L)	COD (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	
0	69	20,7	304,1	304,1	8,7
30	65	18,4	293,0	298,9	8,9
90	68	20,8	279,3	285,0	9,1
150	68	18,4	264,9	263,0	9,2
210	66	21,0	253,5	252,4	9,2
270	75	21,7	248,2	246,5	9,2
330	69	22,3	232,3	238,1	9,2

Tabela 2A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH natural (8,5), 0,5 g/L de TiO₂, aeração constante e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			pH
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	
0	64	298,2	301,3	9,0
30	65	285,9	276,1	9,0
90	74	243,5	236,5	9,1
150	63	180,5	176,8	9,1
210	67	107,9	113,7	9,1
270	58	73,5	70,2	9,1
330	57	44,8	45,4	9,1
360	58	36,5	39,1	9,2

Tabela 3A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH natural (8,5), 1 g/L de TiO₂, aeração constante e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	64	298,2	301,3	9,0
30	68	262,5	258,8	9,0
90	62	185,6	170,4	9,1
150	67	107,9	110,7	9,1
210	61	57,5	50,2	9,1
270	60	27,1	31,2	9,1
330	54	19,6	19,6	9,1
360	62	9,9	14,3	9,2

Tabela 4A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH natural (8,5), 2 g/L de TiO₂, aeração constante e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	88	298,1	301,3	8,8
30	85	233,7	227,2	8,8
90	79	107,9	107,2	8,9
150	75	63,8	61,8	9,0
210	80	36,5	39,1	9,0
270	73	22,1	22,6	8,9
330	80	5,1	3,4	9,0
360	78	5,1	3,4	8,9

Tabela 5A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH natural (8,5), 3 g/L de TiO₂, aeração constante e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	88	295,3	303,9	8,8
30	85	230,4	239,8	8,8
90	79	96,9	100,8	8,9
150	75	50,8	44,9	9,0
210	80	30,6	24,9	9,0
270	73	14,3	0,0	8,9
330	80	8,8	0,0	9,0
360	78	3,4	0,0	8,9

Tabela 6A - Resultados de cor ADMI e pH para adsorção do efluente secundário com pH natural (8,5), 2 g/L de TiO₂, sem radiação

Tempo (min)	Parâmetros		
	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	286,3	290,3	8,6
30	276,9	280,0	8,4
90	269,3	270,6	8,4
150	275,2	275,5	8,3
210	268,8	264,2	8,4
270	266,5	267,0	8,4
330	260,9	263,6	8,3
360	258,0	260,8	8,3

Tabela 7A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 4, 2 g/L de TiO₂, aeração constante e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	86	274,2	286,5	5,5
30	87	164,5	181,9	4,8
90	82	60,3	60,3	4,9
150	67	30,6	27,1	5,1
210	72	14,1	14,3	5,5
270	58	0,0	5,1	5,5
330	56	0,0	0,0	5,6
360	65	0,0	7,4	5,8

Tabela 8A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 6,5, 2 g/L de TiO₂, aeração constante e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	91	286,5	289,1	8,2
30	83	239,9	239,4	8,6
90	79	170,4	161,6	8,7
150	72	95,8	97,4	8,6
210	80	47,5	47,5	8,7
270	73	28,6	24,9	8,7
330	80	14,3	8,8	8,7
360	78	14,1	3,4	8,7

Tabela 9A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 10, 2 g/L de TiO₂, aeração constante e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	70	292,6	296,1	9,6
30	70	248,8	231,0	9,5
90	70	108,3	101,8	9,4
150	69	46,4	43,5	9,3
210	63	22,1	19,6	9,3
270	57	19,0	15,5	9,2
330	64	6,8	3,9	9,2
360	60	9,8	3,4	9,1

Tabela 10A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 10, 2 g/L de TiO₂ e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	86	274,2	286,5	5,5
30	87	164,5	181,9	4,8
90	82	60,3	60,3	4,9
150	67	30,6	27,1	5,1
210	72	14,1	14,3	5,5
270	58	0,0	5,1	5,5
330	56	0,0	0,0	5,6
360	65	0,0	7,4	5,8

Tabela 11A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 10, 2 g/L de HT/Fe/TiO₂ 1:4 e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	62	259,3	252,6	9,4
30	50	168,0	169,5	9,4
90	47	161,5	153,8	9,4
150	46	135,6	133,2	9,4
210	46	102,6	96,5	9,4
270	45	68,6	71,4	9,4
330	42	69,8	61,4	9,4
360	47	59,9	45,9	9,3

Tabela 12A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 10, 2 g/L de HT/Fe/TiO₂ 2:4 e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	75	233,2	234,5	9,7
30	70	158,8	143,2	9,7
90	68	136,7	120,6	9,7
150	69	130,2	119,6	9,6
210	64	98,6	84,0	9,6
270	64	66,6	57,3	9,6
330	62	53,4	14,1	9,6
360	64	42,3	0,0	9,6

Tabela 13A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 10, 2 g/L de HT/Fe/TiO₂ 3:4 e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	58	249,1	218,7	9,5
30	58	149,4	152,1	9,4
90	62	124,0	146,8	9,5
150	34	123,4	113,4	9,5
210	52	112,6	111,2	9,4
270	39	99,9	97,5	9,4
330	40	90,3	89,7	9,4
360	43	85,5	81,3	9,4

Tabela 14A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 10, 2 g/L de HT/Fe/TiO₂ 4:4 e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	62	231,8	243,4	9,6
30	56	130,5	134,0	9,6
90	51	103,9	103,9	9,6
150	49	63,2	63,2	9,6
210	52	35,9	41,2	9,6
270	48	24,9	24,9	9,6
330	49	22,6	22,6	9,6
360	50	8,8	14,1	9,5

Tabela 15A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 10, 2 g/L de TiO₂ e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	75	231,8	252,5	9,6
30	70	163,3	160,5	9,6
90	61	72,5	77,6	9,6
150	63	55,7	64,5	9,6
210	62	49,1	49,9	9,6
270	63	39,1	44,1	9,5
330	60	34,8	35,0	9,5
360	58	27,6	25,4	9,5

Tabela 16A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 4, 2 g/L de HT/Fe/TiO₂ 4:4 e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	81	196,5	206,0	7,3
30	74	134,3	137,7	8,4
90	65	119,6	118,9	8,6
150	65	110,0	110,0	8,6
210	65	102,9	104,5	8,6
270	63	100,0	102,5	8,6
330	67	94,8	94,9	8,6
360	63	92,4	94,9	8,6

Tabela 17A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 8,5, 2 g/L de HT/Fe/TiO₂ 4:4 e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)*	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0		230,3	233,2	8,9
30		112,1	109,7	9,0
90		100,6	96,6	8,9
150		69,8	70,5	8,9
210		55,3	52,7	8,8
270		39,3	41,7	8,8
330		40,1	35,9	8,8
360		35,3	30,6	8,8

*Amostras de DQO contaminadas.

Tabela 18A - Resultados de DQO, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 8,5, 2 g/L de HT/Fe/TiO₂ 4:4

Tempo (min)	Parâmetros			
	DQO (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	78,7	266,9	265,5	9,2
30	68,9	143,6	156,1	9,2
90	60,8	129,5	136,4	9,2
150	56,0	127,2	114,4	9,2
210	56,6	124,8	126,7	9,2
270	50,8	121,9	108,0	9,2
330	46,8	130,3	111,3	9,1
360	51,4	121,9	114,4	9,1

Tabela 19A - Resultados de COD, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 8,5, 2 g/L de HT/Fe/TiO₂ 4:4

Tempo (min)	Parâmetros			
	COD (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	35,5	265,5	271,2	9,0
30	35,7	173,2	176,8	9,4
90	34,4	63,8	69,0	9,4
180	33,2	20,1	24,9	9,4
310	34,0	9,1	8,8	9,4
360	32,8	10,1	0,0	9,5

Tabela 20A - Resultados de COD, cor ADMI e pH para a fotocatalise do efluente secundário com pH 8,5, 2 g/L de TiO₂

Tempo (min)	Parâmetros			
	COD (mg/L)	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	35,5	289,0	286,3	9,5
30	42,5	189,6	182,3	9,5
90	38,3	84,5	97,1	9,5
150	36,6	66,6	70,5	9,4
210	36,3	62,6	66,6	9,4
270	33,5	43,2	46,9	9,5
330	35,7	55,7	54,2	9,4
360	33,8	37,2	41,2	9,6

Tabela 21A - Resultados de cor ADMI e pH para a fotocatálise do efluente secundário com pH 10, 2 g/L de HT/Fe/ TiO₂ 4:4, 2-propanol (0,1M) e radiação UV-visível

Tempo (min)	Parâmetros		
	COR (ADMI) pH 7,6	COR (ADMI) pH original	pH
0	229,9	250,5	9,2
30	172,7	188,7	9,6
90	189,6	185,9	9,6
150	188,4	189,1	9,6
210	175,5	175,9	9,6
270	162,2	164,1	9,6
330	150,5	159,3	9,6
360	149,4	157,3	9,6

Tabela 22A - Resultados de cor ADMI para a fotocatálise do efluente secundário com pH 10, 2 g/L de HT/Fe/ TiO₂ 4:4 e radiação UV-visível em cinco ciclos consecutivos de 6 h

Tempo (min)	COR (ADMI) pH 7,6				
	1	2	3	4	5
0	231,8	229,2	244,1	259,8	248,3
360	8,8	27,4	36,4	33,5	52,4

Tabela 23A - Resultados do teste de toxicidade aguda para o efluente têxtil secundário.

Teste de toxicidade aguda					
Organismo-teste: <i>Daphnia similis</i>					
Efluente têxtil secundário					
Concentração (% de efluente)	Número de organismos imóveis				
	1	2	3	4	Total
Controle	0	0	0	0	0
6,25	0	0	0	0	0
12,5	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0
100	5	5	5	5	20
CE ₅₀ (48h) = 70,71%					

Tabela 24A - Resultados do teste de toxicidade aguda para o efluente têxtil secundário após 6 h de fotocatalise com TiO₂.

Teste de toxicidade aguda					
Organismo-teste: <i>Daphnia similis</i>					
Efluente têxtil secundário após 6h de fotocatalise com TiO₂					
Concentração (% de efluente)	Número de organismos imóveis				
	1	2	3	4	Total
Controle	0	1	0	1	2
6,25	0	0	1	0	1
12,5	0	1	0	0	1
25	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0
100	2	4	2	3	11
CE ₅₀ (48h) = 95%					

Tabela 25A - Resultados do teste de toxicidade aguda para o efluente têxtil secundário após 6 h de fotocatalise com HT/Fe/TiO₂.

Teste de toxicidade aguda					
Organismo-teste: <i>Daphnia similis</i>					
Efluente têxtil secundário após 6h de fotocatalise com HT/Fe/TiO₂ 4:4					
Concentração (% de efluente)	Número de organismos imóveis				
	1	2	3	4	Total
Controle	0	0	1	0	1
6,25	0	0	0	0	0
12,5	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0
50	0	0	0	1	1
100	3	3	5	4	15
CE ₅₀ (48h) = 78,56 IC(95%) = 69,17 - 89,22%					

Tabela 26A - Resultados do teste de toxicidade aguda para 9 corantes têxteis (50 mg/L).

Teste de toxicidade aguda					
Organismo-teste: <i>Daphnia similis</i>					
Corantes	Número de organismos imóveis				
	1	2	3	4	Total
Controle	0	1	0	0	1
Remazol Preto Intenso RGB	0	1	0	0	1
Indanthren Preto Direto 5589 Coll	2	3	2	3	10
Preto Bezathren RI EPS	1	0	2	1	4
Solanthrene Marinho RA	0	0	0	1	1
Bezathren Azul RCL EPS	4	0	3	5	12
Novacron Marinho Intenso S-R	3	5	5	5	18
Novacron Rubi S-3B	4	4	3	3	14
Reactron Turquesa VG ultra concentrado	2	4	3	4	13
Azul Brilhante Remazol Azul RN gran	3	3	4	2	12

Tabela 27A - Resultados do teste de toxicidade aguda para 9 corantes têxteis após os testes de biodegradabilidade (50 mg/L).

Teste de toxicidade aguda					
Organismo-teste: <i>Daphnia similis</i>					
Corantes	Número de organismos imóveis				
	1	2	3	4	Total
Controle	0	0	0	1	0
Remazol Preto Intenso RGB	3	1	1	4	3
Indanthren Preto Direto 5589 Coll	5	1	5	5	5
Preto Bezathren RI EPS	5	4	5	4	5
Solanthrene Marinho RA	3	2	2	3	3
Bezathren Azul RCL EPS	3	5	4	3	3
Novacron Marinho Intenso S-R	5	3	5	3	5
Novacron Rubi S-3B	5	3	2	5	5
Reactron Turquesa VG ultra concentrado	5	5	3	3	5
Azul Brilhante Remazol Azul RN gran	4	1	2	3	4

**ANEXO A - FICHAS DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE
PRODUTOS QUÍMICOS**



Ficha de dados de segurança

Remazol Preto Intenso RGB CBBN25

000010019629

Data da Revisão: 28.04.2011 2. / BRA / PT

Página 1/5

1) IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

Remazol Preto Intenso RGB CBBN25

DYSTAR LTDA.
Rua Geraldo Fausino Gomes, 78 – 4th Floor
São Paulo / SP
04575-060
Telefone de Emergência (24h): 0800 643 9911

2) COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE OS INGREDIENTES

preparação de corantes reactivos azóicos

Componente perigoso:

C.I. Reactive Black 5
Conteúdo: 40 - 60 %

Número CE 241-164-5

Símbolos de Perigo: Xn
Frases R: 42/43

Reactive Yellow 201
Conteúdo: 5 - 15 %

Número CE 461-870-9

Símbolos de Perigo: Xi
Frases R: 41

3) IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

||Pode causar sensibilização por inalação e em contacto com a pele.

4) MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS

Recomendações em geral: Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

Em caso de inalação: Após inalação de aerosol/vapor/poeiras: Levar o sinistrado para o ar livre; é necessário assistência médica no caso de dificuldades de respiração.

Em caso de contato com a pele: Despir imediatamente o vestuário contaminado com o produto. lavar com água abundante, sabão ou outros produtos apropriados.

Em caso de contato com os olhos: No caso de contacto com os olhos, lavá-los com água durante tempo suficiente com as pálpebras abertas. Em seguida, consultar imediatamente um médico ou oftalmologista.

Em caso de ingestão: Em caso de ingestão do produto, dar imediatamente e repetidas vezes água a beber, eventualmente com adição de carvão activo. No caso de indisposição, consultar um médico.

5) MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

Meios de extinção adequados: névoa de água, espuma, extintor seco

Meios de extinção inadequados por motivos de segurança: CO2

Ficha de dados de segurança



Remazol Preto Intenso RGB CBBN25

000010019629

Página 2/5

Data da Revisão: 28.04.2011 2. / BRA / PT

Perigos específicos da substância e seus produtos de combustão ou gases formados: Produtos formados na decomposição: gás monóxido de carbono (CO), dióxido (CO₂), NO_x e/ou possivelmente SO_x

Equipamentos de proteção especiais no combate a incêndio: No combate ao incêndio, usar aparelho respiratório com admissão de ar independente do ambiente.

Informações adicionais: Resíduos de combustão e água de combate a fogo contaminada devem ser dispostos de acordo com as normas da autoridade responsável local.

6) MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO

Medidas de prevenção referidas a pessoas: Evitar a formação e a acumulação de pó.

Medidas de proteção ao meio ambiente: Não deixar penetrar na canalização ou em cursos de água.

Procedimento de limpeza/recolhimento: Recolher o material derramado com produto ligante do pó ou utilizar aspirador adequado. Encher o produto em recipientes etiquetados e que possam ser fechados.

Recomendações adicionais: Outras medidas de remoção ver capítulo 13.

7) MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

Recomendações para utilização sem perigo: Evitar a formação e a acumulação de pó. Conservar o recipiente bem fechado e ao abrigo da humidade.

Recomendações para prevenir incêndio e explosão: Observar as medidas de precaução usuais para a manipulação de produtos químicos explosivos em forma de pó. Observar os regulamentos nacionais. Remoção de fontes de ignição: Evitar formação de poeira e carregamento elétrico (fiscamento), pois existe possibilidade de explosão.

Exigências para área de armazenagem/recipientes: Armazenar no recipiente original num lugar seco e fresco.

Antes da ensacagem do produto, há que adoptar medidas destinadas a evitar a formação de cargas electrostáticas.

Classe de armazenagem (RFA) 11 Substâncias combustíveis

Estabilidade:

Tempo de armazenagem: 60 Meses

8) CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL



Ficha de dados de segurança

Remazol Preto Intenso RGB CBBN25

000010019629

Data da Revisão: 28.04.2011 2. / BRA / PT

Página 3/5

Medidas de proteção em geral: Não respirar as poeiras. Evitar o contacto com a pele e os olhos. Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

É absolutamente necessário evitar a inalação de pó e aerossóis (boa aspiração ou máscara apropriada). As pessoas afectadas por doenças crónicas das vias respiratórias não devem trabalhar com marcas em pó de corantes reactivos. Se, durante a manipulação de marcas em pó de corantes reactivos, se verificarem irregularidades na respiração ou ataques de asma, deve-se consultar atempadamente um médico. No caso de sensibilização comprovada às marcas em pó de corantes reactivos, deve-se evitar imediatamente qualquer contacto com o pó de corantes reactivos.

Medidas de higiene do trabalho: Manter afastado de bebidas e produtos alimentares. Não comer, beber ou fumar durante o trabalho.

Antes dos intervalos e no fim do trabalho lavar as mãos e utilizar um creme de protecção

Protecção respiratória:	Máscara anti-pó com filtro de partículas.
Protecção das mãos:	Usar luvas adequadas p.ex. de PVC ou nitril-borracha. Em caso de contaminação, mudar imediatamente as luvas de protecção.
Protecção dos olhos :	Oculos de protecção com protecção lateral
Protecção do corpo:	vestuário de protecção

9) PROPRIEDADES FISICO-QUIMICAS

Estado físico :	pó
Cor :	preto
Odor:	inodoro
Densidade a granel:	700 kg/m ³
Solubilidade em água:	30 g/l (20 °C)
valor pH:	cerca 5 - 6 (20 °C)

10) ESTABILIDADE E REATIVIDADE

Decomposição térmica Não se verifica decomposição térmica no caso de armazenagem e manipulação adequadas.

Reações perigosas: No caso de produtos orgânicos pulverulentos, deve-se contar, por via de regra, com explosão do pó.

11) INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

Toxicidade oral aguda:	DL50 > 2.000 mg/kg (Ratazana)
Efeito de irritação dérmica:	não irritante (Coelho)
Irritante aos olhos:	não irritante (Olho de Coelho)
Sensibilização:	Sensibilização no TESTE MAGNUSSON-KLIGMANN (GPMT)

Ficha de dados de segurança



Remazol Preto Intenso RGB CBBN25

000010019629

Data da Revisão: 28.04.2011 2. / BRA / PT

Página 4/5

em cobaias: positivo

Observacoes : A indicação basear-se em as propriedades toxicológicas dos componentes. As elevadas concentrações de pó podem irritar as mucosas dos olhos e das vias respiratórias. No caso de repetida exposição a elevadas concentrações de pó com marcas em pó de corantes reactivos que contém o mesmo corante verificou-se, em casos muito raros, uma sensibilização das vias respiratórias.

12) INFORMAÇÕES ECOLOGICAS

Biodegradabilidade :	10 - 25 % Método: Teste estático Método de análise:, COD
Toxicidade em peixes :	CL50 > 100 mg/l (96 h, Brachydanio rerio) Método: OECD 204
Toxicidade em dáfrias :	CE50 cerca 750 mg/l (48 h, Daphnia magna)
Toxicidade em algas:	CE50 cerca 12 mg/l (72 h, Scenedesmus subspicatus) Método: OECD 201
Toxicidade em bactérias :	CE50 > 5.000 mg/l (Organismos do lodo de instalações de purificação) Método: OECD 209

Observacoes: A indicação basear-se em as propriedades toxicológicas dos componentes.

- O produto ne pode contribuir para o valor AOX das águas residuais. (DIN EN 1485)
- O produto não contém metais pesados em concentrações importantes para as águas residuais.
- O produto não contém nitrogénio liberável que possa contribuir para a eutrofização.
- O produto não contém fosfato ou compostos orgânicos fosfóricos.

13) CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

Produto: Se não for possível reutilizar ou reciclar o produto, eliminá-lo segundo as prescrições e instruções locais aplicáveis, p. ex. mediante incineração numa instalação adequada.

Embalagens não limpas: Os recipientes vazios e por limpar devem ser tratados como o seu conteúdo.

14) INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE

ADR	NAO PRODUTO PERIGOSO
ADNR	NAO PRODUTO PERIGOSO
RID	NAO PRODUTO PERIGOSO
IMDG	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_C	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_P	NAO PRODUTO PERIGOSO

Informações adicionais

Proteger da humidade., Manter separado de produtos alimentares.



Ficha de dados de segurança

Remazol Preto Intenso RGB CBBN25

000010019629

Data da Revisão: 28.04.2011 2. / BRA / PT

Página 5/5

15) REGULAMENTAÇÕES

Etiquetagem segundo a Diretiva 67/548/CEE ou 1999/45/CE:

Símbolos de Perigo: Xn Nocivo

contém: C.I. Reactive Black 5

R42/43 : Pode causar sensibilização por inalação e em contacto com a pele.

S22 : Não respirar as poeiras.

S24 : Evitar o contacto com a pele.

S37 : Usar luvas adequadas.

Classe de Perigo WGK 2 - perigoso para a água WGK = Classificação de acordo com a lei alemã para água (RFA): das águas
Anexo 2 da VwVwS (Alemanha) de 17 de Maio de 1999

16) OUTRAS INFORMAÇÕES

Teor de todas as frases R, às quais se faz referência nos capítulos 2 e 3:

42/43 : Pode causar sensibilização por inalação e em contacto com a pele.

As informações baseiam-se nos nossos conhecimentos actuais. Elas devem descrever os nossos produtos com relação a exigências de segurança e não tem o objetivo de assegurar características específicas.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Preto Direto Indanthren 5589 Coll

000055027732

Data da Revisão: 03.06.2003 2. / D / PT

Página 1/4

1) Identificação produto/empresa

Preto Direto Indanthren 5589 Coll

Campo de aplicação :
Corante têxtil

DyStar Textilfarben GmbH , Ökologie
Caixa postal 100480 , D - 51304 Leverkusen
Número de telefone 49(0)69/2109 - 3172 Tele-Fax 49(0)69/2109 - 3000
Telefone de emergência: 49(0)214/3099300

2) Composição/Informação dos componentes

mistura de corantes de cuba
preparação isenta de pó

3) Perigos possíveis

Sem indicação de perigo.

4) Primeiros socorros

Recomendações em geral:: Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

Em caso de inalação: Após inalação de aerosol/vapor/poeiras: Levar o sinistrado para o ar livre; é necessário assistência médica no caso de dificuldades de respiração.

Em caso de contato com a pele: lavar com água abundante, sabão ou outros produtos apropriados.

Em caso de contato com os olhos: Em caso de contacto com os olhos, lavá-los com as pálpebras abertas com água abundante. Em seguida, consultar eventualmente um médico (oftalmologista).

Em caso de ingestão: Em caso de ingestão do produto, dar imediatamente e repetidas vezes água a beber, eventualmente com adição de carvão activo. No caso de indisposição, consultar um médico.

5) Medidas de combate a incêndio

Meios de extinção adequados: névoa de água, espuma, extintor seco

Meios de extinção inadequados por motivos de segurança: CO2

Equipamentos de proteção especiais no combate a incêndio: No combate ao incêndio, usar aparelho respiratório com admissão de ar independente do ambiente.

Informações adicionais:: Resíduos de combustão e água de combate a fogo contaminada devem ser dispostos de acordo com as normas da autoridade responsável local.

6) Medidas em caso de vazamentos acidentais

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Preto Direto Indanthren 5589 Coll

000055027732

Página 2/4

Data da Revisão: 03.06.2003 2. / D / PT

Medidas de prevenção referidas a pessoas: Evitar a formação e a acumulação de pó.

Medidas de protecção ao meio ambiente: Não deixar penetrar na canalização ou em cursos de água.

Procedimento de limpeza/recolhimento: Recolher o material derramado com produto ligante do pó ou utilizar aspirador adequado. Encher o produto em recipientes etiquetados e que possam ser fechados.

Recomendações adicionais:: Outras medidas de remoção ver capítulo 13.

7) Armazenagem e manipulação

Recomendações para utilização sem perigo: Evitar a formação e a acumulação de pó. Conservar o recipiente bem fechado e ao abrigo da humidade.

Recomendações para prevenir incêndio e explosão: Observar as medidas de precaução usuais para a manipulação de produtos químicos explosivos em forma de pó. Observar os regulamentos nacionais.

Exigências para área de armazenagem/recipientes: Armazenar no recipiente original num lugar seco e fresco.

Antes da ensacagem do produto, há que adoptar medidas destinadas a evitar a formação de cargas electrostáticas.

Classe de armazenagem (RFA): 11 Substância sólida Combustível.

Estabilidade: Tempo de armazenagem: 60 Meses

8) Limitação de exposição e equipamentos de protecção individual

Medidas de protecção em geral: Não respirar as poeiras.
Evitar o contacto com a pele e os olhos.
Despir imediatamente o vestuário contaminado com o produto.

Medidas de higiene do trabalho: Manter afastado de bebidas e produtos alimentares.
Não comer, beber ou fumar durante o trabalho.
Antes dos intervalos e no fim do trabalho lavar as mãos e utilizar um creme de protecção

Protecção respiratória:	Máscara anti-pó com filtro de partículas
Protecção das mãos:	Usar luvas adequadas p.ex. de PVC ou nitril-borracha. Em caso de contaminação, mudar imediatamente as luvas de protecção.
Protecção dos olhos:	Oculos de protecção com protecção lateral
Protecção do corpo:	vestuário de protecção

9) Propriedades físico-químicas

Estado físico: pó

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Preto Direto Indanthren 5589 Coll

000055027732

Página 3/4

Data da Revisão: 03.06.2003 2. / D / PT

Cor:	preto
Odor:	fraco cheiro próprio
Temperatura de fusão/amolecimento:	> 300 °C
:	
Densidade a granel:	500 - 800 kg/m ³
Solubilidade em água:	insolúvel, dispersável
valor pH:	10 - 11 (20 °C, 50 g/l) suspensão

10) Estabilidade e reatividade

Decomposição térmica Não se verifica decomposição térmica no caso de armazenagem e manipulação adequadas.

Reações perigosas: No caso de produtos orgânicos pulverulentos, deve-se contar, por via de regra, com explosão do pó.

11) Informações toxicológicas

Toxicidade oral aguda:	DL50 > 2.000 mg/kg (Ratazana)
Toxicidade aguda por inalação:	Risco grave por inalação, ratazana: após 8 horas de exposição numa atmosfera concentrada, a 20° C, não morreu nenhum animal.
Efeito de irritação dérmica:	não irritante (Coelho)
Irritante aos olhos:	não irritante (Olho de Coelho)
Observacoes :	A indicação basear-se em as propriedades toxicológicas dos componentes.

12) Informações ecológicas

Biodegradabilidade:	> 90 % Método: Método estático Método de análise:, fotometria
Biodegradabilidade:	Por razão da quase insolubilidade na água, verifica-se sempre separação por filtração e sedimentação., Se o produto for introduzido correctamente em instalações de depuração biológica adaptadas, não há que recear perturbações da actividade de degradação da lama activada.
Toxicidade em peixes:	CL50 > 100 mg/l (96 h, Leuciscus idus)
Toxicidade em bactérias:	IC50 > 100 mg/l (3 h, Lodo biológico)

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Preto Direto Indanthren 5589 Coll

000055027732

Página 4/4

Data da Revisão: 03.06.2003 2. / D / PT

Observacoes: A indicação basear-se em as propriedades toxicológicas dos componentes.

- O produto ne pode contribuir para o valor AOX das águas residuais. (DIN EN 1485)
- O produto não contém nitrogénio liberável que possa contribuir para a eutrofização.
- O produto não contém fosfato ou compostos orgânicos fosfóricos.

13) Recomendações para eliminação de resíduos

Produto: Se não for possível reutilizar ou reciclar o produto, eliminá-lo segundo as prescrições e instruções locais aplicáveis, p. ex. mediante incineração numa instalação adequada.

Código de resíduos segundo o Catálogo Europeu de Resíduos (CER):040217 corantes e pigmentos, nao abrangidos em 040216

Embalagens não limpas: Os recipientes vazios e por limpar devem ser tratados como o seu conteúdo.

14) Informações para transporte

ADR	NAO PRODUTO PERIGOSO
RID	NAO PRODUTO PERIGOSO
ADNR	NAO PRODUTO PERIGOSO
IMDG	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_C	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_P	NAO PRODUTO PERIGOSO

Informações adicionais Manter separado de produtos alimentares.

15) Normas

Não é necessário etiquetagem segundo as directivas da CEE.

Classe de Perigo para água (RFA): WGK 1 - pouco perigoso para a água WGK = Classificação de acordo com a lei alemã das águas Anexo 2 da VwVwS (Alemanha) de 17 de Maio de 1999

16) Informações adicionais

As informações baseiam-se nos nossos conhecimentos actuais. Elas devem descrever os nossos produtos com relação a exigencias de segurança e nao tem o objetivo de assegurar características específicas.

Em conformidade com 1907/2006/CE, Artigo 31.º

1023100
 actualizado no dia: 01.07.2009
 data da impressao: 01.07.2009

01 Identificação da substância/preparação e da sociedade/empresa

- **Identificação da preparação**
- **Nome comercial:**
 PRETO BEZATHREN RI EPS
- Utilização da substância / da preparação
 Corante para a indústria têxtil
- **Informação de fabricante/fornecedor:**
- **Fabricante/fornecedor:**
 BEZEMA AG
 Postfach 68, Industriegebiet Letzau
 CH-9462 Montlingen
 e-mail: product.safety@bezema.com
 Tel.: +41-71-7638811
 Fax.: +41-71-7638888
- **Informações em caso de emergência:**
 BEZEMA AG, Departamento de Segurança de produtos
 Tel.: +41-71-7638811

02 Identificação dos perigos

- **Designação dos riscos:**
 Não aplicável.
- **Avisos especiais sobre os riscos para o homem e o ambiente:**
 O produto não deve estar obrigatoriamente identificado com base no método de avaliação da "Directiva geral de classificação para preparações da CE" na última versão em vigor.
- **Método de classificação:**
 A classificação está de acordo com as listas publicadas pela União Europeia mas foi completada com dados da literatura especializada bem como com informações dos fornecedores das matérias-primas.

03 Composição/informação sobre os componentes

- **Caracterização química**
- **Descrição:**
 Corante de cuba
 preparado despoeirado
- **Avisos adicionais:**
 O texto das indicações de perigo aqui incluído poderá ser consultado no capítulo 16.

04 Primeiros socorros

- **Indicações gerais:**
 Vestidos contaminados com substâncias perigosas afastar.
- **Em caso de inalação:**
 Entrada de ar fresco; em caso de queixas consultar o médico.
- **Em caso de contacto com a pele:**
 Lavar imediatamente com água e sabao.
- **Em caso de contacto com os olhos:**
 Enxaguar os olhos durante alguns minutos sob água corrente, mantendo as pálpebras abertas.
- **Em caso de ingestão:**
 Enxaguar a boca e beber muita água.

P

(continuação na página 2)

Em conformidade com 1907/2006/CE, Artigo 31.º

1023100
 actualizado no dia: 01.07.2009
 data da impressao: 01.07.2009

Nome comercial: PRETO BEZATHREN RI EPS
<i>(continuação da página 1)</i>
05 Medidas de combate a incêndios <ul style="list-style-type: none"> • Meios adequados de extinção: Pó extintor, jacto de água, espuma. • Meios de extinção que não devam ser utilizados por razões de segurança: Dióxido de carbono (CO₂) • Equipamento especial de protecção: Usar uma máscara de respiração independente do ar ambiente. • Outras indicações Os resíduos do incêndio, assim como a água de extinção contaminada, devem ser eliminados residualmente de acordo com a legislação em vigor.
06 Medidas a tomar em caso de fugas acidentais <ul style="list-style-type: none"> • Precauções individuais: Usar equipamento de protecção. Manter as pessoas desprotegidas afastadas. • Precauções ambientais: Evitar que penetre na canalização / águas superficiais / águas subterrâneas. • Métodos de limpeza: Recolher mecanicamente.
07 Manuseamento e armazenagem <ul style="list-style-type: none"> • Manuseamento: • Precauções para um manuseamento seguro: Ao transvasar grandes quantidades sem equipamento de aspiração: usar máscara de protecção. • Precauções para prevenir incêndios e explosões: Encontrar medidas contra carregamento electrostático. • Armazenagem: • Requisitos para espaços ou contentores para armazenagem: Conservar apenas no recipiente original. • Outros avisos sobre as condições de armazenagem: Armazená-lo em vasilhas bem fechadas, num sítio fresco e seco.
08 Controlo da exposição/protecção pessoal <ul style="list-style-type: none"> • Componentes cujo valor do limite de exposição no local de trabalho deve ser monitorizado: O produto não contém quantidades relevantes de substâncias cujo valor limite relacionado no local de trabalho tenha que ser monitorizado. • designação d o CAS no. da substância O produto não contém quaisquer quantidades relevantes de substâncias para um valor limite relacionado com o local de trabalho. • Equipamento de protecção individual: • Medidas gerais de protecção e higiene: Devem ser respeitadas as medidas de prevenção habituais para o manuseamento de produtos químicos. • Protecção respiratória: Protecção respiratória se o local não for bem ventilado.
<i>(continuação na página 3)</i>

Em conformidade com 1907/2006/CE, Artigo 31.º

1023100
 actualizado no dia: 01.07.2009
 data da impressao: 01.07.2009

Nome comercial: PRETO BEZATHREN RI EPS

(continuação da página 2)

- **Protecção das mãos:** O material das luvas tem de ser impermeável e resistente ao produto / à substância / preparação. Uma vez que não foram realizados testes nesta área, não podemos recomendar um determinado tipo de material para as luvas que seja adequado para o produto / a preparação / a mistura de químicos. Escolher o material das luvas tendo em consideração a durabilidade, a permeabilidade e a degradação.
- **Tempo de penetração no material das luvas**
Deve informar-se sobre a validade exacta das suas luvas junto do fabricante e respeitá-la.
- **Protecção dos olhos:** Óculos de protecção.
- **Protecção da pele:** Vestuário de protecção no trabalho

09 Propriedades físicas e químicas

Informações gerais

Forma:	Pó
Cor:	Preto
Odor:	Produto específico
Auto-inflamabilidade:	O produto não é auto-inflamável.
Solubilidade em / miscibilidade com água:	Dispersável.
valor pH:	a 20 °C 6 - 9 (10,000 g/l agua)
Percentagem de solvente:	
Percentagem de substâncias sólidas:	100,00 %

10 Estabilidade e reactividade

- **Decomposição térmica / condições a evitar:**
Não existe decomposição se usado de acordo com as especificações.

11 Informação toxicológica

- **Toxicidade aguda:**
- **Valores LD/LC50 relevantes para a classificação:**
PRODUTO
por via oral, LD50: > 2000 mg/kg (ratazana)
- **Efeito de irritabilidade primário:**
- sobre a pele:
Não irritante.
- sobre os olhos:
Nenhum efeito irritante.
- **Avisos adicionais de toxicologia:**
Se utilizado correctamente e apenas para o fim a que se destina, o produto não causa, segundo a nossa experiência e conhecimentos, efeitos nocivos para a saúde.

12 Informação ecológica

- **Informações para eliminação (persistência e degradabilidade):**
- **Procedimento:**
método estático
- **Método de análise:**
fotometria
- **Grau de eliminação:**
90 - 100 %
- **Outras indicações:**

(continuação na página 4)

Em conformidade com 1907/2006/CE, Artigo 31.º

1023100
 actualizado no dia: 01.07.2009
 data da impressao: 01.07.2009

<p>Nome comercial: PRETO BEZATHREN RI EPS</p>
<p style="text-align: right;"><i>(continuação da página 3)</i></p> <p>O efluente é apenas ligeiramente poluído graças a um grau de fixação elevado. O produto é separado sobretudo mecânicamente devido à sua fraca solubilidade em água.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efeitos ecotóxicos: • Toxicidade aquática: • Tipo de teste Concentração eficaz Método Valorização Leuciscus idus (96 h) LC0 > 100 mg/l OECD 203 Leuciscus idus (96 h) LC50 > 100 mg/l OECD 203 • Comportamento em instalações de tratamento de águas residuais: • Tipo de teste Concentração eficaz Método Valorização Lodo vivo (3 h) EC50 > 100 mg/l OECD 209 • Outras indicações ecológicas: • COD valor (Consumo químico de oxigénio): 1630 mg O2/g • AOX aviso (DIN EN 1485): < 0,1 % • Indicações gerais: Não deixar chegar substâncias concentradas, ou seja quantidades grandes, às águas subterrâneas, aos cursos de água ou à canalização.
<p>13 Considerações relativas à eliminação</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produto • Recomendação: Deve ser tratado de forma especial, em conformidade com os regulamentos oficiais em vigor. • Catálogo europeu de resíduos 04 RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DO COURO E PRODUTOS DE COURO E DA INDÚSTRIA TÊXTIL 04 02 resíduos da indústria têxtil 04 02 17 corantes e pigmentos, não abrangidos em 04 02 16 • Embalagens contaminadas: • Recomendação: As embalagens não contaminadas podem ser eliminadas como lixo doméstico. As embalagens não laváveis devem ser eliminadas da mesma forma que o seu conteúdo.
<p>14 Informações relativas ao transporte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Transporte/outras informações: Não constitui material perigoso em conformidade com os regulamentos acima indicados.
<p>15 Informação sobre regulamentação</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rótulo de acordo com as disposições comunitárias: Não é obrigatório identificar o produto de acordo com as directivas comunitárias e com a lei sobre substâncias perigosas.

P

(continuação na página 5)

BEZEMA

FICHA DE SEGURANÇA

página: 5 / 5

Em conformidade com 1907/2006/CE, Artigo 31.º

1023100
actualizado no dia: 01.07.2009
data da impressao: 01.07.2009

Nome comercial: PRETO BEZATHREN RI EPS

(continuação da página 4)

16 Outras informações

As informações fornecidas baseiam-se no estado actual dos nossos conhecimentos, embora não representem uma garantia das propriedades do produto e não fundamentam uma relação contratual.

- **Departamento que elaborou a ficha de segurança:**
Divisão de Corantes, Departamento de Segurança de produtos
- **Contacto**
Dr. E. Schramm

Ficha de dados de segurança



Solanthrene Marinho RA

25

000010002596

Data da Revisão: 29.04.2013 1.1 / BRA / PT

Página 1/4

1) IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA

Solanthrene Marinho RA 25

DyStar Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda.
 Rua Geraldo Flausino Gomes, 78 – 4th Floor
 04575-060 São Paulo - SP
 Brazil
 Telefone de emergência: 0800 643 9911

2) COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE OS INGREDIENTES

mistura de corantes de cuba
 preparação isenta de pó

3) IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

Sem indicação de perigo.

4) MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS

Recomendações em geral: Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

Em caso de inalação: Após inalação de aerosol/vapor/poeiras: Levar o sinistrado para o ar livre; é necessário assistência médica no caso de dificuldades de respiração.

Em caso de contato com a pele: lavar com água abundante, sabão ou outros produtos apropriados.

Em caso de contato com os olhos: Em caso de contacto com os olhos, lavá-los com as pálpebras abertas com água abundante. Em seguida, consultar eventualmente um médico (oftalmologista).

Em caso de ingestão: Em caso de ingestão do produto, dar imediatamente e repetidas vezes água a beber, eventualmente com adição de carvão activo. No caso de indisposição, consultar um médico.

5) MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

Meios de extinção adequados: Jacto de água pulverizada, espuma, extintor seco.

Meios de extinção inadequados por motivos de segurança: CO2

Perigos específicos da substância e seus produtos de combustão ou gases formados: Produtos formados na decomposição: gás monóxido de carbono (CO), dióxido (CO2), NOx e/ou possivelmente SOx

Equipamentos de proteção especiais no combate a incêndio: No combate ao incêndio, usar aparelho respiratório com admissão de ar independente do ambiente.

Informações adicionais: Resíduos de combustão e água de combate a fogo contaminada devem ser dispostos de acordo com as normas da autoridade responsável local.



Ficha de dados de segurança

Solanthrene Marinho RA

25

000010002596

Página 2/4

Data da Revisão: 29.04.2013 1.1 / BRA / PT

6) MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO

Medidas de prevenção referidas a pessoas: Evitar a formação e a acumulação de pó.

Medidas de proteção ao meio ambiente: Não deixar penetrar na canalização ou em cursos de água.

Procedimento de limpeza/recolhimento: Recolher o material derramado com produto ligante do pó ou utilizar aspirador adequado. Encher o produto em recipientes etiquetados e que possam ser fechados.

Recomendações adicionais: Outras medidas de remoção ver capítulo 13.

7) MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

Recomendações para utilização sem perigo: Evitar a formação e a acumulação de pó. Conservar o recipiente bem fechado e ao abrigo da humidade.

Recomendações para prevenir incêndio e explosão: Observar as medidas de precaução usuais para a manipulação de produtos químicos explosivos em forma de pó. Observar os regulamentos nacionais. Remoção de fontes de ignição: Evitar formação de poeira e carregamento elétrico (faiscamento), pois existe possibilidade de explosão.

Exigências para área de armazenagem/recipientes: Armazenar no recipiente original num lugar seco, fresco e bem fechado.

Classe de armazenagem (RFA) 11 Substâncias combustíveis

Estabilidade: Tempo de armazenagem: 60 Meses

8) CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Medidas de proteção em geral: Não respirar as poeiras. Evitar o contacto com a pele e os olhos. Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

Medidas de higiene do trabalho: Manter afastado de bebidas e produtos alimentares. Não comer, beber ou fumar durante o trabalho. Antes dos intervalos e no fim do trabalho lavar as mãos e utilizar um creme de protecção

Protecção respiratória: Máscara anti-pó com filtro de partículas.

Protecção das mãos: Usar luvas adequadas p.ex. de PVC ou nitril-borracha. Em caso de contaminação, mudar imediatamente as luvas de protecção.

Protecção dos olhos: Oculos de protecção com protecção lateral

Protecção do corpo: vestuário de protecção

9) PROPRIEDADES FISICO-QUIMICAS

Estado físico : pó



Ficha de dados de segurança

Solanthrene Marinho RA

25

000010002596

Página 3/4

Data da Revisão: 29.04.2013 1.1 / BRA / PT

Cor :	azul escuro
Odor:	inodoro
Temperatura de fusão/amolecimento:	> 200 °C
:	
Densidade a granel:	400 - 600 kg/m ³
Solubilidade em água:	dispersável
valor pH:	cerca 8,4 (20 °C, 10 g/l)

10) ESTABILIDADE E REATIVIDADE

Decomposição térmica Não se verifica decomposição térmica no caso de armazenagem e manipulação adequadas.

Reações perigosas: No caso de produtos orgânicos pulverulentos, deve-se contar, por via de regra, com explosão do pó.

11) INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS

Toxicidade oral aguda:	DL50 > 2.000 mg/kg (Ratazana)
Efeito de irritação dérmica:	não irritante (Coelho)
Irritante aos olhos:	não irritante (Olho de Coelho)

Observacoes : A indicação basear-se em as propriedades toxicológicas dos componentes.

12) INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS

Biodegradabilidade :	> 70 % Método: Método estático Método de análise:, fotometria
Biodegradabilidade :	Se o produto for introduzido correctamente em instalações de depuração biológica adaptadas, não há que recear perturbações da actividade de degradação da lama activada.

Toxicidade em peixes : CL50 > 100 mg/l (96 h, Oncorhynchus mykiss)

Toxicidade em bactérias : IC10 > 35 mg/l (3 h, Lodo biológico)

Observacoes: A indicação basear-se em as propriedades toxicológicas dos componentes.

O produto não contém metais pesados em concentrações importantes para as águas residuais.
 O produto não contém nitrogénio liberável que possa contribuir para a eutrofização.
 O produto não contém fosfato ou compostos orgânicos fosfóricos.
 O produto pode contribuir no máximo 6,1 % em peso para o valor AOX das águas residuais. (DIN 38409)



Ficha de dados de segurança

Solanthrene Marinho RA

25

000010002596

Página 4/4

Data da Revisão: 29.04.2013 1.1 / BRA / PT

13) CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

Produto: Se não for possível reutilizar ou reciclar o produto, eliminá-lo segundo as prescrições e instruções locais aplicáveis, p. ex. mediante incineração numa instalação adequada.

Embalagens não limpas: Os recipientes vazios e por limpar devem ser tratados como o seu conteúdo.

14) INFORMAÇÕES SOBRE TRANSPORTE

ADR	NAO PRODUTO PERIGOSO
ADNR	NAO PRODUTO PERIGOSO
RID	NAO PRODUTO PERIGOSO
IMDG	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_C	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_P	NAO PRODUTO PERIGOSO

Informações
adicionais

Proteger da humidade., Manter separado de produtos alimentares.

15) REGULAMENTAÇÕES

Não é necessário etiquetagem segundo as directivas da CEE.

Classe de Perigo para água (RFA): WGK 1 - pouco perigoso para a água WGK = Classificação de acordo com a lei alemã das águas Anexo 2 da VwVwS (Alemanha) de 17 de Maio de 1999

16) OUTRAS INFORMAÇÕES

As informações baseiam-se nos nossos conhecimentos actuais. Elas devem descrever os nossos produtos com relação a exigências de segurança e não tem o objetivo de assegurar características específicas.

167000
 actualizado no dia: 08.08.2006
 data da impressao: 10.08.2006

1 Identificação da substância/preparação e da sociedade/empresa

- **indicação para o produto**
- **nome comercial:**
AZUL BEZATHREN RCL EPS
- **Utilização do material / da preparação**
Corante para a indústria têxtil
- **Informação de fabricante/fornecedor:**
 - **fabricante/fornecedor:**
BEZEMA AG
Postfach 68, Industriegebiet Letzau
CH-9462 Montlingen
Tel.: +41-71-7638811
Fax.: +41-71-7612402
 - **informação em caso de necessidade / espaço de informação:**
BEZEMA AG
Tel.: +41-71-7638811

2 Composição/informação sobre os componentes;

- **carecterização química**
- **descrição:**
Corante de cuba
preparado despoeirado

3 Identificação de perigos;

- **designação dos riscos:**
nao há
- **avisos especiais sobre os perigos para o homem e o ambiente :**
nao há

4 Primeiros socorros;

- **avisos gerais:**
Vestidos contaminados com substâncias perigosas afastar.
- **depois da inalação:**
Entrada de ar fresco, em caso de queixas consultar o médico.
- **depois do contacto com a pele:**
Lavar imediatamente com água e sabao.
- **depois do contacto com os olhos:**
Enxaguar os olhos com as pálpebras abertas em água corrente durante alguns minutos.
- **depois de engolir:**
Enxaguar a boca e fazer com que beba muita água. Em caso de queixas contínuas consultar o médico.

5 Medidas de combate a incêndios;

- **meios adequados para extinção**
Pó extintor, jacto de água, espuma.
- **por razoes de segurança, meios inadequados para extinção:**
Dióxido de carbono (CO2)
- **equipamento especial de protecção:**
Ter posto o aparelho de protecção de respiração, independentemente do ar ambiental.
- **Outras indicações.**
Os restos de incêndio, assim como a água de extinção contaminada, devem ser evacuados de acordo com a normativa vigente.

P

(continuação na página 2)

167000
actualizado no dia: 08.08.2006
data da impressao: 10.08.2006

Nome comercial: AZUL BEZATHREN RCL EPS	
<i>(continuação da página 1)</i>	
6 Medidas a tomar em caso de fugas acidentais;	
<ul style="list-style-type: none"> • medidas de protecção relacionadas com homem: Vestir equipamento de protecção. Manter afastadas pessoas desprotegidas. • medidas de protecção do ambiente: Evitar que penetre na canalização / água de superfície / água subterrânea. • procedimentos para limpeza/registo: Apanhar mecanicamente. 	
7 Manuseamento e armazenagem;	
<ul style="list-style-type: none"> • manejo: • avisos para uso correcto: Ao transvasar grandes quantidades sem equipamento de aspersão; uso da máscara de protecção. • avisos para protecção contra incêndios e explosões Encontrar medidas contra carregamento electrostático. • armazenagem: • outros avisos para as condições de armazenamento: Armazená-lo em vasilhas bem fechadas, num sítio fresco e seco. • classe de armazenamento (VCI, Alemanha): 	
11	
8 Contolo da exposição/protecção individual;	
<ul style="list-style-type: none"> • avisos adicionais para a realização de disposições técnicas: Nao existem mais indicações, ver ponto 7. • equipamento de protecção pessoal: • medidas comuns de protecção e higiene: Sao para observar as habituais medidas de prevenção no manejaemento dos produtos químicos. • protecção da respiração: Protecção respiratória em caso de insuficiente arejamento. • protecção das maos: Luvas de protecção. • protecção dos olhos: Óculos de protecção. • protecção do corpo: Fato de protecção no trabalho. 	
9 Propriedades fisicas e quimicas;	
forma:	pó
cor:	azul
odor:	produto específico
inflamação espontânea:	O produto nao é inflamável.
solubilidade em / miscibilidade com:	
água:	dispersável
valor ph:	a 20 °C 9 - 11
10 Estabilidade e reactividade;	
<ul style="list-style-type: none"> • Destruição térmica / condições a evitar: Nao existe decomposição em caso de emprego correcto das regras. 	

P

(continuação na página 3)

167000
actualizado no dia: 08.08.2006
data da impressao: 10.08.2006

Nome comercial: AZUL BEZATHREN RCL EPS

(continuação da página 2)

11 Informação toxicológica;

- **toxicidade aguda:**
- **LD/LC50 valores relevantes para a classificação:**
PRODUTO Oral > 2000 mg/kg ratazana
- **efeito de irritabilidade primário:**
- na pele:
nenhum efeito excitante
- no olho:
nenhum efeito excitante
- **avisos adicionais de toxicologia:**
No caso de uma utilização correcta e de emprego de acordo com as disposições, o produto não causa, segundo a nossa experiência e conhecimentos, efeitos contra a saúde.

12 Informação ecológica;

- **indicações para eliminação (persistência e reabsorbilidade)**
- **proceder:**
método estático
- **métodos de análise:**
fotometria
- **grau de eliminação:**
90 - 100 %
- **outros avisos:**
O efluente é apenas ligeiramente poluído graças a um grau de fixação elevado.
O produto é separado sobretudo mecânicamente devido à sua fraca solubilidade em água.
- **efeitos ecotoxicos:**
- **toxicidade aquática:**
- género do exame concentração de efeito método valorização
Leuciscus idus (96 h) LC0 > 100 mg/l OECD 203
Leuciscus idus (96 h) LC50 > 100 mg/l OECD 203
- **comportamento nas estações de tratamento de água:**
- tipo do exame concentração de efeito método valorização
Lodo vivo (3 h) EC50 > 100 mg/l OECD 209
- **outros avisos ecológicos:**
- **COD valor (Consumo químico de oxigénio):**
1400 mg O2/g
- **AOX aviso (DIN 38 409 - H14):**
2,8 %
- **avisos comuns:**
Não deixar chegar substâncias concentradas ou seja quantidades grandes às águas subterrâneas, de superfície ou à canalização.

13 Questões relativas à eliminação;

- **produto**
- **recomendação:**
Deve ser tratado de forma especial, tendo em conta as normativas oficiais.
- **numero chave dos despejos (Alemanha):**
55514
- **embalagens contaminadas:**
- **recomendação:**
Embalagens não contaminadas podem ser tratadas como lixo de casa.
Embalagens não laváveis devem ser tratadas como o conteúdo.

P

(continuação na página 4)

BEZEMA

FICHA DE SEGURANÇA
segundo 91/155/EWG

página: 4 / 4

167000
actualizado no dia: 08.08.2006
data da impressao: 10.08.2006

Nome comercial: AZUL BEZATHREN RCL EPS
<i>(continuação da página 3)</i>
<p>14 Indicações relativas ao transporte</p> <ul style="list-style-type: none"> • transporte/outras indicações: Nao é material perigoso, segundo as autoridades superiores.
<p>15 Informação sobre regulamentação;</p> <ul style="list-style-type: none"> • caracterização conforme normas CEE: Nao se torna obrigatório marcar e catalogar o produto de acordo com as linhas directrizes da CEE / GefStoffV. • regulamento nacional: • classificação conforme VbF: - <p style="text-align: center;">4</p>
<p>16 Outras informações;</p> <p>Os dados baseiam-se no estado actual dos nossos conhecimentos, embora nao representam uma garantia das propriedades do produto e nao fundamentam uma situação jurídica. Os dados baseiam-se no estado actual dos nossos conhecimentos, embora nao representam uma garantia das propriedades do produto e nao fundamentam uma situação jurídica.</p>



Huntsman Química Brasil Ltda.

FISPQ - FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS

De acordo com a NBR14725

N. Ident. do produto 0588995

Edição de 14.04.2009

Data da emissão: 14.04.2009

NOME COMERCIAL

NOVACRON MARINHO INTENSO S-R

1. IDENTIFICAÇÃO DA SUBSTÂNCIA /PREPARAÇÃO E DA COMPANHIA/EMPRESA

Identificação da substância ou preparação.

Descrição química Mistura de corantes azo.

Uso da substância/preparação
Corante para têxteis.

Identificação da companhia/empresa

Responsabilidade pelo Produto Huntsman Textile Effects CH-4057 Basel
Departamento responsável Product EHS Fax 0041 61 29 90600 e-mail: pehs_te@huntsman.com
Fornecedor Huntsman Química Brasil Ltda.
 AV. PROF. VICENTE RAO, 90
 CAIXA POSTAL 21.421
 04706-900 SÃO PAULO-SP, BRASIL

Tel: (0XX11)5532 4056 / 0800 595 2200

Fax: (0XX11)5531-8764

Telefone de emergência 0800 111 767/0800 70 71 767(SOS COTEC - chamada local) +55 19 3467 9700(SOS COTEC-chamada internacional.)

2. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS

Pode causar sensibilização por inalação e por contato com a pele.

3. COMPOSIÇÃO/ INFORMAÇÃO SOBRE OS COMPONENTES

Informação dos componentes	%	No. CAS	Símbolo	Frases-R
- 4-amino-5-hidroxi-3,6-bis[[4-[[2-(sulfocoxi)etil] sulfonil]fenil]azo]naftaleno-2,7-dissulfonato de Sódio EC Nº. 241-164-5	80-90 %	17095-24-8	Xn	42/43

4. PRIMEIROS SOCORROS

Inalação Remover ao ar fresco. Procurar auxílio médico em caso de indisposição ou exposição prolongada ou irritação do sistema respiratório ou mucosas.

Contato com a pele Retirar o vestuário contaminado. Lavar a pele com sabão e muita água.

Contato com os olhos Lavar imediatamente com muita água durante 10 minutos.

Ingestão	Lavar a boca com água. Beber muita água.
Conselhos ao médico	Tratamento sintomático.
Informação adicional	Ver seção 16 da Ficha de Dados de Segurança.

5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

Agentes extintores de fogo	Neblina d'água, espuma, pó, dióxido de Carbono.
Restrições	Sem restrições.
Fogo/ Perigo de explosão	Nenhum
Gases de combustão	Óxidos de Carbono, Nitrogênio e Enxofre, algum gás de Ácido Clorídrico.
Proteção pessoal	Aparelho de proteção respiratória independente da circulação de ar.

6. MEDIDAS A TOMAR EM CASO DE VAZAMENTO/ DERRAMAMENTO ACIDENTAL

Proteção pessoal	Luvas, proteção das vias respiratórias.
Precauções ambientais	Sem precauções especiais
Recolhimento/ limpeza	Umedecer. Recolher. Evitar formação de pó. Guardar em embalagens marcadas para remoção como resíduo químico. Eliminar pequenos restos com o auxílio de água.

7. MANUSEIO E ARMAZENAGEM

Manuseio

Higiene de trabalho	Não ingerir nem inalar. Evitar o contato com a pele e com os olhos. Manipular de acordo com as boas práticas de higiene industrial. Observar as prescrições legais e de higiene de trabalho aplicáveis.
----------------------------	---

Armazenagem

Precauções com o fogo	Nenhuma precaução especial.
Armazenamento	Armazenar em local fresco, seco e com ventilação adequada.
Segregação	Sem precauções especiais.
Condições de armazenamento	Manter as embalagens bem fechadas.

8. CONTROLE DE EXPOSIÇÃO / PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Valores-limite de exposição

Componentes com limites de exposição no local de trabalho	Nenhum. Garantir ventilação adequada.
--	---------------------------------------

Controle da exposição

Proteção pessoal

Proteção Individual Geral	Luvas, proteção das vias respiratórias.
Proteção das vias respiratórias	Proteção respiratória, filtro P3.
Proteção para as mãos	Luvas de proteção resistentes a químicos (EN 374). Recomendado: tempo de permeabilidade >30 min. (nível 2), material por ex. butil ou neopreno. Observe as instruções do fabricante das luvas.

9. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

9.1 Informações gerais

Aparência

Forma	Pó	
Cor	Preto	
Odor	Nenhum	
Dados importantes sobre a saúde, a segurança e o ambiente		
pH	6 - 8	20 g/l
Ponto de ebulição	Não aplicável.	
Ponto de inflamação	Não aplicável.	
Propriedades oxidativas	Nenhuma	
Solubilidade em água	> 100 g/l	a 20 °C
Outras informações		
Densidade prática	500 - 800 kg/m ³	
Decomposição térmica	> 200 °C	

10. ESTABILIDADE E REATIVIDADE

Condições a evitar	Nenhuma
Materias a evitar	Nenhum
Produtos de decomposição perigosos	Nenhum sob condições normais de armazenagem.

11. INFORMAÇÃO TOXICOLÓGICA

Toxicidade aguda			
- LD50 oral	> 2000 mg/kg	Rato	
Irritação primária			
(Pele)	Não irritante	Coelho	OECD 404
(Olhos)	Não irritante	Coelho	OECD 405
Sensibilização da pele	Sensibilizante	Porco da Guiné	OECD 406
Efeitos adversos no homem	Ver seção 16 na Ficha de Dados de Segurança.		
Informação adicional	Os dados toxicológicos são baseados nas propriedades conhecidas dos componentes.		

12. INFORMAÇÃO ECOLÓGICA

Ecotoxicidade			
Toxicidade para bactérias de efluente			
	CI50	> 320 mg/l	3 h OECD 209
Toxicidade para peixes	CL50	> 100 mg/l	96 h Peixe Zebra OECD 203
Toxicidade para daphnia	EC50	> 100 mg/l	48 h OECD 202
Sumário	Não tóxico nem nocivo para os organismos aquáticos.		
Persistência e degradabilidade			
Bioeliminação	20-30%, Análise COD		OECD 302B
Sumário	Eliminação parcial por adsorção em lodo ativado de ETE.		
Comportamento em ETEs	Sem efeitos adversos. Nenhuma inibição de nitrificação conhecida.		
Dados ecológicos adicionais			
DBO5	0 mgO ₂ /g		
DQO	900 mgO ₂ /g		
Teor de Nitrogênio	ca. 7 %		
Teor de Fósforo	< 0.1 %	Como fosfato.	

Teor de organo-halogenados	< 0.1 %	Cloro
Teor de metais	Conteúdo de metais abaixo dos limites recomendados pela ETAD.	
Material testado	Baseado em dados conhecidos sobre os componentes.	
Informação adicional		

13. QUESTÕES RELATIVAS À REMOÇÃO/DISPOSIÇÃO

Disposição do produto	Incinerar, depositar em aterro. Atender às prescrições legais.
Embalagens contaminadas	Embalagens vazias contaminadas devem ser eliminadas como resíduos químicos.

14. INFORMAÇÕES RELATIVAS AO TRANSPORTE

MANTER LONGE DE ALIMENTOS

Não é considerado perigoso para Transporte

15. INFORMAÇÕES REGULAMENTARES

CLASSIFICAÇÃO E ETIQUETAGEM

Símbolo e classificação	Xn : Nocivo
Frases-R	R42/43 : Pode causar sensibilização por inalação e por contato com a pele.
Frases-S	S22 : Não respirar as poeiras. S24 : Evitar o contato com a pele. S37 : Usar luvas apropriadas.
Contém	Derivado vinilsulfona azo naftaleno
Diretiva EU	99/45

16. OUTRAS INFORMAÇÕES

Com corantes reativos foram observados casos de sensibilização por inalação.

Ter todo o cuidado para evitar a inalação do produto.

Se surgir sensibilização, deve-se consultar um médico e impedir imediatamente qualquer contato com corantes reativos.

Lista de relevantes frases - R (Seção 3)

R42/43 : Pode causar sensibilização por inalação e por contato com a pele.

Restrições recomendadas ao uso

Os corantes e produtos químicos de Huntsman são de qualidade técnica e desde que nada em contrário seja especificado ou acordado, são recomendados exclusivamente para uso industrial em aplicações de tratamento prévio, branqueador ótico, tingimento, estampania ou acabamento de têxteis, papéis, bem como para uso em formulações industriais de detergentes, sabões, produtos de higiene e limpeza e cosméticos. Caso se pretenda o seu uso para outras aplicações, incluindo seu uso em produtos destinados ao grande público, que sejam regulamentados por normas ou leis específicas, deverão tais aplicações ser previamente discutidas com o fabricante. Os dados contidos nas Fichas de Dados de Segurança dizem respeito apenas aos produtos da Huntsman vendidos sob os referidos nomes comerciais. A pedido das autoridades competentes, a Huntsman fornecerá informações técnicas complementares.

Membro da ETAD.

HUNTSMAN

Enriching lives through innovation

Huntsman Química Brasil Ltda.**FISPQ - FICHA DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS**

De acordo com a NBR14726

N. Ident. do produto 0583868

Edição de 17.04.2008

Data da emissão: 17.04.2008

NOME COMERCIAL

NOVACRON RUBI S-3B

1. IDENTIFICAÇÃO DA SUBSTÂNCIA /PREPARAÇÃO E DA COMPANHIA/EMPRESA**Identificação da substância ou preparação.****Descrição química** Preparação de corante azo.**Uso da substância/preparação**

Corante para têxteis.

Identificação da companhia/empresa**Responsabilidade pelo Produto** Huntsman Textile Effects CH-4057 Basel**Departamento responsável** Product EHS Fax 0041 61 636 7996**Fornecedor** Huntsman Química Brasil Ltda.
AV. PROF. VICENTE RAO, 90
CAIXA POSTAL 21.421
04706-900 SÃO PAULO-SP, BRASIL

Tel: (0XX11)5532 4056 / 0800 595 2200

Fax: (0XX11)5531-8764

Telefone de emergência 0800 111 767/ 0800 70 71 767(SOS COTEC - chamada local) +55 19
3467 9700(SOS COTEC-chamada internacional.)**2. IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS**

Risco de graves lesões oculares

Pode provocar sensibilização por contato com a pele.

Mancha nos olhos.

3. COMPOSIÇÃO/ INFORMAÇÃO SOBRE OS COMPONENTES

Informação dos componentes	%	No. CAS	Símbolo	Frase-R
- Sal sódico do ácido 4-(4-Cloro-6-(etil-[3-(2-sulfoxi-etanosulfonil)-fenil]-amino)-[1,3,5]triazin-2-ilamino)-5-hidróxi-7-sulfino-6-(1-sulfo-naftaleno-2-ilazo)-naftaleno-2-sulfônico EC Nº. 451-490-1	19-24 %	718619-88-6	Xi	41-43-52/53

4. PRIMEIROS SOCORROS**Inalação**

Remover ao ar fresco. Procurar auxílio médico em caso de indisposição ou exposição prolongada ou irritação do sistema respiratório ou mucosas.

Contato com a pele	Retirar o vestuário contaminado. Lavar a pele com sabão e muita água.
Contato com os olhos	Lavar imediatamente com muita água durante 10 minutos.
Ingestão	Lavar a boca com água. Beber muita água.
Conselhos ao médico	Tratamento sintomático.
Informação adicional	Ver seção 16 da Ficha de Dados de Segurança.

5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO

Agentes extintores de fogo	Neblina d'água, espuma, pó, dióxido de Carbono.
Restrições	Sem restrições.
Fogo/ Perigo de explosão	Nenhum
Gases de combustão	Óxidos de Carbono, Nitrogênio e Enxofre, algum gás de Ácido Clorídrico.
Proteção pessoal	Aparelho de proteção respiratória independente da circulação de ar.

6. MEDIDAS A TOMAR EM CASO DE VAZAMENTO/ DERRAMAMENTO ACIDENTAL

Proteção pessoal	Proteção dos olhos, luvas, proteção das vias respiratórias.
Precauções ambientais	Sem precauções especiais
Recolhimento/ limpeza	Umedecer. Recolher. Evitar formação de pó. Guardar em embalagens marcadas para remoção como resíduo químico. Eliminar pequenos restos com o auxílio de água.

7. MANUSEIO E ARMAZENAGEM

Manuseio	
Higiene de trabalho	Não ingerir nem inalar. Evitar o contato com a pele e com os olhos. Manipular de acordo com as boas práticas de higiene industrial. Observar as prescrições legais e de higiene de trabalho aplicáveis.
Armazenagem	
Precauções com o fogo	Nenhuma precaução especial.
Armazenamento	Armazenar em local fresco, seco e com ventilação adequada.
Segregação	Sem precauções especiais.
Condições de armazenamento	Manter as embalagens bem fechadas.

8. CONTROLE DE EXPOSIÇÃO / PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Valores-limite de exposição	
Componentes com limites de exposição no local de trabalho	Nenhum. Garantir ventilação adequada.
Controle da exposição	
Proteção pessoal	
Proteção Individual Geral	Proteção dos olhos, luvas, proteção das vias respiratórias.
Proteção das vias respiratórias	Proteção respiratória, filtro P3.
Proteção para as mãos	Luvas de proteção resistentes a químicos (EN 374). Recomendado: tempo de permeabilidade >30 min. (nível 2), material por ex. butil ou neopreno. Observe as instruções do fabricante das luvas.
Proteção para os olhos	Manter firmemente adaptados os óculos de proteção .

9. PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS

9.1 Informações gerais

Aparência

Forma	Pó
Cor	Vermelho
Odor	Nenhum

Dados importantes sobre a saúde, a segurança e o ambiente

pH	6 - 8	20 g/l
Ponto de ebulição	Não aplicável.	
Ponto de inflamação	Não aplicável.	
Propriedades oxidativas	Nenhuma	
Solubilidade em água	> 100 g/l	a 30 °C
Outras informações		
Densidade prática	600 - 800 kg/m ³	

10. ESTABILIDADE E REATIVIDADE

Condições a evitar Nenhuma

Materias a evitar Nenhum

Produtos de decomposição perigosos Nenhum sob condições normais de armazenagem.

11. INFORMAÇÃO TOXICOLÓGICA

Toxicidade aguda

- LD50 oral > 2000 mg/kg Rato

Irritação primária

(Pele) Não irritante Coelho OECD 404

(Olhos) Manchas oculares Coelho OECD 405

Sensibilização da pele Sensibilizante Porco da Guiné OECD 406

Efeitos adversos no homem Ver seção 16 na Ficha de Dados de Segurança.

Informação adicional Os dados toxicológicos são baseados nas propriedades conhecidas dos componentes.

12. INFORMAÇÃO ECOLÓGICA

Ecotoxicidade

Toxicidade para bactérias de efluente

CI50 > 100 mg/l 3 h OECD 209

Toxicidade para peixes CL50 > 100 mg/l 96 h Peixe Zebra OECD 203

Toxicidade para daphnia EC50 > 100 mg/l 48 h OECD 202

Sumário Não tóxico nem nocivo para os organismos aquáticos.

Persistência e degradabilidade

Bioeliminação 10-20%, Análise COD OECD 302B

Sumário Eliminação reduzida por adsorção em lodo ativado de ETE.

Comportamento em ETEs Sem efeitos adversos. Nenhuma inibição de nitrificação conhecida.

Dados ecológicos adicionais

DBO5 0 mgO₂/g

DQO 733 mgO₂/g

Teor de Nitrogênio	ca. 7.4 %
Teor de Fósforo	0 %
Teor de organo-halogenados	0.1 % Cloro
Material testado	Baseado em dados conhecidos sobre os componentes.
Informação adicional	

13. QUESTÕES RELATIVAS À REMOÇÃO/DISPOSIÇÃO

Disposição do produto	Incinerar, depositar em aterro. Atender às prescrições legais.
Embalagens contaminadas	Embalagens vazias contaminadas devem ser eliminadas como resíduos químicos.

14. INFORMAÇÕES RELATIVAS AO TRANSPORTE

MANTER LONGE DE ALIMENTOS

Não é considerado perigoso para Transporte

15. INFORMAÇÕES REGULAMENTARES

CLASSIFICAÇÃO E ETIQUETAGEM

Símbolo e classificação	Xi : Irritante
Frases-R	R41 : Risco de graves lesões oculares R43 : Pode provocar sensibilização por contato com a pele.
Frases-S	S22 : Não respirar as poeiras. S24 : Evitar o contato com a pele. S26 : Em caso de contato com os olhos, lavar imediata e abundantemente com água e consultar o serviço médico. S37/39 : Usar luvas e equipamento de proteção para os olhos/face, adequados.
Contém	C.I. Reactive Red 279
Diretiva EU	99/45

16. OUTRAS INFORMAÇÕES

Com corantes reativos foram observados casos de sensibilização por inalação.

Ter todo o cuidado para evitar a inalação do produto.

Se surgir sensibilização, deve-se consultar um médico e impedir imediatamente qualquer contato com corantes reativos.

Lista de relevantes frases - R (Seção 3)

R41 : Risco de graves lesões oculares
R43 : Pode provocar sensibilização por contato com a pele.
R52/53 : Nocivo para organismos aquáticos, pode causar efeitos adversos a longo prazo no ambiente aquático.

Restrições recomendadas ao uso


Os corantes e produtos químicos de Huntsman são de qualidade técnica e desde que nada em contrário seja especificado ou acordado, são recomendados exclusivamente para uso industrial em aplicações de tratamento prévio, branqueador ótico, tingimento, estampania ou acabamento de têxteis, papéis, bem como para uso em formulações industriais de detergentes, sabões, produtos de higiene e limpeza e cosméticos. Caso se pretenda o seu uso para outras aplicações, incluindo seu uso em produtos destinados ao grande público, que sejam regulamentados por normas ou leis específicas, deverão tais aplicações ser previamente

0583868 - NOVACRON RUBI S-3B

Page 5 of 5


discutidas com o fabricante. Os dados contidos nas Fichas de Dados de Segurança dizem respeito apenas aos produtos da Huntsman vendidos sob os referidos nomes comerciais. A pedido das autoridades competentes, a Huntsman fornecerá informações técnicas complementares.

Membro da ETAD.

 orion CORES CRW Corantes Ltda	FICHA DE SEGURANÇA	Revisão :1 Data : 25/03/2006
	TURQUESA REACTRON V-G CONC.	R0300133

CRW CORANTES LTDA.
 Rua do Funileiro nº 133
 Jardim Industrial Werner Plaas
 CEP. 13478-732
 Americana – SP
 Fone/Fax: (19) 3468-5150

1. Identificação do Produto		
Identificação do produto: CORANTE PHTHALOCYANINA		
2. Informações sobre os Componentes		
Composição Corante (Cobre)	Propriedade:	35%
3. Identificação de risco		
<p>**** Emergência**** Atenção: Pode causar irritação respiratória. Este material não é conhecido para ser considerado perigoso como define o OSHA, 29 CFR 1910.1200. Contudo, como com todas os produtos químicos, evitar e ter cuidado com o manuseio.</p> <p>Efeitos da exposição: Contato com os olhos: Irritante para os olhos.</p> <p>Efeitos da exposição: Contato com a Pele: Irritante para a pele.</p> <p>Efeitos da exposição: Inalação: : Pode causar irritação se inalado.</p> <p>Efeitos da exposição: Ingestão: Desconhecida.</p>		
4. PRIMEIROS SOCORROS:		
<p>Contato ocular: Imediatamente lave os olhos com água pelo menos 15 minutos, Segurando as pálpebras distantes do local da irritação, minuciosamente.</p> <p>Contato com a pele: Lave a pele cuidadosamente com água e sabão. Procure auxílio médico se a irritação avançar.</p> <p>Inalação: Remover para um local arejado. Se a respiração se tornar difícil e a respiração artificial não estiver funcionando, procurar auxílio médico com urgência.</p> <p>Ingestão: Diluir com água e induzir o vômito. Procurar auxílio médico. Nunca dar líquido ou induzir o vômito se o paciente/vítima estiver inconsciente ou tendo uma convulsão.</p>		
5. Medidas de controle contra incêndio		
<p>Ponto de Fusão: N.A (não aplicável)</p> <p>Auto ignição: N.D (não é determinada)</p> <p>Meio de extinção: CO₂ , água e pó químico.</p> <p>Baixa explosividade: N.A (não aplicável)</p> <p>Alta explosividade: N.A (não aplicável)</p> <p>Procedimento Especial de Combate ao Fogo: Usar máscara respiratória.</p> <p>Recomendação Especial: Evitar exposição ao pó do corante.</p>		

 <p>orion CORES CRW Corantes Ltda</p>	FICHA DE SEGURANÇA	Revisão :1 Data : 25/03/2006
	TURQUESA REACTRON V-G CONC.	R0300133

6. Medidas de controle

Medidas a serem tomadas em caso do material ser liberado ou derramado: Vestir equipamento apropriado de segurança. Conter e limpar se derramado imediatamente. Prevenir o escoamento do produto no chão. Se ocorrer esfregue a área com detergente e despeje grande quantidade de água. Conter líquidos usando absorventes. Varrer cuidadosamente minimizando a poeira, ou utilizar uma pá para colocar o produto derramado dentro de recipientes fechados.

7. Armazenamento e Manuseio

Manuseio: De acordo com a boa prática industrial, armazenar com cuidado e evitar contato pessoal.

Armazenamento: Manter o recipiente fechado se não estiver sendo utilizado.

8. Controle de Exposição/Proteção Pessoal

Controle Técnico: Local de ventilação pode ser necessário para controlar o ar contaminado durante o uso do produto.

Proteção respiratória : Usar um respirador NIOSH aprovado com um cartucho de filtro para reter o pó.

Limites de exposição: Quantidade de partículas de 5 mg/m³. Total de pó.

Proteção ocular: Use óculos de Segurança com escudos ou óculos de proteção próprios.

Proteção da pele: Usar luvas resistentes e vestimentas de mangas longas.

Outro equipamento de proteção: Usar avental ou outra vestimenta que evite o contato com a pele.

Práticas Higiênicas: Evitar o contato nos olhos e pele. Evitar inalação da poeira ou vapor. Lavar-se cuidadosamente após o manuseio. Manter os recipientes fechados.

9. Propriedade Física e Química

Forma: Sólido

Cor: Pó Azul.

Odor: nenhum

Viscosidade: N.A.

Densidade: é mais pesada do que o ar

Taxa de evaporação: é mais lenta do que Butyl Acetate.

Gravidade específica: N.D.


Solubilidade em água: Solúvel

Valor do pH @ 1.0%: N.D.

Ponto de Ebulição: N.A

Vapor de Pressão: N.D

Coefficiente de água/Distribuição de óleo: N.D

 orion CORES CRW Corantes Ltda	FICHA DE SEGURANÇA	Revisão :1 Data : 25/03/2006
	TURQUESA REACTRON V-G CONC.	R0300133

10. Estabilidade e Reatividade- Reações Perigosas

Condições para evitar: Desconhecida.

Incompatibilidade: Desconhecida.

Decomposição Perigosa do Produto: Queimando produzirá gás carbônico e nitrogênio.

Polimerização Perigosa: Não ocorrerá em condições normais.

Estabilidade: Este produto é estável em condições normais de armazenamento.

11. Informações Toxicológicas

Componente Corante (Cobre)

LD50/LC50: Não há informações corretamente avaliadas.

Informações toxicológicas adicionais: Desconhecida.

12. Informações sobre o solo

Não há informações correntemente avaliadas.

13. Venda

A venda do produto será de acordo com a regulamentação local, federal e estadual. Não perigoso conforme 40 CFR 261.

14. Transportes

Sem restrições quanto ao transporte do produto.

15. Informações Regulamentares

S22 - Não respirar o pó

TSCA - De acordo com TOSCA

SARA - Veja secção de riscos


16. Informações adicionais

Este produto não é um produto "controlado" conforme definido pela VHMIS Canadense.

Legenda: N.A : não aplicável

N.D: não é determinado.

N.E: não é estabelecido.

	FICHA DE SEGURANÇA	Revisão :1 Data : 25/03/2006
	TURQUESA REACTRON V-G CONC.	R0300133

Renúncia de Responsabilidade:

As informações contidas neste MSDS foram obtidas a partir de recursos que nós acreditamos serem confiáveis. Contudo a informação é dada sem nenhuma garantia expressa ou implícita a respeito da sua correção. As condições e métodos de manuseio, armazenagem, uso ou descarte dos produtos estão além do nosso controle e podem ser além de nosso conhecimento. Por estas e outras razões nós não assumimos responsabilidade e expressamente renunciamos a responsabilidade por perdas, danos ou despesas provenientes que de alguma maneira estejam relacionados com o manuseio, armazenagem, uso ou descarte dos produtos. Este MSDS foi preparado e deve ser usado somente para este produto. Se este produto é usado como componente em outro produto, a informação contida não pode ser aplicada.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Azul Brilhante Remazol RN gran

000010000479

Página 1/5

Data da Revisão: 05.11.2002 1.1 / D / PT

1) Identificação produto/empresa

Azul Brilhante Remazol RN gran

Campo de aplicação :
Corante têxtil

DyStar Textilfarben GmbH, Ökologie
Caixa postal 100480, D - 51304 Leverkusen
Número de telefone 49(0)69/2109 - 3172
Telefone de emergência: 49(0)214/3099300

Tele-Fax 49(0)69/2109 - 3000

2) Composicao/Informação dos componentes

preparação de corante reactivo de antraquinona
contém
C.I. Reactive Blue 19

3) Perigos possíveis

Sem indicação de perigo.

4) Primeiros socorros

Recomendações em geral:: Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

Em caso de inalação: Após inalação de aerosol/vapor/poeiras: Levar o sinistrado para o ar livre; é necessário assistência médica no caso de dificuldades de respiração.

Em caso de contato com a pele: Despir imediatamente o vestuário contaminado com o produto. lavar com água abundante, sabão ou outros produtos apropriados.

Em caso de contato com os olhos: No caso de contacto com os olhos, lavá-los com água durante tempo suficiente com as pálpebras abertas. Em seguida, consultar imediatamente um médico ou oftalmologista.

Em caso de ingestão: Em caso de ingestão do produto, dar imediatamente e repetidas vezes água a beber, eventualmente com adição de carvão activo. No caso de indisposição, consultar um médico.

5) Medidas de combate a incêndio

Meios de extinção adequados: névoa de água, espuma, extintor seco

Meios de extinção inadequados por motivos de segurança: CO2

Equipamentos de proteção especiais no combate a incêndio: No combate ao incêndio, usar aparelho respiratório com admissão de ar independente do ambiente.

Informações adicionais:: Resíduos de combustão e água de combate a fogo contaminada devem ser dispostos de acordo com as normas da autoridade responsável local.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Azul Brilhante Remazol RN gran

000010000479

Página 2/5

Data da Revisão: 05.11.2002 1.1 / D / PT

6) Medidas em caso de vazamentos acidentais

Medidas de prevenção referidas a pessoas: Evitar a formação e a acumulação de pó.

Medidas de proteção ao meio ambiente: Não deixar penetrar na canalização ou em cursos de água.

Procedimento de limpeza/recolhimento: Recolher o material derramado com produto ligante do pó ou utilizar aspirador adequado. Encher o produto em recipientes etiquetados e que possam ser fechados.

Recomendações adicionais:: Outras medidas de remoção ver capítulo 13.

7) Armazenagem e manipulação

Recomendações para utilização sem perigo: Evitar a formação e a acumulação de pó. Conservar o recipiente bem fechado e ao abrigo da humidade.

Recomendações para prevenir incêndio e explosão: Observar as medidas de precaução usuais para a manipulação de produtos químicos explosivos em forma de pó. Observar os regulamentos nacionais.

Exigências para área de armazenagem/recipientes: Armazenar no recipiente original num lugar seco e fresco.

Antes da ensacagem do produto, há que adoptar medidas destinadas a evitar a formação de cargas electrostáticas.

Classe de armazenagem (RFA): 11 Substâncias combustíveis

Estabilidade: Tempo de armazenagem: 60 Meses

8) Limitação de exposição e equipamentos de protecção individual

Medidas de protecção em geral: Não respirar as poeiras.

Evitar o contacto com a pele e os olhos.

Despir imediatamente o vestuário contaminado com o produto.

INDICAÇÃO: AS MARCAS GRANULOS SÃO PREPARAÇÕES DE CORANTES REACTIVOS FÁCEIS DE VERTER DA EMBALAGEM E PARTICULARMENTE POBRES EM PÓ. SE FOREM MANUSEADAS COM CUIDADO, PODE-SE EVITAR QUASE POR COMPLETO A FORMAÇÃO DE POEIRA.

É absolutamente necessário evitar a inalação de pó e aerosóis (boa aspiração ou máscara apropriada). As pessoas afectadas por doenças crónicas das vias respiratórias não devem trabalhar com marcas em pó de corantes reactivos. Se, durante a manipulação de marcas em pó de corantes reactivos, se verificarem irregularidades na respiração ou ataques de asma, deve-se consultar atempadamente um médico. No caso de sensibilização comprovada às marcas em pó de corantes reactivos, deve-se evitar imediatamente qualquer contacto com o pó de corantes reactivos.

Medidas de higiene do trabalho: Manter afastado de bebidas e produtos alimentares.

Não comer, beber ou fumar durante o trabalho.

Antes dos intervalos e no fim do trabalho lavar as mãos e utilizar um creme de protecção

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Azul Brilhante Remazol RN gran

000010000479

Página 3/5

Data da Revisão: 05.11.2002 1.1 / D / PT

Proteção respiratória:	Máscara anti-pó com filtro de partículas
Proteção das mãos:	Usar luvas adequadas p.ex. de PVC ou nitril-borracha. Em caso de contaminação, mudar imediatamente as luvas de protecção.
Proteção dos olhos:	Oculos de protecção com protecção lateral
Proteção do corpo:	vestuário de protecção

9) Propriedades físico-químicas

Estado físico:	granulado
Cor:	azul escuro
Odor:	quase inodoro
Temperatura de fusão/amolecimento:	> 200 °C
:	:
Ponto de inflamação:	não aplicável
Densidade a granel:	cerca 250 kg/m ³
Solubilidade em água:	> 10 g/l (20 °C)
valor pH:	cerca 6,0 (10 g/l) água
Sensibilidade a impacto:	não sensível a choque
Índice de combustibilidade:	BZ3 queima localizada sem propagação

10) Estabilidade e reatividade

Decomposição térmica	a partir de 200 °C
Reações perigosas: No caso de produtos orgânicos pulverulentos, deve-se contar, por via de regra, com explosão do pó.	

11) Informações toxicológicas

Toxicidade oral aguda:	DL50 > 2.000 mg/kg (Ratazana)
Toxicidade dérmica aguda:	DL50 > 2.000 mg/kg (Ratazana)
Efeito de irritação dérmica:	não irritante (Coelho)
Irritante aos olhos:	não irritante (Olho de Coelho)
Sensibilização:	O produto não tem efeito de sensibilização em cobaias (OCDE 406; GPMT segundo MAGNUSSON-KLIGMAN).

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Azul Brilhante Remazol RN gran

000010000479

Página 4/5

Data da Revisão: 05.11.2002 1.1 / D / PT

Mutagenicidade: Teste de salmonelas/microsomas (teste Ames): Nenhuma indicação de mutagenidade.

Observacoes : Resultado de ensaio de um produto com composição semelhante
As elevadas concentrações de pó podem irritar as mucosas dos olhos e das vias respiratórias. No caso de repetida exposição a elevadas concentrações de pó, pode verificar-se, em casos muito raros, em alguns corantes reactivos uma sensibilização das vias respiratórias. Até à data, com este corante não se observou qualquer sensibilização.

12) Informações ecológicas

Biodegradabilidade: 50 - 100 %
Toxicidade em peixes: CL50 > 100 mg/l (96 h, Brachydanio rerio)
Toxicidade em bactérias: CE50 > 2.000 mg/l

Demanda química de oxigênio (DQO):cerca 1.250 mg/g

Observacoes: Resultado de ensaio de um produto com composição semelhante

- produto pode contribuir no máximo 0,2 % em peso para o valor AOX das águas residuais. (DIN 38409)
- produto não contém metais pesados em concentrações importantes para as águas residuais.
- produto não contém nitrogénio liberável que possa contribuir para a eutrofização.
- produto não contém fosfato ou compostos orgânicos fosfóricos.

Observacoes:

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Azul Brilhante Remazol RN gran

000010000479

Página 5/5

Data da Revisão: 05.11.2002 1.1 / D / PT

13) Recomendações para eliminação de resíduos

Produto: Se não for possível reutilizar ou reciclar o produto, eliminá-lo segundo as prescrições e instruções locais aplicáveis, p. ex. mediante incineração numa instalação adequada.

Código de resíduos segundo o Catálogo Europeu de Resíduos (CER):040217 corantes e pigmentos, não abrangidos em 040216

Embalagens não limpas: Os recipientes vazios e por limpar devem ser tratados como o seu conteúdo.

14) Informações para transporte

ADR	NAO PRODUTO PERIGOSO
RID	NAO PRODUTO PERIGOSO
ADNR	NAO PRODUTO PERIGOSO
IMDG	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_C	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_P	NAO PRODUTO PERIGOSO

Informações adicionais Proteger da humidade., Manter separado de produtos alimentares.

15) Normas

Etiquetagem segundo as directivas da CEE:

S22 : Não respirar as poeiras.

Classe de Perigo para água (RFA): WGK 2 - perigoso para a água WGK = Classificação de acordo com a lei alemã das águas Anexo 2 da VwVwS (Alemanha) de 17 de Maio de 1999

16) Informações adicionais

As informações baseiam-se nos nossos conhecimentos actuais. Elas devem descrever os nossos produtos com relação a exigências de segurança e não tem o objetivo de assegurar características específicas.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Vermelho Remazol RGB gran

000010005131

Página 1/5

Data da Revisão: 24.11.2004 2. / D / PT

1) Identificação produto/empresa

Vermelho Remazol RGB gran

Campo de aplicação :
Corante têxtil

DyStar Textilfarben GmbH , Ökologie
Caixa postal 100480 , D - 51304 Leverkusen
Número de telefone 49(0)69/2109 - 3172 Tele-Fax 49(0)69/2109 - 3000
Telefone de emergência: 49(0)214/3099300

2) Composicao/Informação dos componentes

preparação de corantes reactivos azóicos

3) Perigos possíveis

Sem indicação de perigo.

4) Primeiros socorros

Recomendações em geral:: Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

Em caso de inalação: Após inalação de aerosol/vapor/poeiras: Levar o sinistrado para o ar livre; é necessário assistência médica no caso de dificuldades de respiração.

Em caso de contato com a pele: Despir imediatamente o vestuário contaminado com o produto. lavar com água abundante, sabão ou outros produtos apropriados.

Em caso de contato com os olhos: No caso de contacto com os olhos, lavá-los com água durante tempo suficiente com as pálpebras abertas. Em seguida, consultar imediatamente um médico ou oftalmologista.

Em caso de ingestão: Em caso de ingestão do produto, dar imediatamente e repetidas vezes água a beber, eventualmente com adição de carvão activo. No caso de indisposição, consultar um médico.

5) Medidas de combate a incêndio

Meios de extinção adequados: névoa de água, espuma, extintor seco

Meios de extinção inadequados por motivos de segurança: CO2

Equipamentos de proteção especiais no combate a incêndio: No combate ao incêndio, usar aparelho respiratório com admissão de ar independente do ambiente.

Informações adicionais:: Resíduos de combustão e água de combate a fogo contaminada devem ser dispostos de acordo com as normas da autoridade responsável local.

6) Medidas em caso de vazamentos acidentais

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Vermelho Remazol RGB gran

000010005131

Página 2/5

Data da Revisão: 24.11.2004 2. / D / PT

Medidas de prevenção referidas a pessoas: Evitar a formação e a acumulação de pó.

Medidas de proteção ao meio ambiente: Não deixar penetrar na canalização ou em cursos de água.

Procedimento de limpeza/recolhimento: Recolher o material derramado com produto ligante do pó ou utilizar aspirador adequado. Encher o produto em recipientes etiquetados e que possam ser fechados.

Recomendações adicionais:: Outras medidas de remoção ver capítulo 13.

7) Armazenagem e manipulação

Recomendações para utilização sem perigo: Evitar a formação e a acumulação de pó. Conservar o recipiente bem fechado e ao abrigo da humidade.

Recomendações para prevenir incêndio e explosão: Observar as medidas de precaução usuais para a manipulação de produtos químicos explosivos em forma de pó. Observar os regulamentos nacionais.

Exigências para área de armazenagem/recipientes: Armazenar no recipiente original num lugar seco e fresco.

Antes da ensacagem do produto, há que adoptar medidas destinadas a evitar a formação de cargas electrostáticas.

Classe de armazenagem (RFA): 11 Substância sólida Combustível.

Estabilidade: Tempo de armazenagem: 60 Meses

8) Limitação de exposição e equipamentos de proteção individual

Medidas de proteção em geral: Não respirar as poeiras. Evitar o contacto com a pele e os olhos. Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

INDICAÇÃO: AS MARCAS GRANULOS SÃO PREPARAÇÕES DE CORANTES REACTIVOS FÁCEIS DE VERTER DA EMBALAGEM E PARTICULARMENTE POBRES EM PÓ. SE FOREM MANUSEADAS COM CUIDADO, PODE-SE EVITAR QUASE POR COMPLETO A FORMAÇÃO DE POEIRA.

É absolutamente necessário evitar a inalação de pó e aerossóis (boa aspiração ou máscara apropriada). As pessoas afectadas por doenças crónicas das vias respiratórias não devem trabalhar com marcas em pó de corantes reactivos. Se, durante a manipulação de marcas em pó de corantes reactivos, se verificarem irregularidades na respiração ou ataques de asma, deve-se consultar atempadamente um médico. No caso de sensibilização comprovada às marcas em pó de corantes reactivos, deve-se evitar imediatamente qualquer contacto com o pó de corantes reactivos.

Medidas de higiene do trabalho: Manter afastado de bebidas e produtos alimentares.

Não comer, beber ou fumar durante o trabalho.

Antes dos intervalos e no fim do trabalho lavar as mãos e utilizar um creme de protecção

Protecção respiratória: Máscara anti-pó com filtro de partículas

Protecção das mãos: Usar luvas adequadas p.ex. de PVC ou nitril-borracha. Em caso de contaminação, mudar imediatamente as luvas de protecção.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Vermelho Remazol RGB gran

000010005131

Página 3/5

Data da Revisão: 24.11.2004 2. / D / PT

Proteção dos olhos: Oculos de proteção com proteção lateral
 Proteção do corpo: vestuário de protecção

9) Propriedades físico-químicas

Estado físico: granulado
 Cor: vermelho
 Ponto de inflamação: não aplicável
 Temperatura de ignição: > 210 °C
 Densidade a granel: cerca 500 kg/m³
 Solubilidade em água: 70 g/l (20 °C)

10) Estabilidade e reatividade

Decomposição térmica Não se verifica decomposição térmica no caso de armazenagem e manipulação adequadas.

Reações perigosas: No caso de produtos orgânicos pulverulentos, deve-se contar, por via de regra, com explosão do pó.

11) Informações toxicológicas

Toxicidade oral aguda: DL50 > 2.000 mg/kg (Ratazana)
 Efeito de irritação dérmica: não irritante (Coelho)
 Irritante aos olhos: não irritante (Olho de Coelho)
 Sensibilização: não sensibilizante (Porquinho-da-Índia)
 Sensibilização:
 As elevadas concentrações de pó podem irritar as mucosas dos olhos e das vias respiratórias. No caso de repetida exposição a elevadas concentrações de pó, pode verificar-se, em casos muito raros, em alguns corantes reactivos uma sensibilização das vias respiratórias. Até à data, com este corante não se observou qualquer sensibilização.
 Mutagenicidade: Teste de salmonelas/microsomas (teste Ames): Nenhuma indicação de mutagenidade.

Observacoes : A indicação basear-se em as propriedades toxicológicas dos componentes.

12) Informações ecológicas

Biodegradabilidade: < 10 %

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Vermelho Remazol RGB gran

000010005131

Página 4/5

Data da Revisão: 24.11.2004 2. / D / PT

Toxicidade em peixes: CL50 > 500 mg/l (96 h, Brachydanio rerio)

Toxicidade em bactérias: IC50 > 100 mg/l (Lodo biológico)

Demanda química de oxigênio (DQO): 1.080 mg/g

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO5): < 30 mg/g

Observacoes: A indicação basear-se em as propriedades toxicológicas dos componentes.

O produto pode contribuir no máximo 1,9 % em peso para o valor AOX das águas residuais. (DIN 38409)

O produto não contém metais pesados em concentrações importantes para as águas residuais.

O produto não contém nitrogênio liberável que possa contribuir para a eutrofização.

O produto não contém fosfato ou compostos orgânicos fosfóricos.

13) Recomendações para eliminação de resíduos

Produto: Se não for possível reutilizar ou reciclar o produto, eliminá-lo segundo as prescrições e instruções locais aplicáveis, p. ex. mediante incineração numa instalação adequada.

Código de resíduos segundo o Catálogo Europeu de Resíduos (CER): 040217 corantes e pigmentos, não abrangidos em 040216

Embalagens não limpas: Os recipientes vazios e por limpar devem ser tratados como o seu conteúdo.

14) Informações para transporte

ADR	NAO PRODUTO PERIGOSO
ADNR	NAO PRODUTO PERIGOSO
RID	NAO PRODUTO PERIGOSO
IMDG	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_C	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_P	NAO PRODUTO PERIGOSO

Informações adicionais Proteger da humidade., Manter separado de produtos alimentares.

15) Normas

Etiquetagem segundo as directivas da CEE:

S22 : Não respirar as poeiras.

Classe de Perigo para água (RFA): WGK 2 - perigoso para a água WGK = Classificação de acordo com a lei alemã das águas Anexo 2 da VwVwS (Alemanha) de 17 de Maio de 1999

16) Informações adicionais

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE

DyStar 

Vermelho Remazol RGB gran

000010005131

Página 5/5

Data da Revisão: 24.11.2004 2. / D / PT

As informações baseiam-se nos nossos conhecimentos actuais. Elas devem descrever os nossos produtos com relação a exigências de segurança e não tem o objetivo de assegurar características específicas.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE**Preto Remazol B 133% gran**

000004519353

Página 1/5

Data da Revisão: 30.09.2002 1.3 / D / PT

1) Identificação produto/empresa**Preto Remazol B 133% gran**Campo de aplicação :
Corante têxtilDyStar Textilfarben GmbH & Co. , Deutschland KG, Ökologie
Caixa postal 100480 , D - 51304 Leverkusen
Número de telefone 49(0)69/2109 - 3172 Tele-Fax 49(0)69/2109 - 3000
Telefone de emergência: 49(0)214/3099300**2) Composicao/Informação dos componentes**

preparação de corante reactivo azóico

Componente perigoso:
C.I. Reactive Black 5
Conteúdo: 70 - 80 %

Número CE 241-164-5

Símbolos de Perigo: Xn
Frases R: 42/43**3) Perigos possíveis**

Pode causar sensibilização por inalação e em contacto com a pele.

4) Primeiros socorros

Recomendações em geral: Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

Em caso de inalação: Após inalação de aerosol/vapor/poeiras: Levar o sinistrado para o ar livre; é necessário assistência médica no caso de dificuldades de respiração.

Em caso de contato com a pele: Despir imediatamente o vestuário contaminado com o produto. lavar com água abundante, sabão ou outros produtos apropriados.

Em caso de contato com os olhos: No caso de contacto com os olhos, lavá-los com água durante tempo suficiente com as pálpebras abertas. Em seguida, consultar imediatamente um médico ou oftalmologista.

Em caso de ingestão: Em caso de ingestão do produto, dar imediatamente e repetidas vezes água a beber, eventualmente com adição de carvão activo. No caso de indisposição, consultar um médico.

5) Medidas de combate a incêndio

Meios de extinção adequados: névoa de água, espuma, extintor seco

Meios de extinção inadequados por motivos de segurança: CO2

Equipamentos de proteção especiais no combate a incêndio: No combate ao incêndio, usar aparelho respiratório com admissão de ar independente do ambiente.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Preto Remazol B 133% gran

000004519353

Página 2/5

Data da Revisão: 30.09.2002 1.3 / D / PT

Informações adicionais: Resíduos de combustão e água de combate a fogo contaminada devem ser dispostos de acordo com as normas da autoridade responsável local.

6) Medidas em caso de vazamentos acidentais

Medidas de prevenção referidas a pessoas: Evitar a formação e a acumulação de pó.

Medidas de proteção ao meio ambiente: Não deixar penetrar na canalização ou em cursos de água.

Procedimento de limpeza/recolhimento: Recolher o material derramado com produto ligante do pó ou utilizar aspirador adequado. Encher o produto em recipientes etiquetados e que possam ser fechados.

Recomendações adicionais: Outras medidas de remoção ver capítulo 13.

7) Armazenagem e manipulação

Recomendações para utilização sem perigo: Evitar a formação e a acumulação de pó. Conservar o recipiente bem fechado e ao abrigo da humidade.

Recomendações para prevenir incêndio e explosão: Observar as medidas de precaução usuais para a manipulação de produtos químicos explosivos em forma de pó. Observar os regulamentos nacionais.

Exigências para área de armazenagem/recipientes: Antes da ensacagem do produto, há que adoptar medidas destinadas a evitar a formação de cargas electrostáticas.

Classe de armazenagem (RFA): 11 Substâncias combustíveis

Estabilidade: Tempo de armazenagem: 60 Meses

8) Limitação de exposição e equipamentos de proteção individual

Medidas de proteção em geral: Não respirar as poeiras.

Evitar o contacto com a pele e os olhos.

Despir imediatamente o vestuário contaminado com o produto.

INDICAÇÃO: AS MARCAS GRANULOS SÃO PREPARAÇÕES DE CORANTES REACTIVOS FÁCEIS DE VERTER DA EMBALAGEM E PARTICULARMENTE POBRES EM PÓ. SE FOREM MANUSEADAS COM CUIDADO, PODE-SE EVITAR QUASE POR COMPLETO A FORMAÇÃO DE POEIRA.

É absolutamente necessário evitar a inalação de pó e aerosóis (boa aspiração ou máscara apropriada). As pessoas afectadas por doenças crónicas das vias respiratórias não devem trabalhar com marcas em pó de corantes reactivos. Se, durante a manipulação de marcas em pó de corantes reactivos, se verificarem irregularidades na respiração ou ataques de asma, deve-se consultar atempadamente um médico. No caso de sensibilização comprovada às marcas em pó de corantes reactivos, deve-se evitar imediatamente qualquer contacto com o pó de corantes reactivos.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Preto Remazol B 133% gran

000004519353

Página 3/5

Data da Revisão: 30.09.2002 1.3 / D / PT

Medidas de higiene do trabalho: Manter afastado de bebidas e produtos alimentares.
 Não comer, beber ou fumar durante o trabalho.
 Antes dos intervalos e no fim do trabalho lavar as mãos e utilizar um creme de protecção

Protecção respiratória:	meia máscara com filtro combinado ABEK-P3
Protecção das mãos:	Usar luvas adequadas p.ex. de PVC ou nitril-borracha. Em caso de contaminação, mudar imediatamente as luvas de protecção.
Protecção dos olhos:	Oculos de protecção com protecção lateral
Protecção do corpo:	vestuário de protecção

9) Propriedades fisico-químicas

Estado físico:	granulado
Cor:	preto
Odor:	inodoro
Temperatura de ignição:	> 240 °C
Densidade a granel:	cerca 600 kg/m ³
Solubilidade em água:	> 100 g/l (25 °C)
valor pH:	cerca 4,5 (10 g/l) água
Índice de combustibilidade:	BZ1 não entra em combustão

10) Estabilidade e reatividade

Decomposição térmica	> 190 °C
----------------------	----------

Reações perigosas: Tendência à explosão do pó: não inflamável (tubo Hartmann modificado, VDI 2263/3673).

11) Informações toxicológicas

Toxicidade oral aguda:	DL50 > 2.000 mg/kg (Ratazana)
Efeito de irritação dérmica:	não irritante (Coelho)
Irritante aos olhos:	não irritante (Olho de Coelho)
Sensibilização:	Tem efeito de sensibilização da pele de cobaias.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Preto Remazol B 133% gran

000004519353

Data da Revisão: 30.09.2002 1.3 / D / PT

Página 4/5

Sensibilização:

As elevadas concentrações de pó podem irritar as mucosas dos olhos e das vias respiratórias. No caso de repetida exposição a elevadas concentrações de pó, pode verificar-se, em casos muito raros, em alguns corantes reactivos uma sensibilização das vias respiratórias. Até à data, com este corante não se observou qualquer sensibilização.

12) Informações ecológicas

Biodegradabilidade:	10 - 25 % Método: Teste estático
Toxicidade em peixes:	CL50 > 100 mg/l (48 h, Brachydanio rerio)
Toxicidade em bactérias:	> 1.000 mg/l Método: fermentation tube test

Observacoes: O produto ne pode contribuir para o valor AOX das águas residuais. (DIN EN 1485)
 O produto não contém metais pesados em concentrações importantes para as águas residuais.
 O produto não contém nitrogénio liberável que possa contribuir para a eutrofização.
 O produto não contém fosfato ou compostos orgânicos fosfóricos.

13) Recomendações para eliminação de resíduos

Produto: Se não for possível reutilizar ou reciclar o produto, eliminá-lo segundo as prescrições e instruções locais aplicáveis, p. ex. mediante incineração numa instalação adequada.

Código de resíduos segundo o Catálogo Europeu de Resíduos (CER): 040216 Corantes e pigmentos, contendo substâncias perigosas

Embalagens não limpas: Os recipientes vazios e por limpar devem ser tratados como o seu conteúdo.

14) Informações para transporte

ADR	NAO PRODUTO PERIGOSO
RID	NAO PRODUTO PERIGOSO
ADNR	NAO PRODUTO PERIGOSO
IMDG	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_C	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_P	NAO PRODUTO PERIGOSO

Informações adicionais Manter separado de produtos alimentares.

15) Normas

Etiquetagem segundo as directivas da CEE:

Símbolos de Perigo: Xn Nocivo

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Preto Remazol B 133% gran

000004519353

Página 5/5

Data da Revisão: 30.09.2002 1.3 / D / PT

contém: C.I. Reactive Black 5

R42/43 : Pode causar sensibilização por inalação e em contacto com a pele.

S22 : Não respirar as poeiras.

S24 : Evitar o contacto com a pele.

S37 : Usar luvas adequadas.

Classe de Perigo para água (RFA): WGK 2 - perigoso para a água WGK = Classificação de acordo com a lei alemã das águas Anexo 2 da VwVwS (Alemanha) de 17 de Maio de 1999

16) Informações adicionais

Teor de todas as frases R, às quais se faz referência nos capítulos 2 e 3:

42/43 : Pode causar sensibilização por inalação e em contacto com a pele.

As informações baseiam-se nos nossos conhecimentos actuais. Elas devem descrever os nossos produtos com relação a exigências de segurança e não tem o objetivo de assegurar características específicas.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE**Remazol Brillantrot 3BS-A 150%**

000010011104

Página 1/5

Data da Revisão: 08.03.2004 1. / D / PT

1) Identificação produto/empresa**Remazol Brillantrot 3BS-A 150%**

Campo de aplicação :
Corante têxtil

DyStar Textilfarben GmbH
D - 51304 Leverkusen
Número de telefone 49(0)69/2109 - 3172 Tele-Fax 49(0)69/2109 - 3000
Telefone de emergência: 49(0)214/3099300

2) Composicao/Informação dos componentes

preparação de corante reactivo azóico
contém
C.I. Reactive Red 239

3) Perigos possíveis

Sem indicação de perigo.

4) Primeiros socorros

Recomendações em geral:: Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.

Em caso de inalação: Após inalação de aerosol/vapor/poeiras: Levar o sinistrado para o ar livre; é necessário assistência médica no caso de dificuldades de respiração.

Em caso de contato com a pele: Despir imediatamente o vestuário contaminado com o produto. lavar com água abundante, sabão ou outros produtos apropriados.

Em caso de contato com os olhos: No caso de contacto com os olhos, lavá-los com água durante tempo suficiente com as pálpebras abertas. Em seguida, consultar imediatamente um médico ou oftalmologista.

Em caso de ingestão: Em caso de ingestão do produto, dar imediatamente e repetidas vezes água a beber, eventualmente com adição de carvão activo. No caso de indisposição, consultar um médico.

5) Medidas de combate a incêndio

Meios de extinção adequados: névoa de água, espuma, extintor seco

Meios de extinção inadequados por motivos de segurança: CO2

Equipamentos de proteção especiais no combate a incêndio: No combate ao incêndio, usar aparelho respiratório com admissão de ar independente do ambiente.

Informações adicionais:: Resíduos de combustão e água de combate a fogo contaminada devem ser dispostos de acordo com as normas da autoridade responsável local.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Remazol Brillantrot 3BS-A 150%

000010011104

Página 2/5

Data da Revisão: 08.03.2004 1. / D / PT

6) Medidas em caso de vazamentos acidentais

Medidas de prevenção referidas a pessoas: Evitar a formação e a acumulação de pó.

Medidas de proteção ao meio ambiente: Não deixar penetrar na canalização ou em cursos de água.

Procedimento de limpeza/recolhimento: Recolher o material derramado com produto ligante do pó ou utilizar aspirador adequado. Encher o produto em recipientes etiquetados e que possam ser fechados.

Recomendações adicionais:: Outras medidas de remoção ver capítulo 13.

7) Armazenagem e manipulação

Recomendações para utilização sem perigo: Evitar a formação e a acumulação de pó.
Conservar o recipiente bem fechado e ao abrigo da humidade.

Recomendações para prevenir incêndio e explosão: Observar as medidas de precaução usuais para a manipulação de produtos químicos explosivos em forma de pó. Observar os regulamentos nacionais.

Exigências para área de armazenagem/recipientes: Armazenar no recipiente original num lugar seco e fresco.

Antes da ensacagem do produto, há que adoptar medidas destinadas a evitar a formação de cargas electrostáticas.

Classe de armazenagem (RFA): 11 Substâncias combustíveis

Estabilidade: Tempo de armazenagem: 60 Meses

8) Limitação de exposição e equipamentos de protecção individual

Medidas de protecção em geral: Não respirar as poeiras. Evitar o contacto com a pele e os olhos. Retirar imediatamente todo o vestuário contaminado.
É absolutamente necessário evitar a inalação de pó e aerossóis (boa aspiração ou máscara apropriada). As pessoas afectadas por doenças crónicas das vias respiratórias não devem trabalhar com marcas em pó de corantes reactivos. Se, durante a manipulação de marcas em pó de corantes reactivos, se verificarem irregularidades na respiração ou ataques de asma, deve-se consultar atempadamente um médico. No caso de sensibilização comprovada às marcas em pó de corantes reactivos, deve-se evitar imediatamente qualquer contacto com o pó de corantes reactivos.

Medidas de higiene do trabalho: Manter afastado de bebidas e produtos alimentares.

Não comer, beber ou fumar durante o trabalho.

Antes dos intervalos e no fim do trabalho lavar as mãos e utilizar um creme de protecção

Protecção respiratória: Máscara anti-pó com filtro de partículas

Protecção das mãos: Usar luvas adequadas p.ex. de PVC ou nitril-borracha. Em caso de contaminação, mudar imediatamente as luvas de protecção.

Protecção dos olhos: Oculos de protecção com protecção lateral

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE

Remazol Brillantrot 3BS-A 150%

000010011104

Página 3/5

Data da Revisão: 08.03.2004 1. / D / PT

Proteção do corpo: vestuário de protecção

9) Propriedades físico-químicas

Estado físico:	pó
Cor:	vermelho
Odor:	inodoro
Ponto de inflamação:	não aplicável
Temperatura de ignição:	240 °C
Densidade a granel:	cerca 500 kg/m ³
valor pH:	cerca 7,5

10) Estabilidade e reatividade

Decomposição térmica	Não se verifica decomposição térmica no caso de armazenagem e manipulação adequadas.
----------------------	--

Reações perigosas: No caso de produtos orgânicos pulverulentos, deve-se contar, por via de regra, com explosão do pó.

11) Informações toxicológicas

Toxicidade oral aguda:	DL50 > 5.000 mg/kg (Ratazana)
Toxicidade dérmica aguda:	DL50 > 2.000 mg/kg (Ratazana)
Efeito de irritação dérmica:	não irritante (Coelho) Método: CEE 84/449, B.4
Irritante aos olhos:	não irritante (Olho de Coelho) Método: CEE 84/440, B.5
Sensibilização:	não sensibilizante Método: teste de maximização
Sensibilização:	Este corante pertence a classe dos corantes reactivos. Em alguns representantes desta classe de substância, verificou-se um efeito de sensibilização das vias respiratórias. Não são conhecidos efeitos prejudiciais quando o produto é manuseado de forma adequada.
Mutagenicidade:	Teste de salmonelas/microsomas (teste Ames): Nenhuma indicação de mutagenidade.
Mutagenicidade:	Teste em micrónúcleo: Nenhuma indicação de mutagenidade.

12) Informações ecológicas

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Remazol Brillantrot 3BS-A 150%

000010011104

Página 4/5

Data da Revisão: 08.03.2004 1. / D / PT

Biodegradabilidade:	50 - 100 % Método: Método estático Método de análise:, fotometria
Biodegradabilidade:	Se o produto for introduzido correctamente em instalações de depuração biológica adaptadas, não há que recear perturbações da actividade de degradação da lama activada.
Toxicidade em peixes:	CL50 > 500 mg/l (96 h, Brachydanio rerio)
Toxicidade em dáfrias:	CE50 10 - 100 mg/l (48 h, Daphnia magna)
Toxicidade em bactérias:	IC50 > 100 mg/l (Lodo biológico)
Observacoes:	O produto não contém metais pesados em concentrações importantes para as águas residuais. O produto não contém nitrogénio liberável que possa contribuir para a eutrofização. O produto não contém fosfato ou compostos orgânicos fosfóricos. Contém halogéneo ligado organicamente, no entanto em Forma hidrolisável. O corante reactivo pode contribuir un pouco para o teor em AOX da água dos esgotos.

13) Recomendações para eliminação de resíduos

Produto: Se não for possível reutilizar ou reciclar o produto, eliminá-lo segundo as prescrições e instruções locais aplicáveis, p. ex. mediante incineração numa instalação adequada.

Código de resíduos segundo o Catálogo Europeu de Resíduos (CER):040217 corantes e pigmentos, nao abrangidos em 040216

Embalagens não limpas: Os recipientes vazios e por limpar devem ser tratados como o seu conteúdo.

14) Informações para transporte

CFR	NAO PRODUTO PERIGOSO
ADR	NAO PRODUTO PERIGOSO
ADNR	NAO PRODUTO PERIGOSO
RID	NAO PRODUTO PERIGOSO
IMDG	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_C	NAO PRODUTO PERIGOSO
IATA_P	NAO PRODUTO PERIGOSO

Informações adicionais Proteger da humidade., Manter separado de ácidos e substâncias oxidantes., Manter separado de produtos alimentares.

15) Normas

Etiquetagem segundo as directivas da CEE:

S22 : Não respirar as poeiras.

Ficha de dados de segurança segundo as directivas da UE



Remazol Brillantrot 3BS-A 150%

000010011104

Página 5/5

Data da Revisão: 08.03.2004 1. / D / PT

Classe de Perigo para água (RFA): WGK 2 - perigoso para a água
WGK = Classificação de acordo com a lei alemã das águas
Anexo 2 da VwVwS (Alemanha) de 17 de Maio de 1999

16) Informações adicionais

As informações baseiam-se nos nossos conhecimentos actuais. Elas devem descrever os nossos produtos com relação a exigências de segurança e não tem o objetivo de assegurar características específicas.