

Artigo

Análise Crítica das Características de Efluentes Industriais do Setor Têxtil no Brasil

Ramos, M. D. N.; Claudio, C. C.; Rezende, P. H. V.; Cabral, L. P.; Santos, L. A.; Costa, G. G.; Mesquita, P. L.; Aguiar, A.*

Rev. Virtual Quim., 2020, 12 (4), 913-929. Data de publicação na Web: 25 de Junho de 2020

<http://rvq.sbg.org.br>

Critical Analysis of the Characteristics of Industrial Effluents from the Textile Sector in Brazil

Abstract: High water consumption and the consequent generation of large volumes of effluent are two of the most damaging characteristics of textile industries in the socio-environmental context. Water is used in practically all stages of the beneficiation process, generating effluents of heterogeneous composition, containing complex and recalcitrant compounds. The present work had as objective to make a survey and analysis of the data of textile effluents from Brazil obtained through extensive consultation to the literature. It was noticed that the analyzed characteristics varied significantly between the effluents, highlighting the high concentration of organic matter, through the parameters Chemical and Biochemical Oxygen Demands (COD and BOD, respectively). Effluents from industries generally had a higher concentration of organic matter than those from industrial laundries. There is no linear correlation ($R^2 < 0.8$) between COD and BOD₅ data. The existence of such correlation would allow estimating BOD₅ through COD, as a way to expedite the characterization of wastewater. Through values above 3.5 for the COD/BOD₅ ratio, it was observed that most of these effluents have low biodegradability. Due to this aspect, the physical-chemical process of coagulation-flocculation has typically been the main stage involved in their treatments. However, biological processes have also been used to contribute to the removal of biodegradable organic matter.

Keywords: Textile industry; textile effluent; effluent treatment; COD; BOD.

Resumo

O alto consumo de água e a consequente geração de grandes volumes de efluente são duas das características mais prejudiciais das indústrias do setor têxtil no contexto socioambiental. A água é utilizada em praticamente todas as etapas do processo de beneficiamento, gerando efluentes de composição heterogênea, contendo compostos complexos e recalcitrantes. O presente trabalho teve como objetivo fazer um levantamento e análise dos dados de efluentes têxteis do Brasil obtidos por meio de extensa consulta à literatura. Percebeu-se que as características analisadas variaram significativamente entre os efluentes, destacando a alta concentração de matéria orgânica, por meio dos parâmetros Demandas Química e Bioquímica de Oxigênio (DQO e DBO, respectivamente). Efluentes de indústrias geralmente apresentaram maior concentração de matéria orgânica que aqueles provenientes de lavanderias industriais. Ao confrontar os dados de DQO e DBO₅ não foi constatada correlação linear entre eles ($R^2 < 0,8$). A existência de tal correlação permitiria estimar a DBO₅ em função da DQO, como forma de agilizar a caracterização de águas residuárias. Por meio de valores acima de 3,5 para a razão DQO/DBO₅, observou-se que a maioria desses efluentes tem baixa biodegradabilidade. Devido a esse aspecto, o processo físico-químico de coagulação-floculação tem sido tipicamente a principal etapa envolvida em seus tratamentos. Contudo, processos biológicos têm sido também usados para contribuir com a remoção de matéria orgânica biodegradável.

Palavras-chave: Indústria têxtil; efluente têxtil; tratamento de efluentes; DQO; DBO.

* Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, CP 50, CEP 37500-903 Itajubá-MG, Brasil.

Análise Crítica das Características de Efluentes Industriais do Setor Têxtil no Brasil

Márcio Daniel N. Ramos,^a Caio C. Claudio,^a Pedro H. V. Rezende,^a
Lucas P. Cabral,^a Lucas A. Santos,^a Gabriel Gonçalves da Costa,^a Patrícia da Luz
Mesquita,^b André Aguiar^{a,*}

a Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, CP 50, CEP 37500 903, Itajubá-MG, Brasil.

b Universidade Federal de São João Del-Rei, Campus Alto Paraopeba, Departamento de Engenharia Química, CEP 36420-000, Ouro Branco-MG, Brasil.

*andrepiranga@yahoo.com.br; aguiar@unifei.edu.br

Recebido em 20 de Fevereiro de 2020. Aceito para publicação em 8 de Junho de 2020.

1. Introdução

2. Metodologia

3. Resultados e Discussão

3.1. Características de efluentes têxteis brasileiros

3.2. Processos empregados para o tratamento de efluentes têxteis no Brasil

4. Conclusão

1. Introdução

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT), a cadeia produtiva do setor têxtil no Brasil abrange desde a produção de fibras à confecção de vestuário, incluindo fiação, tecelagem, malharia e acabamento. Este setor possui grande relevância na conjuntura socioeconômica do país, compreendendo mais de 33 mil empresas situadas em todos os estados brasileiros e responsável por cerca de 1,5 milhão de empregos diretos. Em 2016, o faturamento anual foi de R\$ 129 bilhões, o que representou 5,8% do faturamento da indústria de transformação brasileira.¹

A cadeia de produção de uma indústria têxtil se inicia com o manuseio das fibras a seco, sendo transformadas em fios ou tecido nos teares. As fibras utilizadas podem ser de origem natural (lã, juta, algodão) ou sintética (náilon, poliéster). Após a fiação, o processo segue para a tecelagem plana e

em seguida para o acabamento. Na sequência, são iniciados os processos de beneficiamento via úmida, que compreendem as etapas de mercerização, alcalinização, purga, alvejamento químico e tingimento.^{2,3} De forma geral, grandes quantidades de água são requeridas no processamento via úmida, gerando grandes volumes de efluentes de composição bem variada.² Um fluxograma do processo produtivo para tecidos de algodão é apresentado na Figura 1, detalhando as etapas de beneficiamento e os resíduos provavelmente presentes nas águas residuárias geradas em cada uma delas. Os tipos de resíduos são diversificados, assim como suas concentrações.⁴

Grande parte dos poluentes encontrados em efluentes têxteis são produtos químicos que, ao serem descartados sem tratamento em corpos hídricos, alteram as propriedades físico-químicas do meio.⁴ Em função da alta concentração de matéria orgânica nesses efluentes, bactérias heterotróficas poderão se multiplicar rapidamente nos corpos

hídricos, comprometendo a sobrevivência de seres aquáticos devido à competição por oxigênio.⁵ Ao prejudicar a penetração de luz, os corantes comprometem a fotossíntese e conseqüentemente a quantidade de oxigênio dissolvido.⁴ Além desses efeitos, efluentes têxteis podem apresentar potencial carcinogênico e mutagênico.⁶

Os corantes, além dos metais, são os contaminantes mais preocupantes em efluentes têxteis, devido às suas características de alta solubilidade, nocividade e baixa degradabilidade.⁴ Não há um método universalmente utilizado para o tratamento de efluentes contendo corantes devido à alta complexidade desses compostos, além da

grande variedade e concentração. Entretanto, sabe-se que a remoção se deve principalmente aos métodos físico-químicos, enquanto os biológicos atuam na remoção de matéria orgânica biodegradável dissolvida,^{4,5} contribuindo para adequação às especificações de descarte definidas por órgãos reguladores, tal como o Conselho Nacional do Meio Ambiente - Conama.⁷

Diversos parâmetros são monitorados ao tratar efluentes industriais, assim como esgotos sanitários. Os parâmetros Demandas Química e Bioquímica de Oxigênio (DQO e DBO) têm sido os mais avaliados, sendo indicadores da concentração de matéria orgânica total e biodegradável, respectivamente.⁵

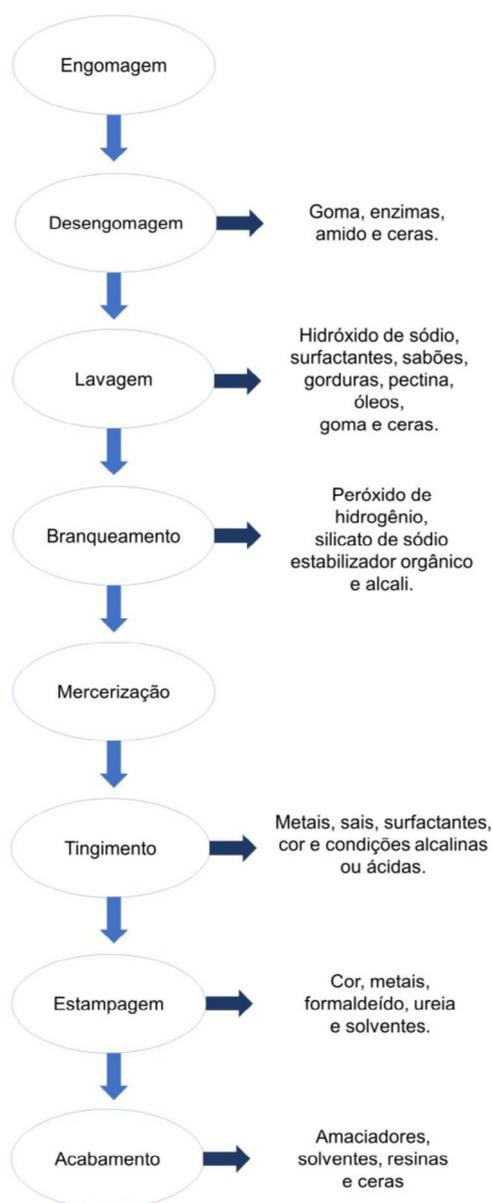


Figura 1. Processo de beneficiamento na indústria têxtil e os prováveis poluentes presentes nas águas residuárias geradas em cada etapa. Fonte: Adaptado de Holkar *et al*⁴

Devido à importância do setor têxtil e a consequente geração de efluentes em função de suas atividades, o objetivo deste trabalho consistiu em fazer um levantamento na literatura entre 2009 e 2018 (10 anos) e interpretação das principais características reportadas para águas residuárias de indústrias e lavanderias industriais brasileiras. Foram avaliadas as características, a biodegradabilidade por meio da razão DQO/DBO₅, assim como a correlação linear entre os dados de DQO e DBO₅ para checar possibilidade de modelos preditivos. Pretendeu-se também confrontar tais características com as formas de tratamento empregadas atualmente por esse importante setor industrial, assim como detectar possíveis falhas na caracterização de efluentes brutos e, possivelmente, tratados, baseado em órgãos ambientais brasileiros.

2. Metodologia

Esse trabalho compreendeu a realização de uma extensa consulta bibliográfica a partir de trabalhos completos apresentados em congressos, artigos publicados em periódicos, monografias, teses e dissertações na área de tratamento de efluentes industriais têxteis brasileiros. Exemplos de palavras-chave ou expressões como “efluente têxtil”, “DQO”, “DBO”, “tratamento de efluente”, “Brasil” foram usadas para encontrar dados de caracterização. Foram verificados os dados publicados entre 2009 e 2018, por meio de sites de busca como *Scopus*, *Scielo*, *Google Scholar* e *Web of Science*, desprezando publicações com efluentes sintéticos. Fizeram-se interpretações das características físico-químicas destes efluentes, bem como verificaram-se relações entre elas (razão DQO/DBO₅, existência de correlação linear entre DQO e DBO₅), assim como o levantamento dos métodos mais comumente utilizados no tratamento de tais efluentes em indústrias brasileiras.

3. Resultados e Discussão

3.1. Características de efluentes têxteis brasileiros

A Tabela 1 mostra as características físico-químicas de efluentes têxteis brutos de indústrias em geral (confeção de roupas, tecidos,

cordas, entre outras), enquanto na Tabela 2 constam os dados referentes aos efluentes de lavanderias industriais (acabamento de peças já confeccionadas). Um total de 25 fontes contendo a caracterização de 40 amostras de efluente bruto de indústrias têxteis foi encontrado, enquanto para lavanderia industrial têxtil foram encontradas 23 fontes, as quais possuíam a caracterização de 32 amostras de efluente do respectivo ramo. Vale destacar que, quando os autores reportaram dados de várias amostras coletadas de uma mesma empresa, optou-se por inseri-los um a um nas tabelas. Quando apenas os valores médios foram reportados pelas fontes, os mesmos foram utilizados, exceto os valores de pH, pois ele se encontra numa escala logarítmica. Logo, não se pode expressar sua média. Por outro lado, quando a fonte apresentou valores máximo e mínimo de pH, estes foram considerados aqui.

Parâmetros cujo monitoramento foi realizado pouquíssimas vezes não foram inseridos nas tabelas, mas muitos deles estão mencionados no texto. Em geral, percebeu-se que as características mais monitoradas para efluentes têxteis são DQO, DBO, pH, turbidez, cor aparente e sólidos totais (ST). A determinação de carbono orgânico total, análise essa dependente de um equipamento mais complexo em laboratórios, foi encontrada somente em sete dos 48 trabalhos consultados,^{8,9,11,26,39,41,50} enquanto a DQO foi quantificada por praticamente todos, por ser uma análise de menor custo. Tanto os valores de DQO, quanto os de DBO são exigidos por órgãos ambientais.⁵⁷ Dessa forma, estes dois indicadores de matéria orgânica são mais rotineiramente monitorados. Observou-se também que poucos estudos quantificaram nitrogênio amoniacal e fósforo, parâmetros também já legislados para descarte de efluentes.⁵⁷ Dentre os poucos dados de nitrogênio amoniacal, somente uma amostra apresentou concentração acima do limite de 20 mg.L⁻¹ definido pelo Conama.⁷

Outras formas de nitrogênio, como nitrato, nitrito e nitrogênio orgânico, foram ainda menos quantificadas que a amoniacal (dados não mostrados), correspondendo a 8,3%, 4,2% e 5,6% das amostras analisadas, respectivamente. A propriedade de condutividade elétrica pode ser atribuída a íons, a concentração total deles, valência, mobilidade. Em efluentes têxteis, parte dessa condutividade deve ser atribuída principalmente aos cloretos e sulfatos, comumente usados para fixação

Tabela 1. Caracterização físico-química de efluentes brutos de indústrias têxteis

Empresa ou ramo/ Localização	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO/ DBO ₅	Turbidez	Cor aparente (mg.L ⁻¹ PtCo)	pH	ST (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	SST (mg.L ⁻¹)	N-NH ₃ (mg.L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	Cl- (mg.L ⁻¹)	Condutividade (mS.cm ⁻¹)	Referência
	-	430	-	-	-	7,5	-	-	-	28,35	nd	-	4,06	Garcia <i>et al</i> (2009a; 2013) ^{8,9}
Manufatura de roupas (Noroeste do PR)	-	382,72	-	-	-	7,78	-	-	-	5,88	nd	-	-	Garcia <i>et al</i> (2009b) ¹⁰
	-	302,84	-	-	-	7,38	-	-	-	3,36	nd	-	-	
	-	314,16	-	-	-	7,42	-	-	-	5,36	nd	-	-	
	-	490,88	-	-	-	7,58	-	-	-	5,88	nd	-	-	
	-	280,1	-	-	-	7,52	-	-	-	5,05	nd	-	-	
Indústria têxtil*	298	900	3	-	2302 ADMI	8,4	-	-	-	-	-	-	-	Munteer <i>et al</i> (2009) ¹¹
	1052	4121	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Oliveira e Leão (2009) ¹²
	1620	10488	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2371	10043	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2692	10408	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1459	4259	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Indústria de tecidos sintéticos (Belo Horizonte, MG)	2316	5709	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Oliveira e Leão (2009) ¹²
	1255	5129	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	699	6728	9,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1384	5998	4,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1052	4121	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Fábrica Têxtil*	-	482	-	-	-	9	-	1600	-	-	-	250	1,41	Alves <i>et al</i> (2010) ¹³
Toalha São Carlos S.A. (São Carlos, SP)	212	600	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Franco (2010) ¹⁴
Fábrica de redes (Jaguaruana, CE)	-	3498	-	497 FTU	1517	10,3	13882	-	-	-	-	-	22,89	Ribeiro <i>et al</i> (2010) ¹⁵
	-	5882,4	-	352 FTU	1256	9,5	15148	-	-	-	-	-	23,18	
	-	4385	-	430 FTU	2350	10,3	11795	-	-	-	-	-	17,1	
Indústria têxtil (Sul de MG)	564	2302	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Alvim <i>et al</i> (2011) ¹⁶
Indústria têxtil (Barbacena, MG)	22	1127	51,2	-	-	11,8	5158	-	-	-	-	-	-	Melo <i>et al</i> (2011) ¹⁷

Continua...

Continuação...

Indústria têxtil (São Carlos, SP)	-	3700	-	1600 NTU	18000	-	-	-	1200	-	-	-	-	Pioltine e Reali (2011) ¹⁸
Mar Indústria Têxtil e tinturaria Ltda (Içara, SC)	280	710	2,5	-	-	11	-	-	-	-	-	900	-	Silva (2011) ¹⁹
Indústria têxtil (RN)	-	984	-	-	7508 Hz	8,2	-	-	-	-	-	-	5,9	Solano (2011) ²⁰
Distrito industrial (Santa Bárbara d'Oeste, SP)	1746	5338	3,1	-	1056 ADMI	7,2	-	-	-	-	-	-	-	Guimarães <i>et al</i> (2012) ²¹
Indústria têxtil (Caruaru, PE)	167	354	2,1	-	-	6,4	-	-	-	-	-	-	-	Miranda <i>et al</i> (2013) ²²
Fábrica de tingimento de algodão*	-	2250	-	-	-	10,7	3410	-	-	-	-	-	-	Silva <i>et al</i> (2016) ²³
Indústria têxtil* (Caruaru, PE)	-	692	-	-	604	-	-	-	-	-	334,1	-	4,8	Amaral <i>et al</i> (2017) ²⁴
Tear Têxtil Ind. e Com. Ltda. (Paraopeba, MG)	-	1771	-	-	7129	-	4870	-	-	10,2	178,7	544,4	3,28	Couto <i>et al</i> (2017) ²⁵
Fábrica de tingimento (Noroeste do PR)	-	798,1	-	-	-	-	-	-	-	1,5	653,6	-	2,65	Domingues <i>et al</i> (2017) ²⁶
Indústria têxtil (PR)	-	6195	-	441 NTU	-	7,1	-	-	-	-	-	-	-	Ferrari-Lima <i>et al</i> (2017) ²⁷
Manufatura têxtil (Toritama, PE)	54,1	3192,5	59	0,2 NTU	448	5,1	-	-	-	-	-	-	-	Lisboa <i>et al</i> (2017) ²⁸
Indústria de redes (Jaguaruana, CE)	-	810	-	121 NTU	-	7	-	-	174	-	661	5555,8	12,9	Martins <i>et al</i> (2017) ²⁹
Indústria de jeans (Sudoeste do PR)	328	659	2	37 NTU	-	5,2	1187	862	474	2,2	51,7	362	0,81	Pizato <i>et al</i> (2017) ³⁰
Indústria têxtil (Porto Alegre, RS)	-	2073	-	606 NTU	422,3	10,3	-	-	-	-	-	-	-	Favero <i>et al</i> (2018) ³¹
Indústria têxtil* (RS)	1164,7	9602	8,2	-	-	-	-	-	-	6,8	-	-	-	Pizatto e Andrade (2018) ³²
Indústria têxtil (Sul do Brasil)	350	1395	4	183 FAU	3280	9,7	-	3120	-	-	-	2850,1	-	Santos <i>et al</i> (2018) ³³

NTU - Unidade Nefelométrica de Turbidez; FAU - Unidade de Atenuação de Formazina; FTU – Unidade de Turbidez Formazina; ADMI - American Dye Manufacturer Institute; uT – Unidade de turbidez; Hz – Unidade de cor Hazen. nd - não detectad. *Autores não especificaram a empresa ou o ramo

Tabela 2. Caracterização físico-química de efluentes brutos de lavanderias industriais têxteis

Empresa ou ramo/ Localização	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO/ DBO ₅	Turbidez	Cor Aparente (mg.L ⁻¹ PtCo)	pH	ST (mg.L ⁻¹)	SDT (mg.L ⁻¹)	SST (mg.L ⁻¹)	N-NH ₃ (mg.L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	Cl- (mg.L ⁻¹)	Condutividade (mS.cm ⁻¹)	Referência
Indústria têxtil (RN)	-	984	-	-	7508 Hz	8,2	-	-	-	-	-	-	5,9	Solano (2011) ²⁰
Distrito industrial (Santa Bárbara d'Oeste, SP)	1746	5338	3,1	-	1056 ADMI	7,2	-	-	-	-	-	-	-	Guimarães <i>et al</i> (2012) ²¹
Indústria têxtil (Caruaru, PE)	167	354	2,1	-	-	6,4	-	-	-	-	-	-	-	Miranda <i>et al</i> (2013) ²²
Fábrica de tingimento de algodão*	-	2250	-	-	-	10,7	3410	-	-	-	-	-	-	Silva <i>et al</i> (2016) ²³
Indústria têxtil* (Caruaru, PE)	-	692	-	-	604	-	-	-	-	-	334,1	-	4,8	Amaral <i>et al</i> (2017) ²⁴
Tear Têxtil Ind. e Com. Ltda. (Paraopeba, MG)	-	1771	-	-	7129	-	4870	-	-	10,2	178,7	544,4	3,28	Couto <i>et al</i> (2017) ²⁵
Fábrica de tingimento (Noroeste do PR)	-	798,1	-	-	-	-	-	-	-	1,5	653,6	-	2,65	Domingues <i>et al</i> (2017) ²⁶
Indústria têxtil (PR)	-	6195	-	441 NTU	-	7,1	-	-	-	-	-	-	-	Ferrari-Lima <i>et al</i> (2017) ²⁷
Manufatura têxtil (Toritama, PE)	54,1	3192,5	59	0,2 NTU	448	5,1	-	-	-	-	-	-	-	Lisboa <i>et al</i> (2017) ²⁸
Indústria de redes (Jaguaruana, CE)	-	810	-	121 NTU	-	7	-	-	174	-	661	5555,8	12,9	Martins <i>et al</i> (2017) ²⁹
Indústria de jeans (Sudoeste do PR)	328	659	2	37 NTU	-	5,2	1187	862	474	2,2	51,7	362	0,81	Pizato <i>et al</i> (2017) ³⁰
Indústria têxtil (Porto Alegre, RS)	-	2073	-	606 NTU	422,3	10,3	-	-	-	-	-	-	-	Favero <i>et al</i> (2018) ³¹
Indústria têxtil* (RS)	1164,7	9602	8,2	-	-	-	-	-	-	6,8	-	-	-	Pizatto e Andrade (2018) ³²
Indústria têxtil (Sul do Brasil)	350	1395	4	183 FAU	3280	9,7	-	3120	-	-	-	2850,1	-	Santos <i>et al</i> (2018) ³³

Continua...

Continuação...

	-	246,4	-	87 FAU	218	6,4	-	-	-	-	-	-	-	
	-	240,2	-	112 FAU	517	7,3	-	-	-	-	-	-	-	
Lavanderia industrial (Maringá, PR)	-	209	-	75 FAU	335	7,2	-	-	-	-	-	-	-	Tavares et al (2014) ⁴⁷
	37,85	236,1	6,2	121 FAU	572	6,6	-	-	-	-	-	-	-	
	30,06	238	7,9	93 FAU	746	7,5	-	-	-	-	-	-	-	
	33,72	223,7	6,6	146 FAU	1056	6,7	-	-	-	-	-	-	-	
Lavanderia têxtil (Cianorte, PR)	-	446,2	-	81,4 NTU	391,8	05/jun	1895,7	1762,9	132,8	-	-	-	-	Castilhos (2015) ⁴⁸
	-	285	-	56 NTU	500	7,8	-	-	95	-	-	-	7,08	
Lavanderia industrial (Apucarana, PR)	-	311	-	258 NTU	643	7,8	-	-	68	-	-	-	7	Gonçalves (2015) ⁴⁹
	-	263	-	63 NTU	433	7,5	-	-	106,7	-	-	-	6,84	
	-	289	-	70 NTU	551	7,9	-	-	106	-	-	-	6,73	
Lavanderia industrial*	328	1636	5	306 NTU	5100	12,5	-	-	-	1,3	2681	1905	16,88	Palácio et al (2015) ⁵⁰
Lavanderia Dinâmica (Maringá, PR)	235	1142,4	4,9	683 FAU	1948	7,1	-	-	-	-	-	-	-	Ribeiro e Tavares (2016) ⁵¹
	379	543	1,4	258 FAU	1536	6,6	-	-	-	-	-	-	-	
Lavanderia Industrial* (PE)	93,6	581,1	6,2	50 NTU	> 2500 Hz	6,2	-	-	-	-	-	48,36	3,72	Silva (2016) ⁵²
Lavanderia industrial (Campo Mourão, PR)	-	407,9	-	134,9 NTU	303	-	4297,7	3737,8	559,85	-	-	-	2,65	Souza et al (2016a) ⁵³
Lavanderia de jeans (Noroeste de PR)	170	558,5	3,3	113 NTU	-	7	-	-	-	2,4	42,1	287,5	-	Souza et al (2016b) ⁵⁴
Lavanderia industrial (Campo Mourão, PR)	-	214,2	-	47,2 NTU	384	6,7	-	-	-	-	-	-	-	Assunção (2018) ⁵⁵
Lavanderia industrial (Maringá, PR)	325	849	2,6	247 uT	-	8,8	-	-	-	-	-	-	-	Silva et al (2018) ⁵⁶

NTU - Unidade Nefelométrica de Turbidez; FAU - Unidade de Atenuação de Formazina; ADMI - American Dye Manufacturer. Institute; uT – Unidade de turbidez; Hz – Unidade de cor Hazen.
 *Autores não especificaram a empresa ou o ramo

de corantes às fibras.^{19,29} Dados referentes aos ânions cloreto e sulfato foram detectados em 14 amostras, apresentando variabilidade de valores entre elas. A determinação de metais foi bem menos relatada, mas a concentração deles em alguns trabalhos^{29,33,47} atendeu à legislação federal para descarte,⁷ exceto a de ferro e cromo³² e manganês⁵² em certos efluentes de lavanderia têxtil.

O teor de sólidos dissolvidos totais (SDT) é um importante parâmetro a ser analisado no efluente têxtil, o qual é atribuído aos sais comum (NaCl) e de Glauber ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Tal relevância dá-se porque a quantidade de sal presente nessa água residuária afeta o equilíbrio osmótico dos organismos aquáticos, além de interferir na qualidade da água para irrigação.⁶ Porém, percebeu-se que o teor de SDT é pouco analisado, 12,5% das amostras, sendo a determinação de ST um pouco mais frequente, 18%. A fração de sólidos suspensos totais (SST) pode interagir e formar agregados com outras substâncias (espuma oleosa, como óleo, graxa, argila, silte e materiais arenosos). Esses agregados interferem no mecanismo de transferência de oxigênio no corpo hídrico, prejudicando a fotossíntese dos seres autotróficos e absorvendo mais energia solar, o que acarreta em aquecimento das águas.⁶ Todos os três parâmetros para sólidos apresentaram dados distintos entre as amostras, sendo o teor de SST sempre menor, entre 7 e 40% do teor de ST, considerando apenas 6 amostras em que pode-se verificar a quantificação de ambos SST e SDT. Apesar de não constar da resolução do Conama,⁷ o teor de SST é legislado por alguns estados cujos valores limites são distintos, a depender da vazão média ou carga orgânica diárias.⁵⁷

Em relação aos dados de turbidez, percebeu-se também uma grande variação, principalmente para efluentes de indústrias. Os SST são provavelmente responsáveis por tornar efluentes têxteis turvos. Outro ponto que merece destaque é que a turbidez, assim como a cor aparente (atribuída em parte aos corantes), é reportado sob diferentes unidades, devido às metodologias analíticas adotadas em cada estudo, dificultando uma análise comparativa. Ambos os parâmetros não são exigidos pelo Conama para descarte,⁷ mas são rotineiramente usados para avaliar a eficiência de tratamentos propostos para esses efluentes.^{2,4}

Outro parâmetro comumente analisado pelas pesquisas e que influencia no tratamento de efluentes é o pH. Os efluentes de indústrias

apresentaram geralmente caráter mais básico que os de lavanderias industriais. Como uma possível justificativa, as lavanderias apresentam em seus processos somente as etapas de beneficiamento dos produtos têxteis (tingimento, desengomagem, alvejamento, etc.) e não as etapas de produção. A faixa necessária de pH para o beneficiamento da indústria têxtil é variável de acordo com o tipo de fibra e o corante utilizado.^{33,58} Quando se compara tais dados de pH com a legislação federal, que exige valores entre 5,0 e 9,0 para descarte,⁷ percebeu-se que 9 amostras estão acima do limite superior. Sendo assim, faz-se necessária a correção do pH, tanto para eventual descarte, quanto previamente às etapas de coagulação-floculação (quando baseada em sulfato de alumínio) e/ou aos processos biológicos. Ambos os tipos de tratamento necessitam de valores de pH próximos a 7 ou inferiores, dependendo dos contaminantes presentes no efluente.^{5,59}

Quanto à temperatura, apenas duas amostras de efluente de indústrias tiveram tal dado reportado. Para efluentes de lavanderias, reportou-se a temperatura para nove amostras de efluente. Do total de 11 amostras, apenas uma apresentou valor acima de 40 °C (dados não mostrados), máximo permitido para descarte de efluentes de acordo com a legislação federal vigente.⁷

Outra característica relevante a ser avaliada em efluentes têxteis é a toxicidade. Alguns dos trabalhos consultados avaliaram essa propriedade e percebeu-se que a água residuária proveniente dos setores têxteis brasileiros afeta diferentes organismos-testes. Ao avaliar a toxicidade aguda com *Daphnia similis*, Mounteer et al observaram que a concentração que imobiliza 50% do organismo-teste (EC_{50}) foi igual a 18,2%.¹¹ Para sementes de alface (*Lactuca sativa*) EC_{50} foi de 49,5%.¹⁴ Garcia et al não constataram toxicidade para esse mesmo organismo-alvo (inibição maior que 50%) em um efluente sem diluição.⁸ Ao testar *Artemia salina L.* sobre o mesmo efluente do estudo anterior, a taxa de mortalidade foi de 5% para proporções abaixo de 60% de efluente, enquanto para proporções maiores, a mortalidade foi próxima de 100%.⁹ Utilizando o organismo-teste *Allium cepa*, não foi observada ação citotóxica, ao passo que a divisão celular ocorreu de forma desordenada, levando ao aumento da taxa de anormalidades cromossômicas. Este resultado caracteriza genotoxicidade para o efluente analisado.¹⁶ Melo et al verificaram alta toxicidade aguda de um efluente têxtil para a alga

Pseudokirchneriella subcaptata.¹⁷ Ao contrário dos trabalhos anteriores, que utilizaram efluente de indústria, Silva *et al* avaliaram a toxicidade para um efluente de lavanderia têxtil. Eles verificaram efeitos citotóxicos contra *Allium cepa L* visto que as células meristemáticas da raiz do organismo alvo apresentaram reduções em seu índice mitótico quando estiveram em contato com o efluente por 24 h.⁵⁶

Dando ênfase aos principais parâmetros, DQO e DBO₅, os valores encontrados foram bem maiores para o primeiro e também muito distintos entre as amostras. Por exemplo, foi possível verificar dados de DQO e DBO₅ de um determinado efluente correspondendo a, aproximadamente, 70 e 220 vezes o de outro, respectivamente. Variação significativa dos dados de DQO e DBO₅ foi encontrada até mesmo em efluentes de uma mesma empresa. Apenas duas e oito amostras de efluentes brutos de indústrias e lavanderias industriais, respectivamente, apresentaram valores de DBO₅ inferiores a 120 mg.L⁻¹, valor limite exigido para descarte de esgotos sanitários de acordo com o Conama.⁷ É importante destacar que a legislação federal não menciona valor limite para DBO₅ de efluente industrial. Dessa forma, fez-se tal comparação com esgoto sanitário. Entretanto, é importante mencionar a exigência de uma remoção mínima de 60% desse parâmetro para efluente industrial.⁷ Ao comparar com efluentes de laticínios⁶⁰ percebeu-se que os valores de DQO e DBO₅ em efluentes têxteis são inferiores. Entretanto, isso não implica em sua tratabilidade, pois a recalcitrância não pode ser avaliada a partir da análise individual de DQO ou DBO₅. Portanto, seguiu-se para a avaliação da biodegradabilidade a partir da razão DQO/DBO₅.⁵ Dentre as 36 amostras caracterizadas quanto a ambos os parâmetros, apenas 16% delas apresentaram razão igual ou inferior a 2,5, enquanto para 58% a razão foi superior a 3,5, demonstrando que a maioria dos efluentes têxteis têm baixa fração de matéria orgânica biodegradável, sendo recomendados processos físico-químicos para tratá-los.^{5,59}

Em seguida foi verificada a existência de correlação linear entre os dados de DQO e DBO₅. Como a primeira medida é mais rápida de ser obtida e de menor custo em relação à segunda^{5,59}, a existência de uma correlação linear entre ambas facilitaria o monitoramento de uma estação de tratamento de efluente (ETE) a partir da DQO.⁶¹ A Figura 2 apresenta

as regressões lineares para os dados de DQO e DBO₅ a partir de 21 amostras de efluentes de indústrias têxteis e 17 de lavanderias industriais têxteis (que continham ambos os dados), cujos coeficientes de correlação foram inferiores a 0,7. Um valor acima de 0,8 seria significativo considerando a grande variabilidade dos dados.⁶² Estimar a DBO₅ a partir de dados de DQO tem sido uma abordagem comumente estudada para esgotos domésticos. Silva e Mendonça verificaram que os valores de R² para esgoto bruto da maioria das ETES da região metropolitana de Vitória (ES) variaram de 0,80 a 0,89, enquanto para esgoto tratado os valores foram inferiores a 0,6.⁶¹ Recentemente, Budeiz e Aguiar reportaram um valor de R² de 0,8585 para esgoto bruto da cidade de Itajubá (MG), sugerindo também a estimativa de DBO₅ a partir de DQO.⁶³ Valores de R² acima de 0,9 foram também encontrados para efluentes de laticínios.⁶⁰ É importante lembrar que a legislação brasileira exige a apresentação de dados de remoção de DBO₅ e não de DQO para descarte de efluentes.⁷ Nesse caso, a DQO permitiria uma estimativa de DBO e ao mesmo tempo um controle/monitoramento mais rápido do tratamento, ao invés de realizar a análise de DBO, a qual leva no mínimo 5 dias (DBO₅).^{5,59} No entanto, cabe destacar que em alguns estados ou municípios há legislações próprias que exigem valores máximos ou porcentagem mínima de remoção de DQO, além de valores mais restritivos para a DBO₅.⁵⁷ Podemos considerar, por exemplo, os dados reportados de Minas Gerais (Tabela 1), os quais apresentaram valores de DQO acima de 250 mg.L⁻¹, valor esse limite para descarte de efluente têxtil de acordo com a legislação estadual, enquanto apenas um efluente apresentou DBO₅ abaixo do valor limite de 60 mg.L⁻¹.⁶⁴ Ao contrário de Minas Gerais, para alguns outros estados os valores limites de DBO₅ e DQO são dependentes da vazão média ou carga orgânica diárias.⁵⁷

Com base nas Tabelas anteriores, foram estabelecidas faixas, as médias e os respectivos desvios-padrão para os parâmetros típicos de análise para efluentes de indústrias e lavanderias industriais têxteis (Tabela 3). Percebeu-se que as faixas de dados de DQO, DBO₅, turbidez e ST para efluentes das indústrias são comparativamente maiores aos de lavanderias, provavelmente porque as primeiras fazem uso de processos

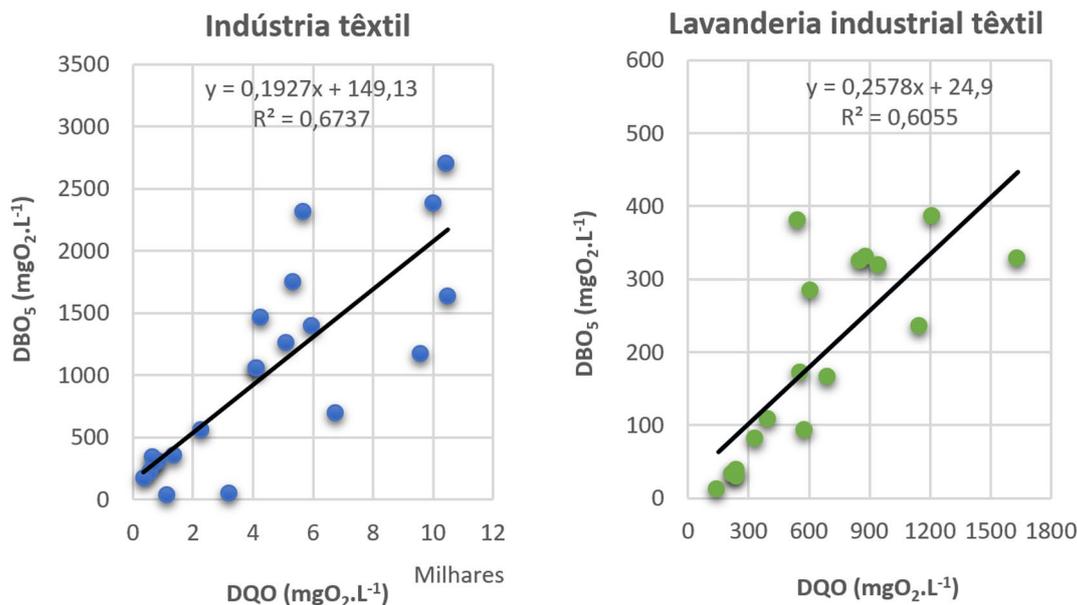


Figura 2. Correlação linear entre DQO e DBO₅ para os efluentes têxteis

que usam mais insumos e, conseqüentemente, geram efluentes mais concentrados. As faixas de valores de pH foram similares. Apesar de haver dados de temperatura suficientes somente para efluentes de lavanderias têxteis, percebe-se que os valores não estão muito acima da temperatura ambiente.

Essas faixas de valores foram também comparadas com algumas relatadas na literatura. Primeiramente, foram confrontados os dados de efluentes de indústrias brasileiras com os da Turquia⁶⁵ e da Índia.⁶⁶ A concentração de matéria orgânica para efluentes turcos é inferior, além de apresentar considerada biodegradabilidade (razão DQO/DBO₅ < 2,5). Efluentes indianos apresentam maior DBO₅, menor teor de ST, enquanto a faixa de DQO é semelhante à brasileira. Sugere-se que as diferenças existentes entre as faixas propostas por esses outros dois estudos e as encontradas no presente trabalho devem-se aos diferentes processos de produção empregados nas indústrias de cada país, os tipos de fibra e corante, ao número de amostras utilizadas nos cálculos, dentre outros. Ao comparar com dados de diversos países compilados em artigos de revisão bibliográfica,^{58,67} percebeu-se que os efluentes de indústrias brasileiras têm faixas de valores de DQO e pH similares àquelas de outros países em geral, enquanto a faixa de DBO₅ é inferior.

3.2. Processos empregados para o tratamento de efluentes têxteis no Brasil

Uma breve descrição dos fundamentos envolvidos nos tratamentos mais comumente utilizados por ETEs de indústrias de beneficiamento têxtil e lavanderias industriais consta na Tabela 4, enquanto a Tabela 5 relata as sequências de tratamento por algumas indústrias do setor têxtil no Brasil.

A melhor maneira de se escolher quais as etapas de tratamento a serem adotadas é baseada nos dados de caracterização dos efluentes. Os valores de razão DQO/DBO₅ observados são considerados altos, superiores a 3,5, logo os tratamentos físico-químicos seriam mais indicados.⁵ Tem-se que seis, das oito ETEs descritas, utilizam o processo de coagulação-floculação logo após o pré-tratamento, geralmente peneiramento e/ou desarenação. Outra coincidência foi a utilização da etapa de equalização por seis ETEs, indicando que os efluentes gerados apresentam de fato concentração, composição e possivelmente vazão bastante variadas numa mesma empresa. O processo de lodos ativados (tanque de aeração seguido de sedimentação do lodo biológico com reciclo parcial do lodo) foi constatado em três ETEs mostradas na Tabela 5; em uma delas não há uso de coagulação-floculação, enquanto nas outras há o uso de lodos ativados após, ou antes, da etapa de coagulação-floculação. Esse último arranjo mostra

Tabela 3. Faixas de parâmetros e médias para os dados de efluentes têxteis brasileiros e estrangeiros

Parâmetros	Faixa dos parâmetros encontrados para efluentes têxteis brasileiros			
	Indústrias		Lavanderias	
	Faixa	Média	Faixa	Média
pH	5,1 - 11,8	-	5,0 - 12,5	-
DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	22 - 2692	1004,1 ± 812,5	12 - 387	185,9 ± 137,0
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	280,1 - 10488	3222,6 ± 3088,8	150 - 1636	527,8 ± 369,8
DQO/DBO ₅	2 - 59	8,9	1,4 - 12,5	4,7
Turbidez (NTU)	0,2 - 1600	467,5 ± 604,4	47,2 - 686,9	178,0 ± 182,5
ST (mg.L ⁻¹)	1187 - 15148	7921,4 ± 5558,9	179 - 4297,7	2167,0 ± 1661,6
Temperatura (°C)	-	-	19,6 - 35	26,0 ± 5,0

Parâmetros	Faixa dos parâmetros encontrados para efluentes estrangeiros			
	Tufekci et al (2007) ⁶⁵	Ashfaq e Khatoun (2014) ⁶⁶	Hussein (2013) ⁶⁷	Ghaly et al (2014) ⁵⁸
pH	-	7,0 - 9,0	5,5 - 10,5	6,0 - 10,0
DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	280 - 1140	80 - 6000	100 - 4000	80 - 6000
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	614 - 1960	150 - 12000	150 - 10000	150 - 12000
DQO/DBO ₅	1,6 - 2,6	-	-	-
ST (mg.L ⁻¹)	-	15 - 8000	-	-
Temperatura (°C)	-	-	33 - 45	35 - 45

Tabela 4. Fundamentos dos tratamentos convencionais empregados para efluentes têxteis

Tratamento	Descrição
Gradeamento/Peneiramento	Remoção de sólidos grosseiros.
Desarenação	Remoção de partículas arenosas com densidade superior a 2 g.cm ⁻³ .
Equalização	Tanque aerado para homogeneizar o efluente a ser tratado.
Coagulação - Floculação	Desestabilização de colóides por agentes coagulantes e consequente formação de flocos.
Tanque de Aeração	Reator biológico para remoção de matéria orgânica dissolvida e parte dos corantes.
Lagoa de estabilização aeróbia	Lagoa contendo microrganismos para remoção de matéria orgânica biodegradável.
Sedimentação	Remoção por diferença de densidade de flocos, partículas sedimentáveis, lodo biológico.
Processamento do lodo	Prensas, filtros e secadores para redução da umidade do lodo, o qual é geralmente descartado em aterros industriais.
Incineração	Combustão de lodo seco.

 Fonte: Adaptado de von Sperling⁵
Tabela 5. Processos empregados por indústrias brasileiras no tratamento de seus efluentes têxteis

Descrição	Localidade	Capacidade (m ³ /h)	Etapas do tratamento	Referências
Coteminas	Blumenau - SC	350	PN-TE-TA-D-CF-D-FP*-LS*-AI*	Coteminas SA (2009) ⁶⁸
Ricciari Confecções Ltda	Morro da Fumaça - SC	-	D-PN-D-TE-CF-D-LS*-AI*	Niero (2011) ³⁶
Mar Indústria Têxtil Ltda	Içara - SC	36	CA-PN-TE-CF-D-I*-LEA	Silva (2011) ¹⁹
Lavanderia Industrial	Campos dos Goytacazes - RJ	25	CA-TE-CF-D-FP*-F	Souza et al (2013) ⁴²
Lavanderia Expressa	Passo Fundo - RS	-	GR-TE-CF -D-LS*	Buss et al (2015) ⁶⁹
Lavanderia Industrial	Cianorte - PR	70	PN-CA-TE-CF-D-TA-D-AD*-FP*-AI*	Castilhos (2015) ⁴⁸
Lavanderia Industrial	Teresina - PI	24	CF-D-LS*	Rocha et al (2016) ⁷⁰
Lavanderia Industrial	Maringá - PR	-	PN-D-TA-D-LS*-AI*	Silva et al (2018) ⁵⁶

GR - Gradeamento; PN - Peneiramento; CA - Caixa de areia; TE - Tanque de equalização; D- Decantador; TA - Tanque de aeração; AD - Adensador; FP- Filtro prensa; CF- Coagulação - floculação; LS - Leito de secagem; AI - Aterro industrial; F - Filtração convencional; I - Incineração; LEA - lagoa de estabilização aerada. *Operações destinadas aos lodos. O nome de algumas empresas não foi divulgado pelas fontes

que a coagulação-floculação, geralmente adotada como tratamento primário, também serve de tratamento terciário para efluente têxtil. Alvim *et al* mencionam que o efluente caracterizado por eles era proveniente de uma indústria têxtil que também faz uso de lodos ativados seguido de coagulação-floculação.¹⁶ No entanto, a falta de mais detalhes sobre as etapas envolvidas no tratamento não permitiu sua inserção na Tabela 5. Outro tipo de tratamento biológico, lagoa de estabilização aerada, foi observado em apenas uma das fontes. Os tratamentos biológicos mencionados permitem uma significativa remoção de DBO_5 , de até 95% em águas residuárias, mas requerem aeração artificial, acarretando em altos custos, principalmente para o processo de lodos ativados.^{5,59} A combinação de um processo anaeróbio seguido de aeróbio tem sido testada em laboratório como forma de minimizar a geração de lodo, bem como reduzir o consumo de energia com a aeração.^{24,35} De qualquer forma, o uso de tratamentos biológicos posteriormente às etapas físico-químicas pode se justificar por remover a fração biodegradável residual do efluente. Como exemplo, já que a coagulação-floculação tem o objetivo de remover os poluentes refratários, após esta etapa de tratamento, haveria nova razão DQO/DBO_5 , com valores mais próximos ou abaixo de 2,5, permitindo a ação posterior de microrganismos para aumentar a remoção de matéria orgânica a um custo menor, mesmo havendo a necessidade de aeração. Com relação à presença de N, sua baixa concentração pode comprometer os tratamentos biológicos, pois microrganismos dependem desse nutriente para reprodução celular.^{5,59} Como alternativa a essa suposta limitação, Alvim *et al* mencionaram que há a adição, quando necessária, de uréia e também fosfato de sódio (como fonte de P) para possibilitar o tratamento por processo de lodos ativados na empresa estudada.¹⁶ A quantidade desses macronutrientes relatada para o efluente final foi de 10%,¹⁶ o que também é importante destacar, pois evita potenciais problemas de eutrofização do corpo hídrico receptor. Uma forma aparentemente mais barata foi mencionada por Silva¹⁹, que consiste na adição de dejetos suínos como forma de suprir a carência de ambos N e P no efluente de uma indústria têxtil para permitir seu tratamento biológico.

As técnicas convencionais para tratamento de efluentes têxteis têm como uma importante

desvantagem a geração de resíduos sólidos/semisólidos, tanto por processos físico-químicos, especialmente a coagulação/floculação (lama ou lodo químico) quanto por biológicos (lodo biológico ou secundário). Devido a isso, eles devem ser separados do efluente tratado por meio de decantadores, seguido de adensamento, secagem e disposição final em aterros industriais ou incinerados.⁴ Em um dos estudos consultados foi mencionado que o lodo químico da empresa é recolhido por um caminhão de coleta de resíduos, sem mencionar seu destino,⁴² enquanto outra simplesmente dispõe esse material indevidamente no lixo comum.⁷⁰ Apenas uma das fontes mencionou a incineração como tratamento final do lodo químico.¹⁹

Uma alternativa que vem sendo muito pesquisada (por mais da metade dos trabalhos citados nas Tabelas 1 e 2), para minimizar a geração de lodo nas ETEs consiste nos processos oxidativos avançados (POAs). POAs são tratamentos químicos que geram radicais livres *in situ*, principalmente o radical hidroxila (HO^*), capazes de atacar indistintamente todas as substâncias presentes no efluente em altas taxas de reação, podendo convertê-las em CO_2 , água e sais.^{2,71,72} Dessa forma, pode-se alcançar a mineralização dos componentes, minimizando ou evitando a geração de lodo. Entre os POAs mais estudados para os efluentes têxteis brasileiros, tem se destacado H_2O_2/UV , reação de Fenton (Fe^{2+}/H_2O_2) e fotocatalise heterogênea com TiO_2 . Dentre os três, a reação de Fenton tem a formação indesejada de lama de ferro após a neutralização do efluente tratado.² Um resultado importante por meio do uso de diferentes POAs consistiu em avaliá-los no tratamento de um efluente secundário (coletado após o processo convencional de lodos ativados). Ribeiro *et al* sugeriram que o efluente “polido” por Fe^{2+}/H_2O_2 apresentou características propícias para reuso.⁷³ Além dessa integração ter aumentado a eficiência de tratamento, outro aspecto relevante nos dias de hoje, reuso, também foi atingido. Devido a problemas de escassez de água no agreste pernambucano, Silva⁵² relatou que 63% das lavanderias têxteis da região fazem reuso direto do efluente, mas sem menção da forma como é feito, muito menos se os efluentes foram previamente tratados. Além de POAs, outras formas de tratamento também foram avaliadas pelos trabalhos consultados (flotação, biodegradação com fungos isolados, eletrocoagulação), demonstrando que esse é um campo de pesquisa em continuidade.

4. Conclusão

Ao analisar as características físico-químicas de efluentes têxteis (de indústrias e lavanderias industriais) obtidos de diferentes fontes da literatura, constatou-se sua heterogeneidade. A maioria dos efluentes investigados é composta por matéria orgânica refratária, sugerindo que vias físico-químicas de tratamento são, em geral, mais indicadas. A correlação linear entre os dados de DQO e DBO₅ para os dois setores de efluentes têxteis (industrial e lavanderias) foi precária ($R^2 < 0,8$), não sendo, portanto, possível que um modelo linear seja usado para predição de um destes parâmetros a partir do outro. Com relação ao pH, verificou-se, na maioria dos casos, que sua correção é necessária para permitir tratamentos desses efluentes, além de descarte. Embora a legislação federal não estabeleça valores limites de concentração de matéria orgânica para efluentes industriais, dados de DBO₅ e DQO estavam acima de valores estipulados em legislações estaduais vigentes para descarte. A complexidade associada à caracterização desses efluentes impulsionam o estudo e o desenvolvimento de novas tecnologias que viabilizem processos de tratamento mais eficientes. Os métodos convencionais de tratamento abordados neste trabalho são utilizados para remoção de matéria orgânica de forma geral. O processo de coagulação-floculação tem sido a principal etapa na remoção de poluentes nesses efluentes, enquanto os tratamentos biológicos são adotados para melhorar a eficiência de algumas ETEs. Nota-se, no entanto, a necessidade de explorar alternativas para o tratamento de efluentes têxteis como os processos oxidativos avançados, os quais evitam/minimizam a geração de resíduos sólidos, comum nos processos convencionais.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG (processo APQ-01898-17) pelo auxílio financeiro e à CAPES e ao CNPq.

Referências Bibliográficas

¹ Abit., *O Setor Têxtil de Confecção e os Desafios de Sustentabilidade*, Disponível em: https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/bb/6f/bb6fdd8d-8201-41ca-981d-deef4f58461f/abit.pdf. Acesso em: 6 fevereiro 2020.

² Siddique, K.; Rizwan, M.; Shahid, M. J.; Ali, S.; Ahmad, R.; Rizvi, H. Em *Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants*. Anjum, N. A.; Gill, S. S.; Tuteja, N., eds.; Springer: Switzerland, 2017, 183. [CrossRef]

³ Yassen, D. A.; Scholz, M. Textile dye wastewater characteristics and constituents of synthetic effluents: a critical review. *International Journal of Environmental Science and Technology* **2019**, *16*, 1193. [CrossRef]

⁴ Holkar, C. R.; Jadhav, A. J.; Pinjari, D. V.; Mahamuni, N. M.; Pandit, A. B. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. *Journal of Environmental Management* **2016**, *182*, 351. [CrossRef]

⁵ Von Sperling, M.; *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, 4a. ed., UFMG: Belo Horizonte, 2014.

⁶ Kumar, S. P.; Saravanan, A. Em *Sustainable Fibres and Textiles*; Muthu, S. S., ed.; Elsevier, 2017, 323. [CrossRef]

⁷ Brasil.; Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução nº 430*, 2011.

⁸ Garcia, J. C.; Simionato, J. I.; Almeida, V. C.; Palácio, S. M.; Rossi, F. L.; Schneider, M. V.; Souza, N. E. Evolutive followup 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* **2009a**, *20*, 1589. [CrossRef]

⁹ Garcia, J. C.; Souza, T. K. F. F.; Palácio, S. M.; Ambrósio, E.; Souza, M. T. F.; Santos, L. B.; Souza, N. E. Toxicity assessment of textile effluents treated by advanced oxidative process (UV/TiO₂ and UV/TiO₂/H₂O₂) in the species *Artemia salina* L. *Environmental Monitoring and Assessment* **2013**, *185*, 2179. [CrossRef] [PubMed]

¹⁰ Garcia, J. C.; Simionato, J. I.; Silva, A. E. C.; Nozaki, J.; Souza, N. E. Solar photocatalytic degradation of real textile effluents by associated titanium dioxide and hydrogen peroxide. *Solar Energy* **2009b**, *83*, 316. [CrossRef]

¹¹ Mounteer, A. H.; Leite, T. A.; Lopes, A. C.; Medeiros, R. C. Removing textile mill effluent recalcitrant COD and toxicity using the H₂O₂/UV system. *Water Science and Technology* **2009**, *60*, 1895. [CrossRef] [PubMed]

¹² Oliveira, D. M.; Leão, M. M. D. Avaliação da biodegradabilidade de efluentes têxteis do beneficiamento secundário de malhas de poliéster tratados com reagente de Fenton. *Química Nova* **2009**, *32*, 2282. [CrossRef]

- ¹³ Alves, P. A.; Malpass, G. R. P.; Johansen, H. D.; Azevedo, E. B.; Gomes, L. M.; Vilela, W. F. D.; Motheo, A. J. Photo-assisted electrochemical degradation of real textile wastewater. *Water Science and Technology* **2010**, *61*, 491. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁴ Franco, M. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade de São Paulo, Brasil, 2010. [[Link](#)]
- ¹⁵ Ribeiro, J. P.; Araújo, D. S.; Sousa, F. W.; Correia, L. M.; Machado Filho, N. S.; Nascimento, R. F. Uso do processo H₂O₂/UV – Adsorção no tratamento de efluente têxtil. *Revista DAE* **2010**, *183*, 4. [[CrossRef](#)]
- ¹⁶ Alvim, L. B.; Kummrow, F.; Beijo, L. A.; Lima, C. A. A.; Barbosa, S. Evaluation of the cytogenotoxicity of textile effluents using *Allium cepa* L. *Revista Ambiente & Água* **2011**, *6*, 255. [[Link](#)]
- ¹⁷ Melo, C. F.; Silva, F. T.; Paiva, T. C. B. Treatment of wastewater from a cotton dyeing process with UV/H₂O₂ using a photoreactor covered with reflective material. *Water Science and Technology* **2011**, *64*, 460. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ¹⁸ Pioltine, A.; Reali, M. A. P. Emprego de bomba multifásica como unidade geradora de microbolhas de ar em sistema de flotação aplicado ao pré-tratamento de efluente têxtil. *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2011**, *16*, 167. [[CrossRef](#)]
- ¹⁹ Silva, S. C.; *Monografia de Especialização Lato Sensu*, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Brasil, 2011. [[Link](#)]
- ²⁰ Solano, A. M. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil, 2011. [[Link](#)]
- ²¹ Guimarães, J. R.; Manieiro, M. G.; Araújo, R. N. A comparative study on the degradation of RB-19 dye in an aqueous medium by advanced oxidation processes. *Journal of Environmental Management* **2012**, *110*, 33. [[CrossRef](#)]
- ²² Miranda, R. C. M.; Gomes, E. B.; Pereira, N.; Marin-Morales, M. A.; Machado, K. M. G.; Gusmão, N. B. Biotreatment of textile effluent in static bioreactor by *Curvularia lunata* URM 6179 and *Phanerochaete chrysosporium* URM 6181. *Bioresource Technology* **2013**, *142*, 361. [[CrossRef](#)]
- ²³ Silva, C. E. F.; Gonçalves, A. H. S.; Abud, A. K. S. Treatment of textile industry effluents using orange waste: a proposal to reduce color and chemical oxygen demand. *Water Science and Technology* **2016**, *74*, 994. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁴ Amaral, F. M.; Florêncio, L.; Kato, M. T.; Santa-Cruz, P. A.; Gavazza, S. Hydraulic retention time influence on azo dye and sulfate removal during the sequential anaerobic-aerobic treatment of real textile wastewater. *Water Science and Technology* **2017**, *76*, 3319. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁵ Couto, C. F.; Moravia, W. G.; Amaral, M. C. S. Integration of microfiltration and nanofiltration to promote textile effluent reuse. *Clean Technologies and Environmental Policy* **2017**, *19*, 2057. [[CrossRef](#)]
- ²⁶ Domingues, F. S.; Freitas, T. K. F. S.; Almeida, C. A.; Souza, R. P.; Ambrosio, E.; Palácio, S. M.; Garcia, J. C. Hydrogen peroxide-assisted photocatalytic degradation of textile wastewater using titanium dioxide and zinc oxide. *Environmental Technology* **2017**, *40*, 1223. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁷ Ferrari-Lima, A. M.; Ueda, A. C.; Bergamo, E. A.; Marques, R. G.; Ferri, E. A. V.; Pinto, C. S.; Pereira, C. A. A.; Yassue-Cordeiro, P. H.; Souza, R. P. Perovskite-type titanate zirconate as photocatalyst for textile wastewater treatment. *Environmental Science and Pollution Research* **2017**, *24*, 12529. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁸ Lisboa, S. D.; Santos, C.; Barbosa, R.; Magalhães, O.; Paiva, L.; Moreira, K.; Souza-Motta, C. Requalification of a Brazilian *Trichoderma* collection and screening of its capability to decolourise real textile effluent. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2017**, *14*, 373. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ²⁹ Martins, J. E. C. A.; Neto, E. F. A.; Lima, A. C. A.; Ribeiro, J. P.; Maia, F. E. F.; Nascimento, R. F. Delineamento Box-Behnken para remoção de DQO de efluente têxtil utilizando eletrocoagulação com corrente contínua pulsada. *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2017**, *22*, 1055. [[CrossRef](#)]
- ³⁰ Pizato, E.; Lopes, A. C.; Rocha, R. D. C.; Barbosa, A. M.; Cunha, M. A. A. Caracterização de efluente têxtil e avaliação da capacidade de remoção de cor utilizando o fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI. *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2017**, *22*, 1027. [[CrossRef](#)]
- ³¹ Favero, B. M.; Favero, A. C.; Taffarel, S. R.; Souza, F. S. Evaluation of the efficiency of coagulation/flocculation and Fenton process in reduction of colour, turbidity and COD of a textile effluent. *Environmental Technology* **2018**, *29*, 1. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- ³² Pizzato, J. A. G.; Andrade, M. Z.; *6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente*, Bento Gonçalves, Brasil, 2018. [[Link](#)]
- ³³ Santos, R. F.; Ramlow, H.; Dolzan, N.; Machado, R. A. F.; Aguiar, C. R. L.; Marangoni, C. Influence of different textile fibers on characterization of dyeing wastewater and final effluent. *Environmental Monitoring and Assessment* **2018**, *190*, 1. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

- ³⁴ Lenhard, D. C.; Santos, A. Z.; Fontana, V. C.; Tavares, C. G. Foto-oxidação catalítica aplicada ao tratamento de efluentes para obtenção de água para reuso na indústria têxtil. *Holos Environment* **2010**, *10*, 26. [CrossRef]
- ³⁵ Ferraz Júnior, A. D. N.; Kato, M. T.; Florencio, L.; Gavazza, S. Textile effluent treatment in a UASB reactor followed by submerged aerated biofiltration. *Water Science and Technology* **2011**, *64*, 1581. [CrossRef][PubMed]
- ³⁶ Niero, R.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Brasil, 2011. [Link]
- ³⁷ Vasconcelos, C. J. F.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 2011. [Link]
- ³⁸ Halasz, M. R. T.; Torsato Jr., J. C. Processos oxidativos avançados e físico-químicos aplicados na remediação de efluentes têxteis. *Enciclopédia Biosfera* **2012**, *8*, 1363. [Link]
- ³⁹ Santos, V. L.; Silva, P. T. S.; Silva, R. F.; Albuquerque, E. C. *XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, Búzios, Brasil, 2012. [Link]
- ⁴⁰ Ströher, A. P.; Menezes, M. L.; Fiorentin, L. D.; Pereira, N. C. Utilização do bagaço de laranja no tratamento de efluente proveniente da lavagem de jeans. *E-xacta* **2012**, *5*, 23. [CrossRef]
- ⁴¹ Almeida, A. A. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2013. [Link]
- ⁴² Souza, F. P.; Areas, S. M. R.; Pertel, M. Análise da viabilidade técnica de reutilização do efluente de uma lavanderia industrial. *Perspectivas online* **2013**, *3*, 1. [CrossRef]
- ⁴³ Ströher, A. P.; Menezes, M. L.; Pereira, N. C.; Bergamasco, R. Utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluente proveniente de lavagem de jeans. *Engevista* **2013**, *15*, 255. [CrossRef]
- ⁴⁴ Toral, A. O.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil, 2013. [Link]
- ⁴⁵ Campos, V. M. C.; Brito, N. N. Tratamento de efluente têxtil utilizando coagulação/floculação e Fenton. *Revista de Química Industrial* **2014**, *743*, 11. [Link]
- ⁴⁶ Gonçalves, L. V.; Costanzi, R. N.; Pinheiro, A. L. N.; Sotti, G. Flotação por ar dissolvido para remoção de cor em efluente de lavanderia industrial têxtil. *Enciclopédia Biosfera* **2014**, *10*, 3712. [Link]
- ⁴⁷ Tavares, C. T. G.; Ribeiro, V. A. S.; Volpe, A. L. S. Evaluation of the photo-catalytic oxidation process with commercial ZnO for real textiles wastewaters treatment. *International Refereed Journal of Engineering and Science* **2014**, *3*, 2319. [Link]
- ⁴⁸ Castilhos, S.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil, 2015. [Link]
- ⁴⁹ Gonçalves, L. V.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil, 2015. [Link]
- ⁵⁰ Palácio, S. M.; Fagundes-Klen, M. R.; Oliveira, C. C.; Garcia, J. C.; Manenti, D. R. Combinação dos processos eletrocoagulação e fotocatalise heterogênea no tratamento de um efluente têxtil clorado. *Engevista* **2015**, *17*, 407. [CrossRef]
- ⁵¹ Ribeiro, V. A. S.; Tavares, C. R. G. *V Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente*, Bento Gonçalves, Brasil, 2016. [Link]
- ⁵² Silva, R. A. J.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil, 2016. [Link]
- ⁵³ Souza, P. C.; Pereira, N. C.; Gonçalves, M. S.; Filho, N. C.; Rodrigues, P. H.; Jamarim, V. M. Estudo do tratamento de efluente têxtil através de processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação. *E-xacta* **2016a**, *9*, 123. [CrossRef]
- ⁵⁴ Souza, R. P.; Freitas, T. K. F. S.; Domingues, F. S.; Pezoti, O.; Ambrosio, E.; Ferrari-Lima, A. M.; Garcia, J. C. Photocatalytic activity of TiO₂, ZnO and Nb₂O₅ applied to degradation of textile wastewater. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, **2016b**, *329*, 9. [CrossRef]
- ⁵⁵ Assunção, T. M.; *Trabalho de conclusão de curso*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018. [Link]
- ⁵⁶ Silva, J. S.; Heck, M. C.; Buzo, M. G.; Almeida, I. V.; Vicentini, V. E. P. Evaluation of textile laundry effluents and their cytotoxic effects on *Allium cepa*. *Environmental Science and Pollution Research* **2018**, *25*, 27890. [CrossRef] [PubMed]
- ⁵⁷ Morais, N. W. S.; Santos, A. B. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reuso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. *Revista DAE* **2019**, *67*, 40. [CrossRef]
- ⁵⁸ Ghaly, A. E.; Ananthashankar, R.; Alhattab, M.; Ramakrishnan, V. V. Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology* **2014**, *1*, 1. [CrossRef]
- ⁵⁹ Jordão, E. P.; Pessoa, C. A.; *Tratamento de esgotos domésticos*, 6a. ed., ABES: Rio de Janeiro, 2011.
- ⁶⁰ Batista, N. B. S.; Aguiar, A.; *XXII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica*, São José dos Campos, Brasil, 2018. [Link]

- ⁶¹ Silva, S. R.; Mendonça, A. S. F. Correlação entre DBO e DQO em esgotos domésticos para a região da grande Vitória-ES. *Engenharia Sanitária e Ambiental* **2003**, *8*, 213. [Link]
- ⁶² Santos, C.; *Estatística Descritiva – Manual de Auto-aprendizagem*, 3a ed., Edições Sílabo: Lisboa, 2007.
- ⁶³ Budeiz, V.; Aguiar, A. Monitoramento e relacionamento dos parâmetros DQO e DBO₅ em afluente e esgoto tratado das cidades de Itajubá e Pedralva, MG. *Periódico Tchê Química* **2020**, *17*, 80. [Link]
- ⁶⁴ Sítio da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº1, de 05 de Maio de **2008**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/DeliberaNormativaConjuntaCOPAM-CERHno01-2008.pdf>>. Acesso em: 11 Junho 2018.
- ⁶⁵ Tüfekci, N.; Sivri, N.; Toroz, I. Pollutants of textile industry wastewater and assessment of its discharge limits by water quality standards. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **2007**, *7*, 97. [Link]
- ⁶⁶ Ashfaq, A.; Khatoon, A. Waste management of textiles: A solution to the environmental pollution. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* **2014**, *3*, 780. [Link]
- ⁶⁷ Hussein, F. H. Chemical properties of treated textile dyeing wastewater. *Asian Journal of Chemistry* **2013**, *25*, 9393. [CrossRef]
- ⁶⁸ Coteminas SA., Redução do odor na estação de tratamento de efluentes, Disponível em: <<http://www.expressao.com.br/ecologia/cases/2009/COTEMINAS.pdf>>. Acesso em: 6 fevereiro 2020.
- ⁶⁹ Buss, M. V.; Ribeiro, E. F.; Schneider, I. A. H.; Menezes, J. C. S. S. Tratamento dos efluentes de uma lavanderia industrial: avaliação da capacidade de diferentes processos de tratamento. *Revista de Engenharia Civil IMED* **2015**, *2*, 2. [CrossRef]
- ⁷⁰ Rocha, G. F.; Lima, S. M.; Santos, M. S. F.; XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, João Pessoa, Brasil, 2016. [Link]
- ⁷¹ Aguiar, A.; Ferraz, A.; Contreras, D.; Rodríguez, J. Mecanismo e aplicações da reação de Fenton assistida por compostos fenólicos. *Química Nova* **2007**, *30*, 623. [CrossRef]
- ⁷² Fioreze, M.; dos Santos, E. P.; Schmachtenberg, N. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET* **2014**, *18*, 79. [CrossRef]
- ⁷³ Ribeiro, M. C. M.; Starling, M. C. V. M.; Leão, M. M. D.; Amorim, C. C. Textile wastewater reuse after additional treatment by Fenton's reagent. *Environmental Science and Pollution Research* **2016**, *24*, 6165. [CrossRef] [PubMed]