

SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO DA INDÚSTRIA TÊXTIL: APLICAÇÕES ENZIMÁTICAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

SUSTAINABILITY IN TEXTILE INDUSTRY MANAGEMENT: ENZYMATIC APPLICATIONS IN THE TREATMENT OF EFFLUENTS

190

Gabriel Faccioli¹; Luis Antonio Barbosa¹; Sara Monise de Oliveira²; Joaquim M. F. Antunes Neto²

1- *Tecnólogos em Gestão da Produção Industrial, pela Faculdade de Tecnologia de Itapira “Ogari de Castro Pacheco” (FATEC de Itapira); 2- Doutora em Ecologia e Recursos Naturais, pela Universidade Federal de São Carlos e coorientadora da pesquisa; 3- Doutor em Biologia Funcional e Molecular, na área de Bioquímica, pelo Instituto de Biologia, Departamento de Bioquímica, da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP; docente da FATEC de Itapira e da Faculdade Municipal Prof. Franco Montoro (FMPFM/Mogi Guaçu – SP). Orientador da pesquisa.*

Contato: joaquim_netho@yahoo.com.br

RESUMO

A eficiência e eficácia dos resultados obtidos pelas organizações é reflexo da melhoria das condições tecnológicas e das exigências de competitividade nos mais diversos segmentos. Independentemente do processo produtivo, existe uma grande demanda de responsabilidade para com o meio ambiente e a relação que a empresa tem com o meio externo. A água possui um papel fundamental tanto para com preservação da vida quanto para a atividade industrial e são visíveis os problemas de escassez do recurso hídrico. A indústria têxtil, além de ser um segmento muito antigo, desempenha um papel muito importante no cenário econômico brasileiro. Entretanto, o setor gera grandes quantidades de efluentes, que se despejados de maneira inadequada, acabam comprometendo o ecossistema aquático. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é apresentar as estratégias de aplicação de enzimas no tratamento de efluentes do segmento têxtil. Para melhor conhecimento desta temática, inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica narrativa para a fundamentação teórica. Na sequência, utilizou-se de uma abordagem sistemática do problema, com a análise de estudos de casos referentes a aplicabilidade das enzimas no setor têxtil para o tratamento e descoloração de efluentes. Desta forma, pôde-se responder à questão norteadora de pesquisa. Os

principais resultados mostram que as enzimas, inclusive as sintetizadas a partir de fungos, constituem uma importante alternativa para o tratamento e descoloração de efluentes. Várias enzimas são empregadas com esse objetivo, porém, a mais utilizada e promissora neste estudo, foi a lacase. Assim, observou-se que um maior conhecimento catalítico para sua utilização vantajosa na promoção de reações enzimáticas mais efetivas pode vir a colaborar com o progresso desta área acadêmica.

Palavras-chave: Indústria Têxtil. Enzimas. Fungos. Efluentes. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The efficiency and effectiveness of the results obtained by organizations is a reflection of the improvement of technological conditions and competitiveness requirements in various segments. Regardless of the production process, there is a great demand for responsibility towards the environment and the relationship that the company has with the external environment. Water plays a fundamental role for both life preservation and industrial activity and the problems of water scarcity are visible. The textile industry, besides being a very old segment, plays a very important role in the Brazilian economic scenario. However, the sector generates large amounts of effluents, which if improperly discharged, end up compromising the aquatic ecosystem. Thus, the objective of this paper is to present the strategies of enzyme application in the wastewater treatment of the textile segment. For better knowledge of this theme, initially a narrative bibliographic review was performed for the theoretical foundation. Then, we used a systematic approach to the problem, with the analysis of case studies regarding the applicability of enzymes in the textile sector for the treatment and discoloration of effluents. Thus, we could answer the guiding question of research. The main results show that enzymes, including those synthesized from fungi, are an important alternative for effluent treatment and discoloration. Several enzymes are employed for this purpose, but the most used and promising in this study was laccase. Thus, it was observed that a greater catalytic knowledge for its advantageous use in the promotion of more effective enzymatic reactions may contribute to the progress of this academic area.

Keywords: Textile Industry. Enzymes. Fungi. Effluents. Sustainability.

INTRODUÇÃO

Dentre as inúmeras funções e cargos que existem em uma indústria, a figura do gestor é extremamente essencial, já que este por meio de uma visão holística necessita conhecer o processo pelo qual é responsável. Atualmente existe uma grande demanda que objetiva mudanças de como se conduz as atividades de um ambiente industrial, entre essas mudanças podemos citar: a preocupação com o lixo que se produz e como é realizado o descarte, o ciclo de vida do produto e a necessidade de encontrar novos meios

de produzir, sem acarretar danos ao ambiente externo e organizacional. O foco deste trabalho abrange estas preocupações, buscando promover reflexões necessárias para o gestor da produção industrial no século XXI.

Como discutem Bessant e Tidd (2009), é fato constatado que as empresas atualmente sobrevivem menos do que um ser humano, pois não estão preocupadas com o fator de mudança constante em seus processos de fabricação, o que as torna mais vulneráveis e sucessíveis à falência. De acordo com Bessant e Tidd (2009), sobressaem as empresas que estão atentas com as novas tendências tecnológicas, relevantes cuidados com a sustentabilidade e preocupação constante com a customização e qualidade final na entrega de seus produtos ao consumidor. Isto porque, hoje o consumidor é muito mais exigente.

Neste sentido, segundo Bessant e Tidd (2009), o consumidor está mais interessado e buscando adquirir e consumir produtos que sejam fabricados com a superação de velhas tecnologias. Um exemplo discutido por eles é a preocupação em saber a origem do produto e principalmente os cuidados com o descarte final de resíduos do mesmo. Desta forma, afirmam que a criatividade passa a ter um destaque de suma importância na gestão empreendedora, pois em pleno século XXI, a produção industrial ainda gera inúmeros prejuízos ao ambiente.

É sabido que a atuação das indústrias vem alterando o equilíbrio do planeta. Em um ecossistema, as relações existentes entre seres vivos e fatores abióticos (clima, vento, água, energia, etc.) são diversas, e proporcionam a ciclagem dos nutrientes e manutenção da vida. Segundo Barbieri (2011), em um ambiente natural as sobras de organismos quando decompostas, são retornadas ao meio ambiente e acabam nutrindo outros seres vivos, não existindo perda. Porém, a relação com o ser humano é diferente. Este retira do meio ambiente recursos para sobreviver e devolve sobras que dificilmente conseguem ser degradadas naturalmente, causando alterações prejudiciais aos ecossistemas, poluição, como se refere Barbieri (2011). A poluição é um dentre os vários tipos de impactos ambientais que a indústria pode causar.

De acordo com a resolução nº 1 de 1986 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), impacto ambiental é definido como qualquer alteração física, química e biológica causadas pelas ações do ser humano, direta ou indiretamente, que afetam a saúde, segurança e bem-estar da população, a biota, a qualidade dos recursos ambientais, atividades sociais e econômicas e condições estéticas e sanitárias do meio ambiente (CONAMA, 1986). Conforme Bessant e Tidd (2009), infelizmente, convivemos ainda com a destruição em massa de florestas, poluição cada vez mais acentuada do ar, solo e água, bem como descarte inadequado de dejetos provenientes da manufatura industrial, contribuindo assim para a destruição da camada de ozônio, o aumento do efeito estufa, perda acentuada da biodiversidade, e principalmente a escassez de água em nosso planeta. Estes, de acordo com Miller Junior (2008), são exemplos de impactos ambientais diretos que as indústrias vêm causando principalmente após a Revolução Industrial.

Uma das formas da indústria reduzir seus impactos ambientais é por meio da inovação. Segundo Drucker (2015), a oportunidade é a fonte da inovação para o desenvolvimento econômico, no qual a necessidade de novos processos na manufatura é bastante concreta e com surgimento de uma inovação ela imediatamente passa a ser óbvia e logo se torna padrão.

Para Drucker (2015), a inovação pode ser entendida como uma disciplina capaz de ser aprendida e praticada como uma ferramenta dos empreendedores, em que esses encontram uma oportunidade para um negócio ou serviço diferente. Sendo assim, fazer crescer e manter um negócio exige-se criatividade, capacidade, liderança de empreendedorismo buscando novas alternativas para a melhoria contínua dos processos de fabricação, customização e superação das expectativas do consumidor final, como descrevem Bessant e Tidd (2009).

A indústria têxtil é um segmento milenar, entretanto, o desenvolvimento da utilização de enzimas em seu processo é inovador. A relação existente entre a aplicação de enzimas na área têxtil se dá por uma área tecnológica, a biotecnologia, que de acordo com a cópia do decreto Legislativo nº 2 de 1992 da Convenção sobre Diversidade Biológica - CDB “significa qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica” (BRASIL, 1992).

A indústria têxtil tem um papel econômico muito importante em vários países, como afirmam Souza e Peralta-Zamora (2005). De acordo com Abit (2018), o setor têxtil no Brasil é 2º maior gerador de empregos da indústria de transformação e só perde para o setor de bebidas e alimentos juntos, além disso, a área têxtil no Brasil é o 2º maior gerador do primeiro emprego. O Brasil é referência mundial na moda de praia, *jeanswear* e *homewear*, possuindo uma cadeia produtiva que engloba desde a obtenção de matéria-prima até desfiles de moda, como relata Abit (2018). A relevância da industrial têxtil no cenário nacional motivou a escolha deste setor produtivo como objeto de estudo.

Furlan (2012), explica que a indústria têxtil é responsável por transformar fibras em fios, bem como fios em tecidos e tecidos em peças que serão comercializadas posteriormente. Nesses processos de transformação Aly, Moustafa e Hebeish (2004) citados por Pimentel (2010), discutem que uma fábrica têxtil utiliza muitos produtos em diversos processos e quando esses produtos deixam de serem usados, causam a poluição de efluentes e se corrosivos acarretam danos a equipamentos e substrato. Contudo, para os mesmos autores, ao utilizar-se de processos enzimáticos é possível reduzir a poluição ambiental.

Cegarra (1996) citado por Cunha, Pereira e Andrade (2006), relata que a aplicação de enzimas na indústria têxtil ocorreu por volta de 1857, em etapas antes do processo de estampagem. De acordo com o autor citado foi utilizado o extrato de malte para fazer a remoção de gomas amiláceas de artigos têxteis.

Hoje, contudo as aplicações de enzimas na indústria têxtil têm sido variadas, como explica Kunz et al. (2002). Em relação ao processo de biodegradação, que é a

decomposição dos resíduos de produção misturados à água por meio de seres vivos, estes autores explicam que pode ser utilizado, por exemplo, o fungo de decomposição branca. Este fungo produz as enzimas lignina e manganês peroxidase, que conseguem despolimerizar a lignina e vários outros compostos, como explicam autores citados por Kunz et al. (2002). Em outras palavras, estas enzimas desmontam as moléculas destas substâncias em unidades menores, facilitando a sua degradação no ambiente.

As enzimas são proteínas produzidas por células vivas que catalisam as reações bioquímicas que constituem seu metabolismo, mas que podem ser aproveitadas pelos seres humanos em diversas atividades, como descrevem Cunha, Pereira Júnior e Andrade (2006). Assim, a utilização de enzimas produzidas por determinados microrganismos, como o do exemplo mencionado, pode auxiliar na redução da poluição industrial, por meio da aceleração de reações químicas necessárias para a degradação dos poluentes.

Cunha, Pereira Júnior e Andrade (2006), ainda explicam que catalisadores são substâncias que aceleram as reações químicas, independentemente de sua quantidade, não ocorrendo seu consumo e nem destruição ao longo do processo. Isso confere a elas a possibilidade de ser utilizada e reutilizada várias vezes sem grandes perdas. Porém, os mesmos autores ressaltam que as enzimas possuem especificidade, ou seja, só catalisam um único tipo de reação química. Portanto, observa-se que as enzimas possibilitam o reuso, o que traz economia para as empresas, sendo uma alternativa sustentável aos produtos químicos. Porém, necessitam de investimento em pesquisa de novas enzimas e tecnologia para sua utilização nos diferentes processos produtivos.

A justificativa para o presente estudo se dá ao considerar que, segundo a Agência Nacional das Águas - ANA (2018), em média 260 mil m³/s de água escoam pelo Brasil, sendo que, 80% está presente na região Amazônica, que possui tanto a demanda por água quanto a população em números pequenos, além disso, parte dessa água serve para diversos outros usos.

Assim como a disponibilidade hídrica superficial, também existe a disponibilidade de água subterrânea, que no Brasil estima-se ser em torno de 14.650 m³/s. Porém, a sua distribuição pelo território brasileiro é desigual, em que as características hidrogeológicas e de produtividade variam, fazendo com que haja regiões com escassez e abundância desse recurso. A qualidade da água superficial e subterrânea varia conforme variáveis naturais, como o escoamento superficial, regime de chuvas, geologia e cobertura vegetal, além de impactos antrópicos, tais como lançamentos de efluentes que advêm de fontes pontuais e difusas (ANA, 2018).

Dos 5.570 municípios do Brasil, 2.680 (49%) decretaram pelo menos uma vez situação de emergência ou estado de calamidade pública nos períodos de 2003 a 2017 devido a cheias, além disso, cerca de 2.375 (89%) se encontram nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste. Já em relação a seca ou estiagem 2.839 municípios (51%) decretaram a situação ou estado no mesmo período. Em 2017 cerca de 3 milhões de pessoas sofreram com as cheias (alagamentos, inundações e enxurradas) em que o dano humano mais perceptível ocorre na perda de residências das pessoas afetadas, já óbitos, enfermidades,

desaparecimentos e ferimentos representam menos de 5% dessas pessoas afetadas (ANA, 2018).

Entretanto, em relação as secas ou estiagens, o número de pessoas afetadas foram cerca de 38 milhões, quase 13 vezes maior do que cheias, além disso, obteve-se 2.551 eventos de danos humanos que é 4 vezes mais que o de cheias, com 661 eventos. Em relação a eventos de seca por região demográfica de 2015 a 2017 o Nordeste representa 78%, já o Sudeste 18%, Norte com 2% e Centro-Oeste e Sul representam 1% (ANA, 2018).

A demanda por água cresce proporcionalmente ao aumento da população mundial e da atividade econômica. Como discute Mello (2002), mesmo os países desenvolvidos, que em sua maioria, investem na melhoria da eficiência do uso da água, tem a gestão da água como um dos seus desafios. O autor cita o *World Resource Institute* (2002), o qual informou que no ano de 2025 a população do planeta será de 8,3 bilhões de pessoas, sendo que esse aumento irá ocorrer, na maior parte, em países em desenvolvimento. Mello (2002), salienta que entre os anos de 1940 a 1990 o consumo de água advindo de rios, lagos, reservatórios e demais fontes quadruplicou e que simultaneamente há a contaminação dessas fontes, acarretando a diminuição da qualidade da água e o consumo de água potável.

As indústrias têxteis utilizam uma excessiva quantidade de água em seus processos que após a finalização do seu ciclo na cadeia produtiva, acabam gerando poluição dos corpos hídricos. Os efluentes têxteis são coloridos pois parte dos corantes que foram aplicados no processo de tingimento não se fixaram nas fibras (O'NEILL et al., 1999 citados por KUNZ et al., 2002). Assim, os efluentes têxteis advindos desta etapa quando não tratados de forma correta e lançados em águas naturais causam danos ao ecossistema, como a diminuição da transparência da água e penetração da radiação solar, dificultando a realização de fotossíntese por cianobactérias, algas e plantas, que são a base das teias alimentares, bem como a disponibilidade de oxigênio para os organismos (ZANONI; CARNEIRO, 2001 citados por SOUZA; PERALTA-ZAMORA, 2005). Portanto, se faz necessário buscar alternativas para minimizar a poluição que esses efluentes vêm causando ao meio aquático.

Sabendo do impacto significativo que a indústria têxtil tem no ambiente e do papel da inovação para reduzir custos e poluição ambiental, a pergunta a ser respondida neste trabalho é: quais são as tecnologias utilizadas atualmente baseadas em enzimas de microrganismos para o tratamento de efluentes têxteis?

Assim, por meio de uma pesquisa de revisão bibliográfica, o objetivo geral deste estudo é apresentar as estratégias de aplicação de enzimas no tratamento de efluentes do segmento têxtil. Para atingir este objetivo foram definidos os seguintes objetivos específicos: discutir a importância da aplicação enzimática em uma indústria têxtil para com a sustentabilidade; descrever o processo padrão de uma cadeia têxtil caracterizando os efluentes gerados e sua destinação; identificar os tipos de enzimas que podem ser aplicadas no tratamento de efluentes e seu respectivo funcionamento neste processo; verificar a existência de estudos de casos que apresentem a aplicação de enzimas na

indústria têxtil no tratamento de seus efluentes, discutindo seus benefícios e desafios para a gestão da produção industrial.

DESENVOLVIMENTO

Referencial Teórico

A etapa de referencial teórico traz consigo uma bagagem muito grande de conhecimento, que envolve o leitor com a problemática de seu estudo, além disso, facilita para o leitor, mesmo leigo no assunto, compreender o tema que foi tratado ao longo do trabalho. Nesse sentido, Kuark, Manhães e Medeiros (2010, p. 42) explicam que referencial teórico “[...] refere-se ao estudo teórico, à abordagem dos autores ou órgãos e instituições sobre o assunto. Para a escrita e entendimento (leitura), facilita a compreensão se for dividido em tópicos [...]”. Sendo assim, sua construção deve ser detalhada, narrando o assunto do trabalho de forma que cada tópico seja relacionado com o anterior.

Partindo do que foi abordado acima, esse trabalho inicia-se contextualizando a indústria têxtil em seus conceitos, história e etapas de sua cadeia produtiva. Em seguida adentra-se aos preceitos da sustentabilidade, apresentando sua história, conceitos e normas. Por fim apresenta-se os tópicos da problemática, que são: enzimas na indústria têxtil, gerenciamento de efluentes na mesma, seus tipos de tratamentos e por fim, os resultados e discussões a respeito da aplicabilidade das enzimas no tratamento de efluentes têxteis.

Indústria Têxtil

Neste tópico será abordado a indústria têxtil, em relação a sua história e processos produtivos que envolvem tanto o produto quanto a geração de efluentes.

História da indústria têxtil

A história descreve a relação entre Brasil e Portugal como colônia e metrópole, respectivamente. De acordo com Teixeira (2007), o Brasil possuía um caráter complementar de supridor de produtos primários e consumidor de produtos processados, o que acarretou seu atraso industrial. O autor, explica que o país conseguirá se desenvolver muito especificamente no setor têxtil, como a expansão que ocorreu em São Paulo entre 1850 e 1860. Em 1882 o estado de São Paulo tinha 9 fábricas que representavam 20% do incipiente têxtil do Brasil, só ficando atrás de Bahia, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Mais tarde em 1886 o setor contava com 12 fábricas com 1.600

funcionários, 1.200 teares, produzindo 12 milhões de metros de tecidos ao ano, como apresenta Teixeira (2007).

Como relata Teixeira (2007), o setor têxtil paulista apresentou um forte crescimento ao longo dos anos, isso permitiu a geração de empregos e a satisfação de desejos de pessoas em relação a moda. Este foi outro fator muito importante no cenário nacional, alavancando o setor e posteriormente permitindo que as indústrias têxteis paulistas fossem referência em fibras, fios, tecidos, roupas e acessórios.

Para a Associação Brasileira da Indústria têxtil e de Confecção - Abit (2013), o mercado têxtil e de confecção é um dos mais dinâmicos e faz no mínimo 4 lançamentos por ano. Em 2010 o consumo per capita mundial de fibras foi de 11,6 Kg/habitante. Este autor, cita que no mesmo ano houve o consumo de 80 milhões de toneladas de fibras, sendo 62% sintéticas e 38% naturais, como a de algodão.

O Brasil, em relação a produtores têxteis, se encontra na 5ª posição com porcentagem mundial de 3,0%, já a China lidera essa área com uma porcentagem de 50,7%, como explica IEMI (2010)¹ citado pela Abit (2013). Em relação a produtores de vestuário a China fica na 1ª posição com 46,4% e o Brasil ocupa a 4ª posição com 2,8% da porcentagem mundial, como explicam os mesmos autores.

A produção de produtos têxteis e confeccionados aumentou 34% na última década, já o comércio mundial desses produtos teve aumento de 83%, resultando em US\$ 648,6 bilhões em 2010, como cita Abit (2013). O mesmo autor, explica que China e Hong Kong representam 36% da exportação mundial de produtos têxteis e vestuário e mesmo o Brasil produzindo e consumindo muito esses produtos, o mesmo ocupa 23ª posição, com menos de 0,5%, para com os exportadores mundiais.

Menegon, Poli e Mazzioni (2018) analisando estudos do IBGE (2014a², 2014b³, 2016a⁴, 2016b⁵), afirmam que a indústria têxtil representa cerca de 2,0% de Valor Bruto da Produção Industrial e é responsável por 3,8% de empregos da Indústria de Transformação. Os autores, ainda relatam que em agosto de 2016 a atividade industrial apresentou queda de 3,8%, resultado mais intenso do que janeiro de 2012 que obteve valor negativo de 4,9%, isso resultou em um decréscimo de 6,9% na confecção de artigos do vestuário e acessórios. Por meio de um comparativo de agosto de 2016 com o mesmo período do ano anterior, Menegon, Poli e Mazzioni (2018), também afirmam que foi verificado uma queda de 5,2% do setor industrial e entre as atividades de confecção de artigos do vestuário e acessórios houve queda de 7,3%.

Mariano (2018) cita um estudo do Instituto de Estudos e Marketing Industrial (IEMI – Inteligência de Mercado), que relata que o varejo de vestuário no Brasil

¹ Fonte IEMI – ano base 2010.

² IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa industrial anual (PIA)**. 2014a.

³ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa industrial mensal de produção física Brasil**. 2014b.

⁴ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa industrial anual (PIA)**. 2016a.

⁵ **Pesquisa industrial mensal de produção física Brasil**. 2016b.

movimentou cerca de R\$220,4 bilhões em 2017, envolvendo 152,4 mil pontos de venda, entre eles lojas especializadas e não especializadas. De acordo com o mesmo estudo citado pela autora, cerca de 52 mil (35%) dos pontos de vendas representam os 571 shoppings na época, porém, a crise fechou 11 mil desses pontos de venda relacionados a moda, além disso, Marcelo Prado, diretor do instituto IEMI, cita que o varejo independente foi o que mais sofreu, entretanto, é o principal canal de varejo em volume, com 36,5% do total.

De acordo com Mariano (2018), em uma apresentação da balança setorial na sede da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (Abit) verificou-se que para Fernando Pimentel, presidente da mesma entidade, o ano de 2018 não foi muito satisfatório, entretanto, o setor têxtil/confecção conseguiu resistir bem ao recuo da produção após a greve de 11 dias dos caminhoneiros. De acordo com o mesmo autor, Fernando Pimentel espera que em 2019 haja crescimento de produção têxtil de 2,9%, que depende da flutuação do câmbio e consumo do mercado interno.

Além disso, para Marcelo Prado, em 2019 o segmento de *jeanswear* apresentará crescimento de 2% em volume de produção, ou seja, 4 a 5 milhões a mais, devido a esse produto ser usado por várias classes sociais e ter apelo da moda (MARIANO, 2018). A mesma autora cita IEMI [S. D.], em que se espera em 5 anos um crescimento de 11,5% no setor de Varejo e Vestuário, totalizando 7,1 bilhões de peças até 2022.

Etapas do processo produtivo

Existem variados tipos de matéria-prima que podem ser usadas no setor têxtil e Araújo e Castro (1984) citados por Freitas (2002) e Martins (1997), explicam que as fibras podem ser naturais, advindas da natureza, como algodão, linho, seda, lã e rami, sintéticas ou não-naturais que são transformadas quimicamente, como acetato e *rayon* (viscose) e artificiais ou regeneradas, em que os polímeros naturais são transformados sob uma ação de reagentes químicos, exemplos como poliéster, acrílico, *nylon* e *lycra*.

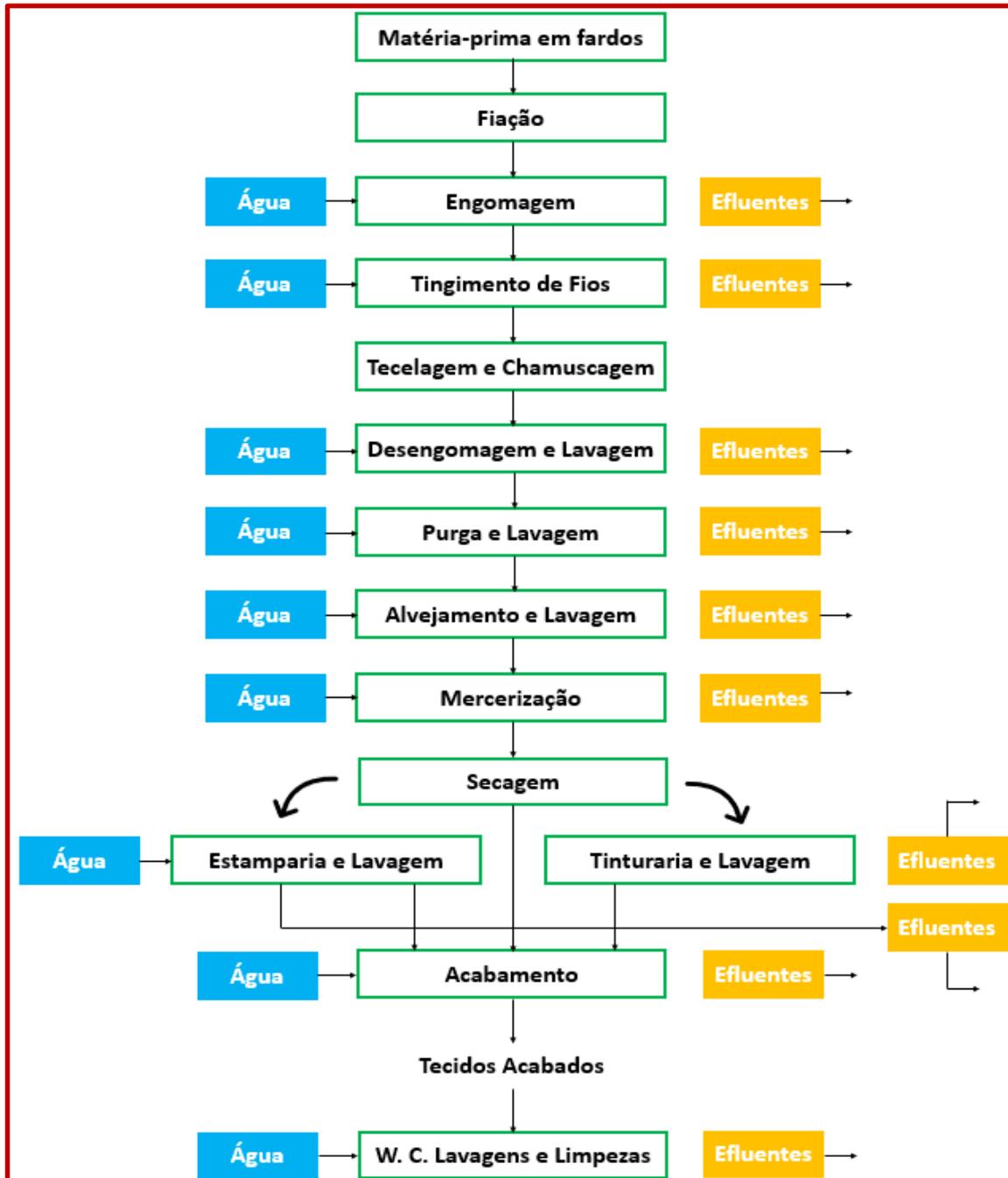
A indústria têxtil apresenta em sua cadeia produtiva diversos processos cada um com suas características, pela qual as fibras (matéria-prima) são conduzidas pelas etapas até a formação do produto. A apresentação destas etapas será feita a seguir tendo-se como base os trabalhos de Reis (2016) e Freitas (2002). Neles, cada um faz uma síntese de diversos autores para reconstruir e discutir as etapas do setor têxtil. Assim, será apresentada uma explicação sintética de cada etapa, em que buscou-se trazer os elementos essenciais discutidos em cada trabalho, relacionando-os.

A primeira etapa é a fiação (Figura 1), responsável por produzir fios, no qual as fibras são abertas, limpas, orientadas para a mesma direção, paralelizadas e torcidas umas às outras por atrito.

A segunda etapa é o processo de tecelagem ou malharia, que possuem como diferença o modo como os fios são entrelaçados, como mostrado na Figura 2. Na tecelagem são produzidos tecidos planos por meio de máquinas de tear para fios de trama

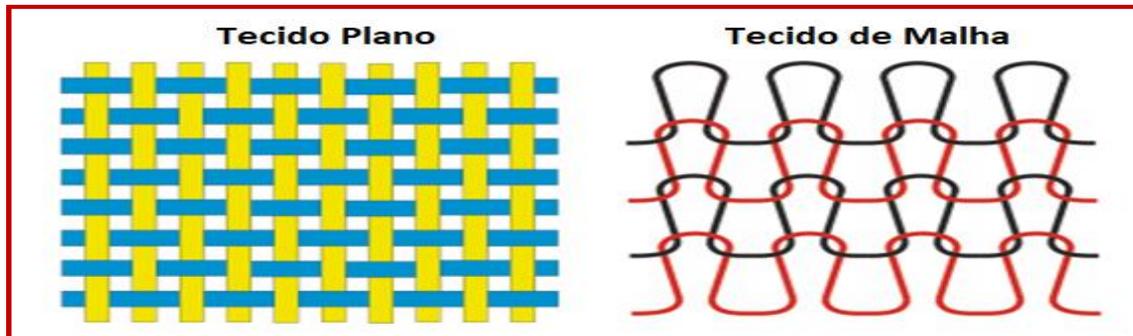
e urdume, em que estes são entrelaçados ortogonalmente. Já a malharia origina malhas, com fios entrelaçados um por um por meio de laçadas, não possuindo ângulos ortogonais entre eles.

Figura 1. Despejos provenientes do processamento de tecidos de algodão e sintéticos.



Fonte: Adaptado de Braille e Cavalcante (1993) citados por Silva (2007).

Figura 2. Estrutura do tecido plano e de malha.



Fonte: Pereira [S. D.].

Posteriormente, na terceira etapa, se tem o processo de acabamento ou beneficiamento em que se dá propriedades ao produto, como brilho, resistência, toque, entre outras. Nesta etapa estão presentes o substrato (fibras, fios, tecidos ou confecções), água, resinas, enzimas e demais itens. Um fato importante é que mesmo com as modernizações no setor e o advento de fibras sintéticas, o tipo de fibra mais usada é o algodão.

O processo de engomagem ocorre para que os fios que passam pelo urdume obtenham um aumento em sua resistência mecânica para assim resistirem aos esforços que terão nos teares, resultando em um tecido mais encorpado na confecção e melhor estiramento do mesmo. Esse processo é útil para tecidos que serão estampados e exigem um acabamento suave.

No processo de engomagem são usadas goma de fécula de mandioca e gomas naturais que tem base de poli-acrilato, carboximetilcelulose e álcool polivinílico (PVA), além disso, a gomas naturais são preferidas às sintéticas pois geram um efluente biodegradável.

Figura 3. Cabeçote da engomadeira.



Fonte: Pereira [S. D.].

O processo seguinte é a desengomagem. Essa etapa serve para remover a goma presente nas fibras que foram aplicadas para a tecelagem. Ela é muito importante, pois se as gomas não forem removidas elas podem reagir e causar mudança de cor quando expostas ao hidróxido de sódio no processo de cozimento.

O processo de cozimento ou pré-alvejamento é um branqueamento que remove impurezas, como agentes antiestáticos, lubrificantes, sujeira, gomas solúveis em água, entre outras de fibras, fios e tecidos.

A purga pode ser realizada com materiais naturais ou sintéticos, com o objetivo de remover as substâncias aplicadas ou presentes no tecido. A intensidade da purga depende do tipo de material utilizado.

O processo de alvejamento serve para se remover ceras, graxas, substâncias solúveis e pigmentação amarela das fibras, para assim seguirem aos processos de tingimento e estampagem. No alvejamento são usados vários alvejantes, como peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio e clorito de sódio, além disso, são usadas substâncias auxiliares, como soda cáustica, ácido sulfúrico, surfactantes, entre outros, o que contribui com a poluição.

Em seguida se tem a mercerização, feita em produtos de algodão e algodão/poliéster para aumentar a absorção de corantes, brilho e aparência e os autores complementam que produtos de algodão são colocados em banho de soda cáustica concentrado sob estiramento e após isso uma lavagem ácida para neutralizar pH.

Na sequência vem o processo de tingimento que serve para adicionar cor ao produto ou algo a mais por meio de diversos corantes, técnicas e equipamentos, sendo que essa etapa pode ser feita continuamente ou em batelada, apesar de o processo contínuo apresentar maior eficiência de fixação do corante a fibra. A adsorção e retenção do corante na fibra pode ocorrer de três maneiras: física, química ou ambas, dependendo do corante e da fibra. Além disso, a adsorção é dependente de fatores, como temperatura, pH, tempo e auxiliares químicos.

Figura 4. Máquina de Tingimento de fios (índigo).

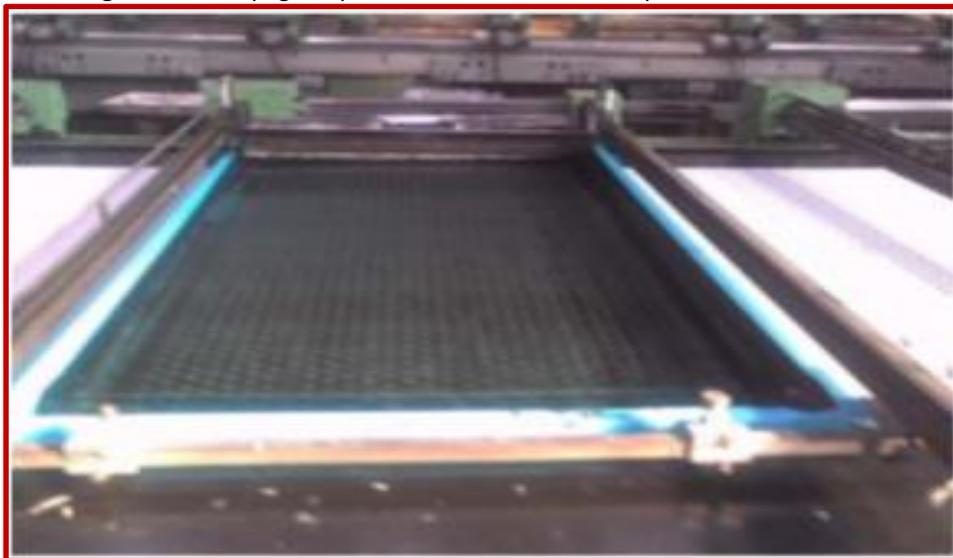


Fonte: Silva (2007).

A etapa seguinte é a estamparia, em que o material têxtil recebe cores ou estampas por meio de várias técnicas e equipamentos, além disso, diferentemente dos corantes, os pigmentos são insolúveis e não possuem afinidade pela fibra, o que traz a necessidade da utilização de resinas ligantes para fazer o pigmento aderir a fibra e solventes, para fazer o transporte do pigmento e da resina ao material. O mesmo autor citado, explica que após a evaporação do solvente somente restam o pigmento e a resina.

202

Figura 5. Estampagem quadros automático – Estamparia Pari – São Paulo.



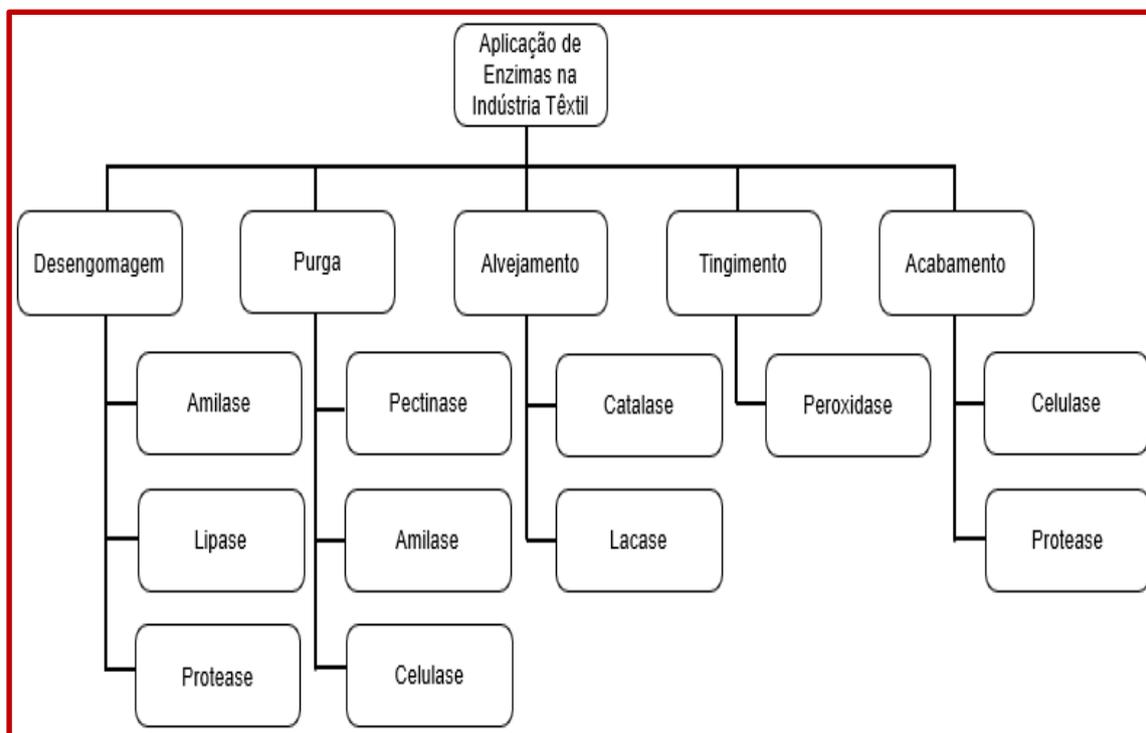
Fonte: Yamane (2008).

Enzimas na indústria têxtil

As enzimas possuem uma variada aplicabilidade no setor têxtil podendo apresentar funcionalidades diversas para com o produto. As enzimas possibilitam uma enorme vantagem competitiva seja aplicada no processo produtivo para com o produto quanto para o tratamento de efluentes.

A Figura 6 mostra as 11 enzimas, algumas se repetem, da desengomagem dos tecidos ao acabamento aplicadas no processo de beneficiamento. Acrescenta-se que não foi encontrado material a respeito da enzima catalase.

Figura 6. Aplicações enzimáticas nas etapas de beneficiamento têxtil.



Fonte: Adaptado pelo autor de Pimentel (2010).

Por meio de uma síntese dos trabalhos de Pimentel (2010) e Reis (2016), que citam vários autores, foram obtidas informações a respeito das enzimas apresentadas na Figura 6. Pimentel (2010), relata que a amilase foi introduzida no mercado em 1919 e permite a transformação do amido em compostos orgânicos que se dissolvem na água.

Complementando a aplicação enzimática, Reis (2016), descreve que a lipase é uma das mais usadas na indústria por sua especificidade ao substrato e por permitir a produção em escala, esta serve para remover lubrificantes para a tinta absorver melhor no tecido, para prevenir riscos e rachaduras no sistema de abrasão do *jeans*.

De acordo com Pimentel (2010), baseando-se na composição não celulósica do algodão algumas enzimas podem ser usadas na biopurga, como pectinases alcalinas ou ácidas, celulasas, xilanases, proteases e lipases. Além disso, Pimentel (2010), relata que as pectinases são as mais efetivas para o processo de biopurga de algodão pois degradam e eliminam a pectina, o que elimina ceras em condições adequadas de incubação, possibilitando a absorção de material têxtil e a não destruição da celulose.

Para Pimentel (2010), as celulasas podem ser usadas no biopolimento para remover fibrilas e pilosidade de tecidos ou malhas de algodão, além de poderem ser usadas de outras formas no beneficiamento para dar o aspecto envelhecido a artigos de denim e outros tipos de vestuário.

Silva et al. (2012) citam Bhunia, Durani e Wangitar (2001) e Yang et al. (2003), que relatam que as principais oxirredutases, lacases e peroxidases possuem um potencial de tratamento para compostos orgânicos e corantes, além disso, essas enzimas podem ser usadas com corantes sintéticos. Para Hussain (2009), citado pelas mesmas autoras, essas enzimas catalisam a transformação/degradação de corantes aromáticos por precipitação e ruptura do anel aromático.

Segundo Pimentel (2010), o avanço da biotecnologia possibilitou misturas especiais de enzimas para aplicações específicas. Nesse sentido, Pimentel (2010), cita a amilase desenvolvida para o processo de desengomagem a uma temperatura de 100 °C, os monocomponentes das celulases foram identificados como superiores às enzimas nativas em aplicações têxteis e enzimas hidrolíticas, como celulases, pectinases, amilases, proteases, outras atividades enzimáticas e oxidoreduções, são boas ferramentas no beneficiamento têxtil.

Sustentabilidade

Neste tópico serão abordadas a história da sustentabilidade que envolve a preocupação com o meio ambiente e como ela começou a se formar. Além disso, este tópico também abordará a aplicação da sustentabilidade dentro dos processos produtivos apresentando suas ferramentas, formas de gestão do negócio, normas que regem o comportamento da empresa frente o mercado de trabalho e como é feito o gerenciamento de efluentes.

História da sustentabilidade

Acot (1990), citado por Barbieri (2011), faz uma contextualização a respeito da administração da gestão ambiental, que cada vez mais ganha espaço e se faz presente nas empresas, tendo suma importância no planejamento, direção e controle de recursos com grande transparência em seu principal objetivo, que é alcançar efeitos positivos sobre o meio ambiente, minimizando e sanando danos causados, muitas das vezes, irreparáveis pelo homem em relação a natureza.

Barbieri (2011) cita novamente Acot (1990), que relata que a proteção do meio ambiente iniciou já há tempos remotos, no século XVI, quando na Inglaterra se restringiu o uso das serras hidráulicas como meio de proteger as florestas locais. Próximo a esta década, a preocupação com a gestão ambiental ganhou força, ao perceber-se a escassez de madeira em uso para a fabricação de moradias, móveis, instrumentos e combustível, como descreve Acot (1990) citado por Barbieri (2011).

De acordo com Barbieri (2011), surgiu o ambientalismo, movimento social com foco na preocupação e defesa do meio ambiente. A partir disso, segundo Barbieri (2011), criou-se a expressão gestão ambiental, que são ações técnicas e operacionais relacionadas a atividades que interagem direta ou indiretamente com aspectos

ambientais. Neste sentido, o autor comenta que uma mesma questão ambiental pode ser tratada por iniciativas diferentes, em que cada uma objetiva alcançar efeito sobre determinada área de abrangência, desde global com iniciativas da ONU, a níveis nacionais, regionais, subnacionais, locais, empresariais e até mesmo individuais.

Barbieri (2011) acrescenta que dentro da gestão ambiental empresarial há três relevantes critérios de desempenho sendo eles: econômica, equidade social e respeito ao meio ambiente e com a adoção desses critérios pelas empresas, espera-se que as mesmas gerem renda e riquezas, que seguramente são seus objetivos, porém também cuidem do meio ambiente e promovam benefícios sociais tornando a sociedade mais justa.

Sustentabilidade nos processos produtivos

De acordo com Barbieri (2011), diferentemente do controle da poluição, que visa somente o cumprimento de exigências legais para com o comando e controle, a prevenção da poluição requer a mudança nos processos produtivos, trazendo para a empresa a vantagem de poupar recursos que possibilitarão redução de custos e aumento de produtividade. Neste tópico buscou-se abordar a TQEM e a “Produção Mais Limpa” pois interligam a preservação do meio ambiente com a indústria, se relacionando com tema estudado no trabalho.

Quando nos referimos à qualidade, existem diversas ferramentas que auxiliam o setor produtivo para a melhoria da qualidade, redução de custos e na oportunidade de reconhecer os problemas que implicam em seu processo. Gemi (1993) citado por Barbieri (2011), explica que a Administração da Qualidade Ambiental Total (TQEM), pode ser compreendida como uma concepção da administração que envolvem todos os integrantes da organização e seus respectivos fornecedores, com o objetivo comum em produzir e comercializar bens e serviços que atendam as expectativas dos clientes e ou usuários.

Em resumo, claramente observa-se que o termo TQEM tem foco no cliente, qualidade como dimensão estratégica, processo como unidade de análise, participação de todos, trabalho em equipe, parceria com clientes e fornecedores e por final, melhoria contínua, como explica Gemi (1993), citado por Barbieri (2011). O mesmo autor citado por Barbieri (2011), relata que a grande preocupação com questões ambientais, faz com que a TQEM seja a superação das expectativas dos clientes internos e externos em termos ambientais, em que defeito zero é a meta de TQM (Administração da Qualidade Total) e por sua vez TQEM passa a ter como meta principal poluição zero. Então, nesse modelo o tratamento de resíduos é fundamental. A Figura 7 apresenta um comparativo entre a TQM e a TQEM.

Figura 7. Comparativo entre a Administração da Qualidade Total (TQM) e a Administração da Qualidade Ambiental Total (TQEM).

Administração da Qualidade Total (TQM)	Administração da Qualidade Ambiental Total (TQEM)
Qualidade como dimensão estratégica	Meio ambiente como dimensão estratégica
Liderança da alta administração	Liderança da alta administração
Foco no cliente	Foco no cliente
Abordagem por processo	Abordagem por processo
Participação de todos os níveis	Participação de todos os níveis
Melhoria contínua	Melhoria contínua
Meta: defeito zero	Meta: resíduos zero

Fonte: Adaptado de Barbieri (2011).

Barbieri (2011), explica que a TQEM possui uma maior abrangência do que é desperdício e o que causa problemas ambientais, além disso, suas ações principais visam a eliminação de causas ambientais que estão ocultas nas atividades de rotina, como a perda de materiais devido a variabilidade dos processos, o gasto com transporte de materiais por causa da disposição de equipamentos e instalações, dentre outros. Desta forma, se resume que esses dois indicadores (TQEM/TQM) administram e enfatizam a realização de melhorias contínuas em toda a extensão da empresa, com o envolvimento e participação de todos os seus integrantes, como explica Gemi (1993) citado por Barbieri (2011).

A Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial/*United Nations Industrial Development Organization* (ONU/UNIDO) (1991) citado por Barbieri (2011), apresenta que o processo de “Produção Mais Limpa” resume-se ao modelo de abordagem preventiva aplicada a processo, produtos e serviços para reduzir os impactos sobre o meio ambiente. Esse processo está relacionado a qualquer tecnologia que possa reduzir a poluição no planeta e economizar recursos. Além disso, documento explica que para alcançar o desenvolvimento esse modelo deve atender aos critérios como: uso eficiente dos recursos não renováveis, conservar os renováveis e não ultrapassar a capacidade do meio ambiente de assimilação de resíduos (ONU/UNIDO, 1991).

O conceito de “Produção Mais Limpa” requer ações para minimizar o consumo de energia e matéria prima, a geração de resíduos e suas respectivas emissões, envolvendo produtos e processos na prevenção, redução, reuso, reciclagem e tratamento com recuperação de materiais, como explica ONU/UNIDO (1991) também citado por Barbieri (2011). Promovendo assim ações para conservar energia e matérias primas, eliminando substâncias tóxicas, reduzindo desperdícios e a poluição resultantes de produtos e processos produtivos, como acrescenta o Centro de Tecnologias Limpas do

Serviço Nacional da Indústria (CNTL/SENAI-RS) (1999) citado por Barbieri (2011). Numa indústria têxtil que quer ter “Produção Mais Limpa”, é primordial se preocupar com o tratamento do efluente.

Normas ISO 14001 e 14004

As normas quando adotadas pelas organizações possibilitam que seu processo produtivo tenha eficiência no que tange a cada norma e muito se tem comentado atualmente a respeito da necessidade de preocupar-se com bem-estar do meio ambiente e a respeito de um comportamento gerencial correto perante o meio em que se vive. Neste contexto, Barbieri (2011), cita em seu livro a Norma ISO 14001 que foi estabelecida em 1947, com o objetivo de estabelecer a normalização e atividades relacionadas para facilitar a troca de bens e serviços no mercado internacional.

Segundo Barbieri (2011), as normas relativas ao sistema de gestão ambiental são ISO 14001 e 14004, que foram publicadas em 1996, revisadas em 1999 e concluídas em 2004, sendo traduzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em que juntas integram o conjunto de normas, que de acordo com a ABNT (2004) citado por Barbieri (2011), a NBR ISO 14001/04 Sistema de Gestão Ambiental segue requisitos com orientações para uso. Essa norma foi atualizada em 2015 e traz consigo uma explicação mais definida da liderança para todos os sistemas de gestão, em que a empresa precisa definir partes interessadas internas e externas e suas necessidades e expectativas relevantes, o dever de determinar os aspectos ambientais de suas atividades, produtos e serviços para com o ciclo de vida, maior foco na avaliação de risco, entre outras melhorias (TONE, 2015). Segundo a ABNT (2005) citado por Barbieri (2011), a NBR ISO 14004/05 Sistema de Gestão Ambiental se refere as diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de grupo.

Barbieri (2011), explica que ambas podem ser aplicadas em qualquer organização pública e ou privada independentemente do seu porte e ou setor de atuação, em que na NBR ISO 14001, estão as normas que contém os requisitos para auditoria de certificação e na NBR ISO 14004 encontram-se as diretrizes e recomendações para a empresa criar e aperfeiçoar seu Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA). Barbieri (2011) cita a NBR ISO 14001:2004 ABNT (2004), que complementa que a Norma ISO 14001 tem como premissa que a organização periodicamente avalie o seu SGA, para identificar oportunidades de melhoria e que irá implementá-las com velocidade, extensão e tempo determinado pela empresa e conforme suas circunstâncias econômicas. Se as indústrias têxteis pretendem ganhar espaço no mercado, a certificação ambiental pode ser um diferencial. E a inovação no tratamento de resíduos pode contribuir para isto.

Gestão ambiental na indústria têxtil

Segundo a Política Nacional do Meio Ambiente (1981), em relação a impactos ambientais, impõe que o poluidor e o predador devem recuperar e/ou indenizar os danos causados. Além disso, de acordo com o Anexo VIII da mesma política, a indústria têxtil, de vestuário, calçados e artefatos de tecidos se enquadra na lista de atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos ambientais (BRASIL, 1981). Portanto, fica evidente que as empresas necessitam, também, cada vez mais se preocuparem com os aspectos relativos à gestão como um todo, sobretudo no que diz respeito aos procedimentos legais, determinados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) e a Política Nacional de Meio Ambiente (1981).

Mais especificamente com relação aos resíduos, tem-se a Lei Nº 12.305, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que define resíduos sólidos como materiais, objetos, substâncias ou bens que são descartadas pelo ser humano em suas atividades na sociedade, cuja destinação final se encontra nos estados sólido ou semissólido, em gases contidos em recipientes e líquidos que apresentam características que os inibem de serem lançados na rede pública de esgoto e corpos d'água, que exigem suporte técnico ou que possuem inviabilidade econômica (BRASIL, 2010). Na indústria têxtil são produzidos diferentes resíduos, como mostra o quadro abaixo.

Quadro 1. Geração de resíduos em diferentes etapas de produção.

Etapas Têxteis	Resíduos
Fiação	Fibrilas, cascas, fibras, fios, cones, barra de fibra, etc.
Beneficiamento	Fibras queimadas, fibras retiradas durante processos têxteis (purga, lavagem, alvejamento, impregnação de álcali, felpagem), vapores de solventes, pastas de estampar, telas, embalagens diversas, etc.
Tecimento (Tecelagem/Malharia)	Fibrilas, cones, restos de banho de goma, embalagens, fibras, fios, tecidos, óleo usado, etc.
Enobrecimento	Fibras queimadas, fibras removidas do material têxtil nas operações (desengomagem, lavagem, purga, alvejamento, impregnação de álcali, felpagem, navalhagem, esmerilhagem) pastas de estampar, telas, embalagens diversas, óleo térmico, etc.
Tingimento	Banho residual de tingimento, água de lavagem advindos da lavagem do material têxtil e equipamentos, embalagens, etc.
Confecção	Retalhos, embalagens, etc.
Utilidades	Cinzas, embalagens de produtos químicos, borra de óleo, pano com óleo, água com impurezas, mistura de água e óleo, fibrilas, fibras retiradas do interior dos prédios e do sistema de climatização, corantes reprovados, lodo, lodo biológico, embalagem de papel, papelão, plástico, cartucho de impressora, etc.

Fonte: Bastian (2009).

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), se enquadram como geradores de resíduos sólidos, pessoas públicas ou jurídicas de direito privado que geram esses resíduos por meios de atividades ou consumo. Assim, as indústrias têxteis são pessoas jurídicas responsáveis pelos resíduos gerados. A Lei Nº 11.445/2007, de Saneamento Básico, também indica a responsabilidade do gerador comercial privado em tratar os seus resíduos industriais, sejam sólidos ou efluentes (BRASIL, 2007).

De acordo com Philippi Júnior (1999) citado por Sperandio e Gaspar (2009), uma questão importante é disposição final dos resíduos sólidos tanto domiciliares quanto industriais, já que esses causam sérios problemas a sociedade. Portanto, medidas mitigadoras para com a poluição, precisam ser colocadas em prática, principalmente no âmbito industrial. Nesse sentido, pode-se citar o Princípio dos Rs, que segundo Portugal (2007) citado por Sperandio e Gaspar (2009), se dividem em:

- a) Reduzir o desperdício de matéria-prima, energia e quantidade lixo, exigindo produtos com maior ciclo de vida, além de manter um consumo mais racional e repartir materiais;
- b) Reutilizar o quanto puder os materiais e mantê-los em circulação quanto forem úteis às pessoas, por meio do uso de embalagens retornáveis, apoio e desenvolvimento de atividades de recuperação, conservação e recuperação de objetos;
- c) Reciclar os materiais, encaminhando estes para indústrias de reprocessamento.

Queiroz et al. (2016), por meio de um estudo em uma indústria têxtil, verificou que o tratamento de efluentes deveria ser utilizado por causa dos poluentes presentes no mesmo, além disso, também visando a remoção desses compostos. Devido as características refratárias dos compostos presentes nas águas residuais na empresa em estudo, os autores propuseram a adoção de soluções, como: Sistema Oxidativo Avançado (POA), melhoria da coagulação, reuso do efluente e redução do consumo de água.

De acordo com Sarria et al. (2002) citados por Queiroz et al. (2016), os efluentes industriais e sanitários são diferentes, principalmente na questão da biodegradabilidade, portanto, é recomendado que se realize um pré-tratamento de POA nos efluentes advindos das etapas de tingimento e estamparia, assim aumentando sua biodegradabilidade e ajudando na eficiência de um tratamento biológico posterior. Queiroz et al. (2016), propôs que os efluentes dessas etapas sejam transportados para o tanque de equalização junto com os efluentes dos refeitórios, sanitários e engomagem.

Para a melhoria da coagulação Queiroz et al. (2016), propuseram o uso de polieletrólitos ou polímeros como auxiliares de coagulação para a melhoria da água decantada. Segundo Guilherme (2009) citado pelo mesmo autor, com o uso de polieletrólitos a quantidade de lodo gerado diminuiria em 50%, eliminando o uso de alcalinizantes para regular pH.

Já para o reuso do efluente foi proposto por Queiroz et al. (2016), a utilização de membranas de ultrafiltração para o tratamento de efluentes. De acordo com o autor, essa

tecnologia afina a descontaminação, sendo empregada em conjunto com meios tradicionais como coagulação e floculação, seguido de decantação ou flotação ou tratamento biológico com lamas ativadas.

O Quadro 2 apresenta os principais processos, aplicações e sistemas do tratamento de efluentes visando o reuso.

Quadro 2. Principais processos, operações e sistemas para tratamentos de efluentes visando reuso.

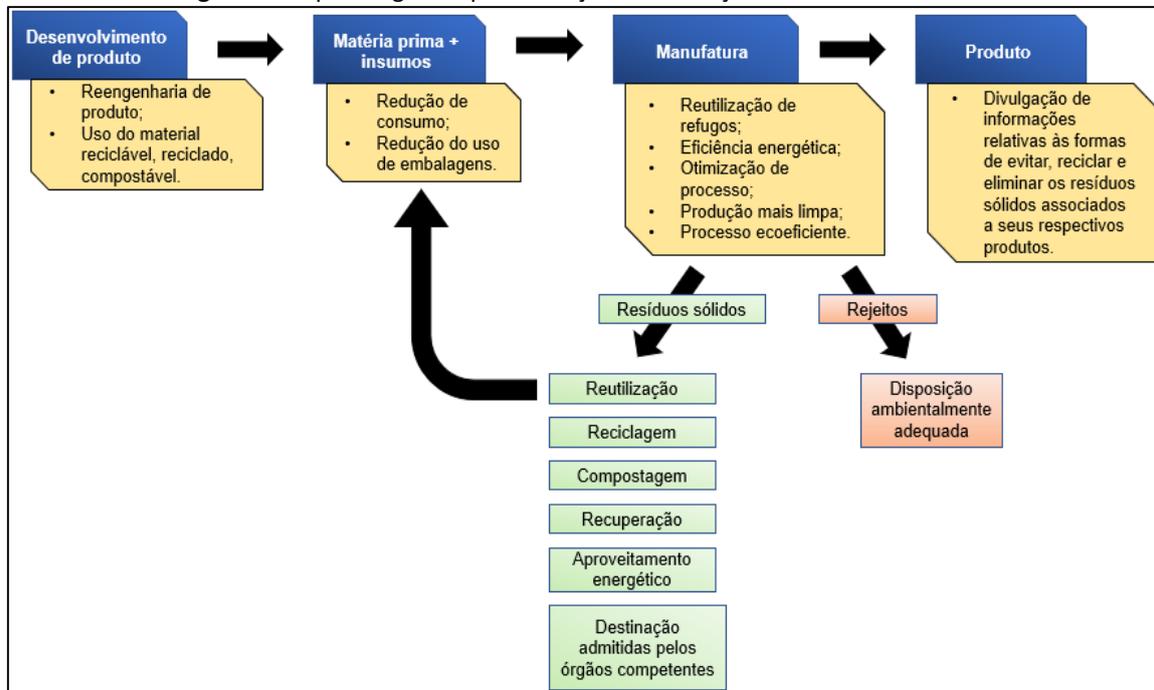
Processo	Aplicação	Unidades/ sistemas
Tratamento preliminar	Utilizado para remoção de sólidos grosseiros e matéria mineral sedimentável.	Grades, desarenadores ou caixa de areias, caixas de retenção de óleo e gordura.
Tratamento primário	Utilizado para remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes (óleos e graxas) e parte da matéria orgânica em suspensão.	Decantação simples ou com adição de coagulantes.
Tratamento secundário	Utilizado para remoção da matéria orgânica biodegradável contida no sólidos dissolvidos e, eventualmente, de nutrientes.	Sistemas MBRs, Lodos ativados, Filtros biológicos, Reatores UASB.
Tratamento terciário	Utilizado para remoção de poluentes específicos e/ou remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário, como por exemplo, nutrientes ou organismos patogênicos.	Sistemas de separação por membranas (MBRs), que atualmente substituem os sistemas biológicos tradicionalmente utilizados. Ocupam áreas menores e produzem efluentes de qualidade elevada, permitindo reuso para fins mais restritivos.

Fonte: Adaptado de Hespanhol (2014).

Outra proposta feita por Queiroz et al. (2016), foi a redução do consumo de água, visto que a empresa consumia uma quantidade elevada desse bem, entre 45.000 m³ e 72.5254 m³. Segundo Bastian et al. (2009), poderia ser feito o recolhimento e armazenamento de água da chuva em cisternas provenientes de salões industriais e áreas administrativas, trazendo como benefício a redução de picos de enchente. Para Queiroz et al. (2016), a água da chuva seria usada para limpeza, sanitários e hidrantes. Em relação ao processo industrial, foi proposto a compra de maquinário mais moderno que permita trabalhar com banhos menores, assim diminuindo o consumo de água, energia e outros reativos e reutilizar a água do tingimento quantas vezes for possível, desde que não infrinja na qualidade do produto final, como relatam Terres et al. (2014) citado pelos mesmos autores.

No estudo em questão, foi proposto por Queiroz et al. (2016), parâmetros de caracterização, auxílio no manejo, tratamento e destinação dos resíduos sólidos, devido a deficiência no monitoramento da empresa nos resíduos em questão.

Figura 8. Etapas da gestão para redução e destinação dos resíduos sólidos.



Fonte: FIESP (2015) citado por Queiroz et al. (2016).

Efluentes na indústria têxtil e seus tratamentos

Os efluentes têxteis apresentam em sua composição os corantes como explicado na introdução. Por meio de uma síntese do trabalho de Kunz et al. (2002), em que vários autores são citados, é explicado que, para o tingimento de fibras, são usados dois tipos de materiais, o grupo cromóforo (que possui a cor) e a estrutura que é responsável pela fixação do corante à fibra. Em relação à síntese de corantes, baseado em outros estudos, os autores destacam o grupo cromóforo chamados azocorantes, que representam 60% da aplicação mundial no tingimento de fibras têxteis. Eles também explicam que a estrutura de fixação do corante à fibra pode ser de vários tipos, como ácido, direto, básico, de enxofre e reativo, que é o mais usado no mundo.

Assim, como apresentado na introdução, O'Neil et al. (1999) citado por Kunz et al. (2002), afirmam que os efluentes são coloridos por possuírem resíduos de corantes que não se fixaram nas fibras. Além disso, no trabalho de Kunz et al. (2002) verifica-se que os corantes quando presentes na água além de causarem a poluição visual, eles e seus subprodutos podem ser carcinogênicos e/ou mutagênicos.

Compreende-se que os efluentes representam um grande problema para a empresa no setor de responsabilidade socioambiental e para isso existem diversos tipos de tratamentos de efluentes. Kunz et al. (2002), descrevem que na área têxtil esses tratamentos se dividem em físico-químico de precipitação-coagulação e biológico por meio do lodo ativado, que possuem uma eficiência de 80% de remoção de corantes,

porém, muito dos corantes acabam sendo adsorvidos, o que não permite seu reaproveitamento.

De acordo com Baêta (2012), a grande parte de despejos líquidos de uma indústria têxtil advém das etapas de limpeza, tingimento e acabamento, sendo que esses efluentes possuem uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e grande presença de cor e sólidos totais (ST) em que a grande maioria desses sólidos estão dissolvidos (SD).

Com base no levantamento bibliográfico feito por Reis (2016), observa-se que os efluentes são complexos, pois possuem uma grande quantidade de corantes, surfactantes e aditivos que são compostos com estruturas orgânicas complexas e estão presentes em altas concentrações. Um exemplo trazido pelo autor é que os surfactantes, mesmo quando biodegradáveis, resultam em subprodutos tóxicos para peixes.

Existem diversos tipos de tratamentos de efluentes disponíveis no mercado que visam degradar poluentes e corantes presentes nestes resíduos. Kunz et al. (2002), citam diversos autores a respeito desses tratamentos, que serão apresentados de maneira sintética a seguir.

Conforme Kunz et al. (2002), a biodegradação foca na utilização de microrganismos versáteis que consigam degradar eficientemente muitos efluentes a um baixo custo, porém, fazer isto é difícil devido a diversidade de substâncias presentes nestes resíduos. Um exemplo de biodegradação é o fungo de decomposição branca (*Phanerochaete chrysosporium*), já mencionado na introdução, que atua na decomposição da lignina e outros compostos, como comentado por Kunz et al. (2002).

Outro método de biodegradação citado por Kunz et al. (2002), é a utilização de bactérias *Pseudomonas sp* e *Shingomonas sp* que tem a capacidade de degradar azocorantes, pela atuação da enzima azerodutase na quebra de ligações químicas específicas (do tipo azo) destes compostos. Outra solução, explicada por Kunz et al. (2002) para tratamento de efluentes e de compostos resistentes a degradação, são os agentes quelantes naturais que algumas bactérias e fungos produzem. Estes agentes são chamados de sideróforos e possuem afinidade por metais, especialmente o ferro, conseguindo assim criar compostos com alta estabilidade, e os sideróforos sequestram ferro de ambientes que tem falta desse, como comentado por Kunz et al. (2002).

Kunz et al. (2002), comentam sobre o tratamento químico de efluentes com ozônio (O₃), que é um gás incolor de odor pungente. De acordo com os mesmos autores, o ozônio é um agente oxidante que consegue reagir com outras classes de compostos, assim fazendo a oxidação direta ou indireta de efluentes e poluentes. A oxidação direta ocorre quando o ozônio (O₃) reage com moléculas orgânicas ou inorgânicas, modificando sua estrutura, como explicam Kunz et al. (2002). Já a oxidação indireta, os autores relatam que ocorre quando o ozônio (O₃) se decompõe em gás oxigênio (O₂), provocando alterações nas substâncias presentes nos efluentes. Kunz et al. (2002), também comentam que o ozônio consegue romper ligações químicas fazendo com que ocorra a descoloração de efluentes e muitos estudos citados pelos autores confirmam essa

eficiência. Porém, para os mesmos autores, a utilização do ozônio (O_3) pode ter o aumento de toxicidade de intermediários da reação, o que resultaria na necessidade de testes em relação a toxicidade.

Outro exemplo comentado por Kunz et al. (2002), é a fotocatalise heterogênea, que permite a mineralização de espécies químicas que possuem relevância ambiental. Porém, existem certas limitações que impedem a sua prática em grande escala, como a necessidade de fontes de radiação artificial, isto porque, a maior parte dos fotocatalisadores necessitam de radiação e muitas vezes a penetração dessa radiação no meio da reação é difícil, como relatado por Kunz et al. (2002). Além disso, segundo os autores, a separação dos fotocatalisadores após o processo não é simples, porque eles são usados em finas suspensões, entretanto, já se estudam soluções para resolver essas limitações, contudo estas demandam investimento em pesquisa e aplicação.

No trabalho de Kunz et al. (2002), os autores também fazem um levantamento de processos físicos que têm ganhado muita atenção da ciência, como a adsorção. Exemplos citados pelos mesmos autores são o uso de carvão ativado de coco, bambu, casca de eucalyptos, quitosana e a biomassa como um adsorvente. Processos de filtração também são muito importantes, com o uso de tecnologia de membranas (osmose reversa), microfiltração, nanofiltração e ultrafiltração possibilitam o reuso da água, como explicam Kunz et al. (2002). Conforme os autores isto traz vantagens em relação a custo para captação da água, questão de escassez e mudanças legislativas para com resíduos.

Em relação ao tratamento de efluentes na indústria têxtil Kunz et al. (2002), relatam que podem ser utilizados métodos físicos, químicos e biológicos e os processos combinados permitem melhores resultados do que se utilizar maneiras de tratamento já citados isoladamente, o que faz com que se combine processos biológicos com alternativas físicas e físico-químicas como floculação, adsorção e oxidação eletroquímica. As combinações de processos são variadas, podendo englobar o uso de tecnologia de membrana com o ozônio e biológico (anaeróbico e aeróbico) na descoloração de efluentes, principalmente com azocorantes, entre outros, como explicam os mesmos autores.

Por meio do levantamento do trabalho de Guaratini e Zanoni (2000), que citam vários autores, é relatado que a técnica de coagulação/floculação usando polieletrólitos e/ou floculantes inorgânicos permite um sucesso variável no tratamento terciário para remoção de cor do efluente, conseguindo a efetiva descoloração antes da descarga do rejeito no reservatório a níveis adequados. Porém, de acordo com Guaratini e Zanoni (2000), o resultado depende do tipo de corante, composição, concentração e fluxo de produção do rejeito, além disso, para se obter uma maior eficiência são utilizados polieletrólitos em excesso, o que gera um potencial resíduo no efluente.

Segundo Guaratini e Zanoni (2000), a eletrólise de corantes é uma alternativa, em que neste sistema, a degradação da molécula ocorre eletroquimicamente através de potencial ou corrente controlada, ou através de agentes secundários que são gerados eletricamente. Entretanto, este método perde potencialidade devido ao gasto com

energia e pelo fato de gerar reações paralelas, como cloro, radicais hidroxila e demais, como complementam Guaratini e Zanoni (2000). Mas para as mesmas autoras, métodos de oxidação química ou eletroquímica podem vir a serem favoráveis por meio de investimentos e geração de metabólitos menos tóxicos e diminuição de custos.

METODOLOGIA

A pesquisa é feita para se obter conhecimento a respeito de alguma dúvida que se tenha, podendo ser feita em nosso cotidiano, em diferentes situações, porém, no dia-a-dia as pessoas não seguem um método científico, como relatam Prodanov e Freitas (2013). No contexto acadêmico Minayo et al. (2011) citado por Prodanov e Freitas (2013, p. 43) afirmam que a pesquisa é uma “[...] atividade básica da Ciência na sua indagação e construção da realidade. É a pesquisa que alimenta a atividade de ensino e a atualiza frente à realidade do mundo. Portanto, embora seja uma prática teórica, a pesquisa vincula pensamento e ação”.

Prodanov e Freitas (2013) ainda explicam que a pesquisa científica é feita com conhecimentos que possuem bases sólidas que garantem confiabilidade às informações, sendo que este anseio pela pesquisa pode partir de alguma dificuldade, descobrimento em relação a algum fenômeno, por falta de conhecimento em alguma área e quando se busca explicações.

Neste sentido, esta pesquisa iniciou-se com um trabalho junto ao curso de Gestão da Produção Industrial para o desenvolvimento de um artigo como meta de avaliação da disciplina de Projeto Interdisciplinar do curso em 2017. A ideia inicial para a formulação do tema foi a inovação, que infere muitas vantagens competitivas para as empresas, já a aplicação de enzimas no setor têxtil foi adicionado ao trabalho pelo fato de um dos autores deste trabalho apresentar relação com o setor.

O artigo foi desenvolvido durante 3 semestres, iniciando com a estrutura e busca de informações, em seguida foi dada a atenção para o desenvolvimento do trabalho e por último foi feita o complemento do artigo e discussão entre os autores do respectivo assunto. Além disso, para complementação do projeto foi feita uma visita técnica a FATEC de Americana, que contribuiu muito para o direcionamento do trabalho e complementação do mesmo, por meio de uma pesquisa semiestruturada. Em função da importância do tema decidiu-se dar continuidade à pesquisa no desenvolvimento do Trabalho de Graduação, elaborando objetivos específicos relacionados ao estudo de casos de aplicação destas enzimas para o tratamento de efluentes.

Para explicar melhor a abordagem metodológica e a coleta de dados, serão apresentados dois tópicos a seguir com a conceituação e descrição dos procedimentos.

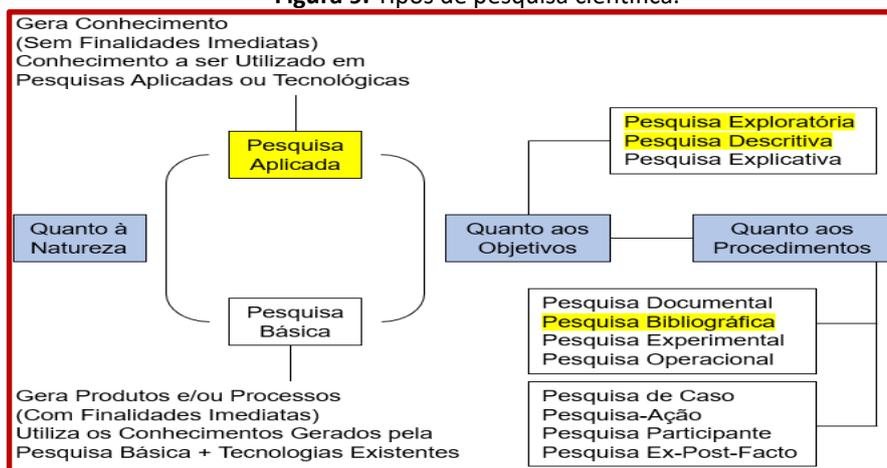
Abordagem Metodológica

Existe um consenso de que as pesquisas científicas devem possuir métodos. Prodanov e Freitas (2013), definem método como um percurso e um modo planejado que permite que o pesquisador consiga diferenciar o conhecimento científico do senso comum. Este trabalho configura-se como um estudo teórico do tipo bibliográfico, mas voltado a discussão de problemas práticos encontrados por gestores da produção em indústrias têxteis.

A base lógica que guia a concepção deste estudo é o método indutivo, que segundo Marconi e Lakatos (2017), a indução é processo mental, que a partir de dados particulares e constatados infere-se uma verdade geral ou universal que não estava presente nos dados anteriormente analisados. De acordo com Marconi e Lakatos (2017), o argumento indutivo permite ter-se conclusões mais amplas do que as premissas que essa se baseou. Diferentemente do método dedutivo, em que as premissas levam para conclusões verdadeiras, no método dedutivo essas premissas direcionam a conclusões prováveis, como explicam as autoras. Porém, esse método possui a crítica de como se formula uma generalização a partir de dados particulares e torna isso pertencente a todos os semelhantes, como explicam Prodanov e Freitas (2013).

Segundo Silva (2004) citado por Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa científica pode ser classificada em relação a sua natureza, como aplicada ou básica, para com seus objetivos, ela pode ser exploratória, descritiva e explicativa e referente aos procedimentos, pode ser adotada uma pesquisa documental, bibliográfica, experimental, operacional, caso, ação, participante e *Ex-Post-Facto*⁶. A Figura 4 ilustra os tipos de pesquisa existentes. Em amarelo estão destacadas as opções metodológicas deste trabalho.

Figura 9. Tipos de pesquisa científica.



Fonte: Adaptado de Silva (2004) citado por Prodanov e Freitas (2013).

⁶ O experimento ocorre depois dos fatos, ou seja, o fenômeno já ocorreu e o pesquisador irá buscar entender e explicar esse fenômeno.

Este trabalho é uma pesquisa aplicada, que segundo Zanella (2009, p. 72), “tem como motivação básica a solução de problemas concretos, práticos e operacionais”. Não foram coletados dados de campo, como explica o autor, que é feito comumente. Mas um dos materiais de análise serão trabalhos já publicados sobre a aplicação prática de enzimas no tratamento de efluentes.

Em relação aos objetivos, este trabalho encontrava-se em uma fase de pesquisa exploratória, que foi apresentada no artigo elaborado na disciplina de Projeto Interdisciplinar. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa exploratória se trata de uma pesquisa que se encontra em fase preliminar e possibilita informações pertinentes ao assunto estudado, ajudando a definir o tema, objetivos, hipóteses ou mudança de enfoque de pesquisa. Prodanov e Freitas (2013), explicam que este tipo de pesquisa permite flexibilidade e é comumente usada em estudo de caso e revisão bibliográfica, envolvendo: levantamento bibliográfico, pesquisa com pessoas experientes no assunto e exemplos que estimulam a compreensão. Como citado anteriormente a pesquisa semiestruturada feita na visita técnica na Fatec de Americana auxiliou bastante na coleta de informações que ajudaram na etapa de resultados e discussões feitas no artigo anteriormente descrito.

Porém, através de um desenvolvimento mais específico na disciplina de Projetos de Graduação em 2019, este trabalho assumiu uma perspectiva descritiva. Segundo Prodanov e Freitas (2013), pesquisa descritiva ocorre quando o autor observa, registra, analisa, classifica e interpreta os fatos sem interferir neles. Nesse tipo de pesquisa, o pesquisador busca descobrir a frequência que um fato ocorre, suas características, causas, natureza e relações com outros fatos, o que envolve técnicas, tais como: teste, questionário, entrevista, formulário e observação, como apresentam os autores.

Prodanov e Freitas (2013), citam diversos tipos de trabalhos que podem se enquadrar em uma pesquisa descritiva, exemplos como: pesquisas que envolvem as ciências humanas e sociais, as que apresentam informações a respeito de características de uma população, como idade, crenças, atitudes, idade, índice de criminalidade, pesquisa eleitoral e demais tipos. Destaca-se que não serão realizadas coletas de dados em campo, mas em estudos de caso já publicados sobre o assunto.

Assim, quanto aos instrumentos, o trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica, que segundo Zanella (2009), utiliza fontes escritas. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa bibliográfica é feita consultando-se fontes já publicadas com tratamento acadêmico sobre o assunto pesquisado, podendo ser em artigos científicos, revistas, livros, dissertações, teses, entre outros. Portanto, destaca-se que é necessário o realizador do trabalho atentar-se a veracidade das informações e como irá redigir seu texto para que se tenha uma linguagem que todos consigam entender, como explicam Prodanov e Freitas (2013).

De acordo com Galvão e Pereira (2014), quando se realiza uma pesquisa nos deparamos com controvérsias e para as evitar é importante buscarmos estudos de melhor qualidade. Sendo assim, surgiu a revisão sistemática da literatura, que é a investigação de

uma questão bem definida que visa a identificação, seleção, avaliação e síntese de evidências relevantes disponíveis, como explica o mesmo autor.

Galvão e Pereira (2014), explicam que as revisões sistemáticas diferem das revisões narrativas ou tradicionais, pelo fato dessas serem amplas e apresentarem uma visão mais geral do tema. Galvão e Pereira (2014) citam Botelho, Cunha e Macedo (2011), que explicam que as revisões integrativas diferem das sistemáticas, pois essas trazem diferentes delineamentos para uma mesma investigação, além de conterem a opinião do autor.

Segundo Galvão e Pereira (2014), uma revisão sistemática apresenta as seguintes etapas para sua elaboração:

- ✓ elaboração da pergunta de pesquisa;
- ✓ busca na literatura;
- ✓ seleção de artigos;
- ✓ extração de dados;
- ✓ avaliação da qualidade metodológica;
- ✓ síntese dos dados (metanálise);
- ✓ avaliação da qualidade das evidências e;
- ✓ redação e publicação dos resultados.

De modo geral, Marconi e Lakatos (2017), definem que o conhecimento científico é sistemático quando:

- ✓ esse é constituído por ideias que se correlacionam de maneira lógica e que um sistema de ideias se caracteriza por um conjunto de hipóteses particulares comprovadas ou princípios fundamentais que vão se adequar a uma classe de fatos;
- ✓ o inter-relacionamento de ideias que compõem a teoria pode ser classificada como orgânico e que quando uma hipótese básica é substituída infere uma mudança radical na teoria e;
- ✓ quando contém sistemas de referências, que são modelos de definições baseadas em conceitos que são ordenados seguindo uma diretriz, além disso, possuem teoria e hipóteses, fontes de informação e quadros que explicam as propriedades relacionais, coletando informações de fenômenos de acordo com os objetivos.

Assim, para conhecer o tema de interesse, enzimas na indústria têxtil, definir a questão de estudo, elaborar o referencial teórico e a metodologia, realizou-se uma revisão mais próxima ao conceito de narrativa, já que não se definiu um período, portais específicos e nem se realizou uma busca exaustiva. Para este segundo momento do trabalho, que visou identificar os tipos de enzimas aplicadas no tratamento de efluentes e verificar a existência de estudos de casos de aplicação destas enzimas, foi realizada uma revisão sistemática.

Este trabalho tem uma abordagem qualitativa, que de acordo com Prodanov e Freitas (2013) tem uma perspectiva descritiva, não envolvendo técnicas de estatística e

se preocupando mais com o levantamento de características do objeto de estudo. Richardson *et al.* (2007) citado por Zanella (2009, p. 75), contextualizam que “[...] estudos qualitativos iniciaram na segunda metade do Século XIX, nas áreas de Sociologia e Antropologia e que somente nos últimos 40 anos ganhou espaço reconhecido em outras áreas como Psicologia, Educação e Administração”.

Coleta de dados

Os procedimentos para a coleta de dados na primeira fase do trabalho, que visou elaborar o referencial teórico, definir o objeto de estudo e a metodologia, seguiu procedimentos da revisão bibliográfica narrativa, tendo como parâmetro para buscar as fontes bibliográficas as seguintes palavras-chave: inovação, indústria têxtil, sustentabilidade, enzimas e efluentes. Foi determinado o levantamento de estudos somente em português. Os trabalhos levantados são do período entre 1997 até 2018. Manteve-se a análise de trabalhos mais antigos, das décadas de 1990 e 2000, pois os mesmos continham informações pertinentes aos tópicos de processos da indústria têxtil e gerenciamento e tratamentos de efluentes.

Na segunda etapa do trabalho adotou-se uma revisão sistemática, sendo assim foram definidos novos parâmetros para a coleta de dados. As palavras-chave usadas foram: indústria têxtil, enzimas e efluentes, além disso, definiu o período de coleta de 2010 a 2019, para se obter dados mais atualizados. Os objetivos para a pesquisa de novas fontes de dados foram:

- ✓ trabalhos que descrevam enzimas que podem ser utilizadas no tratamento de efluentes e;
- ✓ foco do trabalho na análise dos impactos das enzimas utilizadas no tratamento de efluentes na gestão da empresa.

No total foram encontradas aproximadamente 72 fontes, sendo utilizados desse total apenas 49 trabalhos. Estes foram selecionados por conterem conceitos, dados e informações mais completas a respeito dos temas abordados no referencial, elaboração da metodologia e início dos resultados e discussões. Dentre os estudos que compõem o trabalho, fez-se a leitura do resumo, introdução, partes do referencial teórico, resultados, conclusões e quadros e visualização de imagens de dissertações, livros, artigos em periódicos, teses, *e-books*, sites governamentais, legislações, sites e dicionários da internet e uma apostila.

As fontes usadas no trabalho pertencem a Publicações Abit, Repositórios da UFOB, UFSC, IPL, UM, LUME da UFRGS e UFRN, livros contidos na biblioteca da Fatec – Itapira e um livro da Fatec - Americana, site do Ministério do Meio Ambiente e do Planalto, site da CETESB, site da FIESP, site da SIMCBIO CATÓLICA, publicações da ABQCT, Biblioteca Virtual SciELO, site de trabalhos da Core, acervo PGCL da UENF, Biblioteca digital Centro Paula Souza, USP e da UFRN, *ResearchGate*, site MORE, Biblioteca da Universidade Feevale e da UniPinhal, Portal Wiki IF-SC, *Iberoamerican Journal Of Industrial Engineering*,

Sistema de Información Científica Redalyc, PubliSBQ da Revista Química Nova, Revistas Scientia Plena, Holos Environment e F@pciência, site Textilia e página institucional da UTFPR.

As fontes colaboraram bastante para a compreensão de que a área referente ao tema desse trabalho é ampla, inovadora e diz a respeito a como as indústrias têxteis devem se portar frente a uma responsabilidade social, tanto do produto quanto de seu processo produtivo para com o meio ambiente.

Sabe-se que o comportamento ético é necessário para todos os aspectos da sociedade e quando tratamos de uma pesquisa acadêmica a mesma deve ser respeitada. Prodanov e Freitas (2013), discutem que existem alguns princípios de ética para com um trabalho desse tipo, como o conhecimento do pesquisador de sua responsabilidade com sua investigação e produto, o uso correto da bibliografia e citações e a busca por normas que devem reger o trabalho. Assim, neste trabalho buscou-se referências para serem inseridas que fossem confiáveis, ou seja, que continham boa escrita e referenciassem os autores. Foi cumprido as exigências perante as normas da ABNT em relação a citações e referências dos autores usados neste trabalho, conforme o Manual de Trabalhos Acadêmicos da Fatec – Itapira.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo conteúdo dos trabalhos pode-se constatar que existe um material amplo referente a questões da indústria têxtil, em relação aos seus processos e produtos e para com o tratamento de resíduos, o que sugere que é uma área bastante pertinente (Quadro 3).

Estudos preliminares aos determinados pelo critério de inclusão já salientavam a importância também levantada pela questão norteadora da presente pesquisa. De acordo com Queiroz et al. (2016), a sustentabilidade ambiental é uma meta que deve ser almejada por diversos segmentos econômicos e a sociedade, sendo que isso permite a manutenção de seres abióticos e bióticos. Ou seja, trata-se de quebrar paradigmas negativos e garantir qualidade ao processo e produto.

Um dos grandes problemas do mundo moderno é a poluição ambiental e devido ao aumento da atividade industrial novos compostos químicos necessitam ser desenvolvidos, como os sintéticos, que não são encontrados na natureza, como relata Pinto (2014). Porém, segundo o mesmo autor, a produção de produtos e serviços deve continuar, pois o ser humano depende muito desses para sua sobrevivência. Sendo assim, se faz necessário a busca por alternativas como soluções e processos “verdes”, que são amigos do meio ambiente e não desconsideram a importância de se erradicar e reduzir a atual poluição do meio ambiente (PINTO, 2014).

Freitas (2002), fez um estudo de caracterização de efluentes das etapas de preparação e tingimento do setor têxtil, buscando aumentar a eficiência no uso de água,

insumos e energia, por meio da minimização ou reciclagem dos efluentes. O autor obteve o resultado de que 37,17% dos efluentes podem ser reutilizados de forma direta enquanto 61,05% indiretamente, para as tonalidades de cores estudadas no trabalho. Reis (2016), também concluiu que o processo enzimático é viável tecnicamente, possibilitando economia de água e a não mudança de maquinário para as empresas, as temperaturas do processo são mais brandas e diminui o volume de efluentes gerados. Para Kunz et al. (2002), se deve não apenas focar no tratamento de efluentes, mas também buscar a minimização desses resíduos usando tecnologias limpas.

Quadro 3. Revisão sistemática considerando a questão norteadora do estudo.

Autor(es)/Ano	Tipo de Estudo	Delineamento	Objetivo	Resultado Principal	Conclusão
Pereira et al. (2010)	Artigo	Estudo de caso	Isolar fungos da estação de tratamento de efluentes de indústrias têxteis e avaliar a degradação de corantes e efluentes por estes fungos e por fungos com capacidade degradativa conhecida.	<i>Lentinula edodes</i> apresentou tolerância e maior capacidade de degradação dos corantes em estudo quanto comparado aos fungos <i>G. candidum</i> e <i>Paraconiohyrium estuarinum</i> . Em meio líquido e de efluentes, o fungo <i>L.edodes</i> apresentou melhor capacidade degradativa em relação ao fungo isolado <i>G. candidum</i> .	Há perspectivas de utilização destes fungos no tratamento de efluentes têxteis, inoculando aqueles com capacidade degradativa conhecida durante o tratamento ou criando condições para que os existentes no local cresçam e degradem os compostos existentes.
Almeida et al. (2012)	Artigo	Estudo de caso	Selecionar fungos com potencial para descoloração do corante índigo carmim bem como para produção de lacase, visando a otimização desses processos.	56,75% dos fungos selecionados como produtores de <i>Polifenoloxidase</i> e 14 destes se mostraram bons produtores de lacase; fungo FDG 36 descoloriu o corante após 120 horas.	Não houve influência significativa das variáveis estudadas nos processos de otimização, sugerindo o estudo de novas variáveis para <i>Penicillium</i> sp.
Silva et al. (2012)	Artigo	Estudo de caso	Analisar a remoção dos corantes azul reativo 21 e azul reativo 19 por TNP em efluentes sintéticos.	Diminuição da eficácia de descoloração; a ação da enzima na remoção da cor da mistura de corantes foi equivalente aos corantes isolados.	A demanda química de oxigênio no efluente após tratamento enzimático teve um aumento significativo em relação ao efluente não tratado.
Trombini; Obara-Doi (2012)	Artigo	Estudo de caso	Avaliar os parâmetros físico-químicos, porcentagem de descoloração, determinação da biomassa e atividade da enzima lacase pós tratamento com <i>Ganoderma</i> spp., em efluentes de indústrias têxteis localizadas na cidade de Apucarana-Pr.	Nível de descoloração com fungo: 80%; processo de descoloração enzimática: 99.97%; teor de biomassa obtido: 0,1033g.	O fungo <i>Ganoderma</i> spp. mostrou-se eficaz no processo de descoloração, porém há a necessidade de novas pesquisas utilizando outros métodos que não apresentem interferência nos resultados de DQO.
Araújo et al. (2013)	Artigo	Estudo de caso	Avaliar a capacidade de descoloração do corante têxtil Índigo Carmine por <i>Aspergillus terreus</i> e <i>Aspergillus sclerotiorum</i> em meio líquido e testar a toxicidade do produto degradado.	<i>Aspergillus terreus</i> degradou 100% do corante têxtil em 5 dias de experimento, em 10 dias ambas espécies degradaram 100% do corante. Neste teste foi possível constatar que estes fungos apresentaram toxicidade não letal.	As espécies são eficientes na descoloração, mas o produto da degradação apresenta toxicidade, tornando sua utilização em meio industrial, até então, desvantajosa. Pesquisas futuras poderão apontar soluções.
Farias (2013)	Dissertação	Estudo de caso	Apresentar uma avaliação do potencial da enzima <i>Horseradish peroxidase</i> (HRP) em remover corantes reativos não fixados às fibras de algodão e corantes remanescentes do efluente do processo de lavagem.	Lavagem pós tingimento com lavagem enzimática apresentou os menores valores.	Enzima <i>Horseradish peroxidase</i> como biocatalisador se mostrou viável na remoção de corante não fixado às fibras de algodão e na remoção do efluente do processo de lavagem, principalmente para remover corantes de ftalocianina como Azul 21 e misturas de corante.
Pinto (2014)	Dissertação	Estudo de caso	Identificar e caracterizar os produtos formados pela ação sequencial das enzimas PpAzoR e CotA-lacase sobre oito corantes azo (AR266, DB38, DR80, MB3, MB9, MB17, RB5 e RY145) utilizando HPLC e ¹ H RMN.	A autora reflete sobre a toxicidade dos produtos das reações das diversas enzimas empregadas no estudo. Aponta que a enzima CotA-lacase possui níveis de toxicidade menores e uma relação custo-benefício mais satisfatório no seu emprego.	Compostos derivados das reações da CotA-lacase podem ser utilizados em numerosas aplicações, como indústrias de tintas de cabelo, farmacêutica ou de diagnóstico.
Bogoni (2018)	Monografia	Estudo de caso	Estudar um meio alternativo aos métodos físico-químicos aplicados atualmente, baseado na utilização de resíduos da produção de fungos para degradação e adsorção de corantes.	Condição operacional ótima ocorreu em pé 9 e concentração de substrato de 150 g L ⁻¹ , o que resultou remoção de cor próxima a 80%; principal mecanismo de remoção foi o processo de adsorção, porém, a degradação enzimática também contribuiu de maneira eficiente.	De maneira geral, tais resultados demonstram o elevado potencial da utilização de um resíduo agroindustrial como uma tecnologia sustentável para o tratamento de efluentes da indústria têxtil.

Fonte: elaborado pelos autores.

Para Trombini e Obara-Doi (2012), os problemas ambientais têm se tornando mais críticos e frequentes devido ao aumento populacional e da atividade industrial. Um exemplo, é o segmento têxtil que possui um parque grande no país e gera um grande volume de efluentes, que se não forem tratados corretamente podem causar danos ao meio ambiente, como relatam Trombini e Obara-Doi (2012).

Segundo Freire e Freitas (2010), a indústria têxtil cresceu bastante nos últimos anos, assim angariando importância para a economia do Brasil, o que gerou riquezas e empregos. Entretanto, para os mesmos autores, esse setor utiliza uma elevada quantidade de água e gera muitos efluentes, que são muito prejudiciais ao meio ambiente. Almeida et al. (2012), ressaltam que o segmento têxtil contribui altamente na contaminação ambiental, pois produz resíduos de difícil degradação, incluindo os da etapa de tingimento, que fazem o efluente ter uma alta taxa de coloração. Além disso, esse tipo de efluente tem uma composição extremamente variável, consequência da variedade de corantes usados diariamente, como explicam Almeida et al. (2012).

Os corantes e pigmentos orgânicos são substâncias muito coloridas, que conferem cor ao material quando aplicados, esses podem ser usados em uma variedade de substratos, como alimentos, cosméticos, plásticos, materiais têxteis, entre outros. Os corantes têxteis são compostos orgânicos que conferem cor a fibra (substrato) em condições anteriormente estabelecidas (ABIQUIM, 2012 citado por BOGONI, 2018). Araújo et al. (2013), ainda apontam que os corantes aplicados nos tecidos, principais responsáveis pela contaminação de efluentes, além de conferir dificuldade de tratamento, possuem na sua composição substâncias tóxicas e cancerígenas, assim trazendo complicações a saúde humana.

A resolução da questão norteadora deste estudo começa a se desvelar ao considerar que a problemática ambiental associada ao efluente têxtil é bastante relevante para a gestão da produção industrial. Trombini e Obara-Doi (2012), indicam que os corantes são altamente detectáveis a olho nu, tendo sua presença notada em concentrações tão baixas quanto 1 ppm (partes por milhão) (1 mg/L). Os mesmos autores, relatam que isso traz vantagens e desvantagens, já que mesmo em pequenas quantidades os corantes causam uma grande mudança na coloração de efluentes aquáticos, o que pode resultar em problemas estéticos graves e reduzir processos de fotossíntese.

Almeida et al. (2012), ressaltam que a presença de pelo menos um miligrama de corante por litro de água consegue colorir quase parcialmente um manancial, o que impede a ultrapassagem da luz solar para as plantas aquáticas, assim impossibilitando o processo de fotossíntese e adequada reprodução, e conseqüentemente diminuindo a oferta de alimentos e oxigênio dos peixes. Segundo Almeida et al. (2012), a preocupação com a estética e qualidade do ambiente atingido por efluentes coloridos faz com que se busque alternativas de descoloração de corantes, principalmente os têxteis. Existem diferentes formas de tratamento de efluentes têxteis, como físicos, químicos e biológicos, além disso, por meio de estudos, microrganismos, tais como bactérias e fungos se

mostram muito promissores na degradação de compostos recalcitrantes, como afirmam Almeida et al. (2012).

A diversidade e complexidade desses efluentes e imposições das legislações que exigem tratamentos mais eficientes, trazem à tona a busca por tecnologias que consigam realizar o tratamento de forma melhor e mais adequada, que consideram custos, tempo e eficiência em processos existentes de reciclagem e eliminação de toxicidade (TROMBINI; OBARA-DOI 2012). Esses compostos recalcitrantes ou refratários não conseguem ser degradados por sistemas biológicos de tratamento, o que resulta no seu despejo no corpo aquático, e como esses compostos podem se acumular, organismos que recebem concentrações acima à dose letal, como invertebrados e peixes, podem vir a morrer (TROMBINI; OBARA-DOI 2012).

Pinto (2014), afirma que a maioria da produção dos corantes sintéticos advém de fontes petroquímicas por meio de processos que atualmente são considerados uma ameaça para o meio ambiente e ao ser humano. Estima-se que a produção anual de corantes sintéticos seja de 3.4×10^{10} kg, em que 50% desses corantes são do tipo azo (substâncias orgânicas caracterizadas pela dupla ligação de átomos de hidrogênio (-N=N-) que recebe o nome de grupamento azo – cromóforo), sendo os mais usados em nível industrial e já comentados neste trabalho (PINTO, 2014). É presumido que existam 2.000 corantes azo diferentes, podendo serem empregados em vários materiais, como têxteis, pele, alimentos, cosméticos e plásticos, além disso, os azo corantes são fáceis de serem sintetizados, aderem bem ao material, mantém a cor por muito tempo, existem em diversas cores e são muito estáveis, como relata Pinto (2014).

Câmara (2017), apesar de não estar no quadro de revisão, levantou a questão da citotoxicidade da classe dos corantes azo e os possíveis efeitos tóxicos à saúde humana e de seres vivos em geral. Segundo Câmara (2017), existem relatos de efeitos nocivos à saúde, devido aos corantes azo, por trabalhadores de indústrias têxteis, sugerindo que exista um potencial tóxico mesmo sem o consumo direto. Alguns exemplos de ocorrências causadas por corantes citados por Câmara (2017) são: tumores na bexiga, fígado e rins, asma, eczema, dermatite de contato, irritação dos olhos e aberrações cromossômicas.

Portanto, é reconhecido a importância das enzimas na remediação de poluentes específicos, já que essas podem atuar em compostos recalcitrantes, removendo os por precipitação, transformá-los em produtos que não causem dano, mudar as características dos rejeitos para aumentar sua biodegradabilidade e auxiliar na bioconversão de rejeitos para agregar valor. As principais oxirredutases, lacases e peroxidases possuem potencial de tratamento para com compostos orgânicos, como corantes, podendo ser uma prática na descoloração de corantes sintéticos (DÚRAN; ESPOSITO, 2000; KARAM; NICELL, 1997; BHUNIA; DURANI; WANGIKAR, 2001 e YANG et al. citados por SILVA et al., 2012).

O Quadro 4 apresenta um resumo mais específico quanto aos resultados obtidos com a utilização de enzimas derivadas sintetizadas a partir de fungos específicos:

Quadro 4. Evidências científicas enzimáticas e fúngicas dos estudos delimitados.

Autor(es)/Ano	Enzimas/Fungos	Evidências Científicas
Pereira et al. (2010)	<i>Lentinula edodes</i> <i>Paraconiothyrium Esturarium</i> <i>Geothricum candidum</i>	Os corantes e efluente em estudo possuem pH estáveis, indicando que qualquer alteração na estrutura do corante é devida a ação de enzimas; o pico de absorvância obtido após a varredura dos corantes não é modificado pela adição do meio de cultura extrato de malte; o fungo <i>Lentinula edodes</i> descoloriu totalmente os corantes em estudo após 12 dias de incubação a 25 °C; <i>P. esturarium</i> degradou parcialmente os corantes Reactive yellow e Reactive red e não apresentou capacidade degradativa suficiente para o corante RBBR, somente tendo tolerância ao mesmo; o fungo <i>Geothricum candidum</i> não teve atividade degradativa, somente adsorviva, ou seja, apresentou apenas tolerância; <i>Lentinula edodes</i> apresentou melhor capacidade de degradação dos corantes em meio sólido; corante RBBR em pH 5 com tampão induziu descoloração de 100%; corante Reactive yellow (145) em pH 5 com tampão obteve descoloração de 73% e muita adsorção do corante pelo fungo; corante Reactive red (195) em pH 5 com tampão permitiu 89% de descoloração; no efluente têxtil em pH 5 com adição de tampão teve-se 91% de descoloração.
Almeida et al. (2012)	Enzima Lacase sintetizada por fungos filamentosos	56,75% dos 37 fungos testados apresentaram-se positivos para a produção de enzimas Polifenoloxidases; dos 21 fungos selecionados previamente, 14 mostraram uma atividade significativa para a enzima lacase, valor acima de 4000 U/L após 3º dia de incubação; o fungo FDGF apresentou o melhor resultado de descoloração em placas multiposos, descolorindo o corante índigo carmin em 120 horas, enquanto os outros fungos descoloriram parcialmente o corante no mesmo período; em relação ao fungo FDG o máximo de produção de lacase ocorreu no 2º dia (em torno de 800 U/L) e permaneceu constante no 4º dia (em torno de 700 U/L); taxa de descoloração pelo mesmo fungo foi em torno de 30% para ambos os comprimentos de onda (410 nm e 420 nm) que ocorreu no 2º e 3º dias, coincidindo com o máximo de produção de enzima.
Silva et al. (2012)	Peroxidase de Nabo (<i>Brassica campestris</i>) - PEN Lacase de <i>Cerrena unicolor</i>	PEN tem mais afinidade com corantes ftalocianínicos, antraquinona e triarilmetano e baixa eficiência na remoção de corantes azo; descoloração para os corantes azo remazol brilliant orange 3R (RBO3R) e remazol vermelho ultra (RVU) não foi satisfatória, talvez devido a especificidade enzimática e fatores da reação; corante acid blue 62 (AB 62) teve descoloração de 47% em 3 min; a descoloração do CTR hidrolisado pela PEN foi de 47,0 ± 0,79% após 1 hora e 53,0 ± 0,5% após 2 horas com a enzima, já a do RBBR hidrolisado foi de 69,5 ± 0,99% após 85 min; a descoloração do efluente contendo CTR foi de 37% em 95 min com a enzima e para o efluente que continha o RBBR a descoloração foi de 58% em 90 min; a adição de produtos auxiliares de tingimento no efluente sintético contribuiu para o aumento de DQO.
Trombini; Obara-Doi (2012)	Enzima Lacase <i>Ganoderma</i> spp.	Tratamento de efluentes com <i>Ganoderma</i> spp. foi eficiente com descoloração acima de 80% para a amostra 3 e descoloração próxima a 100% para as amostras 2 e 4; a enzima lacase participou nas amostras 1, 3 e 4; a amostra 2 obteve descoloração de 99,97% e menor participação da enzima lacase, o que indica sinergismo entre outras enzimas no processo; O maior teor de biomassa, 1,1033 g, foi da amostra 1, o que favoreceu o crescimento de <i>Ganoderma</i> spp.; o meio de cultura interferiu no aumento de valores de DQO, devido a existência de fontes de carbono e nitrogênio; houve eficiência após o tratamento com <i>Ganoderma</i> spp. para todas as amostras. Observação: as amostras 1, 2, 3, e 4 foram obtidas em 4 diferentes estações de tratamento de efluentes.
Araújo et al. (2013)	<i>Aspergillus terreus</i> <i>Aspergillus sclerotiorum</i>	<i>A. terreus</i> descoloriu 100% do corante Índigo Carmine e <i>A. sclerotiorum</i> descoloriu 86,8%; as duas espécies descoloriram 100% o corante em 10 dias de experimento, entretanto, <i>A. terreus</i> demonstrou maior eficiência, devido ao seu desempenho nas primeiras 120 horas; em relação a toxicidade <i>A. sclerotiorum</i> apresentou maiores índices de germinação (23,56%), percentual de crescimento da raiz (27,5%) e percentual de germinação da semente (87,5%), enquanto que <i>A. terreus</i> obteve índice de germinação de 11,77%, percentual de crescimento da raiz de 15% e percentual de germinação da semente de 78,5%.
Farias (2013)	<i>Horseradish</i> peroxidase (HRP)	A enzima mostrou-se eficiente na remoção dos corantes reativos não fixado às fibras, além disso, a enzima confere brilho e mantém a intensidade da cor, atuando em uma temperatura próxima do ambiente e em pH levemente ácido. Também houve remoção do corante da fibra de algodão e do efluente do processo de lavagem, principalmente com o corante Azul 21 e mistura de corantes.
Pinto (2014)	Enzima Azoreductase PpAzoR <i>Pseudomonas putida</i> Enzima CotA-lacase <i>Bacillus subtilis</i>	Como contribuição do trabalho, foi obtido que a enzima PpAzoR é específica para vários corantes tendo azo como substrato, porém, a mesma necessita de cofatores, que são caros. O uso de células ao invés de enzimas isoladas pode ser uma solução, já que permite a reutilização do NADP ⁺ e também diminui custos com purificação de enzimas. Outra desvantagem do uso da PpAzoR é o fato de ter elevado toxicidade quando em reação com o corante azo. Todavia, a enzima CatA-lacase, mostra-se vantajosa devido aos resultantes da transformação de aminas aromáticas apresentarem toxicidade muito baixas e ser útil em várias áreas da indústria.
Bogoni (2018)	Composto Residual (CR) de <i>Pleurotus ostreatus</i>	A melhor condição de operação foi de 150 g/L, pH 9,0 e temperatura ambiente; o ensaio V demonstrou que a liberação da cor pelo CR é inexpressiva; no ensaio II (efluente sem qualquer substrato) a remoção foi nula; eficiências de remoção dos ensaios III (69,1%) e IV (69,4%) são semelhantes; em relação a remoção nos ensaios I (condição otimizada), III (serragem não colonizada) e IV (ausência de O ₂) observa-se eficiência de 10% no ensaio com presença de fungo e disponibilidade de oxigênio; a maior parte de remoção de cor ocorreu no primeiros 30 min. com aproximadamente 57% e após a remoção foi aumentando nas 6 horas seguintes, resultando em aproximadamente 81% de descoloração; a remoção posterior pode vir a ser obtida por meio de uma atividade enzimática; o efluente com CR apresenta maior eficiência do que com a serragem sem inóculo.

Fonte: elaborado pelos autores.

De acordo com Couto e Herrera (2006) citados por Bogoni (2018), as lacases fúngicas atraem demasiada atenção devida à capacidade, na indústria biotecnológica, em clarear corantes e remediar solos e águas contaminadas. Para os mesmos autores citados, essa enzima consegue acelerar a oxidação de fenóis e outros compostos aromáticos, além disso, recentemente pesquisas referentes as lacases se intensificarem, assim esclarecendo sua diversidade e utilidades.

De acordo com Silva et al. (2012), por apresentar um alto custo na produção e baixo rendimento, torna-se restrito o uso dessas enzimas na remoção da cor de efluentes industriais. Com a utilização de vegetais que por sua vez contêm alta atividade enzimática, podem ser aplicadas diretamente obtendo-se os mesmos resultados, como explicam os mesmos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo Freire e Freitas (2010), há restrições para a elaboração de normas e leis ambientais, exigindo maior grau de eficiência das empresas, nos âmbitos de produção e ambiental, o que deverá ter um aumento da produtividade e drástica redução dos poluentes. Desta forma torna-se inevitável a adoção sistemática do tratamento de efluentes, como medida protetiva do meio ambiente fazendo-se necessário a adoção de estratégias que melhorem consideravelmente a utilização de recursos hídricos, minimizando os impactos ambientais, como relatam Freire e Freitas (2010).

Para Bogoni (2018), os processos de degradação enzimática permitiram eficiência no tratamento de efluentes têxteis, e estudos que possam vir a apresentar novos métodos de dosagem da concentração de enzimas para o aumento da eficiência de processos que visam reduzir compostos residuais, além de pesquisas de estratégia que consigam mensurar o potencial citotóxico dos efluentes em variadas situações, contribuíram bastante para o futuro do crescente setor.

As análises textuais apontam que as enzimas da classe das lacases são as mais utilizadas no processo de degradação de corantes e efluentes têxteis. Um maior conhecimento catalítico para sua utilização vantajosa na promoção de reações enzimáticas mais efetivas também pode vir a colaborar com o progresso desta área acadêmica.

Partindo-se dos assuntos tratados e fontes pesquisadas, conclui-se que a atividade enzimática aplicada no tratamento de efluentes apresentam muita eficiência, colaborando para a questão sustentável e redução de custo. Sendo, portanto, uma boa alternativa que visa alinhar os interesses da organização e do meio ambiente, um cenário muito discutido atualmente. Entretanto, devido às características de cada enzima, substrato e meio de reação, os resultados podem variar, o que demanda mais estudo e pesquisa para essa aplicação, além disso, o investimento necessário pode vir a ser uma desvantagem.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR ISO 14001:2004**, 2004. Anexo 1, A.1.

ABIQUIM. **Associação Brasileira da Indústria Química**. [Corantes e pigmentos]. Disponível em: www.abiquim.org.br. Acesso em 24/08/2018.

ACOT, P. **História da ecologia**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (BRASIL). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018**: informe anual / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2018. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

ALY, A. S.; MOUSTAFA, A. B.; HEBEISH, A. Bio-technological treatment of cellulosic textiles. **J. Clean Prod.**, v. 12, p. 697–705, 2004.

ALMEIDA, D. G. et al. Descoloração do corante Índigo Carmim e produção de Lacase por fungos filamentosos. **Scientia Plena**, Recife, v. 8, n. 5, p.1-10, 2012.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia Têxtil**, v. 2. Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.

ARAÚJO, G. R. et al. **Descoloração do corante têxtil índigo carmine por espécies de *Aspergillus***. I CONICBIO / II CONABIO / VI SIMCBIO (v.2). Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2013. Disponível em: < <http://www.unicap.br/simcbio/wp-content/uploads/2014/09/DESCOLORA%C3%87%C3%83O-DO-CORANTE-T%C3%8AXTIL-%C3%8DNDIGO-CARMINE-POR-ESP%C3%89CIES-DE-Aspergillus.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14001:2004. Sistemas de gestão ambiental**: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14004:2005. Sistemas de gestão ambiental**: diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Cartilha Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira**: Cenários, Desafios, Perspectivas e Demandas. Brasília, 2013. Disponível em:

<https://www.abit.org.br/conteudo/links/publicacoes/cartilha_rtcc.pdf>. Acesso em: 03 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT) (São Paulo). **Perfil do Setor**. 2018. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 28 jul. 2019.

BAÊTA, B. E. L. **Tratamento de efluentes da indústria têxtil utilizando reatores anaeróbicos de membranas submersas (SAMBR) com e sem carvão ativado em pó (CAP)**. 2012, 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. São Paulo: Saraiva, 2011.

BASTIAN, E. Y. O. et al. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. São Paulo: CETESB; SINDTÊXTIL, 2009. 85 p. (Série P+L). Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/guia_textil.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2019.

BESSANT, J.; TIDD, J. **Administração: Inovação e empreendedorismo**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

BHUNIA, A.; DURANI, S.; WANGIKAR, P. Horseradish peroxidase catalyzed degradation of industrially important dyes. **Biotechnol. Bioeng.**, v. 72, p. 562, 2001.

BOGONI, L. L. **Avaliação da eficiência do composto residual da produção de fungo pleurotus ostreatus na remoção de corantes em efluentes têxteis**. 2018. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

BOTELHO, L. L. R.; CUNHA, C. C. A.; MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. **Gestão & Sociedade**, v. 5, n. 11, p. 121-136, 2011.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de águas residuárias industriais**. 18 ed., São Paulo: CETESB, 1993.

BRASIL. **Decreto Legislativo nº 2, de 5 de junho de 1992**. A Convenção sobre Diversidade Biológica – CDB, [2000]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_dpg/_arquivos/cdbport.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2019.

BRASIL. Casa Civil. Política Nacional do Meio Ambiente nº 6.938. **Presidência da República**: Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, ago. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 20 jul. 2019.

BRASIL. Casa Civil. Política Nacional de Resíduos Sólidos nº 12.305. **Presidência da República**: Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 20 jul. 2019.

BRASIL. Casa Civil. Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico nº 11.445. **Presidência da República**: Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, 5 jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em: 20 jul. 2019.

CÂMARA, A. M. **Corantes azo**: características gerais, aplicações e toxicidade. 2017. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Graduação em Nutrição, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

CEGARRA, J. The state of the art in textile biotechnology. **Journal of the Society of Dyers and Colourists**, v. 112, November, p. 326-329, 1996.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS/SERVIÇO NACIONAL DA INDÚSTRIA, Rio Grande do Sul (CNTL/SENAI-RS). Produção mais limpa: uma abordagem ambiental e econômica para a indústria, **TECBAHIA – Revista Baiana de Tecnologia**. Camaçari, BA, n. 14, v. 2, p. 61-67, maio/ago. 1999.

CONAMA. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Resolução CONAMA. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental, [1986]. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

COUTO, S. R.; HERRERA, J. L. T. Industrial and biotechnological applications of laccases: A review. **Biotechnology Advances**, [S. l.], v. 24, n. 5, p.500-513, set. Elsevier BV, 2006.

CUNHA, R. T.; PEREIRA JÚNIOR, N.; ANDRADE, C. M. M. C. Aplicação de enzimas em processos industriais têxteis. **Química Têxtil**, [S.l.], n. 82, p. 38-56, trimestral, 2006.

DRUCKER, P. F. **Inovação e Espírito Empreendedor (entrepreneurship)**: Práticas e Princípios. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

DURÁN, N.; ESPOSITO, E. Potential applications of oxidative enzymes and phenoloxidase-like compounds in wastewater and soil treatment: a review. **Appl. Catal. B: Environmental**, v. 28, n. 2, p. 83-89, 2000.

FARIAS, S. **Utilização da enzima horseradish peroxidase na lavagem pós-tingimento para remoção de corante reativo não fixado às fibras de algodão**. 2013. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

FIESP. **Federação das Indústrias do Estado de São Paulo: Programa eficiência industrial em sistemas motrizes**. Disponível: <<http://www.fiesp.com.br/infraestrutura/energia/programa.aspx>, 2005>, Acesso: 18/04/2015.

FREIRE, F. B.; FREITAS, S. I. de. Avaliação da remoção de cor de um efluente têxtil sintético. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 2, p.241-249, 2010.

FREITAS, K. R. de. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil**. 2002. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

FURLAN, F. R. **Caracterização e aplicação de enzimas de forma combinada na biopreparação de tecidos felpudos de algodão**. 2012. Tese. Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA; M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiol. Serv. Saúde**. Brasília, 23(1), p. 183-184, jan./mar. 2014.

GLOBAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT INITIATIVE (GEMI). **Total Quality environmental management: the primer**. Washington, DC: GEMI, 1993. Disponível em: <http://www.gemi.org>. Acesso em: 28 jun. 2010.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. CORANTES TÊXTEIS. **Química Nova**, Araraquara, v. 23, n. 1, p.71-78, 2000.

GUILHERME, C. M. **Desempenho do floculador de manta de lodo associado adecantador de alta taxa no tratamento de água de abastecimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", UNESP. São Paulo. 2009.

HESPANHOL, I. **Manual prático para uso e conservação da água em prédios públicos**. Brasília: A3P, 2014. 80 p. Disponível em: <[https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/Manual%20Pratico%20para%20Uso%20e%20Conservacao%20da%20agua%20em%20predios%20publicos\(1\).pdf](https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/Manual%20Pratico%20para%20Uso%20e%20Conservacao%20da%20agua%20em%20predios%20publicos(1).pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2019.

HUSSAIN, Q. Peroxidase mediated decolorization and remediation of wastewater containing industrial dyes: a review. **Rev. Environ. Sci. Biotechnol.**, v. 9, n. 2, 117-140, , 2010.

KARAM, J.; NICELL, J.; J. Potential applications of enzymes in waste treatment. **J. Chem. Technol. Biotechnol.**, v. 69, p. 41-153, 1997.

KAUARK, F. S. da; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia de pesquisa: Um guia prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010. Disponível em: <http://www.pgcl.uenf.br/arquivos/livrode Metodologia de pesquisa 2010_011120181549.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2019.

KUNZ, A. et al. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Quim. Nova**, [S. l.], v. 25, p. 78-82, 2002.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. São Paulo: Atlas, 2017.

MARIANO, M. Textilia.net. **Abit e IEMI apresentam balanço da cadeia têxtil e vestuário**. 2018. Disponível em: <http://www.textilia.net/materias/ler/textil/mercado/abit_e_iemi_apresentam_balanco_da_cadeia_textil_e_vestuário>. Acesso em: 20 jul. 2019.

MARTINS, G. B. H. **Práticas limpas aplicadas às indústrias têxteis de Santa Catarina**. 1997. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 1997.

MELLO, M. C. A. de. **Produção mais limpa: um estudo de caso na AGCO do Brasil**. [S.D.]. 113 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MENEGON, E. M. P.; POLI, O. L.; MAZZIONI, S. Inovação na indústria do segmento têxtil: um estudo sobre o perfil da produção científica nacional e internacional. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v. 4, p. 1093-1115, jul./set. 2018.

MILLER JUNIOR, G. T. **Ciência Ambiental**. Cengage Learning: São Paulo, 2008.

MINAYO, M. C. de S. (Org.). et al. **Pesquisa social: Teoria, método e criatividade**. 30. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.

MORE: Mecanismo online para referências, versão 2.0. Florianópolis: UFSC Rexlab, 2013. Disponível em: <<http://www.more.ufsc.br/>>. Acesso em: 5 jun. 2019.

O'NEILL, et al. Colour in textile effluents – sources, measurement, discharge consents and simulation: a review. **Chem. Technol. Biotechnol.**, v. 74, p. 1009-1018, 1999.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL/UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (ONUDI/UNIDO). Proceedings of the conference on ecologically sustainable industrial development. Copenhagen, Dinamarca, 14-18 out. 1991. Viena: UNIDO, 1991.

PEREIRA, A. R. B. et al. Biodegradação de corantes e efluentes têxteis por fungos. **Holos Environment**, [s. L.], v. 10, n. 2, p.165-179, 2010. Disponível em: <<https://ceanesp.org.br/holos/article/view/2156/3762>>. Acesso em: 31 jul. 2019.

PEREIRA, G. de S. **Introdução à tecnologia têxtil**. CEFET/SC, Araranguá, [S.D.]. Disponível em: <https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/7/7d/Apostila_tecnologia.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

PHILIPPI JÚNIOR, A. Agenda 21 e resíduos sólidos. In: RESID'99 – Seminário sobre resíduos sólidos, 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 15-25, 1999.

PIMENTEL, A. **Caracterização de uma pectinase comercial e sua utilização no processo de purga da indústria têxtil**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

PINTO, B. P. V. B. **Biodegradação Enzimática de Aminas Aromáticas Tóxicas**. 2014. 140 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química e Biológica) - ISEL Instituto Superior de Engenharia, [s. L.], 2014.

PORTUGAL, G. **Os 3R's e o lixo**. Volta Redonda: GPCA Meio Ambiente, 2007. Disponível em: <<http://www.gpca.com.br/gil/art114.htm>>. Acesso em: 27 out. 2007.

PRODANOV, C. C; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: <<http://www.feevale.br/Comum/midias/8807f05a-14d0-4d5b-b1ad->

1538f3aef538/E-book%20Metodologia%20do%20Trabalho%20Cientifico.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2019.

QUEIROZ, M. T. A. et al. Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a qualidade da água: estudo de caso. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, v. 8, n. 15, p.114-135, 2016.

REIS, C. Z. dos. **Bioalveamento enzimático de tecidos de malha de algodão**. 2016. Tese. Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

RICHARDSON et al. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. rev. ampl. São Paulo: Atlas, 2007.

SARRIA, V. et al. Recent developments in the coupling of photoassisted and aerobic biological processes for the treatment of biorecalcitrant compounds. **Catalysis Today**, v. 76, n. 15, p. 301-315, 2002.

SILVA, C. R. O. **Metodologia do trabalho científico**. Fortaleza: Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, 2004.

SILVA, K. K. de O. S. **Caracterização do efluente líquido no processo de beneficiamento do índigo têxtil**. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SILVA, M. C. et al. Descoloração de corantes industriais e efluentes têxteis simulados por peroxidase de nabo (*Brassica campestris*). **Quim. Nova**, [S. l.], v. 35, n. 5, p.889-894, jan. 2012.

SOUZA, C R. L. de; PERALTA-ZAMORA, P. Degradação de corantes reativos pelo sistema ferro metálico/peróxido de hidrogênio. **Quim. Nova**, [S. l.], v. 28, p. 226-228, 2005.

SPERANDIO, S. A.; GASPAR, M. A. Gestão Socioambiental em Empresas Industriais. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p.21-40, 2009.

TERRES, J. et al. Decolorization and degradation of Indigo Carmine dye from aqueous solution catalyzed by horseradish peroxidase. **Biocatalysis and Biotransformation**, v. 32, p. 64-73, 2014.

TEIXEIRA, F. **A História da Indústria Têxtil Paulista**. São Paulo: SINDITÊXTIL, 2007.

TONE, G. Federação da Indústria do Estado de São Paulo - Fiesp. **Apresentada na FIESP, NBR ISO 14001 reforça importância da alta liderança e do envolvimento das partes interessadas:** Revisão da norma que define requisitos para implantar sistema de gestão ambiental foi publicada em outubro. 2015. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/noticias/apresentada-na-fiesp-nbr-iso-14001-reforca-importancia-da-alta-lideranca/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

TROMBINI, R. B.; OBARA-DOI, S. M. O. Remoção de cor e análises físico-química de efluentes de indústrias têxteis tratados com *ganoderma spp.* **Revista F@ciência**, Apucarana-pr, v. 9, n. 12, p.101-122, 2012.

YAMANE, L. A. **Estamparia têxtil**. 2008. 122 f. Dissertação (Mestrado em Artes) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de Estudo e Pesquisa em Administração**. CAPES: Florianópolis, 2009. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/mansano/downloads-para-disciplina-de-metodologia-da-pesquisa-uab/downloads/UAB_Metod_Livro_Base.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019.

ZANONI, M. V.; CARNEIRO, P. A. O descarte dos corantes têxteis. **Ciência Hoje**, v. 29, p. 61-64, 2001.

YANG, Q. X. et al. Decolorization of synthetic dyes and production of manganese-dependent peroxidase by new fungal isolates **Biotechnol. Lett.**, v. 25, n. 9., p. 709- 713, 2003.

WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Banco de dados**. Disponível em: <http://www.wri.org>. Acesso em 11 abr. 2002.

Os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.