



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



APLICAÇÃO DE ENZIMAS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

JULIA CRUZ MARROQUES

Uberlândia – MG
2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



APLICAÇÃO DE ENZIMAS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

JULIA CRUZ MARROQUES

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Química.

Uberlândia – MG
2020

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE JULIA CRUZ MARROQUES APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM 10 DE SETEMBRO DE 2020.

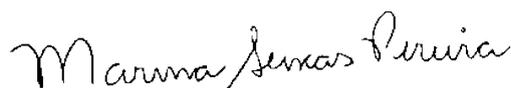
BANCA EXAMINADORA:



Profa. Dra. Miriam Maria de Resende
Orientadora - FEQUI/UFU



Prof. Dr. Rubens Gedraite
FEQUI/UFU



Profa. Dra. Marina Seixas Pereira
FEQUI/UFU

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me permitido completar esse sonho de me tornar Engenheira Química. Ele me abençoou desde meu primeiro dia de aula até a finalização desta dissertação, me concedendo força, saúde e perseverança durante toda essa jornada da graduação. Ele me ajudou a superar os momentos difíceis, de angústia e medo, através do seu refrigério e presença contínua.

Sou imensamente grata pela minha família, a começar pelos meus pais, Dorisvaldo e Edineide, por todos os ensinamentos de vida, pois foram estes que formaram o meu caráter e reflete em quem eu sou. Sempre me proporcionado tempo de qualidade para que eu pudesse estudar, investindo seus recursos financeiros e, o principal, seu apoio emocional, amor e motivação, me incentivando a nunca desistir dos meus objetivos.

Feliz por todo apoio recebido do meu irmão Jonathan, minha cunhada Bruna e minha sobrinha Isadora. Sempre dispensando seus cuidados e amor sobre mim.

Aos meus irmãos e irmãs da Igreja Metodista Unida, o meu muito obrigado. Vocês sempre oraram por mim para que eu pudesse concluir esse curso com louvor, me animando em todo tempo e me fortalecendo na palavra de Deus.

Agradeço a todo corpo docente da FEQUI que contribuiu para meu crescimento profissional através das aulas ministradas, e principalmente a minha orientadora Miriam, por todos os ensinamentos passados durante este período de trabalho.

“Pois Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas. A Ele seja a glória para sempre!

Amém”.

Romanos 11:36

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. A HISTÓRIA DA INDÚSTRIA TEXTIL	3
2.1 - A Indústria Têxtil no Mundo.....	3
2.2 – A Indústria Têxtil no Brasil	5
3. ENZIMAS	7
4. PROCESSO TÊXTIL.....	10
4.1 - Matéria-Prima	12
4.2 - Fiação têxtil	12
4.3 – Tecelagem	14
4.4 – Beneficiamento têxtil	16
4.4.1 – Chamuscagem.....	16
4.4.2 - Desengomagem.....	17
4.4.3 - Purga.....	17
4.4.4 – Alvejamento.....	17
4.4.5 – Tingimento.....	18
5. ENZIMAS NA INDÚSTRIA TÊXTIL	18
5.1 – Desengomagem Enzimática	19
5.2 – Biopurga	21
5.3 – Bioalvejamento.....	24
5.4 – Biopolimento	25
5.5 – Bioestonagem.....	27
6. CONCLUSÃO.....	30
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema da atividade enzimática chave-fechadura	8
Figura 2: Energia de ativação das enzimas.....	9
Figura 3: Fluxograma da Cadeia Têxtil	11
Figura 4: Consumo industrial de fibras e filamentos no Brasil no período de 1970 a 2018.....	12
Figura 5: Abridores de Fardo para indústria têxtil da marca BENEKS MAKINA	13
Figura 6: Carda de algodão para indústria têxtil	14
Figura 7: Estruturas das fibras na tecelagem	15
Figura 8: Fluxograma com as etapas que compõem o beneficiamento têxtil	16
Figura 9: Ilustração de chamuscagem do tecido.....	17
Figura 10: Fluxograma com as etapas do processo têxtil onde as enzimas podem ser utilizadas	19
Figura 11: Escala de Tegewa	21
Figura 12: Amostras de tecidos tingidas com azul de metileno para verificação da remoção de pectina	23
Figura 13: Tecido de algodão não tratado (A) versus tecido após o tratamento enzimático com celulase(B).....	26
Figura 14: Ação das celulasas em tecidos Denim.....	28

RESUMO

As enzimas são caracterizadas de forma geral como proteínas, que tem por função catalisar reações. Por esse motivo, são muito eficazes já que possuem uma alta especificidade sobre o substrato, agindo para decompor ou compor apenas certas substâncias em determinadas condições de temperatura, pH e concentração de substrato. As enzimas podem ser aplicadas em várias áreas como na produção de detergentes, indústria de alimentos, indústria farmacêutica, na produção de álcool e entre outros. Elas podem ser utilizadas também no processo têxtil, como uma alternativa para alterar as propriedades das fibras têxteis nas etapas do processo como a desengomagem, purga, alvejamento, tingimento e outros. Estão sendo cada vez mais utilizadas, pois apresenta inúmeras vantagens como a contribuição para o melhoramento ecológico do processo, já que substitui os produtos químicos normalmente utilizados, logo, atua na redução do impacto ambiental assim como na diminuição dos danos às fibras. Neste contexto, este trabalho realiza um estudo de revisão bibliográfica sobre a atuação das enzimas amilase, pectinase, celulase e catalase empregadas nas diferentes etapas do processo têxtil.

Palavras-chave: indústria têxtil; enzimas indústria têxteis; biopurga; desengomagem.

ABSTRACT

The enzymes are generally characterized as proteins, which have the function of catalyzing reactions. For this reason, they are very effective because they have a high specificity on the substrate, acting to decompose or compose only certain substances under determined conditions of temperature, pH and substrate concentration. Enzymes can be applied in several areas such as in the detergent production, food industry, pharmaceutical industry, alcohol production and others. They can also be used in the textile process, as an alternative to change the properties of textile fibers in the process steps like phase of desizing, scoring, purg, bleaching, dyeing and others. They are being more used day after day, because it's show many advantages as a contribution to the ecological improvement of the process, since it replaces the chemicals products normally used, therefore, acts in the reduction of environmental impacts and in decrease the damages caused in the fibers. In this context, this final paper carries out a bibliographic review study on the performance of enzymes like amylase, pectinase, cellulase and catalase used in the different stages of the textile process.

Keywords: textile industry; enzymes textile industry; bio-purge; desizing.

1. INTRODUÇÃO

Não é de hoje que ouve-se relatos sobre as diversas atuações das enzimas no âmbito industrial, mostrando para a sociedade um caminho alternativo frente aos processos tradicionais e antigos. Nas últimas 3 décadas, a biotecnologia transformou-se numa importante ferramenta para inovar diversos setores da economia.

Por meio dos avanços tecnológicos nas diversas áreas, pode-se notar que a biotecnologia beneficia não somente o mercado, que busca constantemente por novos produtos e meios alternativos de produção, como os consumidores que se preocupam cada vez mais com a qualidade dos produtos adquiridos, e principalmente, o ecossistema, já que as enzimas são uma opção que minimiza a carga poluente.

Segundo Chibata (1978), enzima é um tipo de substância orgânica, em geral proteínas, com atividade intracelular ou extracelular em organismos cuja função principal é o de proporcionar a rota com a menor energia de ativação e conseqüentemente, um curto tempo de reação, reduzindo o tempo de processo. Usualmente, as enzimas são utilizadas em condições moderadas de temperatura e pressão. Pela definição de Faber (2004), enzimas convertem substratos para outras substâncias chamadas produtos e são altamente específicas sobre as reações que catalisam, funcionando como chave-fechadura (CHIBATA, 1978; FABER, 2004).

Na história, um dos marcos sobre a descoberta da aplicação de enzimas ocorreu por volta de 1833, quando os químicos franceses Anselme Payen e Jean-François Persoz utilizando o extrato de malte isolaram uma substância que catalisava o amido em glicose, ou seja, tal substância acelerava a velocidade desta transformação. Batizaram o elemento de *diástase* (do grego “separar”), porque separava os blocos de amido em unidades individuais de glicose, e este termo, ainda é usado para as amilases na indústria cervejeira (WISNIAK, 2005).

As enzimas podem ser aplicadas em vários setores como na indústria de papel e celulose, elas auxiliam na produção de detergentes, estão presentes em muitas áreas da indústria de alimentos, como panificação, cervejaria e laticínios, e vários outros segmentos, inclusive no setor têxtil. Da mesma maneira que as demais áreas, as enzimas são estudadas

para se obter o aprimoramento das mesmas no processo como um todo, procurando cada vez mais inseri-las no meio produtivo (COELHO e AMARAL, 2008).

A indústria têxtil em 2019, segundo o Caged – Cadastro Geral de Empregados e Desempregados – do ministério do trabalho, contabilizaram entre janeiro e outubro, mais de 15 mil pessoas que tiveram suas carteiras assinadas por indústrias do setor têxtil. Porém, a indústria têxtil não se caracteriza apenas por sua grande empregabilidade e lucros, mas também se destaca pelo seu processo, por requerer grandes quantidades de água, corantes e produtos químicos utilizados ao longo de uma complexa cadeia produtiva (ABIT, 2019).

Logo, frente a esta realidade, considerando que as enzimas não são tóxicas, elas podem facilmente substituir os produtos químicos normalmente utilizados nos processos têxteis, amenizando o impacto ambiental consideravelmente e facilitando o tratamento de efluentes advindos do processo de fabricação. Além disto, melhora a qualidade do produto têxtil, reduzindo o impacto nas fibras e oferecendo maior qualidade de acabamento, aspecto visual e físico (resistência à tração e resistência à formação de *pilling*), estéticas, como brilho, coloração e conforto (PEREIRA, 2009).

As etapas de fabricação do tecido na indústria têxtil iniciam pela limpeza das fibras, sejam naturais ou sintéticas. Posteriormente a fibra passa pela fiação, prossegue para a engomagem e tecelagem, onde denomina-se o tecido cru. Elas seguem por um processo de desengomagem, biopreparação (ou biopurga), alvejamento, e depois de todo esse processo, se obtêm o tecido acabado. Pode-se finalizar o tecido no tingimento, se for necessário. (PEREIRA, 2009).

As principais etapas de uso enzimático são: desengomagem, biopurga, alvejamento e tingimento, e as enzimas amilases, celulasas, pectinases, protease, catalases, lacase e peroxidase são as mais utilizadas. Algumas das aplicações incluem a remoção de amido, branqueamento, degradação de lignina, remoção de peroxidases, acabamento de lã, descoloração de corante e entre outros (ESSAYS, 2018).

Portanto, este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo agregar à literatura informações que se referem à análise das principais enzimas que são empregadas nas diferentes etapas do processo.

Essa etapas são a desengomagem, biopurga, biopolimento, bioalvejamento e bioestonagem na indústria têxtil, mostrando em quais condições de temperatura, pH e outros

fatores relevantes que devem ser levados em consideração no processo juntamente com os benefícios agregados.

2. A HISTÓRIA DA INDÚSTRIA TEXTIL

2.1 - A Indústria Têxtil no Mundo

Sabe-se que a indústria têxtil é uma das mais antigas na história. Desde os primórdios, têm-se relatos sobre a fabricação de vestuários em casa, utilizando técnicas artesanais para confeccionar as vestimentas. Os homens da pré-história já utilizavam de peles de animais para cobrir o corpo. Logo depois, há evidências comprovadas por pinturas gregas que os egípcios faziam uso do tear antigo em duas categorias: Circe e Penélope. Olhando para a idade média, na Europa, começa-se a notar modelos e trajes mais elaborados e complexos, trazendo agora a cultura da arte para as roupas (MOELLWALD, 2015).

A fim de trazer um breve histórico sobre a indústria têxtil no mundo, é importante ressaltar que em 2600 a.C. a Índia já comercializava tecidos de algodão para o Egito, Oriente Médio, África, Grécia, Roma e Europa. Mas a Índia não era somente fornecedora do material, ela também era ponto de encontro de mercadores vindos do Oriente e Ocidente em busca dos seus tecidos coloridos e versáteis. Com a chegada de Vasco da Gama à Índia em meados de 1498 com o intuito de criar relações comerciais, os holandeses logo chegaram e ocuparam esse comércio, favorecendo as exportações e enriquecendo a Índia (PEZZOLO, 2008).

Contudo, a situação comercial teve uma reviravolta a partir do século XVIII, quando o algodão passou a ser levado bruto para a Inglaterra, e depois, voltava para a Índia como produto manufaturado. Então, por volta do século XIX, a Índia não era mais o centro de manufatura do mundo e isso aconteceu principalmente por causa de uma mudança do centro de fabricação da Índia para a Inglaterra. Toda essa reviravolta pode ser explicada por duas grandes potências da época que predominavam no século XVII, Portugal e Inglaterra, que revolucionaram a história da fabricação de roupas (PEZZOLO, 2008).

A indústria têxtil foi uma das principais responsáveis por incentivar a primeira revolução industrial, caracterizada por uma busca ao desenvolvimento tecnológico que teve

início na Europa e, em seguida, se propagou por todo o mundo. A rivalidade era entre a Grã-Bretanha e a Alemanha, cuja principal causa foi que após a saída da Alemanha da Liga das Nações, houve o expansionismo do nazismo, gerando toda a guerra entre aliados e o eixo (COGGIOLA, 2015).

A Grã-Bretanha merece destaque, pois ela possuía como seu ideal ter o monopólio das máquinas têxteis e especificações das mesmas, sendo que a exportação das ferramentas não era permitida, fazendo com que os demais países ficassem dependentes de seus produtos. Por volta do século XVIII, os britânicos aperfeiçoaram seus processos através das tecnologias e substituíam os teares manuais por máquinas movidas a vapor, fazendo com que os fios fossem produzidos de forma mais rápida e com uma qualidade melhor (FCEM, 2019).

Neste mesmo período, os americanos haviam declarado sua independência e lutavam para conseguir abrir portas no mercado através dos teares. O Governo americano juntamente com alguns grandes empreendedores investiu seus recursos nos imigrantes britânicos que possuíam informações e técnicas dos teares europeus (FCEM, 2019).

Naquela época, utilizava-se o algodão e o linho como matéria-prima, pois no antigo Egito já se usavam peças feitas com tais materiais, porém, por volta do século XVIII passou-se a utilizar também da lã, deixando de ser usado somente em classes baixas e agora também na alta sociedade. Posteriormente, vemos a tecelagem da seda, que sempre foi considerada mais luxuosa, e que agora, tinha um importante produtor de tecidos constituídos desta fibra: a Inglaterra (FERRAZ, 2014).

Após a Segunda Guerra Mundial, em 1955, obteve-se a produção das fibras sintéticas, que são formuladas a partir de polímeros derivados de resinas de petróleo. Importante ressaltar aqui que as fibras artificiais foram introduzidas no Brasil quase que simultaneamente ao seu aparecimento no exterior. A primeira fibra sintética produzida no Brasil foi o náilon, em meados de 1955 pela Rhodia, em 1961 surge o poliéster e em 1968 o acrílico (ROMERO et al., 1995).

A partir daí, pode-se notar o desenvolvimento dos tecidos e, obviamente, uma sucessão de melhorias nas máquinas têxteis, passando agora para um maquinário totalmente

automatizado (ou quase todo), aumentando consideravelmente o volume de produção e diminuindo os preços de tecidos e roupas acabados.

2.2 – A Indústria Têxtil no Brasil

O primeiro registro que evidencia a manufatura de tecidos no Brasil é a carta de Pero Vaz de Caminha, por volta de 1500, em que há referência a “uma mulher moça com um menino ou menina ao colo, atado com um pano não sei de quê aos peitos”, mais adiante também é citado que “as casas tinham dentro muitos esteios e de esteio a esteio uma rede, atada pelos cabos em cada esteio” (COSTA et al., 2000; MATHIAS, 1988). Segundo Stein (1979), quando os portugueses chegaram ao Brasil, os índios já faziam o uso do algodão. A história da evolução da indústria têxtil pode ser dividida em 3 etapas: a fase colonial, a fase de implantação e a fase de consolidação.

O período colonial teve início no século XV e nessa época já existia cultivo do algodoeiro no norte e nordeste do Brasil e também diversas manufaturas têxtil no estilo doméstico que iniciava um processo de industrialização, porém isso não era de interesse dos portugueses naquele período, pois a mão de obra deveria ficar disponível para trabalho com agricultura. Para que essa ordem ficasse bem clara, em 1785 um alvará de Dona Maria I proibia a indústria têxtil no Brasil. Era permitido produzir somente tecidos para roupas para negros e para enfiar ou ensacar mercadorias (COSTA et al., 2000).

Em 1808, o alvará foi revogado e os portos para as nações amigas foram abertos devido à vinda da família real para o Brasil (Rio de Janeiro e Salvador) exigindo novas fontes de renda. Porém, a indústria têxtil não se desenvolveu - mesmo após a independência do Brasil em 1822. Entretanto, em 1844, há registros das primeiras fabricas do setor no país, alavancando a área têxtil (SANTOS, 2016).

Esse fato marca a fase de implantação, reavivando a indústria têxtil principalmente no nordeste (Bahia) e sudeste do Brasil. Interessante ressaltar que uma fábrica, com o nome de Todos os Santos localizada em Valença, inaugurada no ano de 1848, era responsável por cerca de 35% da produção em todo império, se destacando pela matéria prima disponível em abundância, fonte hidráulica de energia e uma grande população escrava (SANTOS, 2016).

Passando agora para a década de 80, o Brasil era conhecido por ser exportadora de matéria-prima. A maioria das fiações brasileiras utilizava apenas o algodão como o principal insumo, e percebeu-se que o plantio nacional não suportava a necessidade da indústria, logo se viu que a importação da fibra era inevitável. Diante desse cenário, não somente o Brasil, mas todo o mundo começou a buscar pelos avanços tecnológicos e, com toda pesquisa realizada, sugeriram as fibras artificiais e sintéticas, como já comentado anteriormente. Com os novos tipos de fibras (náilon, fibra sintética e outros) foi possível uma estabilidade para a indústria que sofria com as dificuldades da produção agrícola. Esse período começa a ser marcado pela fase de consolidação (COSTA et al., 2000).

Durante os anos de 1956 a 1961, o Brasil foi governado por Juscelino Kubitschek, que propôs algumas ações que trariam mudanças na economia brasileira como a abertura comercial; o plano de estabilização monetária que tinha por objetivo proporcionar o crescimento econômico do país através do controle da expansão monetária e creditícia, da contenção dos gastos públicos e entre outros; as medidas de políticas industriais que foram inseridas no processo de globalização econômica cujo propósito era que as empresas/países realizariam trocas financeiras e comerciais sem restrições ideológicas e isso incentivaram as empresas a buscarem por produtividade e competitividade (LAMARÃO, 2006).

A concorrência internacional fez com que o Brasil enfrentasse algumas dificuldades, causando o fechamento de muitas empresas, gerando uma demissão em massa de trabalhadores. Isso gerou um sentido de alerta nas indústrias, gerando dentro dela uma necessidade de revisar o processo. Para isso, grandes investimentos foram necessários para a modernização do parque industrial brasileiro, que se tornou daí em diante um setor altamente produtivo (COAN, 2002).

Para a década de hoje, o cenário da indústria têxtil no Brasil nos diz que somos um dos países que mais evoluiu nessa área devido, principalmente, a riqueza dos recursos naturais, ou seja, matéria-prima é o que não falta. Tornou-se uma grande nação exportadora de produtos e serviços. Alguns dados reportados pelo anuário da ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil) com relação ao ano de 2018 retratam a situação brasileira nesse setor:

- Faturamento da Cadeia Têxtil e de Confecção: US\$ 48,3 bilhões;
- Exportações (sem fibra de algodão): US\$ 2,6 bilhões;
- Importações (sem fibra de algodão): US\$ 5,7 bilhões;

- Produção média têxtil: 1,2 milhão de toneladas;
- O setor têxtil é o 2º maior empregador da indústria de transformação, ficando atrás da indústria de alimentos, contando com 1,5 milhão de empregados diretos e 8 milhões de indiretos, sendo que 75% da mão de obra é do sexo feminino;
- Existem hoje, cerca de 25,2 mil empresas formais em todo o País (ABIT, 2018).

Atualmente, o Brasil é referência mundial em design nos segmentos de moda praia, *jeanswear* e *homewear*, expandindo também para os segmentos do setor fitness e lingerie. Importante ressaltar que se contou anteriormente um pouco da história da indústria têxtil no Brasil, e, segundo a Abit, ela está presente na história há cerca de 200 anos (ABIT, 2018).

3. ENZIMAS

As enzimas têm sido utilizadas pela humanidade há milhares de anos, pois elas sempre estiveram presentes em microrganismos, vegetais, animais e no corpo humano, antes mesmo de conhecerem a sua natureza, propriedades, funcionamento e especificações.

O grupo chamado de enzimas, assim denominado por Kühne em 1878, que tem por significado em grego “em levedura”. Sua notoriedade só foi reconhecida após o século 18, onde o cientista Lazzaro Spallanzani, em 1783 notou a reação de degradação da carne pela enzima presente no suco gástrico, que foi denominada de pepsina (COELHO, SALGADO e RIBEIRO, 2008).

Logo após ele, em 1814, Kirchoff obteve outra descoberta que mudaria o rumo da história, principalmente da indústria cervejeira, pois perceberam que a proteína do glúten da cevada era capaz de converter o amido em açúcar, que posteriormente, após mais estudos, chamou-se a enzima de diástase por Payen e Persoz em 1833. Acreditava-se que as enzimas só eram ativas em células vivas, porém, esse conceito foi mudado em 1897 quando Büchner, ao obter o extrato das células de leveduras através de prensas, provou que elas ainda

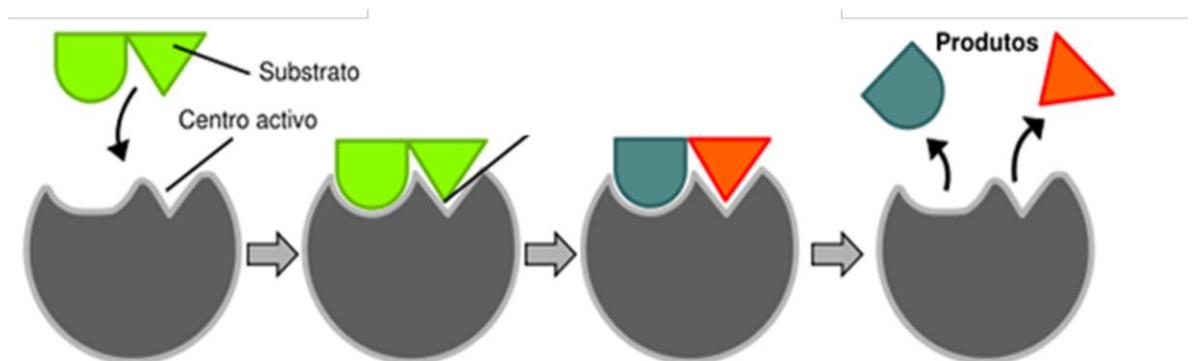
possuíam propriedades fermentativas capazes de fermentar o açúcar (COELHO, SALGADO e RIBEIRO, 2008).

Portanto, as enzimas vêm sendo estudadas ao longo do tempo, e principalmente a partir do século 20, aumentando rapidamente o conhecimento sobre tais substâncias, determinando os mecanismos de atuação das mesmas e suas estruturas. Com esse maior domínio sobre o emprego dessas proteínas, os processos industriais de diferentes áreas têm utilizado de todo conhecimento científico e tecnológico para aplicá-las na medicina (fármacos e medicamentos veterinários), alimentícia (cervejaria, pães, laticínios), têxtil, química, como de papel e celulose e muitas outras (MUSSATTO et al., 2007).

Algumas das definições e características das enzimas envolvem que elas participem do grupo das proteínas, cuja função é catalisar reações biológicas, funcionando basicamente como os catalisadores químicos, porém, com algumas vantagens. Segundo Medeiros et. al (2013), algumas delas são:

- Apresentam alta capacidade para seletividade do produto desejado, pois catalisa um único substrato ou uma determinada classe de moléculas, fazendo com que seu mecanismo se assemelhe ao de chave-fechadura, conforme a Figura 1;

Figura 1: Esquema da atividade enzimática chave-fechadura

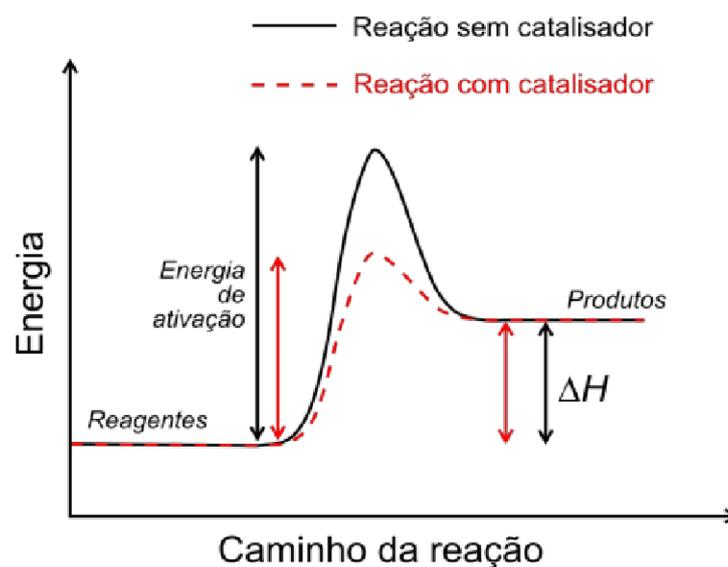


Fonte: Wikimedia Commons, 2011.

- Em geral, possuem um bom desempenho em condições de temperatura e pressão brandas, que conseqüentemente, impacta diretamente nos custos energéticos do processo;

- Outro ponto de extrema importância pensando na questão ambiental é que as enzimas são biodegradáveis, possibilitando a reutilização e reduzindo o acúmulo de resíduos no fim do processo;
- As enzimas são atóxicas (geralmente) e não precisa de condições especiais para utilizá-las. Como exemplo de condições especiais seria a atmosfera inerte;
- E por fim, elas são catalisadores cuja função é acelerar a velocidade da reação, diminuindo a energia de ativação, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2: Energia de ativação das enzimas



Fonte: Wikimedia Commons, 2006.

Contudo, é importante salientar o maior motivo pelo qual o uso das enzimas em larga escala nos processos industriais ainda está em processo de análise, e, o motivo está totalmente correlacionado com sua principal desvantagem que é o elevado custo para a produção.

As enzimas são classificadas em seis principais classes: oxido redutases, ligases, transferases, isomerases, hidrolases e liases. Como pode-se notar, elas são fracionadas em 6 grandes grupos, segundo a Comissão de Enzimas (Enzyme Commission) da União Internacional de Bioquímica e Biologia Molecular (FANI, 2016).

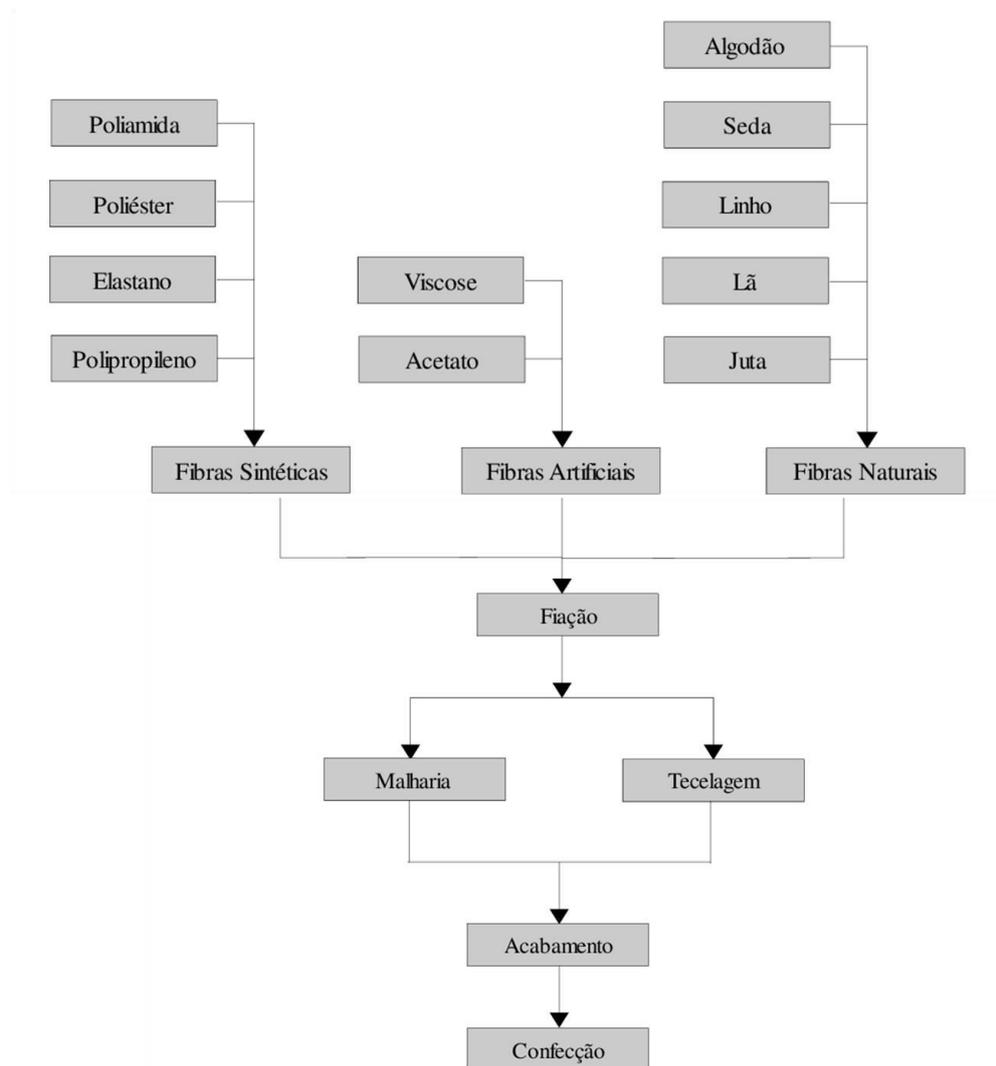
Cada enzima é classificada com 4 números, cujo modelo estrutural é EC X.X.X.X. O primeiro número designa a classe, ou seja, a reação que é catalisada, o segundo é a subclasse, que mostra qual função é envolvida, o terceiro detalha sobre a reação catalisada, sinalizando substrato ou o grupo receptor, e o último dígito é número de série da enzima em sua subclasse (FANI, 2016).

4. PROCESSO TÊXTIL

Como foi possível notar nos tópicos anteriores, a indústria têxtil passou por diversas mudanças durante o tempo, principalmente com relação ao maquinário utilizado e as matérias-primas, mostrando que a tecnologia está sempre reinventando o processo. Porém, o objetivo nunca muda, ela está sempre na categoria de indústria de transformação, já que é responsável por transformar as fibras em fios, os fios em tecidos e os tecidos são confeccionados, tornando peças de vestuário e têxteis domésticos.

O processo produtivo pode variar dependendo do produto que deseja-se obter no final, porém, se resume basicamente nas etapas mostradas na Figura 3, contendo o sequenciamento de maneira geral da cadeia têxtil.

Figura 3: Fluxograma da Cadeia Têxtil



Fonte: IEL(2000)

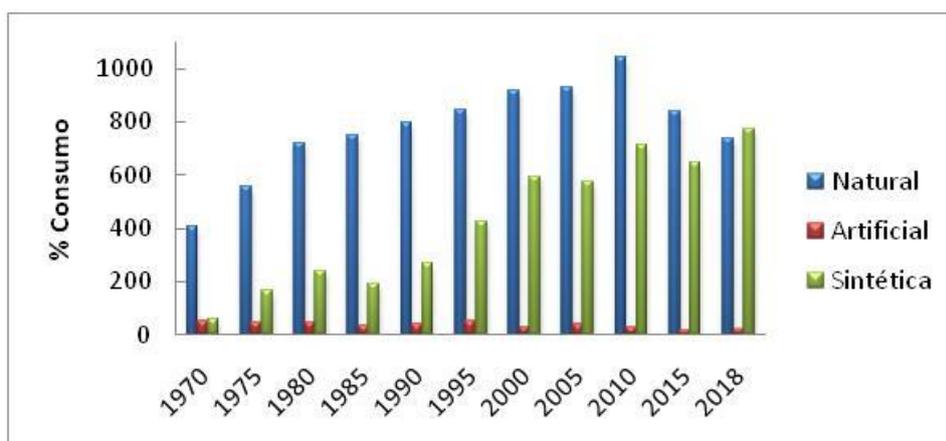
O fluxograma começa mostrando a classificação das matérias-primas divididas pela sua origem, indicando que após essa escolha, o processo começa de fato na fase de fiação, seguindo para tecelagem ou malharia - dependendo do objetivo da peça final, podendo passar pela etapa de estamparia/tingimento (acabamento) e finalmente, o tecido pronto vai para a confecção. Sabe-se que o procedimento depende exclusivamente do produto desejado, portanto, algumas etapas podem ser acrescentadas ou até mesmo, suprimidas. Os tópicos em sequência conduzirão a um maior detalhamento de cada estágio.

4.1 - Matéria-Prima

Segundo o fluxograma apresentado na Figura 3, pode-se notar que as fibras têxteis em geral, são classificadas em três grupos segundo a sua origem: fibras sintéticas, artificiais e naturais. De acordo com Martins (1997), a composição das fibras naturais é à base de celulose e proteína, presentes no algodão, no linho, na seda e na lã. Já as fibras artificiais são feitas a partir da manipulação da cadeia polimérica das fibras naturais, representada pela viscose e o acetato de celulose. As fibras sintéticas são formadas por polímeros de alto grau de polimerização, obtidos por síntese a partir de monômeros derivados do petróleo, como o propileno e a poliacrilonitrila (MARTINS, 1997).

Na Figura 4, pode-se notar como foi o consumo das principais fibras nas últimas cinco décadas no Brasil. A base dos dados para montagem do gráfico do anuário da ABIT de 2018, valores em 1.000 toneladas.

Figura 4: Consumo industrial de fibras e filamentos no Brasil no período de 1970 a 2018



Fonte: ABIT, 2018.

Pode-se concluir pelos dados que as fibras naturais, com o algodão em destaque, há muitos anos tem sido o substrato mais utilizado, porém em 2018, já é possível ver que as fibras sintéticas também vêm ganhando destaque no mercado de industrialização.

4.2 - Fiação têxtil

Sabe-se que a qualidade do produto final está diretamente relacionada com o fio que será utilizado, logo, a escolha do mesmo nessa etapa do processo é imprescindível, pois é de acordo com as propriedades da fibra que se fabrica certo tipo de tecido. Como por exemplo,

fios mais grosseiros são empregados em tecidos tais como jeans e brim, enquanto os tecidos mais delicados são fabricados com fios mais finos (BEZERRA, 2001).

O processo de fiação mais comum é constituído das etapas a seguir, com foco no algodão como matéria prima, que segundo PEREIRA (2009) são:

- Abertura da fibra: os fardos compactados de algodão são abertos;
- Limpeza: retirada de todos os corpos estranhos provindos da plantação como cascas e folhas, gerando uma manta de fibras;
- Para finalizar, as fibras são orientadas em uma mesma direção, paralelamente, e, sofrem um processo mecânico de torção, fazendo com que se prendam umas nas outras por atrito, transformando-as em fitas.

Os equipamentos utilizados nesta etapa são: abridores, cardas, reunideiras, laminadeiras, penteadeiras, passadores, maçoaroeiras e filatórios. Os equipamentos usados vão depender do tipo de filatórios. Nas Figuras 5 e 6, são apresentados os modelos de abridores e cardas, respectivamente.

Figura 5: Abridores de Fardo para indústria têxtil da marca BENEKS MAKINA



Fonte: BENEKS.

Figura 6: Carda de algodão para indústria têxtil



Fonte: CC BY-SA 3.0

4.3 – Tecelagem

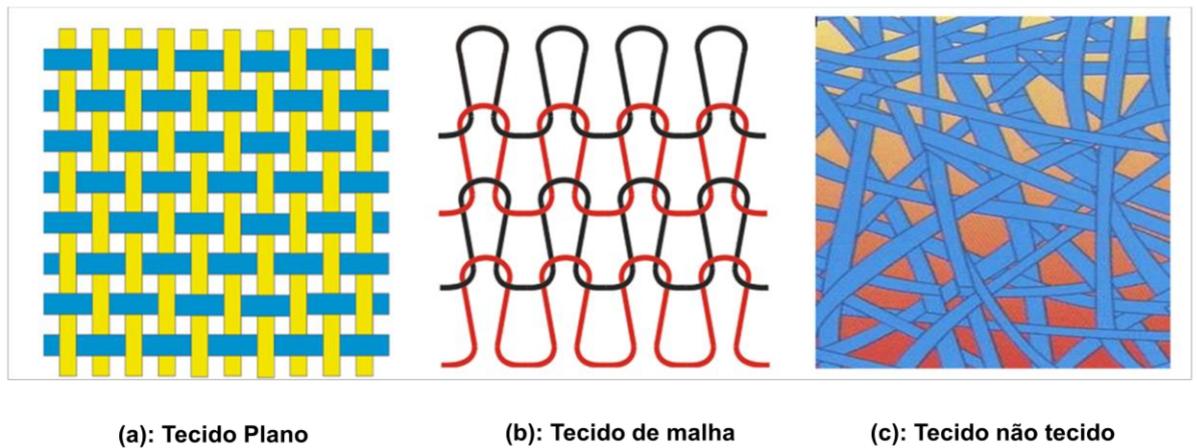
A etapa subsequente na cadeia têxtil é a tecelagem, que recebe esse nome por causa dos equipamentos utilizados: os teares; são eles que fabricam o tecido. Ao longo da história, pode-se observar que estão sempre em constante aperfeiçoamento tecnológico, buscando melhorias na qualidade do produto final e na velocidade de produção.

A exemplo disto, um dos teares mais tradicionais são as famosas lançadeiras, que estão obsoletas. Hoje, utiliza-se de teares como Projétil, Jato de ar e Pinça entre outros. Para mensurar em quantidade como a tecnologia avançou, de acordo com Azevedo (1997) um tear com lançadeira produzia em média 9,8 metros de tecido/hora, e atualmente, segundo Alves (2010) um tear moderno é capaz de produzir cerca de 38,2 metros de tecido/hora (AZEVEDO, 1997; ALVES, 2010).

O tipo de tecido obtido nessa parte do processo depende da forma com que ele será fabricado, porque podem ser fabricados tecidos planos, tecidos malhas e até não tecido. Basicamente o que diferencia os tecidos é a estrutura de entrelaçamento; no tecido plano o entrelaçamento é feito em ângulos retos. Na malharia, a técnica consiste na passagem de uma laçada de fio através de outra, e os fios são tramados na mesma direção, proporcionando ao tecido uma maior flexibilidade e elasticidade. Por fim, as fibras do não tecido são posicionadas ao acaso, que tem como característica serem flexíveis e porosas (PEREIRA, 2009).

Nas Figuras 7(a), (b) e (c), são apresentados exemplos de como as fibras são estruturadas na tecelagem.

Figura 7: Estruturas das fibras na tecelagem



Fonte: Roberto Pianco, 2016.

Contudo, para que a tecelagem tenha um bom resultado, é necessário que os fios passem por outras sub-etapas para preservação do mesmo. Logo, a primeira delas é a urdissagem que tem por finalidade unir vários fios, que estão paralelos entre si, em um determinado comprimento pré-estabelecido (PEREIRA, 2009).

Posteriormente, é feita a engomagem, que é uma etapa fundamental antes da tecelagem, pois todo o processo de tecer envolve tensão, flexão e até atrito dos fios em partes mecânicas do tear, com isso, as fibras se soltam dos fios, causando rupturas nas mesmas prejudicando a qualidade do processo. Então, para resolver esse problema, existe a engomagem que tem o objetivo de revestir os fios com uma substância que consolida as fibras, protegendo-as de desfiar (HASULY e TRZASKO, 1986).

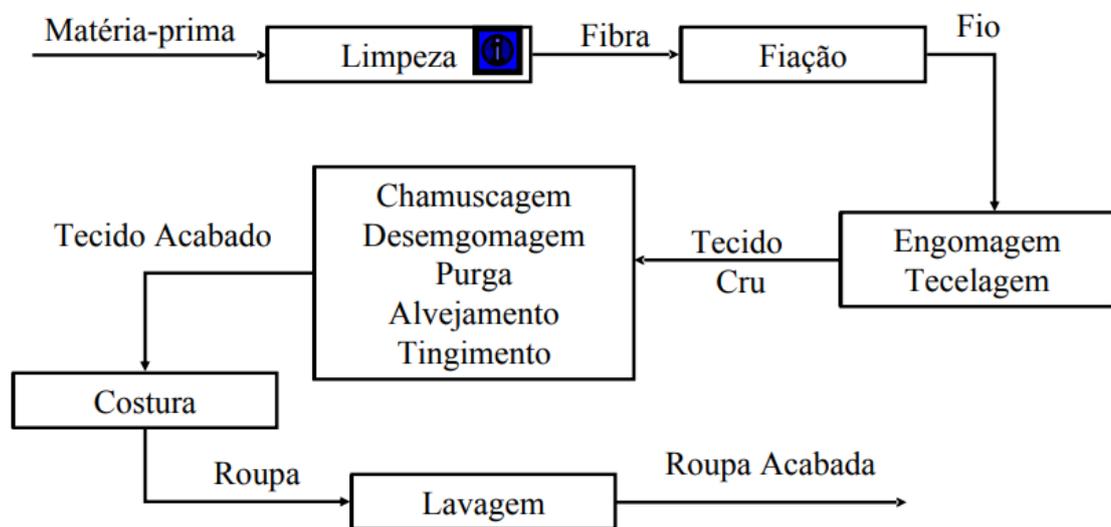
O processo é simples, e consiste em se aplicar uma película de goma, que podem conter substâncias como amidos, dextrinas, colas, celulose (celulose carboximetilica), álcool polinílico e entre outros, preparada em geral a quente. A goma é aplicada aos fios que passam por rolos espremedores para remover o excesso e finaliza em uma câmara aquecida, promovendo a secagem da goma aderida a fibra. Todo esse processo melhora a resistência a tração e a abrasão, proporcionando fios mais lisos e mais bem lubrificados (HASULY e TRZASKO, 1986).

O tecido obtido é nomeado de tecido cru, portanto, a partir de agora, começa o beneficiamento do tecido pela indústria têxtil, que se refere aos processos que ele será submetido após o tear, cujo principal objetivo é aprimorar as características visuais e sensitivas do material têxtil, agregando valor ao mesmo.

4.4 – Beneficiamento têxtil

Para melhor compreensão das etapas que envolvem o beneficiamento têxtil, a Figura 8 apresenta uma forma simplificada dessa segunda parte do tratamento dos tecidos, que são chamuscagem, desengomagem, purga, alveamento e tingimento. As operações podem ser físicas, químicas, enzimáticas ou físico-químico.

Figura 8: Fluxograma com as etapas que compõem o beneficiamento têxtil



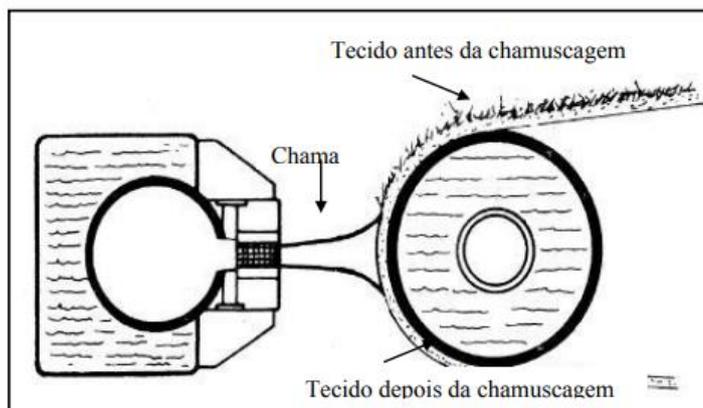
Fonte: COELHO e AMARAL, 2008.

4.4.1 – Chamuscagem

Esta etapa tem por finalidade queimar as fibrilas, conhecido popularmente como fiapos, que ficam salientes sobre o tecido. Esse processo é feito através de chamas, ou seja, em altas temperaturas, de tal forma que apenas as fibras sobressalentes são queimadas. Esta etapa visa auxiliar um passo posterior: a estampagem, pois ao final deste tratamento se obtém um tecido mais uniforme (SENAI, 2015).

Na Figura 9, pode-se notar o antes e depois do tecido após o processo de chamuscagem.

Figura 9: Ilustração de chamuscagem do tecido



Fonte: JORGE, 2007.

4.4.2 - Desengomagem

Como o próprio nome sugere, esse beneficiamento tem a finalidade de remover a goma que fora aplicada alguns passos antes da tecelagem, visto que a goma produz uma camada protetora no tecido, é necessário retirá-la. Existem três métodos convencionais para essa etapa: desengomagem enzimática, desengomagem ácida e a desengomagem oxidativa (FREITAS, 2002).

4.4.3 - Purga

A purga - conhecida também como cozimento, tem como foco remover as impurezas que estão nas fibras (naturais e sintéticas) como as gorduras, resinas, graxas, óleos e entre outros, e esse processo é feito principalmente no algodão. Ao final do processo, deseja-se que as fibras tenham hidrofiliabilidade, ou seja, à capacidade de absorver e reter água. Todo esse processo pode ser feito através do método alcalino, enzimático ou usando materiais solúveis em água quente (PEREIRA, 2009).

4.4.4 – Alvejamento

É uma das últimas etapas e tem por base utilizar um tratamento químico para retirar toda e qualquer pigmentação que possa existir nas fibras brancas ou de cores claras, principalmente no algodão, e ao fim do procedimento de descoloração, tem-se uma brancura acentuada do material têxtil. O composto químico usual é o peróxido de hidrogênio ou hipoclorito de sódio. Importante ressaltar que logo após a aplicação dos químicos, é indispensável lavar o tecido, causando uma alta carga poluidora (PEREIRA, 2009).

4.4.5 – Tingimento

Finalmente, o tingimento é o último passo do beneficiamento têxtil, que tem como objetivo proporcionar cor ao tecido. Esse estágio é realizado com uma gama de corantes diversificados, sendo a maioria deles sintéticos, derivados do petróleo e alcatrão (EPA, 1997).

De forma geral, o tingimento se divide em três sub-etapas. Na primeira, o corante é aplicado sobre a superfície da fibra e a absorção é feita camada por camada. Conseqüente, o corante absorvido se fixa por meio de ligações químicas, podendo ser ligações iônicas, de hidrogênio ou Van Der Waals, sendo que o tipo de ligação depende exclusivamente da natureza do material e do tipo de corante utilizado; ainda nessa etapa, o calor e outros produtos químicos podem ser usados para facilitar essas ligações. Por fim, para finalizar o tingimento, o tecido é lavado para remover os corantes que não se fixaram e os agentes químicos que foram empregados (EPA, 1997; GAROZZO, 1965).

Como a absorção dos corantes nas fibras não é 100% efetiva, na perspectiva ambiental, essa etapa do processo é a que mais impacta negativamente, com alto grau de poluição, inclusive, os corantes sintéticos foram classificados como poluentes emergentes (HORVAT et al., 2012).

Após o tingimento, a etapa de estamparia, que é opcional, oferece desenhos e formas no tecido que pode ser realizada por vários métodos, sendo a mais empregada a técnica com rolos – tela rotativa (EPA, 1997).

Depois de todas as etapas, vem o acabamento, que fornece caimento, brilho, resistência e outras características visuais e sensitivas para o tecido, finalizando com o corte.

5. ENZIMAS NA INDÚSTRIA TÊXTIL

Como citado anteriormente, existem algumas formas alternativas para a realização de cada etapa da cadeia da indústria têxtil. A utilização das enzimas tem sido uma forma de amenizar as condições químicas severas com a intenção de minimizar os impactos nas fibras e, principalmente, reduzir os poluentes no meio ambiente.

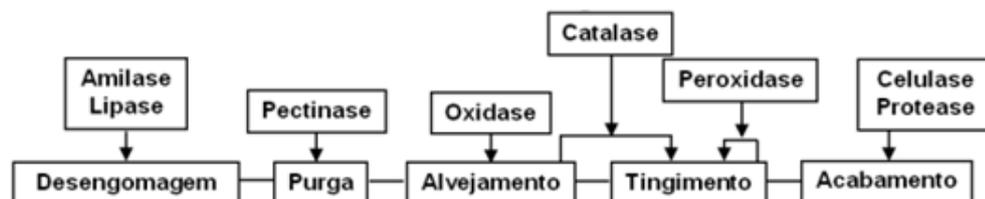
A forma mais tradicional de utilizar as enzimas é simplesmente adicioná-las ao processo que ela será usada e após a ação enzimática, drená-las no efluente. Contudo, essa não é a maneira mais economicamente viável, já que o gasto para extração e purificação da

mesma pode gerar um alto custo. Justamente por esse motivo, métodos complementares podem ser utilizados no processo, como a imobilização enzimática, que contribui com uma maior estabilidade de temperatura, pH, propriedades cinéticas e até no uso de auxiliares. No entanto, métodos e benefícios da aplicação de enzimas imobilizadas não é objetivo do estudo.(CHAKRABORTY e MADHU, 2017)

Os processos não são realizados totalmente com as enzimas, em algumas etapas elas substituem os agentes químicos, porém, muitas vezes elas são usadas para complementar o tratamento no tecido. Isto deve-se ao fato de a difusão enzimática nas fibras ainda ser uma limitação operacional, portanto, as etapas nas quais são mais utilizadas, são as fases onde não é necessário que a enzima interaja mais profundamente com as fibras, e sim, na superfície. Outro motivo pelo qual a utilização de enzimas na indústria têxtil é reduzida, é a dificuldade de encontrar enzimas que suportem as variações de temperatura e pH (BASTO et al., 2007).

As enzimas mais usadas no processo têxtil são: amilase, lipase, pectinase, oxidase, catalase, peroxidase, celulase e protease, aplicadas nas etapas mostradas na Figura 10.

Figura 10: Fluxograma com as etapas do processo têxtil onde as enzimas podem ser utilizadas



Fonte: FERREIRA, 2012.

Cada etapa do fluxograma mostrado já fora explicitada no tópico anterior, mostrando qual é a função de cada uma e qual o benefício que ela traz para o processamento do tecido. Portanto, nessa seção as etapas serão desenvolvidas com o foco em comparar o procedimento convencional com o procedimento utilizando as enzimas.

5.1 – Desengomagem Enzimática

No processo convencional, para a remoção da goma, dispõe-se de hidrólise ácida, com o uso de ácido sulfúrico/clorídrico, ou, agentes oxidantes, como persulfato de amônio/potássio, e também, pode-se usar de peróxido de hidrogênio (FURLAN, 2012).

Nesse tipo de procedimento, a desengomagem e o alveamento são feitos na mesma etapa, pois o peróxido de hidrogênio, por exemplo, é o elemento principal em ambas as etapas. Tudo isso é feito em um ambiente alcalino e a temperaturas altas, próximas a 100°C (CARMO et al., 2012).

No processo enzimático, a enzima aplicada é a amilase, podendo ser classificada pela sua fonte de origem: pancreática, de malte e de bactérias, ou, pelo seu mecanismo de degradação, dividido em α -amilase que catalisam a hidrólise de forma aleatória no interior da molécula de amido e produz maltose e glucose (endoamilases); as β -amilase, que hidrolisam as extremidades não redutoras do substrato produzindo unidades de maltose (exoamilases); e as glucoamilases, que liberam glucose do terminal não-redutor da molécula do substrato (amiloglicosidases) (REED, 1975).

As α -amilases são as mais indicadas para o uso na indústria têxtil, visando esse processo de remoção do amido, já que elas são capazes de selecionar a cobertura de amido e não ataca as fibras. Além do mais, o processo é beneficiado, pois a goma formada pelo amido é uma macromolécula insolúvel em água. Então a enzima irá digerir o amido, diminuindo o seu peso molecular, transformando-o em dextrinas e maltose, que são solúveis na água. Logo, em etapas posteriores, tais polissacarídeos poderão ser removidos através da lavagem do tecido (TIMAR-BALÁZSY e EASTOP, 1998).

Segundo alguns estudos realizados em 2012, o uso de sal ou ondas ultrassônicas no processo desengomagem enzimática melhora a eficiência das enzimas dado que eles atuam como estabilizadores, contribuindo para a diminuição da dosagem da enzima e tornando possível o uso dela em condições moderadas de processo (CHAND et al., 2012; WANG et al., 2012).

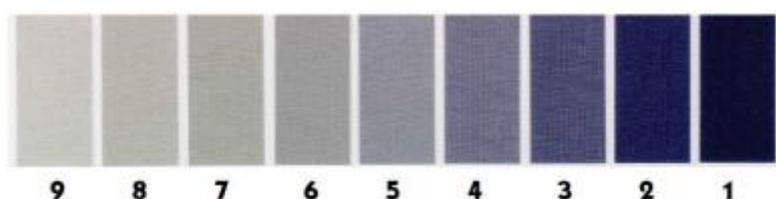
O tipo de amilase mais utilizada é a de origem bacteriana, como as produzidas pelos *Bacillus amyloliquefaciens* e *Bacillus subtilis* aplicáveis nas faixas de temperatura de 50 a 80° C, e pH entre 6 e 7. Porém, é importante ressaltar que elas são sensíveis a variações de pH (MONTEIRO e SILVA, 2009).

Segundo Furlan (2012), em seu trabalho de pesquisa e aplicação, ele utilizou para o teste de desengomagem enzimática uma enzima fornecida pela empresa Novozymes, a α -amilase E.C. 3.2.1.1, cujo nome comercial é Biokey DSK. Esta amilase que tem origem no *Bacillus licheniformis* foi aplicada no processo com pH de 5,0 – 7,0 e temperatura entre 50 -

110°C. O autor concluiu que o processo enzimático é tão eficiente quanto o processo convencional (FURLAN, 2012).

Para tal comprovação, o método adotado foi o uso da escala de Tegewa, mostrada na Figura 11. Uma solução de iodo e iodeto de potássio é usada para determinar a quantidade de amido presente. Se ao aplicar a solução houver a formação de mancha azul/negro, há uma presença forte de amido: escala 1, caso contrário, uma coloração amarelo –pálida, indica que o amido presente foi hidrolisado de forma eficiente, logo, a presença dele é quase que inexistente: escala 9 (FURLAN, 2012).

Figura 11: Escala de Tegewa



Fonte: TAVARES, 2017.

No ensaio realizado por Furlan (2012), usando apenas a enzima amilase, ele obteve um residual menor que 0,1% de amido no tecido, sendo que a comprovação foi feita com base em fotos. Este valor obtido corresponde a uma nota 9 na escala Tegewa (FURLAN, 2012).

Outro estudo realizado por Şahinbaşkan e Kahraman (2011) utilizando uma α -amilase pancreática, com banho a 40°C, pH 7,4 e durante 15 minutos, alcançou como resultado pelo teste de Tegewa, a remoção de 90% do amido que estava presente no tecido cru, ou seja, escala 9 da tabela, comprovando a eficiência do uso de amilase na desengomagem (ŞAHINBAŞKAN e KAHRAMAN, 2011).

5.2 – Biopurga

O procedimento chamado de purga, que visa a remoção de impureza das fibras, se for realizado pelo procedimento convencional, faz-se o uso de hidróxido de sódio, com a temperatura em torno de 70 a 90°C e pH elevado. Após a aplicação, o tecido deve ser enxaguado e neutralizado com agentes auxiliares (EINSCHLAG, 2011).

Um método alternativo e que beneficia o meio ambiente é a purga utilizando enzimas, o qual passa a ser chamado de biopurga/biopreparação. A retirada das impurezas que são

classificadas como não celulósicas das fibras é feita em pH neutro, de 6 a 8, e temperatura de 50 a 65°C (SILVA, 2013).

Alguns exemplos de enzimas aplicadas são as pectinases, produzidas por diferentes arranjos de plantas e micro-organismos como fungos, bactérias e as leveduras. Elas são formadas por um complexo de polissacarídeos ácidos, solúveis em água e estão unidos por ligações α -1,4-D-galacturônico. Como a pectina é uma substância não celulósica, quando ela é degradada e removida do algodão, as outras substâncias não celulósicas também serão removidas facilmente, sem danos à celulose (KEKOS et al, 2008).

Basicamente, a pectina atua como um material adesivo na parede primária do algodão e quando a pectinase age, ela desarranja a estrutura da pectina que poderá ser removida sem esforço por uma lavagem (MONTEIRO e SILVA, 2009).

Para a ação ótima da pectinase, alguns estudos realizados mostram que os parâmetros que mais influenciam no banho são: concentração de enzimas, o tempo, a temperatura, o pH e até mesmo o tratamento mecânico que será usado. Segundo Li e Hardin (1998), a concentração da enzima está na faixa de 0,05 a 2%, mostrando que são eficazes em concentrações baixas, e na temperatura de 40 - 60°C (LI e HARDIN, 1998).

Para complementar, Ismal (2008), em seus testes usando pectinase de microrganismos *Bacillus*, mostra que o pH ótimo da pectinase deve estar com entre pH 5,0 e 9,0, a uma temperatura de 55°C. Já o banho pode ser mantido alcalino ou ácido, vai depender da pectinase que irá trabalhar (ISMAL, 2008).

Segundo Sawada e Ueda (2001), a aplicação de amilases, lípases e pectinases tem um bom resultado ao analisar a remoção das ceras e gomas, substituindo o uso de soda cáustica. Outro estudo realizado por Hartzell e Hsieh (1998), indica que o uso conjunto de pectina com a celulase proporciona um melhor efeito na retirada de impurezas. A pectinase desestabiliza a primeira camada da fibra formada pela pectina, e então, adiciona-se a celulase no banho de biopreparação, eliminando as impurezas pela hidrólise da celulase, promovendo a retirada do aspecto amarelado da fibra (SAWADA e UEDA, 2001; HARTZELL e HSIEH, 1998).

Ao pensar na biopurga, todas essas enzimas podem ser utilizadas, porém, é indispensável a presença de surfactantes que restringe a tensão superficial das fibras fazendo com que a enzima se fixe melhor nos micro poros do tecido e, o uso de agentes quelantes, cujo o objetivo é remover os íons metálicos presentes nas fibras, formando complexos

hidrossolúveis que faz com que a pectina se torne mais acessível ao ataque das pectinases (SILVA, 2013).

Experimentos realizados por Pimentel (2010) utilizando pectinase alcalina: pectatoliase (E.C. 4.2.2.2), com nome comercial Bioprep 3000L fornecida pela Novozymes, mostrou que sua maior atividade enzimática foi com o pH 8,5 e temperatura a 55°C. Para o experimento, observou-se que ao adicionar o agente surfactante Quimerol 535, da Quimisa, apresentou um aumento no teor de pectina removida das fibras que conseqüentemente, obteve um grau de branquidão satisfatório, comprovando que a adição dessas substâncias auxilia no processo (PIMENTEL, 2010).

A metodologia aplicada para observar o residual de pectina, foi o tingimento com azul de metileno no tecido. A amostra utilizando a pectinase com o Quimerol adicionado no início do processo foi a que apresentou remoção de 60% comparando com a purga alcalina convencional. Na Figura 12 pode-se verificar a diferença de coloração (PIMENTEL, 2010).

Figura 12: Amostras de tecidos tingidas com azul de metileno para verificação da remoção de pectina



Fonte: Pimentel, 2010.

A mesma metodologia citada anteriormente foi aplicada por Furlan (2012) para identificar a porcentagem de pectina removida através do tingimento com azul de metileno. Em seu estudo, ele utilizou a pectinase alcalina, classificada como pectatoliase (E.C. 4.2.2.2), o mesmo usado no caso anterior. A pectinase é de origem *Bacillus licheniformis*, aplicada a um pH ótimo de 6,5 – 8,5, e temperatura entre 55-75°C. O uso da pectinase pura levou a uma remoção de 91% da pectina que estava presente (FURLAN, 2012).

5.3 – Bioalveamento

A etapa do alveamento sucede ao da purga dado que além de remover resquícios advindos da purga, ela também tem a função de branquear ainda mais o tecido. Para o tratamento convencional, a base de compostos químicos, os mais comuns a serem utilizados são peróxido de hidrogênio e hidróxido de sódio, garantindo o grau de alvura necessário para o tingimento. O pH do banho está entre 10-11 e temperatura de 96-100°C (KARMAKAR, 1999).

O peróxido de hidrogênio tem por vantagem ser um ótimo agente branqueador oxidativo, já que é estável, não amarela o tecido durante o tempo de armazenamento e tem baixo custo. Porém, suas condições de aplicação requerem alto consumo de energia, pode gerar danos as fibras e após o procedimento, é necessária uma lavagem pesada para retirada de todo peróxido de hidrogênio, causando poluição (GURSOY e HALL, 2001).

Todavia, no alveamento enzimático, pode-se utilizar das enzimas catalase, lacase e glicose-oxidase. A lacase é uma enzima que faz parte do grupo das oxidases, ou seja, elas catalisam reações de oxidação/redução de fenóis e aminas aromáticas, reduzindo o oxigênio molecular (O₂) em água. É comum, ao utilizar a lacase, fazer uso em conjunto com mediadores, visto que eles ampliam o potencial de oxidação do substrato, produzindo uma alta eficiência da enzima (MOROZOVA et al., 2007).

Os mediadores são substratos da lacase, podendo ser sintéticos, naturais, metabolitos fúngicos ou compostos derivados de lignina, que possuem baixo peso molecular, e faz a transferência de elétron para o centro reativo da lacase. Um mediador para ser aplicável, deve ser um bom substrato para a lacase (MOROZOVA et al., 2007).

Segundo Pereira et al. (2005), em seus estudos sobre o aumento do branqueamento através do uso da enzima lacase de uma cepa de *Trametes hirsuta*, de origem fúngica, a temperatura de 55°C e pH 5, obteve-se como resultado uma melhoria na brancura do algodão, que provavelmente foi possível devido a oxidação de flavonóides – compostos de estruturas fenólicas (PEREIRA et al., 2005).

Outra enzima que pode ser aplicada no branqueamento, quando utiliza-se o método tradicional (peróxido de hidrogênio) é a catalase. Ela se torna um método alternativo visto que a catalase ira decompor o peróxido de hidrogênio residual (H₂O₂) em água e gás oxigênio. Suas condições de atuação são pH neutro e temperatura entre 20-50°C (DOSHI; SHELKE, 2001).

No experimento realizado por Amorim et al. (2002), foi utilizado uma catalase comercial, fornecida pela empresa NovoNordisk, cujas condições de aplicação eram pH 5 e temperatura 55°C. Como resultado, o ensaio mostrou um clareamento satisfatório do tecido e, uma diminuição de etapas de lavagem e volume de efluente.

Ainda tratando de enzimas a serem utilizadas no branqueamento enzimático, estudos vem mostrando a possibilidade de não utilizar o peróxido de hidrogênio químico comercializado, e sim, a produção deste composto através da oxidação de glicose catalisada pela enzima glicose-oxidase (FAROOQ et al., 2013).

A glicose oxidase é uma flavoproteína - flavoproteínas pertencem a uma classe de enzimas oxidantes, com o ácido nucléico da flavina-adenina dinucleotídeo (FAD) – que tem por função catalisar a oxidação da β -D-glicose pela molécula de oxigênio disponível, formando a glucolactona que na sequência, é hidrolisada espontaneamente formando o ácido glucónico e o peróxido de hidrogênio. A glicose oxidase é comumente obtida a partir do fungo *Aspergillus niger*, porém, também pode advir dos microrganismos das espécies *Aspergillus*, *Penicillium* ou *Saccharomyces* (BANKAR et al., 2009).

Segundo Anis et al, (2008, em seus estudos utilizando glicose oxidase, mostraram que as condições ótimas para gerar peróxido de hidrogênio seriam a temperatura de aproximadamente 55°C e com pH levemente ácido a neutro (4,5). Contudo, nesta faixa de temperatura e pH ele é inativo, portanto, é necessário que eleve a temperatura para 90-120°C e pH 10,5 – 11. Ao final do experimento, os autores citados observaram que o grau de branqueamento utilizando a enzima era 7% menor do que o branqueamento utilizando o peróxido de hidrogênio tradicional, mostrando um excelente resultado.

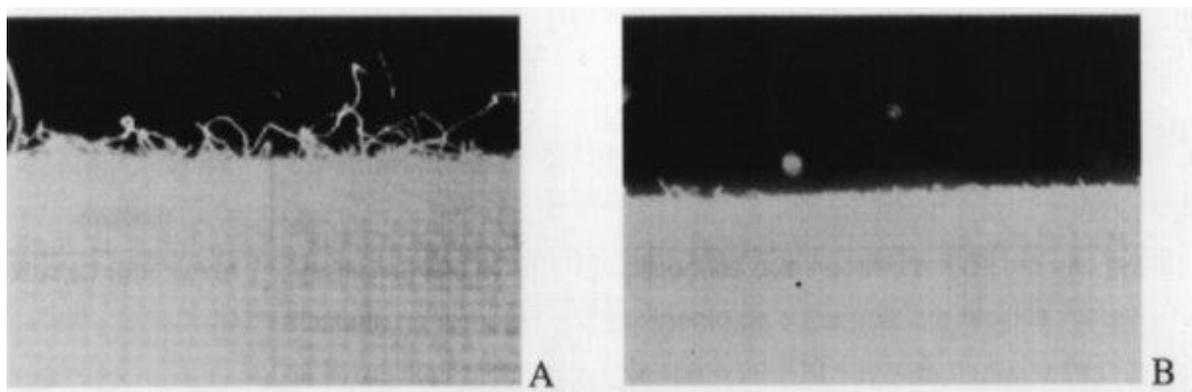
Outro trabalho, desenvolvido por GISELA et al. (2001), utilizando glicose oxidase (*Aspergillus niger*) gerou peróxido de hidrogênio a um pH de 5,1 e 35°C. Contudo, para a ativação do composto, foi necessário ajustar o banho para o pH de 7 e 85-90°C de temperatura. Ao final do experimento, o grau de branqueamento atingido foi satisfatório, em comparação com o peróxido de hidrogênio comercial (GISELA et al., 2001).

5.4 – Biopolimento

A etapa conhecida como biopolimento/bioacabamento faz o uso das celulases para remover as fibrilas que emergem da superfície dos fios de algodão, assim, ao fim do processo,

nota-se um tecido com maior uniformidade, maciez e maior resistência para as próximas lavagens, evitando a formação de “pilling” e a aparência de tecido desbotado (TYNDALL, 1992). Na Figura 13 pode-se notar claramente a diferença de um pedaço de tecido de algodão não tratado (A) contrastando como tecido após passar pelo tratamento enzimático (B).

Figura 13: Tecido de algodão não tratado (A) versus tecido após o tratamento enzimático com celulase(B)



Fonte: BioTimes, 1998

Pensando na aplicação industrial, as celulases mais empregadas nas fábricas são as produzidas por fungos, e com matriz extracelular, porque são mais simples de obtenção. Os fungos mais usados são: *Aspergillusniger*; *Humicolainsolens*, *Penicilliumfuniculosum* e *Trichodermareesei* (ANDREAUS, 2001).

A celulase pode ser dividida em três classes, que são as mais comuns na indústria têxtil: a celobiohidrolase (CBH) responsável por agir nos terminais que levam à celobiose, endoglucanase (EG) que quebra as ligações glicosídicas das cadeias de celulose, iniciando a hidrólise, e a β -glicosidasicas, que hidrolisa a celobiose em glicose (FARINAS, 2011).

As celulases atuam de forma com que ocorra uma hidrólise controlada da celulose, enfraquecendo as fibrilas, que serão posteriormente separadas dos fios com a ajuda da ação mecânica. Contudo, se houver uma agitação em excesso, em alta concentração de celulase, o tecido perderá massa e resistência, já que ocorrerá a quebra das extremidades das fibras que foram enfraquecida pela enzima (LENTING e WARMOESKERKEN, 2001a).

Para que ocorra a hidrólise pela celulase, é indicado que as concentrações enzimáticas da enzima bruta estejam entre 0,05 a 5% do peso do tecido e que exista uma forte ação

mecânica no procedimento (MIETTINEN-OINONEN et al., 1997). Segundo Paulo et al. (1998), as condições para o uso da celulase proveniente do fungo *Trichoderma reesei* são 50°C e pH 5, com a ajuda de um sistema de solução tampão.

Estudos realizados por Ferreira (2012), usando uma enzima com nome de Quimilase BP, composta apenas por celulase, produzida e fornecida pela empresa Quimisa localizada na região do Vale do Itajaí, manteve a melhor estabilidade enzimática na ausência de substrato comparado com as demais enzimas na temperatura de 50°C, em um pH de 4,8 durante um período observado de 120 minutos. Cinco tipos de fios foram testados e foi possível identificar que o tratamento aplicado nos fios de teste obtiveram um bom resultado para remoção de pilling, porém, as análises não foram suficientes para dizer em qual deles alcançou o melhor resultado (FERREIRA, 2012)

Outro estudo, realizado por Souza (2013), também fez o uso da enzima Quimilase BP. Os testes foram realizados em um sistema com a temperatura a 50°C e pH de 4,8. Cinco fios diferentes estavam disponíveis para os testes e comprovou-se pela análise das fibrilas que houve uma redução de *pilling* em todos os tipos de fios, principalmente nos fios Carded 13/1 - número de voltas que possui, por unidade de comprimento, nesse caso, 13 voltas (torção) por metro. Importante ressaltar que em todos os testes, os fios se encontravam mais fragilizados depois do biopolimento, conforme previsto (SOUZA et al., 2013).

Em ambos os trabalhos, verificou-se que a eficiência da ação enzimática aumentava à medida que se tinha uma maior área superficial, logo, a reação com a celulase é favorecida pela diminuição do grau de empacotamento do fio, já que o ataque a fibra é mais eficiente do que ao fio (FERREIRA, 2012; SOUZA et al., 2013).

5.5 – Bioestonagem

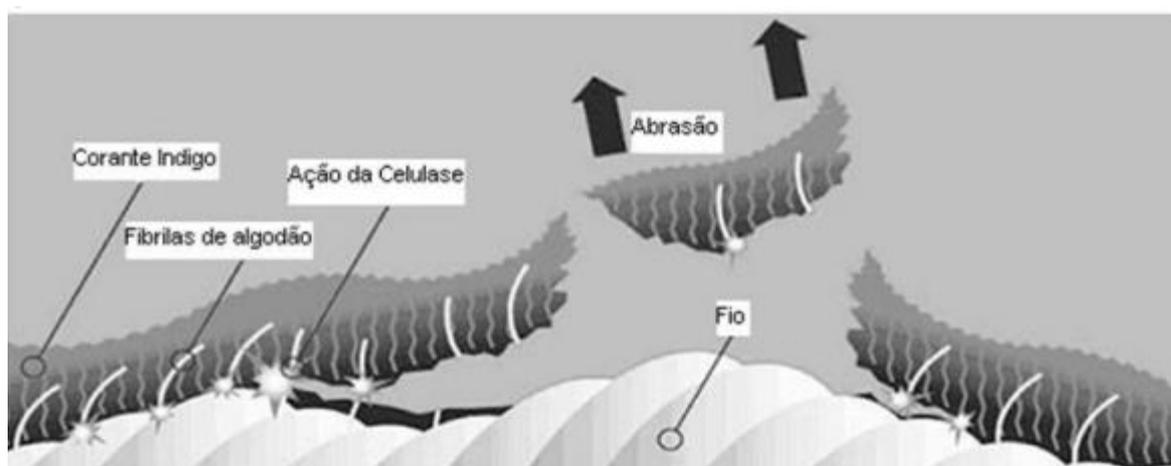
Outro tipo de aplicação da celulase é nos tecidos Denim. Eles são conhecidos por constituir a matéria-prima do Jeans. Este tecido tem por característica ser de algodão sarjado, o que proporciona uma resistência elevada. Quando o Jeans está no processo, um método tradicional de lavagem é com as pedras-pomes, que removem as quantidades excessivas do corante aplicado - o índigo, expondo superfícies brancas no tecido, que fornecem o aspecto de desgaste no jeans. Após as pedras, o tecido passará pelo processo de clareamento com o uso de hipoclorito de sódio (PEDERSEN e SCHNEIDER, 1998).

Todavia, as pedras-pomes possuem algumas desvantagens como deixar resíduos das pedras nas roupas, geração de pó da pedra quando elas estão sofrendo atrito, podendo gerar obstruções nas tubulações/drenos e, por fim, geram fragmentos na água residual, que tem que ser tratada ao final da lavagem.

No método alternativo, usando enzimas, a celulase é utilizada com a mesma função e reproduz o efeito de jeans lavado (*stonewashed*), conferindo ao tecido o aspecto desbotado desejável. Essa forma de realizar a bioestonagem foi apresentada na Europa por volta de 1989 e nos Estados Unidos em 1990. O uso da enzima proporciona ao Denim o mesmo aspecto desbotado e diminui a resistência à flexão, tornando o tecido mais agradável, principalmente ao toque (FREITAS, 2009).

O método descrito pode ser observado na Figura 14, onde está representada a ação das celulases no processo para obtenção do jeans lavado.

Figura 14: Ação das celulases em tecidos Denim



Fonte: SARAVANAN et. al., 2009.

Porém, é necessário que se tenha cuidado ao selecionar a temperatura e dosagem da celulase, uma vez que não controlado, ela irá promover a redeposição do corante índigo removido no fio branco ou no fio tingido devido à alta afinidade do índigo pela celulose. Tal problema é chamado de efeito *backstaining* (ANDREAUS, 2001).

Para que o problema não ocorra, é indicado o uso de celulases neutras, como a *Humicolainsolens*, já que o índigo possui baixa afinidade por elas, quando comparada com a afinidade que ele tem pelas celulases ácidas (ANDREAUS, 2001). Segundo Cegara (2000) as celulases neutras devem estar em um pH 6-8, a temperatura de 55°C, com atuação no tecido

em cerca de 1 hora. Essas condições de atuação são reforçadas por Andraeus (2001), dizendo que elas devem atuar em um pH entre 5,5 -8,0 a 50-60°C (ANDREAU, 2001; CEGARA, 2000).

Todavia, alguns estudos também mostram o uso de celulases ácidas, como é o caso da *Trichoderma reesei* de origem fúngica. A maior razão para seu uso é o seu baixo custo. Ao utilizá-la, é recomendado o emprego de um pH entre 4,5 – 6 (AUTERINEN et al., 2004).

As celulases ácidas são conhecidas por agirem de maneira mais agressiva no Denim, resultando em um tempo curto de lavagem. Entretanto, as celulases neutras são caracterizadas por terem uma ação menos agressiva e possuir tempos de lavagens mais longos (POLAINA e MACCABE, 2007, p 54).

Segundo Polaina e MacCabe (2007), algumas ações podem ser tomadas para reduzir o efeito de *backstaining*, como:

- Uso de enzimas celulases com uma atividade menos específica do índigo ou Denim;
- Adequar a composição de preparação da celulase para obter uma abrasão eficiente com pouco *backstaining*;
- Adicionar proteases durante a lavagem ou no passo onde ocorre a lavagem da celulase;
- Adição de produtos químicos anti-redeposição ou agente clareador durante as etapas de lavagem ou enxaguamento enzimático;
- Adicionar lipases durante o tratamento com a celulase (POLAINA e MACCABE, 2007).

Um estudo realizado por Ramakrishnan et al. (2006), utilizando *Trichoderma cellulase* e *Humicola cellulase*, obtidas da empresa Novozyme, foram aplicadas em condições de pH de 5 e 7, respectivamente, no processo de bioestonagem, e nos seus resultados pode-se notar que *Humicola cellulase* atingiu uma remoção do corante índigo de forma mais homogênea (RAMAKRISHNAN, et al., 2006).

6. CONCLUSÃO

Pôde-se perceber através do trabalho como a indústria têxtil sempre esteve presente na história da sociedade, já que a manufatura dos tecidos é uma das mais velhas tecnologias da humanidade, cuja contribuição é registrada desde os homens primitivos, que se vestiam de peles de animais, até os dias hoje, trazendo diversos estilos de vestuário.

O processo têxtil sofreu (e ainda sofre) grandes mudanças nos maquinários usados no processo, descobertas de matérias-primas, não mais presas apenas ao algodão, mas além de insumos naturais, também pode-se aplicar os artificiais, sintéticos, e até mesmo mudanças nos métodos do processo, deixando os antigos artifícios convencionais, para a aplicação da biotecnologia.

Foram apresentadas as etapas que envolvem a transformação das fibras em tecidos para peças de vestuários, artigos domésticos, de cama e mesa e outras infinitas aplicações que o tecido tem. Contudo o foco foi mostrar como a biotecnologia é aplicável na indústria têxtil, trazendo diversos benefícios para mesma.

Seu uso torna o processo mais sustentável, gerando menos poluição, resíduos, reduzindo o uso de água nos processos e gastando menos energia. E para que tal fato aconteça, as grandes responsáveis por essas mudanças nos processos são as enzimas, pois são de formulação natural, não possui toxicidade para o processo e atuam de maneira bem específica, sendo de fácil aplicação. Contudo, é necessário que suas condições de pH e temperatura estejam sempre sob controle, pois caso isso não aconteça, elas podem trazer efeitos indesejáveis para o processo, como o caso do *backstaining*.

Na indústria têxtil especificamente, pode-se usar da amilase com o intuito de remover a goma dos fios na etapa de desengomagem enzimática, as pectinases no processo de biopurga, removendo as impurezas não-celulósicas, as enzimas catalase, lacase e glicose-oxidase com o intuito de branquear os tecidos na etapa de bioalveamento, inclusive produzir peróxido de hidrogênio.

Também temos as celulasas no processo de biopolimento, onde a função da enzima é quebrar as microfibrilas do fio, fornecendo um aspecto agradável ao tecido e ajudando a uniformidade na etapa de tingimento, e, foi visto que a celulase atua também no processo de

bioestonagem, produzindo no tecido Denim o efeito de jeans lavado através da remoção do corante índigo.

Contudo, as enzimas ainda não possuem maior aplicabilidade no processo, devido ao alto custo de algumas enzimas, e muitas vezes, por possuírem um alto tempo reacional, quando comparado com o emprego tradicional de produtos químicos.

Portanto, pode-se concluir que a indústria têxtil descobriu uma significativa oportunidade de melhoria para o setor através do estudo da biotecnologia, com várias áreas de potencial aplicação das mesmas. Se o custo puder ser controlado, de forma que fique viável sua aplicação, as enzimas poderão ser usadas em várias outras partes do processo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIT - Associação Brasil de Indústria Têxtil, **Perfil do setor 2018**, disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>, 2018.

ALVES, P. L. **Reestruturação produtiva e os trabalhadores: um olhar atual sobre o setor têxtil em Sergipe**. Universidade Federal de Sergipe, dissertação de mestrado, Sergipe, março de 2010.

AMORIM, A. M.; GASQUES, M. D. G.; ANDREAUS, J.; SCHARF, M. **The application of catalase for the elimination of hydrogen peroxide residues after bleaching of cotton fabrics**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 74(3), 433-436, 2002.

ANDREAUS, J. **A aplicação de celulase em processos de desbotamento**. ISSN 0102-8235, RevistaQuímicaTêxtil, nº64, 2001.

ANIS, P.; DAVULCU, A.; EREN, H. A. **Enzymatic pretreatment of cotton - Part 1: Desizing and glucose generation in desizing liquor**. Fibres and Textiles in Eastern Europe, v. 16, p. 100-103, 2008.

AUTERINEN, A. L.; JONES, B.; YOON, M. Y. **Textile cellulases: searching molecules for improved performance**. AATCC ICandE, 2004.

AZEVEDO, G. H. W. **A Indústria Têxtil Brasileira: desempenho, ameaças e oportunidades**. Tese de mestrado, COPPEAD/UFRJ, abril de 1997.

BANKAR, S. B.; BULE, M. V.; SINGHAL, R. S.; ANANTHANARAYAN, L. **Glucose oxidase – An overview**. Biotechnology Advances, v. 27, n. 4, p. 489–501, 2009.

BASTO, C.; TZANOV, T.; PAULO, A. M. C. **Combined ultrasound-laccase assisted bleaching of cotton**. UltrasonicsSonochemistry, Amsterdam, v. 14, n. 3, p.350-354, march, 2007.

BEZERRA, A. P. S., **A indústria têxtil do Estado de Pernambuco: indicadores de competitividade e emprego no período de 1990 a 1999**. Dissertação de Mestrado – CME Universidade Federam da Paraíba, João Pessoa, 2001.

CARMO, R.A.S.; ROSA, J.M.; TAMBOURGI, E.B.; SANTANA, J.C.C. **Estudo de variáveis e de custos ecológicos no pré-tratamento de tecidos de algodão com peróxido de hidrogênio**. In: Quim. Têxtil, n.109, p. 30-38, ABQCT, 2012.

CEGARA, J. **Biotecnologia aplicada aos processos de química têxtil**. Tradução Agostinho S. Pacheco. Química Têxtil, v. 58, março de 2000.

CHAKRABORTY, J. N.; MADHU, A. **Developments in application of enzymes for textile processing**. Journal Cleaner Production 145:114-133, 2017.

CHAND, N.; NATRI, A. S.; SAJEDI, R. H. ; MAHADAVI, A.; RASSA, M. **Enzymatic desizing of cotton fabric using a Ca²⁺ independent α -amylase with acidic pH profile**. Journal of Molecular Catalysis, v.83, p.46-50, 2012.

CHIBATA, I. **Immobilization of enzymes - research and development**. 1^o EDN, Kodonsha, New York, 1978.

COAN, D. C. **A indústria têxtil no Brasil na década de 90: trajetória e consequências na economia brasileira**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2002.

COELHO, M. A. Z.; AMARAL, P. F. F. **Aplicações Enzimáticas**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.eq.ufrj.br/biose/nukleo/aulas/Enzimol%20Aplic/eqb706_aula_09.pdf>. Acesso em: 26 de maio de 2020.

COELHO, M. A. Z.; SALGADO, A. M.; RIBEIRO, B. D. **Tecnologia Enzimática**. ISBN: 978-85-87098-83-2, Editora EPUB, Rio de Janeiro, 2008.

COGGIOLA, O. **A Segunda Guerra Mundial: Causas, Estrutura, Consequências**, Universidade de São Paulo, Editora Livraria da Física, 1^a edição, 2015.

COSTA, S.; BERMAN, D.; HABIB, R.L. **150 anos da indústria brasileira**. Rio de Janeiro: SENAI – CETIQT: Texto e Arte, 2000.

DOSHI, R.; SHELKE, V. **Enzymes in textile industry - An environment-friendly approach**. Indian Journal of Fibres and Textile Research, v.26, p. 202-205, 2001

EINSCHLAG, F. S. G. **Waste Water – Treatment and Reutilization**. InTechOpen, ISBN: 978-953-307-249-4, 2011.

EPA - Environmental Protection Agency. **Profile of the Textile Industry**. EPA/310-R-97-009, Washington, September, 1997.

ESSAYS, UK. **The Use Of Enzymes In Textile Industry Biology Essay**. November 2018. Disponível em: <<https://www.ukessays.com/essays/biology/the-use-of-enzymes-in-textile-industry-biology-essay.php?vref=1>>. Acessado em: 28 de Maio de 2019.

FABER, K. **Biotransformations in Organic Chemistry**. Springer, Berlim, p. 330-331, 2004.

FANI, M. **Os tipos de enzimas e suas aplicações nos alimentos**. Revista Aditivos&Ingredientes, p.28-38, São Paulo, 2016.

FARINAS, C. S.; **A parede celular vegetal e as enzimas envolvidas na sua degradação**. Embrapa Instrumentação, São Carlos, São Paulo, 2011.

FAROOQ, A.; ALI, S.; ABBAS, N.; FATIMA, G.L.; ASHRAF, M.A. **Comparative performance evaluation of conventional bleaching and enzymatic bleaching with glucose oxidase on knitted cotton fabric**. Journal of Cleaner Production, v.42, p. 167-171, 2013.

FCEM, FEBRATEX GROUP. **História da indústria têxtil: quais os avanços até os dias atuais?**2019. Disponível em: <<https://fcem.com.br/noticias/historia-da-industria-textil-quais-os-avancos-ate-os-dias-atuais/>>. Acesso em: 23 de abril de 2020.

FERRAZ, Q. **Revolução Industrial, Evolução da Indústria do Vestuário e Tecnologia Têxtil: Onde a Função Encontrou a Moda**, 2014. Disponível em: <<http://www.sindicatodaindustria.com.br/noticias/2014/11/72,52191/revolucao-industrial-evolucao-da-industria-do-vestuario-e-tecnologia-textil-onde-a-funcao-encontrou-a-moda.html>>

FERREIRA, F. C. S. **Avaliação dos efeitos da aplicação da enzima celulase nas propriedades de substratos têxteis de algodão**. Universidade Federal de Santa Catarina, programa de Pós-Graduação Engenharia Química, Florianópolis, 2012.

FREITAS, K. R. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil**. Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Mestrado, Florianópolis, Fevereiro de 2002.

FREITAS, K. R. **Estabilização enzimática para aplicação em biopurga de tecidos de malhas de algodão**. Universidade Federal de Santa Catarina - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Doutorado, Florianópolis, Fevereiro de 2009.

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

GAROZZO, F. **Tudo Azul na Aplicação de Corantes**. Química e Derivados, p. 22 - 32, Novembro, 1965.

GISELA, B. D.; YANG, X.; YAMAMOTO, R. **Enzymatic Bleaching of Cotton Fabric with Glucose Oxidase**. Textile Research Journal. 71. 388-394. 10.1177/004051750107100504, 2001.

GURSOY, N.C.; HALL, M. E. **Optimisation of peroxide bleaching**. International Textile Bulletin, v. 5, p. 80-86, 2001.

HARTZELL, M. M.; HSIEH, Y. L. **Enzymatic scouring to improve cotton fabric wettability**. Textile Research Journal, v. 68, n. 4, p. 233-241, 1998.

HASULY, M. J.; TRZASKO, P. T.; **Composição para engomagem de urdume aperfeiçoada e processo aperfeiçoado para engomagem de urdume de fios têxteis**. National Starch And Chemical Investment Holding Corporation, Estados Unidos, PI 8601363-7 B1, 1986.

HORROCKS, A. R.; ANAND, S. C. **Handbook of technical textiles**. Published by Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2000.

HORVAT, A. J. M.; PETROVIC, M.; BABIC, S.; PAVLOVIC, D. M.; ASPERGER, D.; PELKO, S.; MANCE, A. D.; KASTELAN-MACAN, M. **Analysis, occurrence and fate anthelmintcs and their transformation products in the environment**. Trends in Analytical Chemistry, v. 31, p. 61-24, 2012.

IEL - Instituto Euvaldo Lodi, CNA & SEBRAE. **Análise da eficiência econômica e da competitividade da cadeia têxtil brasileira**. Brasília, 2000

ISMAL, O.E. **Influence of Wax and Pectin Removal on Cotton Absorbency**. AATCC Review, Dokuz Eylül University, v. 8, n.6, p. 37-42, 2008.

JORGE, T. C. D. **Tecnologia de medição não invasiva do encolhimento e homogeneidade de cores em processos têxteis**. Mestrado (Dissertação em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, p.26, 2007.

KARMAKAR, S. R. **Chemical technology in the pre-treatment processes of textiles.** Textile Science and Technology, v. 12, p. 1- 498, 1999.

KEKOS, D.; KALANTZI, S.; MAMMA, D.; CHRISTAKOPOULOS, P. **Effect of pectate lyase bioscouring on physical, chemical and lowstress mechanical properties of cotton fabrics.** Bioresource Technology, v. 99, p. 8185-8192, 2008.

LAMARÃO, S. **PRograma de Estabilização Monetária (PEM).** Centro de Pesquisa e Documentação de História Contemporânea do Brasil, Rio de Janeiro, 2006.

LENTING, H. B. M.; WARMOESKERKEN, M. M. C. G. **Guidelines to come to minimized tensile strength loss upon cellulose application.** Journal of Biotechnology, v.89, n.2, p. 227-232, 2001(a).

LI, Y.; HARDIN, I. R. **Enzymatic scouring of cotton-surfactants, agitation & selection of enzymes.**TextileChemistandColorist& American DyestuffReporter, vol. 30, n. 9, 23-29, 1998.

MARTINS, G. B. H. **Práticas Limpas Aplicadas às Indústrias Têxteis de Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

MATHIAS, H. G. **Algodão no Brasil.** Rio de Janeiro: Editora Index, 1988.

MEDEIROS, G. A.; GONÇALVES, S. B.; RODRIGUES, D. S.; NETO, B. A. D. **Enzimas e Líquidos Iônicos: Uma Combinação Promissora para um Biodiesel Limpo.** Revista Virtual de Química, v. 5, n. 1, p.74-94, 2013.

MIETTINEN-OINONEN, A.; ELOVAINIO, M.; SUOMINEN, P. **An Improved Cellulase composition for treating cellulose-containing textile materials.** US 5,874,293, 1997.

MOELLWALD, L. E. **Corte, Costura e Modelagem.** Escola de Qualificação Profissional Moda, Roteiro de Costura, São Paulo, 2015.

MONTEIRO, V. N; SILVA, R. N. **Aplicações Industriais da Biotecnologia Enzimática,** Revista Processos Químicos, Jan/ Jun de 2009.

MOROZOVA, O.V.; SHUMAKOVICH, G.P., SHLEEV, S.V.; IAROLOV A.I.; **Laccase-Mediator Systems and Their Applications: A Review.** AppliedBiochemisrtyandMicrobiology, v.43, n 5, p. 523-537, 2007;

MUSSATTO, S.; FERNANDES, M.; MILAGRES, A. **Enzimas: Poderosa Ferramenta na Indústria**. CiênciaHoje. 41. 28-33, 2007.

PAULO, A. M. C.; ALMEIDA, L.; BISHOP, D. **Hydrolysis of cotton cellulose by engineered cellulases from *Trichoderma reesei***. Textile Research Journal, v. 68, n. 4, p. 273-280, 1998.

PEDERSEN, A. H.; SCHNEIDER, P. N. N. US Pat. 5795855 A. U.S Patent , 1998.

PEREIRA, G. S. **Introdução a tecnologia têxtil**. Apostila da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Araranguá, 2009.

PEREIRA, L., BASTOS, C., TZANOV, T., CAVACO-PAULO, A., GUBITZ, G.M. **Environmentally friendly bleaching of cotton using laccases**. EnvironChemLett, v. 3, 66-69, 2005.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos**, Editora Senac, 1ª edição, São Paulo, 2008.

PIMENTEL, A. **Caracterização de uma pectinase comercial e sua utilização no processo de purga da indústria têxtil**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

POLAINA, J.; MACCABE, A. P. **Industrial Enzymes: Structure, Function and Applications**. Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, CSIC, Book published by Springer, ISBN 978-1-4020-5377-1, 2007.

RAMAKRISHNAN, A.; MOHAMMAD, S. R.; MALA, R. **Application of cellulases from an alkalothermophilic *Thermomonosporasp.* in biopolishing of denims**. Biochemical Sciences Divisions, National Chemical Laboratory, Índia, 2006.

REED, G. **Enzymes in Food Processing**. Academic Press Inc., 2.ed, New York, p. 62-87, 1975.

ROMERO, L. L.; VIEIRA, J. O. W. M.; MEDEIROS, L. A. R.; MARTINS, R. F. **Fibras artificiais e sintéticas**. Relato Setorial. Rio de Janeiro: BNDES, p. 55-66, 1995.

ŞAHINBAŞKAN, B. Y.; KAHRAMAN, M. V. **Desizing of untreated cotton fabric with the conventional and ultrasonic bath procedures by immobilized and native α -amylase.** Starch - Journal. ISSN 0038-9056 · STARDD , v. 63 , n. 3, p. 154–159, 2011.

SANTOS, S. A. **Entre roças, rotas e teares: o estabelecimento da fábrica têxtil Todos os Santos na Vila de Valença (Bahia, 1836-1849).** Anais do XVII Encontro de História da Anpuh-Rio, UFRRJ, ISBN 978-85-65957-05-2, 2016.

SAWADA, K.; UEDA, M. **Enzyme processing of textiles in reverse micellar solution.** Journal of Biotechnology, v. 89, p. 263-269, 2001.

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Beneficiamento têxtil.** SENAI-SP Editora, ISBN 978-85-8393-0887-7, São Paulo, 2015.

SILVA; L. G. M. **Biopurga de malha de algodão utilizando processo enzimático com associação de enzimas.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2013.

SOUZA, A. A. U.; FERREIRA, F. C. S; SOUZA, S. M. A. G. U. **Influence of pretreatment of cotton yarns prior to biopolishing.** Federal University of Santa Catarina, v. 93, p. 412– 415, 2013.

STEIN, S. J. **Origens e evolução da indústria têxtil no Brasil – 1850/1950.** Rio de Janeiro: Editora Campus LTDA, 1979.

TAVARES, C. A. G. **Maximização do rendimento colorístico no processo de branqueio por PAD-STEAM.** Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, ISEP, Porto, 2017.

TIMAR-BALÁZSY, A.; EASTOP, D. **Chemical Principles of Textile Conservation.** Butterworth Heinemann, England, p. 444, 1998.

TYNDALL, R. M. **Application of cellulase enzymes to cotton fabrics and garments.** Textile Chemist and Colorist, v. 24, n. 6, p.23-26, 1992.

WANG, W.; YU, B.; ZHONG, C. (2012). **Use of ultrasonic energy in the enzymatic desizing of cotton fabric.** Journal of Cleaner Production, v. 33, p. 179-182, 2012.

WISNIAK, J. **Anselme Payen.** Educación Química, v. 16, n. 4 114-126.10.22201/fq.18708404e.2005.4.66095, January, 2005.