

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA ISABELA ZAVILENSKI

**CARVÃO ATIVADO DE RESÍDUO SÓLIDO TÊXTIL NA
IMOBILIZAÇÃO DE ENZIMAS**

APUCARANA

2020

ANA ISABELA ZAVILENSKI

**CARVÃO ATIVADO DE RESÍDUO SÓLIDO TÊXTIL NA
IMOBILIZAÇÃO DE ENZIMAS**

Solid textile waste activated carbon on enzyme immobilization

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientadora: Milena Martins Andrade.
Coorientadora: Caroline Apoloni Cionek

APUCARANA

2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Apucarana
COENT – Coordenação do curso superior em Engenharia Têxtil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

CARVÃO ATIVADO DE RESÍDUO SÓLIDO TÊXTIL NA IMOBILIZAÇÃO DE ENZIMAS

Por

ANA ISABELA ZAVILENSKI

Monografia apresentada às 16:00 horas do dia 26 de agosto de 2020, como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado(a) **APROVADO(A)**.

PROFESSOR(A) MILENA MARTINS ANDRADE – ORIENTADOR(A)

PROFESSOR (A) FABIO ALEXANDRE PEREIRA SCACCHETTI – EXAMINADOR(A)

PROFESSOR(A) SILVANA FERNANDES MONTANHER – EXAMINADOR(A)

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Milena Martins Andrade, por ter me aceitado como aluna e me confiar a ideia deste trabalho. Pela oportunidade de aprender uma área que era desconhecida para mim. Pelos ensinamentos, dedicação, disponibilidade de aulas extras no laboratório em períodos difíceis como o que estamos vivendo.

À minha co-orientadora, Prof^a. Dr^a Caroline Apoloni Cionek, pelos ensinamentos, contribuições e pela atenção despendida.

À banca examinadora, composta pelos membros Prof^o. Dr^o. Fabio Alexandre Pereira Scacchetti e Prof^a. Dr^a. Silvana Fernandes Montanher, pelas contribuições valiosas.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, por disponibilizar os laboratórios de pesquisa em período de pandemia, para que este trabalho pudesse ser concluído.

Aos meus pais, Isabel e Paulo, que nunca mediram esforços e sempre me apoiaram para as realizações dos meus sonhos.

Aos meus irmãos, Antônio e Paulo, pelos momentos de descontração, sem vocês a vida seria menos divertida.

Aos amigos, que distantes ou não, fizeram-se presentes nesta jornada e torceram por mim.

Muito obrigada!

“As consequências dos nossos atos são sempre tão complexas, tão diversas, que prever o futuro é uma tarefa realmente difícil – Alvo Dumbledore” (ROWLING, 2020).

RESUMO

Uma alternativa para amenizar a quantidade de resíduos sólidos têxteis, é a produção de carvão ativado a partir de *jeans* 100% algodão. Este resíduo pode ser utilizado como um material suporte para imobilizar enzimas. As enzimas são proteínas capazes de catalisar reações químicas e, quando imobilizadas, facilitam sua utilização e ainda, possibilitam sua recuperação e reuso. Na indústria têxtil, elas são utilizadas em beneficiamento têxtil, visando a substituição de produtos químicos que são nocivos ao meio ambiente, economia de energia, diminuição de recursos como água, redução no tempo de processo entre outros. Desta forma, o presente trabalho teve o objetivo de imobilizar as enzimas amilases e celulases em carvão ativado proveniente dos resíduos da confecção. O carvão foi ativado com ácido fosfórico a partir do material precursor *jeans* 100% algodão. As enzimas foram imobilizadas no material em diferentes tempos (30 min, 1 h, 2 h, 4 h e 6 h) a 25 °C e aplicadas no processo de desengomagem (amilases) e estonagem (celulases). A melhor atividade enzimática de amilases (26,3 U/g) foi obtida no tempo de 120 min. E para celulases (20,3 U/g) no tempo de 60 min. As amilases capazes de hidrolisarem o amido, foram aplicadas no processo de desengomagem, na qual possibilitou a absorção de solução de corante no tecido após o processo. As celulases, capazes de hidrolisarem a celulose, foram aplicadas no processo de estonagem, na qual, por meio de uma análise microscópica foi verificado possível remoção de fibrilas da superfície e um leve clareamento da peça. O suporte produzido se mostrou eficiente na imobilização destas enzimas, e, desta forma agrega valor a estes resíduos têxteis e torna o processo de beneficiamento mais sustentável pela possibilidade de reutilização destes biocatalisadores.

Palavras-chave: Ativação Química; Adsorção; Amilases; Celulases; Beneficiamento Têxtil.

ABSTRACT

An alternative to reduce the amount of solid textile waste is the production of activated carbon from 100% cotton jeans. This residue can be used as a support material to immobilize enzymes. Enzymes are proteins capable of catalyzing chemical reactions and, when immobilized, favor their use, and enable their recovery and reuse. At textile industry, they are used on textile processing, aiming the replacing of chemicals that are harmful to the environment, saving energy, reducing resources such as water, reducing process time, among others. Thus, the present work had the objective to immobilizing the enzymes amylases and cellulases in activated carbon produced from solid residues of the textile production. The charcoal was activated with phosphoric acid from the 100% cotton precursor material. The enzymes were immobilized on the material at different times (30 min, 1 h, 2 h, 4 h and 6 h) at 25 °C and applied in the process of degumming (amylases) and stonage (cellulases). The best amylases activity (26.3 U / g) was obtained at 120 min. And for cellulases (20.3 U / g) at 60 min. Amylases, capable of hydrolyzing starch, were applied in the degumming process, in which it allowed the absorption of dye solution in the fabric after the process. Cellulases, capable of hydrolyzing cellulose, were applied on stonage process, in which, through a microscopic analysis, was verified a possible fibril remove from the surface and lighten the piece. The support produced proved to be efficient on immobilizing these enzymes, and, in this way, adds value to these textile waste making processes more sustainable and allow the reuse of these biocatalysts.

Keywords: Chemical Activation; Adsorption; Amylases; Cellulases; Textile Processing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia produtiva têxtil.....	16
Figura 2 - Estrutura primária da celulose	20
Figura 3 - Ação das celulasas na celulose	21
Figura 4 - Ligações α -1,4 e α -1,6 presentes no amido	22
Figura 5 - Métodos utilizados para imobilização de enzimas	23
Figura 6 - Carvão ativado pulverizado a partir do material precursor jeans 100% algodão	29
Figura 7 - Amostra crua engomada (1) e amostras após o processo de desengomagem (2, 3, 4 e 5).....	32
Figura 8 - Resultado das amostras após o teste de capilaridade.....	33
Figura 9 - Jeans sem processo de estonagem.....	34
Figura 10 - Amostra do processo realizado apenas com carvão ativado	34
Figura 11 - Amostra do processo realizado com enzima imobilizada em carvão ativado	35
Figura 12 - Replicata da amostra realizada no processo com enzima imobilizada ...	35
Figura 13 - Amostra do processo realizado com enzima livre	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rendimento do carvão ativado.....29

Tabela 2 - Imobilização das enzimas celulase e amilase em carvão ativado a 25 °C.
.....30

LISTA DE ABREVIATURA

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNS	Ácido 3, 5 – dinitrosalicílico
PVA	Acetato de polivinila
RPM	Rotação por minuto
SINDITÊXTIL-SP Paulo	Sindicato das Indústrias de Fiação e Tecelagem do Estado de São Paulo
SPM	Percentual sobre o peso do material

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	13
2.1	Objetivos	14
2.1.1	Objetivo Geral.....	14
2.1.2	Objetivos Específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Indústria Têxtil	15
3.2	Geração de Resíduos Sólidos Têxteis	16
3.3	Carvão ativado	17
3.4	Enzimas	18
3.5	Beneficiamento têxtil com uso de enzimas	18
3.6	Celulase	20
3.7	Amilase	21
3.8	Imobilização de enzima	22
4	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1	Materiais	24
4.2	Métodos	24
4.2.1	Produção do carvão ativado	24
4.2.2	Imobilização das enzimas em carvão ativado	25
4.2.3	Determinação da atividade enzimática	25
4.2.3.1	Amilase	25
4.2.3.2	Celulase.....	26
4.2.4	Aplicação em processos de beneficiamento.....	27
4.2.4.1	Desengomagem enzimática (amilase).....	27
4.2.4.2	Estonagem ou variação de <i>stone-wash</i> (celulase)	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1	Produção de carvão ativado	29
5.2	Imobilização das enzimas em carvão ativado	30
5.3	Aplicação em processos de beneficiamento	32
5.3.1	Amilase	32
5.3.2	Celulase.....	33
6	CONCLUSÃO	37
	REFERENCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil e de confecção é muito ampla e constituída de várias etapas que são inter-relacionadas. Entre elas pode-se destacar as etapas de fiação, tecelagem, acabamento e confecção, na qual o produto final de cada parte do processo é a matéria-prima da fase seguinte (HIRATUKA *et al.*, 2008). No que se refere a etapa da confecção, segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção – ABIT (2019), o setor é responsável por 16,7% dos empregos e 5,7% do faturamento da indústria de transformação, resultando em aproximadamente US\$ 51,58 bilhões.

Segundo Gentile, Moro e Mendes (2016), o Brasil está entre um dos principais produtores de artigos do setor têxtil e de confecção, sendo considerado um importante desenvolvedor socioeconômico do país. Em contrapartida, com uma grande produção há também um crescente aumento na geração de resíduos sólidos têxteis e com a obsolescência dos produtos relacionados a moda, surge a importância de reduzir e reutilizar os resíduos gerados. No setor da confecção, o corte se destaca como um grande gerador de resíduos sólidos, principalmente quando o responsável por realizar o trabalho não possui preparo técnico de encaixe e modelagem, transformando aproximadamente 30% do tecido utilizado no processo em retalho (FREIRE; LOPES, 2013).

Uma alternativa sustentável para os resíduos sólidos têxteis gerados pela indústria têxtil, seria a produção de carvão ativado a partir das sobras de tecido (SILVA *et al.*, 2018). Este material serve como suporte para imobilização de enzimas. As enzimas são utilizadas no processo de beneficiamento têxtil com intuito de alterar as propriedades das fibras têxteis, tendo como principal vantagem a redução de reagentes químicos, que diminui os danos causados às fibras têxteis e possibilita a diminuição de efeitos nocivos ao meio ambiente, otimizando o acabamento das peças antes de serem confeccionadas (SENAI, 2009). Quando imobilizadas em um suporte, por exemplo o carvão ativado, elas podem ser reutilizadas, tornando o processo mais econômico e sustentável.

As enzimas amilases e celulasas são exemplos de catalisadores biológicos, utilizados nas indústrias têxteis. As amilases são responsáveis pela desengomagem a base de amido de tecidos planos de algodão, que previamente foram engomados para resistir ao cisalhamento e demais esforços realizados na tecelagem para que não

haja ruptura de fios. As celulasas têm a função de dar acabamento ao tecido, ela pode ser utilizada em processos de lavanderia, proporcionando o efeito envelhecido (*stonewashed*) ou então remover microfibrilas salientes na superfície do tecido em processos de biopolimento (FURLAN, 2012).

1.1 Justificativa

A fabricação de bens de consumo cada vez mais descartáveis, o crescimento considerável da população e o consumismo constante, estabelece um cenário crescente na geração de resíduos sólidos e um aumento significativo na exploração de recursos naturais (SILVA FILHO *et al.*, 2019). De acordo com o Sindicato das Indústrias de Fiação e Tecelagem do Estado de São Paulo – SINDITÊXTIL-SP (2012), o setor de confecção no Brasil é responsável pela produção de aproximadamente 175 mil toneladas de resíduos sólidos têxteis ao ano e mais de 90% desses retalhos e sobras, são provenientes da confecção de vestuário/artefatos têxteis descartados incorretamente.

Considerando o cenário atual referente aos recursos naturais disponíveis e a alta quantidade de geração de resíduos sólidos têxteis, a reciclagem possibilita reutilizar os resíduos sólidos provenientes da indústria têxtil, sendo uma forma de reduzir os desperdícios antes de realizar o descarte final dos retalhos e sobras e diminuir o impacto ambiental (MESACASA; CUNHA, 2019). Estes resíduos provenientes de tecidos 100% algodão como *jeans*, por exemplo, podem ser um material precursor potencial para produção de carvão ativado, que pode ser utilizado para imobilização, sendo assim uma alternativa de reaproveitamento. (ZHENG; ZHAO; YE, 2014).

Segundo Souza *et al.* (2017), a imobilização é um termo que se refere a retenção de uma biomolécula no interior de um reator. O carvão ativado pode ser utilizado como um suporte sólido insolúvel em meio aquoso e em solventes orgânicos, capaz de confinar enzimas. Os biocatalisadores ao estarem na forma imobilizada, possuem as vantagens de reutilização pela facilidade de recuperação por meio da separação do catalisador, do produto da reação e são resistentes a mudanças do ambiente reacional, tornando o processo mais viável quando comparado a enzima livre, principalmente devido ao seu alto custo.

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo Geral

Produzir carvão ativado a partir de resíduo sólido de *jeans* 100% algodão, testar o material na imobilização das enzimas amilase e celulase e aplicar os biocatalisadores produzidos nos processos de beneficiamento têxtil de desengomagem e estonagem.

2.1.2 Objetivos Específicos

- Produzir carvão ativado a partir de resíduo sólido de *jeans* 100% algodão por ativação química com ácido fosfórico;
- Aplicar o material produzido na imobilização de amilase e celulase;
- Determinar a atividade enzimática dos biocatalisadores com reagente DNS;
- Testar a estabilidade do material frente a diferentes tempos;
- Testar os biocatalisadores produzidos em reações de beneficiamento têxtil de desengomagem e estonagem.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Indústria Têxtil

A indústria têxtil tem uma trajetória com cerca de 200 anos, se tornando uma das primeiras a existir no Brasil. Atualmente o setor têxtil possui grande importância no cenário econômico, devido sua alta empregabilidade e seu grande volume de produção (FUJITA; JORENTE, 2015). A indumentária está diretamente relacionada com a economia vigente, com os costumes de acordo com a localização geográfica e com a história da humanidade no decorrer dos anos (PEREIRA, 2015). Nos primórdios, o homem utilizava as vestimentas para se proteger das baixas temperaturas, com o passar dos anos o pudor e adorno fizeram com que a roupa se tornasse essencial em seu cotidiano (CEZAR, 2019).

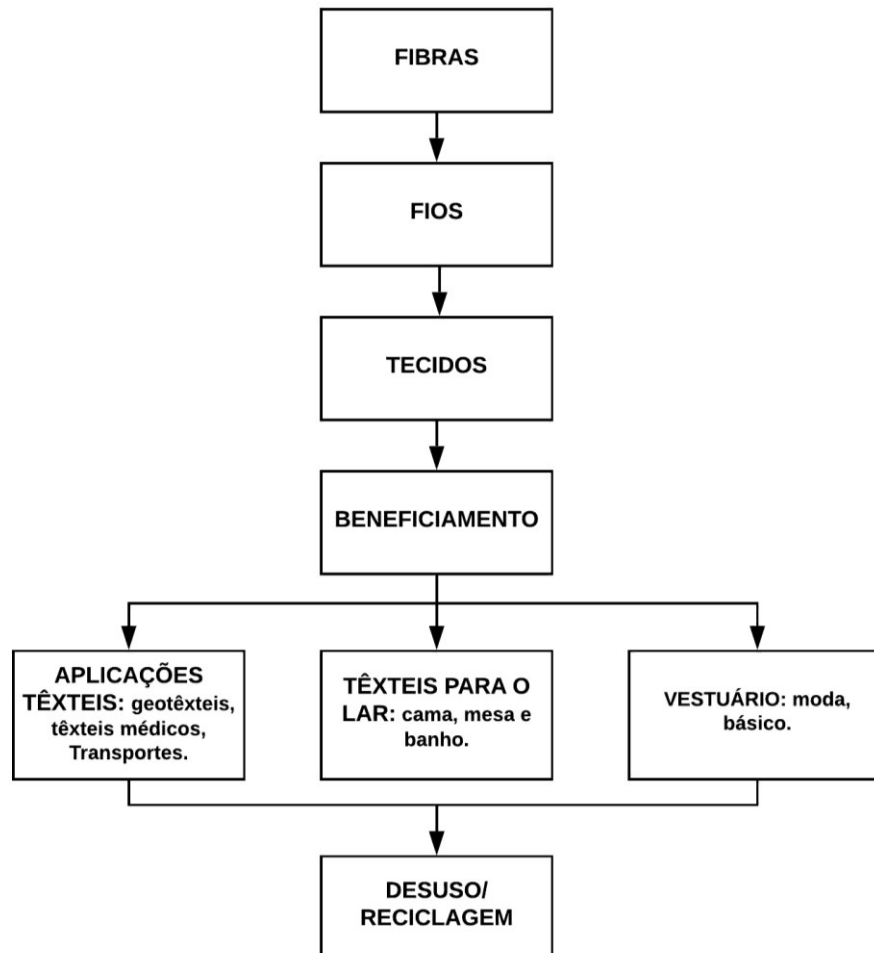
Com o desenvolvimento da indústria têxtil, a criação das fibras sintéticas e o avanço da tecnologia, o setor passou a ser visto não somente como o responsável pela fabricação de vestuário, mas também como um produtor de artigos de higiene e limpeza, médico-hospitalar, automotivo, geotêxtil, entre outros. Sendo de suma importância para a qualidade de vida humana e que está em constante mudança conforme aponta estudos sobre nanotecnologia e têxteis funcionais inteligentes, como os tecidos antichamas, inseticidas, antiodorizantes, com proteção ultravioleta e outros (GARCIA; OLIVEIRA; MADEIRA, 2009).

A cadeia produtiva têxtil engloba uma sequência de etapas que estão interrelacionadas, que vão desde a fibra à distribuição final do produto. A Figura 1, apresenta a complexidade da cadeia produtiva têxtil por meio de um fluxograma, que tem início na produção da matéria-prima, que diz respeito as fibras e/ou filamentos que serão utilizados no processo e estas podem ser provenientes de processos agrícolas (fibras naturais vegetais), processos pecuários (fibras naturais animais) e processos químico-físico de extrusão (fibras químicas) (RECH, 2008).

Em seguida, começa a produção de fios, denominada fiação. A obtenção dos tecidos, provenientes dos fios gerados na etapa anterior, pode ser realizada por meio de teares de tecelagem na qual se entrelaçam fio de trama e urdume, ou teares de malharia, sendo estes divididos em circulares e retilíneos, pode-se ainda, produzir mantas de não-tecido. Depois da produção do tecido, é realizada a etapa de beneficiamento, na qual podem envolver processos de engomagem, tingimento e/ou

estamparia, nesta fase, o material é preparado para a confecção ou processos têxteis não convencionais e posteriormente enviado ao varejo (RECH, 2008).

Figura 1 - Cadeia produtiva têxtil



Fonte: Adaptado de Euratex (2004)

3.2 Geração de Resíduos Sólidos Têxteis

A Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10.004/2004 define resíduo sólido ou semi-sólido como qualquer atividade resultante de indústrias, hospitais, casas, comércios, agrícolas, de serviço e de varrição. E estes, ainda podem ser separados de acordo com sua periculosidade, conforme suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas.

Durante todo o processo da cadeia têxtil a geração de resíduos é um fenômeno inevitável que varia de acordo com a escala produtiva e matéria-prima utilizada pela empresa (MENEGUCCI *et al.*, 2015). Segundo a Lei Nº 12.305 de 2 de

agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos entende-se que o gerenciamento de resíduos sólidos consiste em:

“[...] conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (BRASIL, 2010, Art 3°).

O reaproveitamento é uma maneira de conciliar o descarte dos resíduos sólidos têxteis com uma destinação ambientalmente correta, transformando-os novamente em matéria-prima para novos processos produtivos (SILVA; ROEDEL, 2018). Resíduos que contém celulose, por exemplo, podem ser reaproveitados transformando-se em matéria-prima para a produção de carvão ativado, pois, apresentam potencial para o desenvolvimento de adsorventes, sendo assim um bom material precursor, de baixo custo, com grande abundância e destinação ambientalmente correta (WERLANG *et al.*, 2013).

3.3 Carvão ativado

Carvão ativado ou carvão microporoso, é um material carbonáceo de estrutura porosa que apresenta forma cristalina e sofreu um processamento para aumentar a porosidade. Sua larga superfície interna localizada dentro da rede de poros estreitos permite durante o processo de adsorção, que seus poros sejam ocupados. O material precursor e o método utilizado em sua preparação, são fatores que influenciam a característica final do carvão ativado. Entre os principais materiais precursores para sua produção estão a madeira, casca de coco, caroço de azeitona, fibra de juta, resíduos da colheita de algodão, entre outros (NOBRE *et al.*, 2015).

Sua produção é realizada basicamente pela carbonização e ativação do material precursor, que após esses processos desenvolvem poros. A pirólise e a ativação ocorrem em temperaturas que ficam entre 500-1100°C em um fluxo de gases ativantes, como vapor, nitrogênio ou dióxido de carbono. O carvão ativado pode ser caracterizado de acordo com sua forma física, que pode ser em pó, quando utilizado como adsorvente em meio aquoso, normalmente usa-se o pulverizado para tratamento de água na remoção da cor, cheiro e impurezas ou granulado, utilizado para remoção de gases. O controle do tamanho dos grãos de carvão ativado pode ser realizado por meio de moagem, aglomeração ou classificação com o auxílio de peneiras (NOBRE *et al.*, 2015; MELLO, 2017).

O carvão ativado, especialmente por ter a presença de poros e grande área superficial, tem sido utilizado de forma eficiente como suporte para imobilização de enzimas, mostrando-se vantajoso quando comparado a enzimas solúveis, devido sua facilidade de separação do processo, que pode ser realizada por meio de uma filtração simples e capacidade de reutilização do biocatalisador, que acarretaria em uma diminuição de custo se aplicado em grande escala (BRITO, 2016; MUNARETTO, 2011).

3.4 Enzimas

Enzimas são catalisadores biológicos de origem proteica que aceleram as reações químicas sem alterar seu equilíbrio (MÄNTSÄLÄ; NIEMI, 2009). Os processos enzimáticos geralmente possuem ação rápida, são eficientes, ambientalmente sustentáveis, acontecem em condições brandas de temperatura e pH atuando em um substrato específico (RIBEIRO *et al.*, 2013). Sua aplicação é vantajosa principalmente por não precisar de condições de temperatura e pressão extremos como os processos químicos (MUNARETTO, 2011).

A substituição em processos industriais de catalisadores químicos por enzimas solúveis, se mostra interessante para as empresas devido aos benefícios econômicos do processo, que surgem devido suas características, como redução do tempo empregado nas atividades (catálise) e redução de gastos com energia elétrica (baixo pH e temperatura). Essas proteínas podem ser extraídas de fontes vegetais ou animais e possuem grande participação nas indústrias de alimentos, farmacêutica, têxtil, papel e na saúde humana e animal (ARRUDA, 2017; MUNARETTO, 2011).

3.5 Beneficiamento têxtil com uso de enzimas

A etapa de beneficiamento têxtil consiste em um conjunto de processos subsequente a formação de tecido, que tem por objetivo transformá-lo em artigos com características de enobrecimento por meio da tinturaria, estamparia e acabamentos com a finalidade de melhorar as características físico-químicas dos materiais (FORGIARINI, 2006).

O uso de enzimas durante o processo de beneficiamento têxtil vem aumentando consideravelmente, pois possibilita a substituição de produtos químicos

que são mais agressivos ao meio ambiente, reduzindo o impacto ambiental e os danos causados na fibra (SHRIMALI; DEDHIA, 2016). O Quadro 1 apresenta as principais enzimas utilizadas em diferentes processos de beneficiamento.

Quadro 1: Principais enzimas utilizadas em processos de beneficiamento

Processo do Beneficiamento	Enzima utilizada
Biopreparação	Pectinase, protease ou lipase
Desengomagem	α -amilase
Purga	Pectinase ou Xilanase
Alvejamento	Catalase
Tingimento	Peroxidase
Acabamento	Celulase

Fonte: Adaptado de Furlan (2012)

Entre os benefícios do uso de enzimas em processos têxteis estão: o aumento da eficiência, economia de energia, técnicas mais brandas, diminuição do uso de recursos como água e compostos químicos, aumento na qualidade dos produtos, redução no tempo de processo, aumento na produtividade, entre outros (SHRIMALI; DEDHIA, 2016).

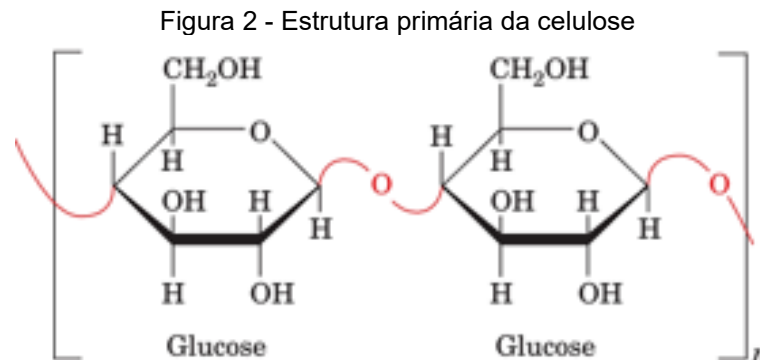
A enzima amilase é utilizada para decompor o amido, utilizado no processo de tecelagem para resistir as forças de fricção e abrasão do tear. Remover a goma é de suma importância, pois sua presença afeta processos posteriores de beneficiamento como homogeneidade no tingimento por exemplo (MARTINEZ *et al.*, 2018). O uso da enzima amilase substitui a utilização de oxidantes, ácidos ou bases, no processo de retirada da goma, diminuindo os danos causados a celulose (CARVALHO, 2007).

A enzima celulase ataca as fibrilas de celulose, sendo assim, é utilizada para clarear ou desbotar as peças de *jeans* no processo têxtil de acabamento, denominado variação de *stone-wash*, pois não utiliza pedra-pomes como o processo convencional, esse procedimento permite que peça tenha uma aparência mais desgastada, conferindo assim um diferencial no produto. Ela também pode ser utilizada para remover as microfibrilas presentes na superfície do tecido de algodão (bioacabamento), promovendo um acabamento e diminuindo a formação de *pilling* (SILVA, 2013).

A utilização da celulase no processo de beneficiamento, realizado nas lavanderias de *jeans*, possui a vantagem de diminuir o desgaste que as pedras-pomes causam no equipamento danificando-os e sem contar os restos de areia, consequência do atrito causado pelas pedras (MARTINEZ *et al.*, 2018). Sendo assim, o uso de enzimas em processos de beneficiamento é um grande potencial de mercado, pois, além das questões ecológicas envolvidas, ele consequentemente além de diminuir o consumo de água e energia no processo, reduz custos de produção (SHRIMALI; DEDHIA, 2016).

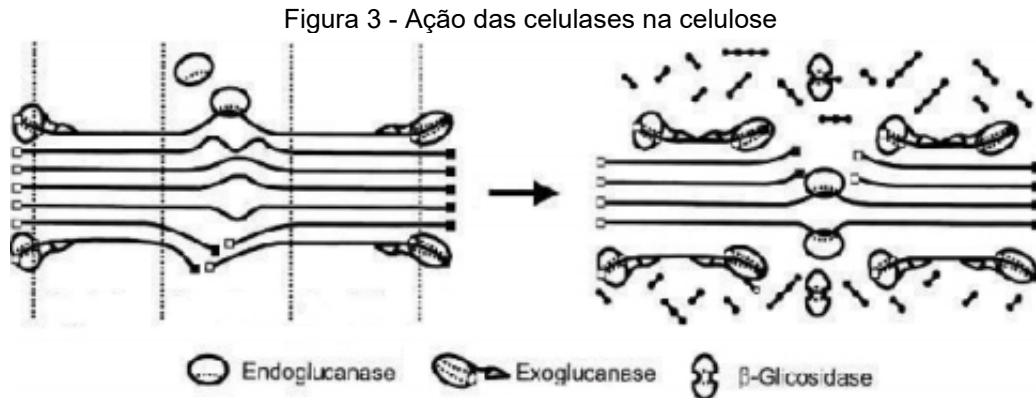
3.6 Celulase

A celulase é uma enzima proveniente de algas, fungos ou bactérias. Esse tipo de enzima é capaz de atuar nas cadeias de materiais constituídos de celulose, despolimerizando-os, promovendo assim sua hidrólise (CASTRO; PEREIRA JUNIOR, 2010; ROSS; MAYER; BENZIMAN, 1991). A Figura 2 apresenta a estrutura primária da celulose.



Fonte: Voet; Voet (2013)

De acordo com o modo de ação da celulase ela pode ser classificada em: endoglucanases (separam ligações internas das fibras de celulose), exoglucanases (agem na parte externa das fibras de celulose), β -glicosidases (hidrolisam oligossacarídeos solúveis a glicose) e celulases oxidativas (despolimerizam a celulose por meio de reações de radicais livres) e quando usadas em conjunto (sinergia) apresentam maior rendimento que de forma isolada (OGEDA; PETRI, 2010). A Figura 3 apresenta o mecanismo de ação da celulase na celulose.



Fonte: Stankovic (2014)

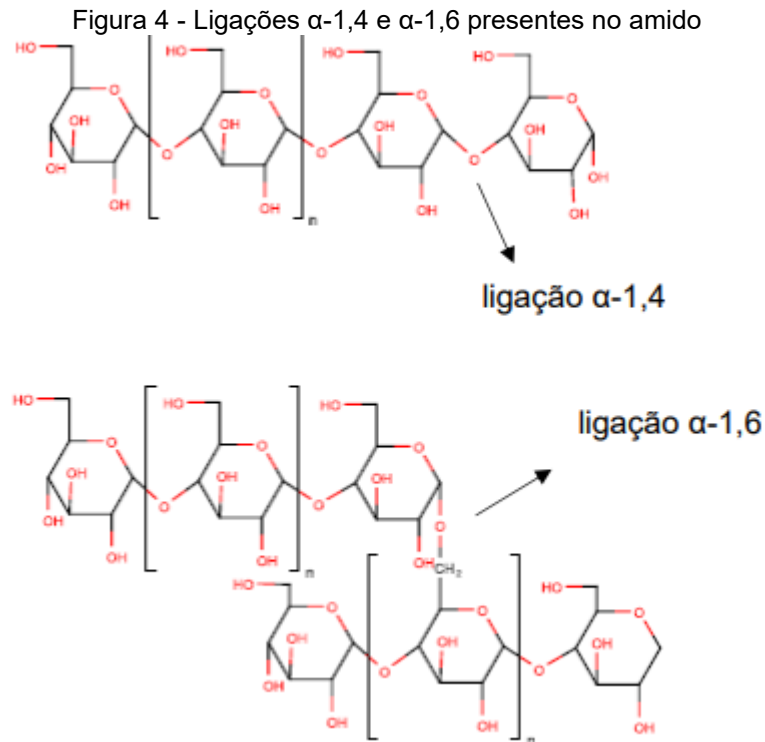
A aplicação da enzima celulase nas indústrias tem aumentado devido seu enorme potencial biotecnológico e sua grande aplicabilidade para diversas finalidades. Na indústria têxtil, a celulase pode ser empregada na fiação, beneficiamento e tingimento, pois ela possibilita a modificação da fibra de celulose de maneira controlada, agregando valor ao produto, como aumento no brilho e maciez (KOHAN; ARAUJO, 2008).

3.7 Amilase

As amilases são enzimas que catalisam a hidrólise glicosídicas de polissacarídeos, como por exemplo o amido, liberando como produtos da reação dextrinas e polímeros menores, compostos por unidades de glicose (BATISTA *et al.*, 2018). De acordo com a Revista Processos Químicos – SENAI (2009), no mercado mundial, a amilase se destaca com uma projeção de 25,4% no uso em indústrias.

Entre as amilases encontram-se as α -amilase, β -amilase e glucomilase. A α -amilase é uma enzima responsável por romper ligações no interior do substrato (endoamilase), ela está distribuída nos reinos vegetal, animal e microbiano. A β -amilase pode ser encontrada em vegetais e em apenas algumas bactérias e diferente da α -amilase, é responsável por quebrar ligações a partir das extremidades da molécula. Ambas proteínas degradam aleatoriamente as ligações α -1,4 e deixa intacta as ligações α -1,6 não permitindo assim a quebra das ramificações da molécula. A glucomilase hidrolisa os dois tipos de ligações α -1,4 e α -1,6 do amido, ela é proveniente de plantas, animais e microorganismos. (PANDEY *et al.*, 2000). A figura

4 apresenta as ligações α -1,4 e α -1,6 presente na molécula de amido que são degradadas pelas diferentes classes de enzima amilase.

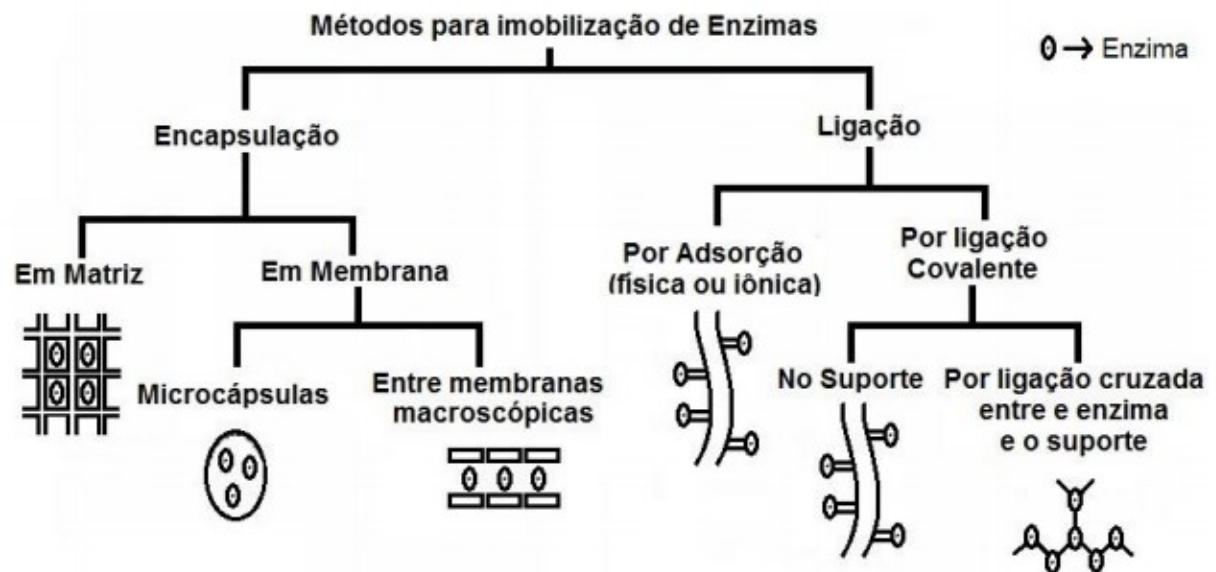


Fonte: Oliveira (2017)

3.8 Imobilização de enzima

A técnica de imobilização de enzima consiste em aprisionar a enzima em uma região de espaço definida, de maneira que ela permita a reação com o meio, mas não se perca nele. A Primeira Conferência sobre Engenharia Enzimática, realizada em 1971 define: “enzimas imobilizadas são enzimas ou sistemas enzimáticos fisicamente confinados ou localizados em certa região definida do espaço com retenção de suas atividades catalíticas, e que podem ser usadas repetida e continuamente” (WINGARD, 1972). A imobilização pode ocorrer por métodos químicos, quando há uma ligação covalente entre suporte e enzima, ou físicos, quando a ligação entre suporte e enzima ocorre por meio de forças fracas (JESUS *et al.*, 2018). A Figura 5 apresenta os métodos utilizados para imobilizar enzimas.

Figura 5 - Métodos utilizados para imobilização de enzimas



Fonte: Dalla-Vecchia; Nascimento; Soldi (2004); Salomão (2017)

O procedimento de imobilização de enzima por adsorção física é um processo muito utilizado por ser simples, possuir baixo custo, não haver a necessidade de ativação do suporte e possibilitar a recuperação da matriz usada (MESQUITA *et al.*, 2018). Nesse método a enzima é imobilizada em um suporte sólido poroso por ligações de baixa energia, como interações de *Van Der Waals*, ligações de hidrogênio e iônicas, entre outras. Os parâmetros envolvidos na eficiência da adsorção em um suporte variam de acordo com a dimensão da proteína a ser adsorvida, área superficial do adsorvente e o tamanho dos poros (DALLA-VECHIA; NASCIMENTO; SOLDI, 2004).

O método de imobilização da enzima é muito importante, mas também é fundamental uma análise do suporte que será escolhido, pois ele está diretamente relacionado com a eficiência da imobilização da enzima. A matriz a ser utilizada deve ser inerte, estável, estar apta a abrigar grande quantidade de enzima e biocompatível, para não comprometer sua atividade biológica, ou seja, o biocatalisador não pode ter a atividade e estabilidade afetada se comparada a enzima livre (ALI *et al.*, 2017; MUNARETTO, 2011).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Os resíduos sólidos têxteis do tecido plano, sarja 3x1, *jeans* 100% algodão para a produção de carvão ativado foram coletados do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento e do Laboratório de Produção do Vestuário, as amostras de tecido plano, variação de tela, 100% algodão engomados utilizados no processo de desengomagem enzimática foram disponibilizados pelo Laboratório Têxtil, ambos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, câmpus de Apucarana.

As enzimas amilase e celulase são as mesmas preparações enzimáticas utilizadas em aulas práticas do curso de Engenharia Têxtil da UTFPR, marca Tremembé Química. Os demais reagentes utilizados foram de grau analítico. Os equipamentos usados para a realização do trabalho foram Mufla (Zezimaq), Incubadora *Shaker* (Cienlab), Estufa (Nova), Balança de precisão (Even), Máquina de Canecas (Kimak, AT1SW), Microscópio óptico (Bel, SZT) e Espectrofotômetro (Perkin Elmer, Lambda 750).

4.2 Métodos

4.2.1 Produção do carvão ativado

Após a coleta dos resíduos sólidos de *jeans*, os retalhos foram cortados manualmente em tamanhos de aproximadamente 1 cm². Para a ativação do carvão foi utilizado o ácido fosfórico (H₃PO₄), na proporção 1:1 (resíduo: ácido). O ácido, em mililitros, juntamente com os retalhos cortados, em gramas, foram colocados em um reator de aço inoxidável de tampa removível e com furos para a entrada de ar, no qual, foi levado a mufla sob fluxo de nitrogênio de 100 mL/min a uma taxa de aquecimento de 5°C/min. O material foi aquecido da temperatura ambiente até 300°C e manteve essa temperatura pelo tempo de 120 minutos. Em seguida a temperatura foi elevada ao patamar de 500°C e se manteve por 60 minutos. Por fim ocorreu o resfriamento até 100°C. O material resultante do processo foi moído com o auxílio de um almofariz e pistilo e lavado com solução de NaOH 0,1 mol/L seguido de água destilada até a solução ficar com pH neutro, verificadas por meio de fitas de pH. Em seguida o

material foi seco em estufa a 100°C por 24 horas (SILVA *et al.*, 2018). E o rendimento determinado baseado na massa inicial do precursor e na massa final do carvão seco, calculado pela Equação 1 (LINHARES; MARCÍLIO; MELO, 2016).

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{M_f}{M_i} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo,

M_f = Massa final do carvão depois de seco em estufa

M_i = Massa inicial do material precursor antes da pirólise no reator

O método de produção de carvão ativado precisou ser realizado três vezes para alcançar o rendimento desejado.

4.2.2 Imobilização das enzimas em carvão ativado

As enzimas amilases e celulasas foram imobilizadas no suporte produzido proveniente de resíduo têxtil de algodão pelo método de adsorção. Os ensaios foram realizados na Incubadora *Shaker* a 150 RPM, em frascos Erlenmeyer de 125 mL, no qual, 0,25 g do suporte foi deixado em contato com 10 mL da solução enzimática, sendo que para cada uma das soluções foram utilizados 5% de enzima amilase e 1% de enzima celulase, durante 6 h a 25 °C. Em intervalos de tempos (30 minutos, 1 h, 2 h, 4 h e 6 h), cada frasco foi sacrificado e os sobrenadantes coletados, filtrados a vácuo e congelados até a determinação da atividade enzimática. Os ensaios foram realizados em triplicata.

4.2.3 Determinação da atividade enzimática

4.2.3.1 Amilase

A atividade amilásica foi avaliada pela determinação de açúcares redutores formados durante a incubação e ocorreu em duas partes, a primeira foi verificar a quantidade formada para a solução enzimática (enzima livre) e a segunda para a enzima imobilizada no carvão. Primeiramente realizou-se a incubação de 250 µL de solução enzimática de amilase mais 250 µL de amido 1% (dissolvido em tampão

acetato de sódio 100 mM em pH 5,0) durante 10 minutos a 40°C. Em seguida, foram retiradas alíquotas de 100 µL e adicionadas em tubos de ensaio de 10 cm contendo 100 µL de ácido 3, 5 – dinitrosalicílico (DNS), que foram aquecidos em banho fervente por 5 minutos. Após o resfriamento, foi adicionado a cada tubo de ensaio 1,0 mL de água destilada e realizada a leitura da absorvância em espectrofotômetro a 540 nm, contra um branco constituído de água destilada e reagente DNS. Na segunda parte, repetiu-se o procedimento, contudo, ao invés de adicionar os 250 µL de solução enzimática, substituiu-a por 3 mg de cada amostra de enzima imobilizada mais 250 µL de água destilada. Realizou-se cada amostra em duplicata (MILLER, 1959). Os resultados foram obtidos pela Equação 2 e comparados com a curva de absorvância por concentração com solução inicial de $0,016 \pm 0,0008$ U/mL.

$$UI = \frac{D \times C (\mu\text{mol.mL}^{-1}) \times V_t(\text{mL})}{T(\text{min}) \times V_e (\text{mL})} \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo,

D - Diluição (quando for preciso diluir a solução enzimática);

C - Concentração determinada a partir do método DNS;

V_t - Volume total da reação;

T - Tempo;

V_e - Volume da solução enzimática.

4.2.3.2 Celulase

A atividade da celulase foi determinada em duas etapas, a primeira consistiu-se em analisar a atividade da enzima livre, ou seja, da solução enzimática de celulase. Na segunda etapa, determinou-se a atividade com a enzima imobilizada no carvão. Sendo assim, em três tubos de ensaio de 10 cm, contendo papel filtro *Whatman* nº1 (1 cm x 6 cm) em formato espiral, colocou-se 2 mL de solução tampão de citrato de sódio (50 mmol/L, pH 4,8) e 1 mL de solução enzimática. Em seguida a reação foi submetida a um banho-maria por aproximadamente 60 minutos a 50°C. Após esse processo, os tubos foram resfriados até alcançarem temperatura ambiente. Em seguida, foi retirada uma alíquota de 1 mL da solução e partindo dela, adicionou-se 3 mL do reagente DNS e 1 mL de água destilada e na sequência, a solução foi submetida novamente a um banho-maria a 100°C por 5 minutos e por fim, analisou-

se em temperatura ambiente a leitura das absorvâncias no espectrofotômetro a 540 nm, contra um branco constituído de água destilada e reagente DNS. Na segunda parte, repetiu-se o processo para cada amostra de enzima imobilizada, no qual, ao invés de se utilizar 1 mL de solução enzimática, adicionou-se 1 mL de água destilada e 3 mg de enzima imobilizada. Realizou-se cada amostra em duplicata (MILLER, 1959; SILVA *et al.*, 2003). Os resultados foram obtidos pela Equação 2 e comparados com a curva de absorvância por concentração com solução inicial de $0,058 \pm 0,0006$ U/mL.

4.2.4 Aplicação em processos de beneficiamento

4.2.4.1 Desengomagem enzimática (amilase)

Para o processo de desengomagem enzimática foram realizados o procedimento convencional, o procedimento com enzima imobilizada e o procedimento com carvão sem imobilizado, no qual, seguiu-se o método reproduzido em laboratório. Primeiramente pesou-se cinco amostras de tecido plano (15 cm x 2,5 cm), com composição 100% algodão engomado com goma a base de amido e calculou-se a média aritmética simples. Em seguida, a partir do resultado da massa em gramas, com uma relação de banho de 1:30 (tecido: água), o volume de banho foi determinado em mililitros. A quantidade de enzima livre, enzima imobilizada e carvão em gramas foram pesados, considerando 5% SPM e o detergente umectante foi adicionado com concentração de 1 mL/L. Após a preparação de cada amostra e suas respectivas soluções foram colocadas na máquina de canecas até atingir a temperatura de 70°C. Quando atingiu a temperatura, a máquina foi deixada em processo por 30 minutos. Ao final, as canecas foram retiradas da máquina e as amostras lavadas e colocadas pra secar em temperatura ambiente. A amostra utilizando carvão com enzima foi feita em duplicata. Depois de secas, foi realizado o teste de capilaridade baseado na norma JIS L1004, que consistiu em colocar em béquer uma solução de água e corante e marcar nas amostras secas 5 cm no sentido do comprimento, fazer a inserção de cada amostra no béquer durante 5 minutos e analisar seu nível de absorção.

4.2.4.2 Estonagem ou variação de *stone-wash* (celulase)

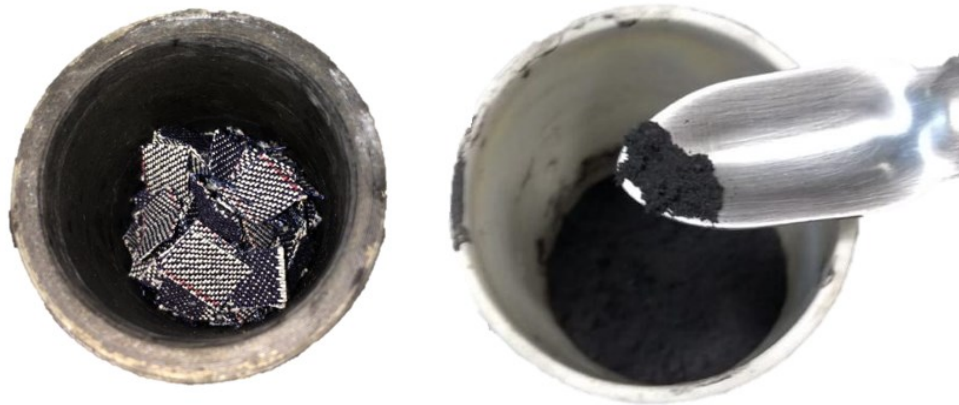
Para o processo de estonagem foram realizadas o método convencional, o método adaptado para enzima imobilizada e o método com carvão sem imobilizado. Para a enzima livre, seguiu-se o método reproduzido em laboratório, no qual utilizou-se 0,3% de enzima, ou seja, para cada 30 mL de água, utilizou-se 0,09 g de enzima mais 0,03 de antimigrante e 3 g de *jeans*. Para a enzima imobilizada e somente o carvão utilizou-se 0,6%, ou seja, para cada 30 mL de água 0,18 g de imobilizado mais os demais reagentes. Após a preparação, as amostras foram levadas a máquina de canecas pelo tempo de 50 minutos depois de atingir a temperatura de 50°C. Na sequência as amostras foram enxaguadas e secas em temperatura ambiente. As amostras utilizando carvão com e sem enzima foram feitas em duplicatas. Os resultados foram analisados por microscopia óptica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produção de carvão ativado

O *jeans* 100% algodão, material precursor utilizado, devidamente preparado e o carvão ativado pulverizado obtido no final do processo podem ser observados na Figura 6.

Figura 6 - Carvão ativado pulverizado a partir do material precursor *jeans* 100% algodão



Fonte: Autoria própria (2020)

O rendimento do carvão ativado com ácido fosfórico, pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Rendimento do carvão ativado

	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Rendimento (%)
Produção 1	5,0020	2,7365	54,71
Produção 2	10,0203	5,2759	52,65
Produção 3	10,0490	5,4808	54,54
Total	25,0713	13,4932	53,82

Fonte: Autoria própria (2020)

A ativação com agentes ácidos como o H_3PO_4 , interferem nas fases iniciais da carbonização, ou seja, enquanto a temperatura ainda está baixa, ao contrário da ativação com agentes básicos, que começam a reagir depois que o precursor já está parcialmente carbonizado, com a temperatura mais elevada. Com isso, o ácido promove as ligações de éster de fosfato, formando uma camada protetora na estrutura interna dos poros levando a formação de uma matriz rígida, impedindo a queima

excessiva do precursor resultando em um rendimento maior quando comparado a ativação com outros agentes (BRITO, 2016; MOPOUNG; AMORNSAKCHAI, 2015).

Brito (2016), ao utilizar como material precursor o caroço de cajá para a produção de carvão e ativá-lo com o agente ácido H_3PO_4 obteve rendimento de 24,02% enquanto que ao ativá-lo com o agente básico KOH, obteve rendimento de 12,10%. Linhares, Marcílio e Melo (2016) ao produzirem carvão a partir do resíduo de casca de acácia negra e realizar a ativação química com o agente ácido H_3PO_4 obteve um rendimento de 37,2%.

5.2 Imobilização das enzimas em carvão ativado

O método DNS ao reagir com açúcares redutores faz com que haja uma redução dos seus grupos nitro, formando um composto de cor avermelhada, que sofre forte absorvância em 540 nm e que pode ter seus dados quantificados por meio de uma comparação com a curva analítica de absorvâncias por concentração (GARCIA, 2010; PERFETO, 2012). A atividade enzimática das enzimas imobilizadas em carvão ativado, amilase e celulase, em diferentes tempos pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 - Imobilização das enzimas celulase e amilase em carvão ativado a 25 °C.

Tempo (minutos)	Amilase (U/g suporte)	Celulase (U/g suporte)
30	25,4 ± 1,58	7,64 ± 1,83
60	25,7 ± 6,75	20,3 ± 2,49
120	26,3 ± 3,42	3,86 ± 0,64
240	13,9 ± 0,00	1,22 ± 0,02
360	13,6 ± 0,22	0

Fonte: Autoria própria (2020)

A imobilização da enzima amilase no carvão ativado produzido, alcançou o máximo de atividade (26,3 ± 3,42 U/g) em 120 minutos, entretanto, em 30 minutos resultado semelhante pode ser encontrado (25,4 ± 1,58 U/g). Os resultados obtidos nesse trabalho são semelhantes a outros encontrados na literatura na imobilização desta enzima. Dey, Bhupinder e Banerjee (2003) ao imobilizar α -amilase por encapsulação em alginato de sódio a 57°C pelo tempo de 120 minutos, obtiveram uma atividade enzimática máxima de 25,6 U/g. Lim, Macdonald e Hill (2002) ao utilizarem o suporte de sílica ativado com 2,5% de glutaraldeído e imobilizarem a enzima α -

amilase de cevada por ligação covalente, a 4 ou 23°C pelo tempo de 60 ou 720 minutos, obtiveram uma atividade máxima de 0,46 U/g. Porto (2018) ao imobilizar α -amilase por ligação covalente em fibras sintética de PVA utilizando glutaraldeído em diferentes tempos, também observou a diminuição gradual da atividade enzimática conforme o aumento do tempo de imobilização.

A imobilização da enzima celulase em carvão ativado produzido, alcançou o máximo de atividade ($20,3 \pm 2,49$ U/g) em 60 minutos. Os resultados obtidos nesse trabalho são semelhantes a outros encontrados na literatura, Pereira (2019), ao estudar o rendimento da imobilização de celulase em gel de quitosana ativado com glutaraldeído por ligação covalente, a 50° C em diferentes pHs e tempos, obteve o melhor resultado em pH neutro no tempo de 60 minutos. Jesus *et al.* (2018), ao realizar a imobilização da celulase presente no caldo fermentado em suporte de quitosana por adsorção e posteriormente realizar a ativação com glutaraldeído por ligação covalente, obteve resultado de atividade de 0,124 U/g no tempo de 24 horas de imobilização, enquanto que Silva (2012), ao imobilizar celulase em alginato de cálcio por adsorção, conseguiu como o melhor resultado o valor de 0,134 U/g no qual a imobilização foi feita em agitação branda por 24 horas em temperatura ambiente.

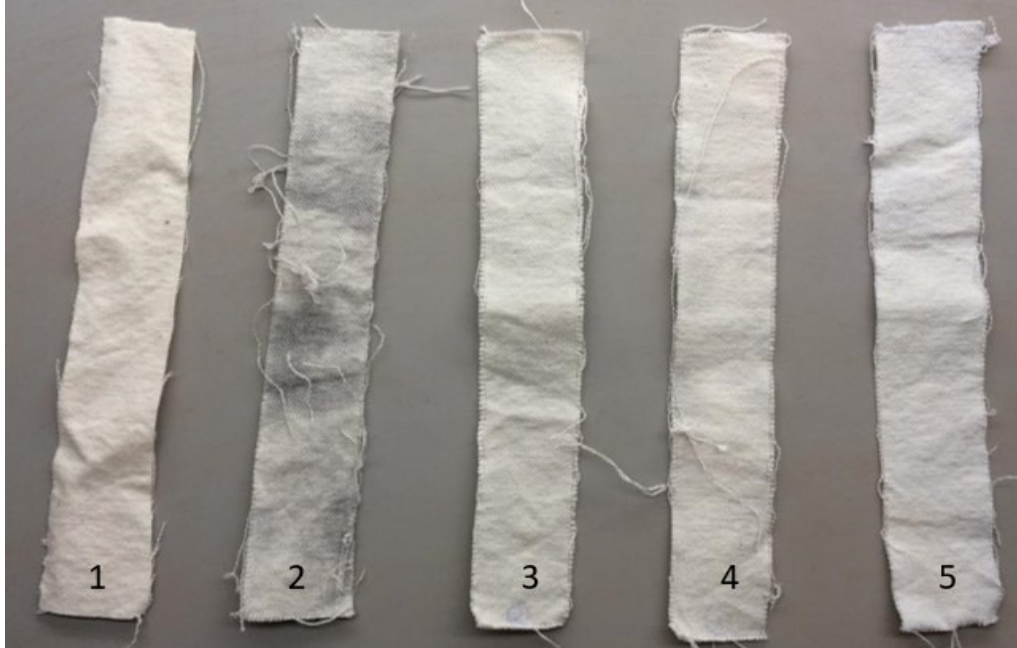
A diminuição da atividade enzimática em ambas enzimas podem ser justificadas por consequências da técnica de imobilização escolhida, a adsorção física apesar de ser um método simples e de baixo custo, pode levar a dessorção caso haja variações de fatores como: temperatura, pH e força iônica, na qual as interações no decorrer do processo acabam se tornando reversíveis e superficiais fazendo com que ocorra a perda de atividade (MENDES *et al.*, 2011; REIS, 2016). Para isso, é feito o controle destes parâmetros durante o processo de imobilização. Na adsorção de enzimas, o tempo de contato é um dos fatores determinantes. Inicialmente, a adsorção de moléculas cresce rapidamente até um certo tempo, normalmente de 60 minutos e, após este tempo a dessorção pode ocorrer. Portanto, para imobilização de enzimas por este método tempos reduzidos são utilizados (BALCÃO; PAIVA; MALCATA, 1996).

5.3 Aplicação em processos de beneficiamento

5.3.1 Amilase

A enzima amilase é utilizada em processo de beneficiamento com o intuito de remover a goma de amido. As amostras da Figura 7 apresentam da esquerda para a direita, 1 - o tecido engomado, sem a realização do processo de desengomagem, 2 - o tecido submetido ao processo com apenas carvão, 3 - o tecido desengomado com enzima imobilizada, 4 - a replicata do tecido engomado com enzima imobilizada e por fim, 5 - o tecido desengomado pelo processo convencional com enzima livre.

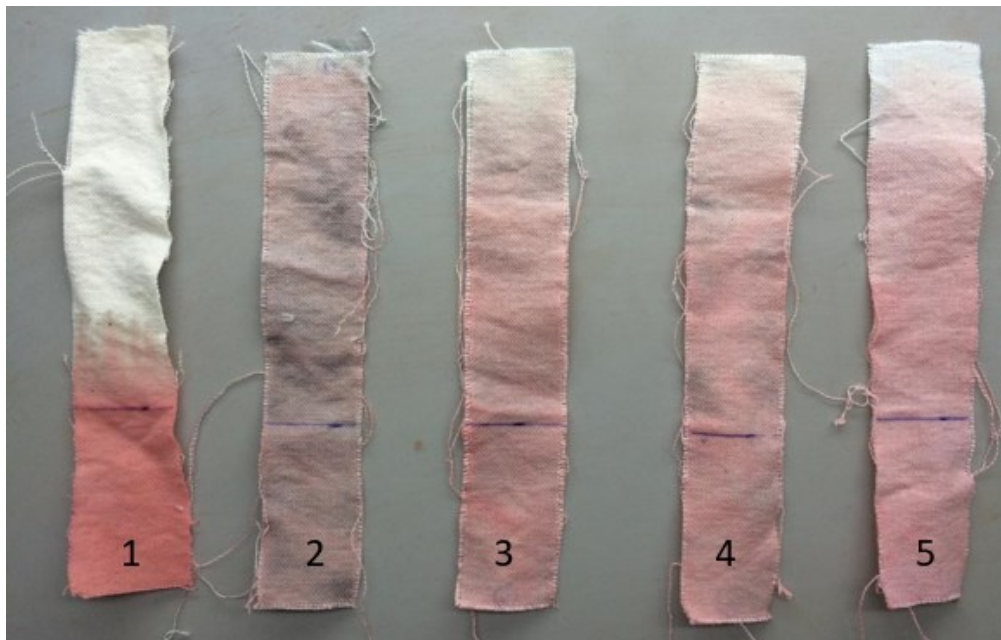
Figura 7 - Amostra crua engomada (1) e amostras após o processo de desengomagem (2, 3, 4 e 5)



Fonte: Autoria própria (2020)

A Figura 8 apresenta o resultado das amostras após o teste de capilaridade baseado na norma JIS L1004, no qual, a amostra 1 apresenta o tecido engomado, ou seja, sem a realização do processo de desengomagem, 2 - o tecido submetido ao processo com apenas carvão ativado, 3 - o tecido desengomado com enzima imobilizada, 4 - sua replicata e por fim 5 - o tecido desengomado pelo processo convencional com enzima.

Figura 8 - Resultado das amostras após o teste de capilaridade



Fonte: Autoria própria (2020)

A norma JIS L1004 permite analisar qualitativamente a absorção de líquido em uma amostra de tecido, como pode-se observar na Figura 8, a amostra 1 - engomada apresentou baixa absorção da solução de corante, o que já era esperado por estar engomada, enquanto que as demais amostras apresentaram absorção significativa, independente se o processo foi realizado com carvão ativado (2, 3 e 4) ou com a enzima livre (5). Segundo Brooks, Bashirelahi e Reynolds (2017), o carvão vegetal foi reconhecido como um material abrasivo, isso justifica a absorção de solução de corante na amostra 2, que foi desengomada com apenas carvão ativado sem estar com enzima imobilizada.

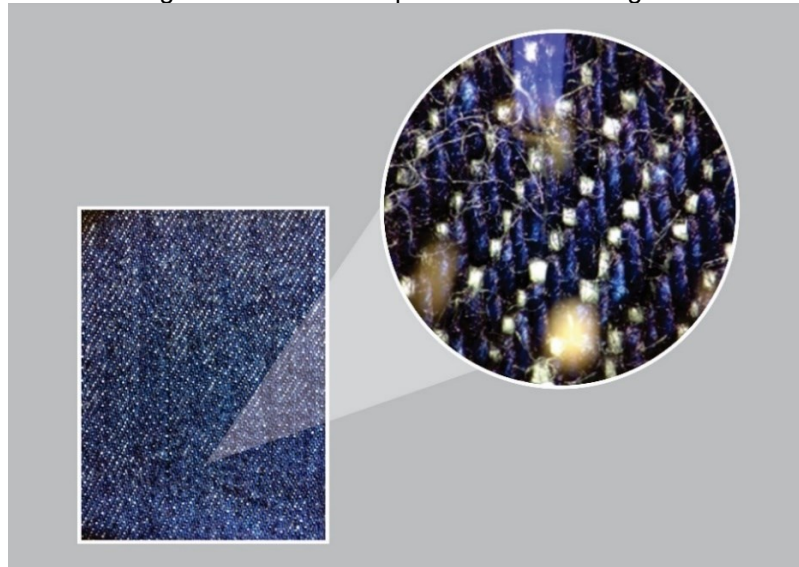
As amostras desengomadas com enzima imobilizada (3 e 4) apresentam absorção semelhantes se comparada com a amostra 5, do processo realizado com a enzima livre, o que condiz com o resultado satisfatório da atividade enzimática, mostrando que enzima imobilizada em carvão rompeu as ligações α -glucosídicas convertendo-as em produtos solúveis, desengomando-as (BEZERRA *et al.*, 2015).

5.3.2 Celulase

A enzima celulase quando adicionada a processos úmidos em artigos de denim, conferem a peça um desgaste desejável, maciez ao toque e auxilia na remoção de fibrilas soltas sobre a superfície do tecido de algodão, causadoras da formação de

pilling, devido ao atrito mecânico causado pelo movimento da peça durante o processo de estonagem (FURLAN, 2012; PERFETO, 2012). A Figura 9, apresenta a amostra de *jeans* utilizada sem o processo de estonagem.

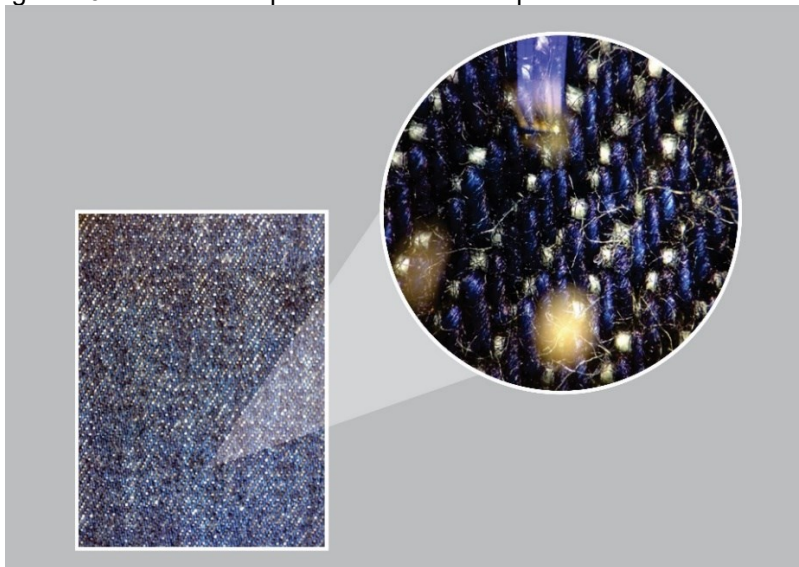
Figura 9 - *Jeans* sem processo de estonagem



Fonte: Autoria própria (2020)

A Figura 10 apresenta a amostra utilizada no processo úmido com carvão ativado sem enzima imobilizada, que se comparada com a Figura 9, apresenta um leve desgaste e superfície com fibrilas. A remoção da cor ocorrido no processo pode ser justificado pela abrasividade causada pelo carvão (BROOKS; BASHIRELAHI; REYNOLDS, 2017)

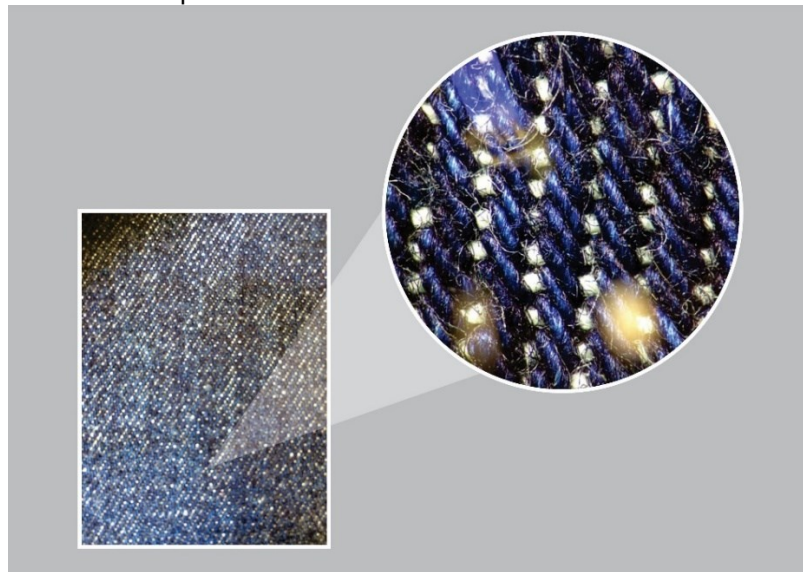
Figura 10 - Amostra do processo realizado apenas com carvão ativado



Fonte: Autoria própria (2020)

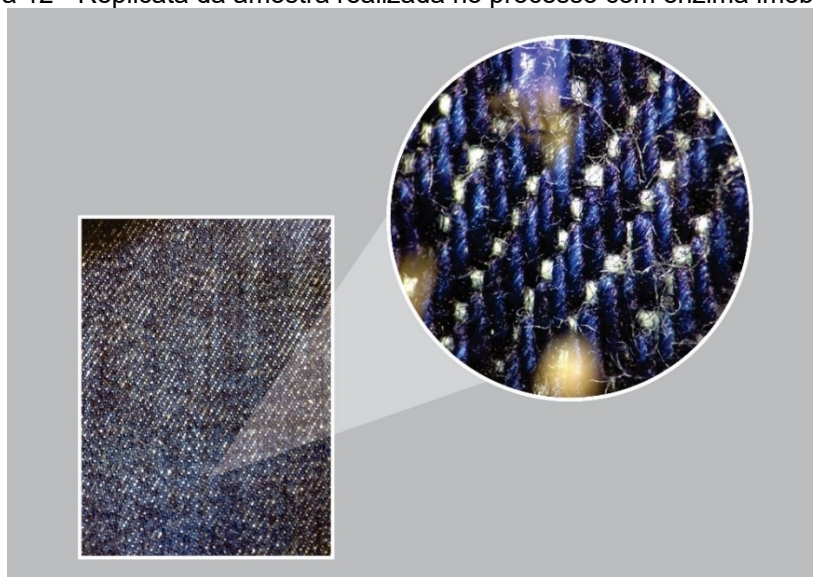
As Figuras 11 e 12, apresentam as amostras do processo que foram realizados com enzima celulase immobilizada em carvão ativado. Se comparada com a amostra da Figura 9, que não possui nenhum processo, fica perceptível que em ambas houve uma leve descoloração do tecido e ainda uma possível remoção de fibrilas sobre a superfície de cada amostra.

Figura 11 - Amostra do processo realizado com enzima immobilizada em carvão ativado



Fonte: Autoria própria (2020)

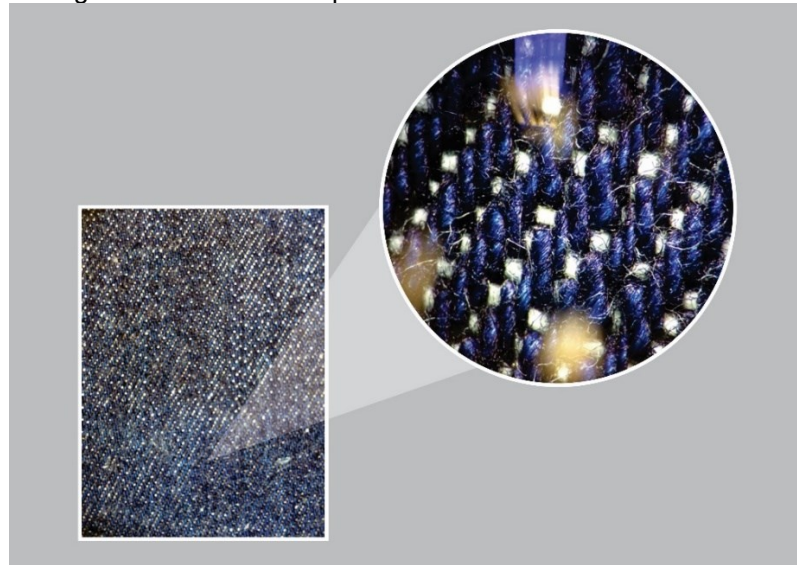
Figura 12 - Replicata da amostra realizada no processo com enzima immobilizada



Fonte: Autoria própria (2020)

A Figura 13 apresenta o processo de estonagem realizado com a enzima livre, ao compará-la com as demais amostras observa-se que o resultado foi o mais satisfatório pois microscopicamente houve a maior redução de fibrilas e sua descoloração está mais uniforme. Essa característica proporciona ao têxtil uma melhor característica visual e sensorial.

Figura 13 - Amostra do processo realizado com enzima livre



Fonte: Autoria própria (2020)

Contudo, comparando as amostras que foram estonadas com enzima e a que não foi submetida a nenhum processo, nota-se uma diferença entre elas mostrando o efeito da enzima celulase na celulose presente no *jeans* independente da enzima estar imobilizada ou não. Segundo Perfeto (2012), as concentrações de enzima bruta variam de 0,05% a 6% a partir do peso do tecido, influenciando no resultado final da amostra, como a concentração de celulase utilizada no processo foi de 0,6% para a enzima imobilizada e 0,3% para a enzima pura, pode-se ressaltar que a concentração da enzima não colaborou para que o efeito no final do processo fosse radical.

6 CONCLUSÃO

No intuito de minimizar a emissão de materiais têxteis descartados de maneira incorreta, dando-lhe uma finalidade após o processo de descarte e obter novas alternativas para esse material, o trabalho teve como objetivo obter a relação custo e benefício, a partir da produção de carvão ativado, utilizando o *jeans* 100% algodão, material precursor escolhido para o presente trabalho. Esse material, se mostrou um adsorvente eficiente para imobilização de enzimas, de baixo custo e abundante. E ao ser comparado com outros trabalhos apresentou resultados satisfatórios na ativação do carvão com ácido fosfórico.

A imobilização das enzimas amilase e celulase por adsorção física mostrou-se adequada e satisfatória tendo em vista as propostas do trabalho. Os resultados mais relevantes, obtidos em relação a atividade enzimática dos biocatalisadores, foram de $26,3 \pm 3,42$ U/g em 60 minutos de imobilização para a amilase e $20,3 \pm 2,49$ U/g em 120 minutos para celulase, ambos em temperatura de 25°C, que se comparados a literatura, mostram-se promissores. Ao serem aplicados em processos de beneficiamento têxtil como desengomagem e estonagem, apresentam resultados satisfatórios se comparados ao processo realizado com enzima livre.

Para contribuições em estudos futuros, alguns parâmetros relevantes como temperatura e concentração da enzima na imobilização podem ser otimizados, desencadeando em melhoras no processo e outras enzimas podem ser testadas no suporte proveniente de resíduos têxteis.

REFERENCIAS

ALI, Sikander; ZAFAR, Wajeeha; SHAFIQ, Sammia. Enzymes Immobilization: An Overview Of Techniques, Support Materials And Its Applications. **International Journal Of Scientific & Technology Research**, [s. l.], v. 6, n. 7, p.64-72, jul. 2017.

ARRUDA, Heder Jobbins de. Produção industrial de enzimas e aplicações no processo cervejeiro: uma revisão da literatura. **VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, Ponta Grossa, p.1-9, dez. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO - ABIT. Site. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 03 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

BALCÃO, Victor M.; PAIVA, Ana L.; MALCATA, F. Xavier. Bioreactors with immobilized lipases: state of the art. **Enzyme And Microbial Technology**, [S.l.], v. 18, n. 6, p. 392-416, maio 1996.

BATISTA, Eliziane; WTANABE, Júlia Yumi Moreira; OLIVEIRA, Valéria Maia de; PASSARINI, Michel Rodrigo Zambrano. Avaliação da produção de amilase e protease por bactérias da antártica. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetinga, v. 2, n. 5, p.13-29, abr. 2018.

BERNFELD, Peter. Amylases, α and β . **Methods In Enzymology**, [S. l.], p.149-158, 1955.

BEZERRA, Raquel N. *et al.* Alfa-Amilase ou Peróxido de Hidrogênio? Vantagens e desvantagens dos processos de desengomagem em tecidos de algodão 100%. **XX Simpósio Nacional de Bioprocessos XI Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassa**, Fortaleza, p. 1-6, set. 2015.

BOURNE, Edward J.; DAVIES, Dewi R.; PRIDHAM, John B. - α -amylase activity in sugar cane (*Saccharum officinarum*) chloroplasts. **Phytochemistry** v.9, p.345-348, 1970.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.

BRITO, Mylena Junqueira Pinto. **Imobilização de lipase em carvão ativado produzido a partir do caroço de cajá**. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Itapetinga, 2016.

BROOKS, John K.; BASHIRELAHI, Nasir; REYNOLDS, Mark A.. Charcoal and charcoal-based dentifrices. **The Journal Of The American Dental Association**, [S.l.], v. 148, n. 9, p. 661-670, set. 2017.

CARDOSO, Carmen Lúcia; MORAES, Marcela C. de; CASS, Quezia B.. Imobilização de enzimas em suportes cromatográficos: uma ferramenta na busca por substâncias bioativas. **Química Nova**, [S.l.], v. 32, n. 1, p.175-187, 2009.

CARVALHO, Raquel Vieira de. **Produção e caracterização de α -amilase por *Bacillus sp. Smia-2* termofílico utilizando proteínas do soro de leite, e algumas aplicações da enzima**. 2017. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2007.

CASTRO, Aline Machado de; PEREIRA JUNIOR, Nei. Produção, propriedades e aplicação de celulasas na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Química Nova**, [S.l.], v. 33, n. 1, p.181-188, 2010.

CEZAR, Marina Seibert. Moda e Gênero: corpo político, cultura material e convenções na construção da aparência. **Novo Hamburgo**: Editora Feevale, 2019. 168 p.

DALLA-VECCHIA, Roberto; NASCIMENTO, Maria da Graça; SOLDI, Valdir. Aplicações Sintéticas De Lipases Imobilizadas Em Polímeros. **Química Nova**, Itajaí, v. 27, n. 4, p.623-630, maio 2004.

DEY, Gargi; BHUPINDER, Singh; BANERJEE, Rintu. Immobilization of alpha-amylase produced by *Bacillus circulans* GRS 313. **Brazilian Archives Of Biology And Technology**, [S.L.], v. 46, n. 2, p. 167-176, mar. 2003.

EURATEX. European Technology Platform: for the future of textiles and clothing - a vision for 2020. Brussels, Bélgica: **European Apparel and Textile Organization**, Dezembro, 2004.

FORGIARINI, Eliane. **Degradação de Corantes e Efluentes Têxteis Pela Enzima *Horseradish Peroxidase* (HRP)**. 2006. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

FREIRE, Estevão; LOPES, Guilherme Bretz. Implicações da Política Nacional de Resíduos Sólidos para as práticas de gestão de resíduos no setor de confecções. **Revista de Design, Inovação e Gestão Estratégica**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p.1-22, abr. 2013.

FUJITA, Renata Mayumi Lopes; JORENTE, Maria José. **A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural**. Revista Moda Palavra e-Periódico vol.8, n.15, jan./jul.2015.

FURLAN, Franciele Regina. **Caracterização e aplicação de enzimas de forma combinada na Biopreparação de tecidos felpudos de algodão**. 2012. 151 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

GARCIA, Andre Castilho. **Glicerol e açúcares totais em aguardentes de cana-de-açúcar**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química Analítica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

GARCIA, Renato; OLIVEIRA, Andrea de; MADEIRA, Paula. Documento setorial: têxtil, vestuário e calçados. São Paulo: Documento Não Editorado, 2009. 256 p.

GENTILE, Ana Paula; MORO, Rita de Cássia Lopes; MENDES, Francisca Dantas. Design com foco na redução dos resíduos sólidos: um estudo de caso em malharia retilínea. **Moda palavra e-periódico**, São Paulo, v. 17, n. 9, p.355-358, jun. 2016.

HIRATUKA, Célio; VIANA, Cristiane; ARAÚJO, Rogério Dias de; MELLO, Carlos Henrique; ULHARUZO, Caetano Glavam. Relatório de acompanhamento setorial têxtil e confecção. Campinas: **Universidade Estadual de Campinas**, 2008. 21 p.

JESUS, Jean Nascimento de; CAVALCANTE, Paula Acioly Wanderley; ALMEIDA, Carlos Márcio Silva; OLIVEIRA, Thaynah Souza de Oliveira; VARANDAS, Vinicius Silva; COELHO, Diego Freitas; RODRIGUES, Jacqueline Rêgo da Silva; SOUZA, Roberto Rodrigues de. Imobilização da celulase presente em caldo fermentado em um suporte a base de quitosana. **Scientia Plena**, [S.I.], v. 14, n. 6, p.1-9, 23 jul. 2018. Associação Sergipana de Ciência.

KOHAN, Laís; ARAUJO, Mauricio de Campos. Processos Enzimáticos na Indústria Têxtil: uma alternativa com menor impacto ambiental. **Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP**, São Paulo, v. 16, p.1-6, 2008.

LIM, Leng Hong; Macdonald, Douglas G.; Hill, Gordon A. Hydrolysis of starch particles using immobilized barley alfa-amylase. **Chemical Engineering**, Saskatoon, p. 53-62, jul. 2002.

LINHARES, Felipe de Aguiar; MARCÍLIO, Nilson Romeu; MELO, Pedro Juarez. Estudo da produção de carvão ativado a partir do resíduo de casca da acácia negra com e sem ativação química. **Scientia Cum Industria**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 74-79, 10 out. 2016. Universidade Caixias do Sul.

MÄNTSÄLÄ, Pekka; NIEMI, Jarmo. Enzymes: the biological catalysts of life. **Physiology And Maintenance**, [S. I.], v. 2, p.1-22, 2009.

MARTINEZ, Maria Elisa Marciano; REIS, Marcello Carvalho dos; REIS, Patrícia Carvalho dos; SALES, Lorena Angelo de Castro. Avaliação da capacidade inovativa sobre a ótica patentária brasileira do emprego de biotecnologias na indústria têxtil. **Cadernos de Prospecção**, [S.I.], v. 11, n. 3, p.888-899, 30 set. 2018. Universidade Federal da Bahia.

MELLO, Ana Carina Cruz de. **Estudo da aplicação da enzima tirosinase imobilizada em carvão ativado granular para remoção de fenol de efluentes**. 2017. 93 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MENDES, Adriano A.; OLIVEIRA, Pedro C. de; CASTRO, Heizir F. de; GIORDANO, Raquel de L. C. Aplicação de quitosana como suporte para a imobilização de enzimas de interesse industrial. **Química Nova**, [S. I.], v. 34, n. 5, p.831-840, mar. 2011.

MENEGUCCI, Franciele; MARTELI, Leticia; CAMARGO, Maristela; VITO, Meriele. Resíduos têxteis: Análise sobre descarte e reaproveitamento nas indústrias de

confeção. **XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, Rio de Janeiro, p.1-12, ago. 2015.

MESACASA, Andréia; CUNHA, Mario Antônio Alves da. Desenvolvimento de produtos de moda a partir de resíduos têxteis: um estudo na cidade de Pato Branco - PR. **Dapesquisa**, [S.l.], v. 14, n. 23, p.66-87, 2 ago. 2019. Universidade do Estado de Santa Catarina.

MESQUITA, Martha Vitória Norberto; GOMES, Laércio da Silva; MATOS, Luis Felipe Lima; OLIVEIRA, Aylla Beatriz Melo de; NUNES, Daniel Barbosa; CAMBRUSSI, Anallyne Nayara Carvalho Oliveira, FREITAS, Alessandra Ribeiro; RIBEIRO, Alessandra Braga. Imobilização enzimática em matrizes poliméricas. **Boletim Informativo Geum**, Teresina, v. 9, n. 2, p.35-50, jun. 2018.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**. v. 31, n.3, p. 426-429, 1959.

MOPOUNG, Sumrit; AMORNSAKCHAI, Pornsawan. Microporous Activated Carbon Fiber from Pineapple Leaf Fiber by H₃PO₄ Activation. **Asian Journal Of Scientific Research**. [S.l.], p. 24-33. out. 2015.

MUNARETTO, Cristiane Brancher. **Imobilização da inulinase de *Kluyveromyces marxianus* nr1 y-7571 em carvão ativado e alginato de sódio**. 2011. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2011.

NELSON, Norton A. Photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. **Journal Biological Chemistry**, v. 153, p.375-380, 1944.

NOBRE, João Rodrigo Coimbra *et al.* Caracterização do carvão ativado produzido a partir de serragens de maçanduba. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 693-702, jul. 2015.

OGEDA, Thais Lucy; PETRI, Denise F. S.. Hidrólise Enzimática de Biomassa. **Química Nova**, [S.l.], v. 33, n. 7, p.1549-1558, 2010.

OLIVEIRA, George Augusto Veloso de. **Equilíbrio químico e cinética enzimática da interação de α -amilase com compostos fenólicos encontrados em cerveja**. 68 f. 2017. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, Minas Gerais, 2017.

PANDEY, Ashok; NIGAM, Poonam; SOCCOL, Carlos R.; SOCCOL, Vanete T.; SINGH, Dalel; MOHAN, Radjiskumar. Advances in microbial amylases. **Biotechnol. Appl. Biochem**, Grã-bretanha, v. 31, p.131-152, 2000.

PEREIRA, Carolina Morgado. O Vestuário e a Moda: e suas principais correntes teóricas. **Revista Modapalavra E-periódico**, [S. l.], v. 8, n. 15, p.202-221, jul. 2015.

PEREIRA, Mariana Bisinotto. **Imobilização de biocatalisadores para hidrólise enzimática de materiais lignocelulósicos**. 2019. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

PERFETO, Marcelo Wigg. **Avaliação do efeito da inibição da celulase no biopolimento de substrato de algodão**. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

PORTO, Mariana Dias Antunes. **Imobilização de α -amilase em fibras de álcool polivinílico via electrospinning e sua atividade em diferentes substratos**. 2018. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química de Alimentos, Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

RECH, Sandra Regina. Estrutura da Cadeia Produtiva da Moda. **Revista Modapalavra E-periódico**, Florianópolis, Ano 1, n. 1, p.7-20, jan-jul. 2008.

REIS, Daiane Felix. **Imobilização de protease de bacillus sp. P45 em diferentes suportes**. 2016. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2016.

REVISTA PROCESSOS QUÍMICOS. Goiânia: Senai/DR, v. 3, n. 5, 2009.

RIBEIRO, B. D.; CASTRO, A. M.; SALGADO, A. M.; COELHO, M. A. Z.. Aplicação de Enzimas: Propostas para Disciplina Experimental. **Revista Virtual de Química**, [S.l.], v. 5, n. 5, p.787-805, jul. 2013.

ROSS, Peter; MAYER, Raphael; BENZIMAN, Moshe. Cellulose Biosynthesis and Function in Bacteria. **Microbiological Reviews**, Jerusalém, v. 55, n. 1, p.35-38, mar. 1991.

ROWLING, J.K.; **Harry Potter e o prisioneiro de Azkaban**. 1ª ed. – Rio de Janeiro: Rocco, 2020.

SALOMÃO, Evelyn de Andrade. **Purificação e caracterização bioquímica das amilases produzidas por Aspergillus sp. e Neurospora crassa exo-1: imobilização da enzima em alginato de sódio**. 2017. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Bioquímica e Biologia Molecular, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2017.

SHRIMALI, Khushboo; DEDHIA, Ela. Enzymatic Finishing of Textiles. **International Journal Of Science And Research (ijsr)**, Mumbai, v. 5, n. 5, p.674-677, maio 2016.

SILVA FILHO, José Adalberto da; SANTOS, João Paulo de Oliveira; SOARES, Francisco Jeanes Silva; FERNANDES, José Normand Vieira; SILVA, José Luiz Carneiro da; FERREIRA, Jonathan De Araújo Moraes. Aplicação da pegada ecológica como indicador de sustentabilidade para análise da geração de resíduos sólidos urbanos. **Acta Biológica Catarinense**, Joinville, v. 6, n. 3, p.5-13, jul. 2019.

SILVA, Ana Carolina Matos da; ROEDEL, Tamily. Moda e sustentabilidade: desenvolvimento de uma coleção de bolsas a partir de resíduos têxteis. **6º Congresso Científico de Têxtil e Moda**, Brusque, v. 1, n. 6, p.1-17, jun. 2018.

SILVA, Douglas Fernandes da. **Seleção de microrganismos celulolíticos, imobilização e aplicação das celulases, produzidas e comercial, na hidrólise da**

celulose. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

SILVA, Laís Graziela de Melo da. **Biopurga de malha de algodão utilizando processo enzimático com associação de enzimas**. 2013. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SILVA, Taís Larissa; CAZETTA, André Luis; SOUZA, Patrícia S. C.; ZHANG, Tao, AZEFA, Tewodros; ALMEIDA, Vitor C.. Mesoporous activated carbon fibers synthesized from denim fabric waste: Efficient adsorbents for removal of textile dye from aqueous solutions. **Journal Of Cleaner Production**, [S.l.], v. 171, p.482-490, jan. 2018.

SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE FIAÇÃO E TECELAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO - SINDITÊXTIL-SP. **Retalho Fashion – Projeto de reciclagem une meio ambiente e inclusão social**. Ano VII, n. 25, p.1-12, jul. 2012.

SOMOGY, Michael. Determination of blood sugar. **Journal Biological Chemistry**, v. 160, p. 69-73, 1945.

SOUZA, Lívia Tereza de Andrade; VERÍSSIMO, Lizzy Ayra Alcântara; JOÃO, Benevides Costa Pessela; SANTORO, Marcelo Matos; RESENDE, Rodrigo R.; MENDES, Adriano A.. Imobilização enzimática: princípios fundamentais e tipos de suporte. **Biotecnologia Aplicada À Agro&indústria - Vol. 4**, [S.L.], p. 529-568, 31 jan. 2017.

STANKOVIC, Ivana. **Dinâmica molecular de celulases: estudos de reconhecimento de substrato e propriedades conformacionais**. 2014. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

VOET, D.; VOET, J. G. **Bioquímica**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2013.

WERLANG, Eliana Betina; SCHNEIDER, Rosana de Cassia de Souza; RODRIGUEZ, Adriane Lawisch; NIEDERSBERG, Carolina. Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais. **Revista Jovens Pesquisadores**, Santa Cruz do Sul, jul. 2013.

WINGARD JR., L.B. Enzyme engineering: a new area of specialization. **Biotechnology and Bioengineering**, New York, n. 3, p. 3-13, 1972.

ZHENG, Jieying; ZHAO, Quanlin; YE, Zhengfang. Preparation and characterization of activated carbon fiber (ACF) from cotton woven waste. **Applied Surface Science**, [s.l.], v. 299, p.86-91, abr. 2014.