

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
ENGENHARIA TÊXTIL

THAÍS CORREIA GUIMARÃES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
Biodegradação de Resíduo Têxtil de Algodão

APUCARANA

2019

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
ENGENHARIA TÊXTIL

THAÍS CORREIA GUIMARÃES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
Biodegradação de Resíduo Têxtil de Algodão

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado como requisito para obtenção  
do grau de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Milena Martins  
Andrade

APUCARANA  
2019



**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:**

**Biodegradação de resíduo têxtil de algodão**

por

**THAIS CORREIA GUIMARAES**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos nove dias do mês de julho do ano de dois mil e dezenove, às quatorze horas, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Têxtil do curso de Engenharia Têxtil da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinado. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

**PROFESSOR(A) MILENA MARTINS ANDRADE – ORIENTADORA**

---

**PROFESSOR (A) VALQUIRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO – EXAMINADOR(A)**

---

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

\*A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

A Deus por me sustentar até aqui.  
Aos meus pais e irmão por todo apoio.  
À minha orientadora pela dedicação.  
A todos que me ajudaram e apoiaram.

## AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Milena Martins Andrade, pelo seu trabalho, ensinamentos, dedicação, paciência e por ter aceito orientar esse trabalho.

À aluna de Engenharia Têxtil Letícia Sotti que me acompanhou durante os processos com muito empenho, dedicação e vontade de aprender e continuar o trabalho.

À Luana Dumas, funcionária da Universidade, por todas as suas contribuições, ajuda e apoio neste trabalho.

Ao Prof. Dr<sup>o</sup>. Fábio Scacchetti por suas contribuições.

Ao aluno de Engenharia Química Vinícius Higuti pela ajuda.

Ao aluno de Licenciatura em Química Deiviti Impossetto pela ajuda.

Aos colegas de laboratório pela ajuda e parceria.

À banca por ter aceito o convite de participar.

À minha mãe Jucelia Guimarães, meu pai Paulo César e meu irmão João Felipe por estarem ao meu lado, pelo apoio, amor, carinho, paciência e por me darem forças para continuar.

Às minhas amigas e amigos por estarem ao meu lado e por torcerem por mim.

## RESUMO

A indústria têxtil gera toneladas de resíduos em todos os setores e, dos resíduos sólidos gerados, parte é reciclada ou reaproveitada, mas a maioria é depositada em aterros industriais e os efluentes passam por tratamentos físico, químicos, biológicos ou avançados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Apucarana, o Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento e de Produção do Vestuário gera uma grande quantidade de retalhos com composição de algodão que são depositados em aterros industriais. No Laboratório de Lavanderia é gerado um volume considerável de efluente contendo a enzima celulase durante as aulas práticas da disciplina de Tecnologia de Lavanderia Industrial. Estas enzimas são descartadas juntamente com outros efluentes líquidos de todos os laboratórios, contendo reagentes químicos e corantes que recebem tratamento químico. Neste trabalho, foi realizada a biodegradação do resíduo sólido de algodão com o efluente contendo a enzima celulase. Em conclusão, a utilização do efluente contendo a enzima celulase promoveu alteração no resíduo sólido testado, principalmente quando se elevou a temperatura para 50 °C. Este trabalho serve como base para a otimização do processo de biodegradação, assim como avaliar detalhadamente os produtos resultantes.

**Palavras – chave:** resíduo sólido, efluente, celulases, biodegradação.

## ABSTRACT

The textile industry generates tons of waste in all sectors. Part of the solid waste is recycled or reused, but a big part is deposited in landfills and the effluents undergo physical, chemical, biological or advanced treatments. At the Technological Federal University of Paraná, campus Apucarana, the Laboratory for Research and Development and Production of Clothing generates a large amount of patchwork with cotton composition that is deposited in landfills. In the Laundry Laboratory a considerable volume of effluent containing cellulase enzyme is generated from the practical classes of the Industrial Laundry Technology. These enzymes are discarded along with other liquid effluents from all laboratories, containing chemical reagents and dyes that receive chemical treatment. Thus, the aim of this study was to promote the biodegradation of solid cotton waste generated from the University labs with cellulase enzymes remaining from practical classes, expecting to reduce the environmental impact. In conclusion, the use of the effluent containing the enzyme cellulase promoted alteration in the solid residue tested, mainly when the temperature was raised to 50 °C. This work serves as a basis for the optimization of the biodegradation process, as well as to evaluate in detail the resulting products.

**Key words:** waste solid, effluent, cellulase, biodegradation.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> - Estrutura primária da celulose (n pode ser milhares).....           | 15 |
| <b>Figura 2</b> - Esquema da ação das enzimas na celulose .....                       | 15 |
| <b>Figura 3</b> - Fluxograma da cadeia têxtil produtiva.....                          | 17 |
| <b>Figura 4</b> - Esquema da etapa I .....  | 23 |
| <b>Figura 5</b> - Esquema da etapa II .....   | 24 |
| <b>Figura 6</b> - Malha crua antes e depois do processo de biodegradação .....        | 27 |
| <b>Figura 7</b> - Malha verde antes e depois do processo de biodegradação .....       | 28 |
| <b>Figura 8</b> - Tecido cru antes e depois do processo de biodegradação .....        | 28 |
| <b>Figura 9</b> - Tecido rosa antes e depois do processo de biodegradação .....       | 28 |
| <b>Figura 10</b> - Influência da temperatura na atividade da enzima celulase .....    | 29 |
| <b>Figura 11</b> - Tecido cru com efluente não triturado e triturado .....            | 31 |
| <b>Figura 12</b> - Tecido cru com solução de celulase não triturado e triturado ..... | 32 |
| <b>Figura 13</b> - FTIR antes do processo de biodegradação .....                      | 36 |
| <b>Figura 14</b> - FTIR depois do processo de biodegradação.....                      | 36 |
| <b>Figura 15</b> - Estrutura do corante índigo Blue.....                              | 37 |
| <b>Figura 16</b> - FTIR da solução de celulase após o processo de biodegradação       | 37 |



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1</b> - Peso inicial das amostras de tecido cru.....  | 24 |
| <b>Tabela 2</b> - Porcentagem de biodegradação do tecido cru .....  | 30 |
| <b>Tabela 3</b> - Atividade da Enzima .....   | 34 |
| <b>Tabela 4</b> - Quantidade de açúcar redutor presente nas amostras de solução enzimática e efluente antes e após o tratamento ( $\mu\text{mol}$ de glicose) ..... | 34 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | 12 |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....  | 13 |
| <b>2.1 Objetivo Geral</b> .....  | 13 |
| <b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....   | 13 |
| <b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....  | 14 |
| <b>3.1 Enzimas</b> .....   | 14 |
| <b>3.2 Celulase: Definição e Mecanismo de Ação</b> .....   | 14 |
| <b>3.3 Biodegradação</b> .....   | 16 |
| <b>3.4 Indústria Têxtil</b> .....  | 17 |
| 3.4.1 Beneficiamento Têxtil .....  | 17 |
| 3.4.2 Confeção .....   | 18 |
| 3.4.3 Lavanderia Industrial .....  | 19 |
| <b>3.5 Resíduos</b> .....  | 19 |
| 3.5.1 Resíduos Têxteis.....  | 20 |
| <b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....  | 22 |
| <b>4.1 Materiais</b> .....   | 22 |
| <b>4.2 Métodos</b> .....   | 22 |
| 4.2.1 Preparo das amostras dos resíduos de algodão .....   | 22 |
| 4.2.2 Biodegradação dos resíduos de algodão .....  | 22 |
| 4.2.3 Cálculo da porcentagem de biodegradação .....  | 24 |
| 4.2.4 Análise microscópica do resíduo sólido.....  | 24 |
| 4.2.5 Atividade enzimática .....   | 25 |
| 4.2.6 Análise de açúcares redutores pelo método DNS .....  | 25 |
| 4.2.7 Análise do efluente antes e após o processo de biodegradação por espectroscopia de absorção no infravermelho (FTIR)..... | 26 |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 27 |
| <b>5.1 Preparo das amostras dos resíduos de algodão</b> .....  | 27 |
| <b>5.2 Biodegradação dos resíduos de algodão</b> .....   | 27 |
| 5.2.1 Etapa I.....   | 27 |
| 5.2.2 Etapa II .....   | 29 |
| <b>5.3 Atividade Enzimática</b> .....  | 33 |
| <b>5.4 Análise de açúcares redutores pelo método de DNS</b> .....  | 34 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>5.5 Análise do efluente antes e após o processo de biodegradação por espectroscopia de absorção no infravermelho (FTIR).....</b> | <b>35</b> |
| <b>6. CONCLUSÃO .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>   | <b>39</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil possui existência em todos os países devido à necessidade humana de vestuário e usos utilitários variados como: decoração; área hospitalar; militar; automobilística; construção civil, entre outros, tendo um significado importante nas dimensões social, cultural, econômica e política, influenciando costumes e tendências. Com isso, a sociedade desenvolveu uma infraestrutura produtiva que se transformou em parques industriais enfrentando uma demanda de larga escala no mercado interno e externo. Esta infraestrutura constitui uma rede de infrassegmentos produtivos independentes, tais como o beneficiamento das fibras naturais, a fiação de fibras naturais, artificiais e sintéticas, tecelagem, malharia, confecção, lavanderia, entre outros (FUJITA; JORENTE, 2015).

Todos esses segmentos geram resíduos, sendo de dois principais tipos: resíduos sólidos e efluentes. Os resíduos sólidos gerados, em sua maioria, não são considerados perigosos, mas representam um problema para as empresas. São principalmente constituídos por fibras têxteis e retalhos da confecção. Os efluentes contêm diferentes produtos químicos, resultante dos beneficiamentos utilizados, atingindo valores elevados de carga orgânica, temperatura, salinidade, cor e outros, por vezes passando do limite permitido pela legislação (CHAMBINO; CORREIA, 2009). O efluente gerado no processo de biopolimento do tecido de algodão, que contém a enzima celulase, pode ser separado antes do descarte e ser reutilizado, pois grande quantidade de enzima ainda pode estar presente. Este efluente pode ser aplicado na biodegradação do resíduo sólido têxtil que não é reutilizado.

Parte do resíduo sólido é reaproveitada ou reciclada, mas ainda sobram fios e retalhos que são destinados a aterros industriais e/ou incineração. Os resíduos líquidos passam pelo tratamento de efluentes, que muitas vezes é dispendioso e utiliza reagentes químicos. Desta forma, este trabalho propõe desenvolver uma alternativa econômica de tratamento do resíduo sólido gerado nos laboratórios de confecção e vestuário, que são retalhos de tecido de algodão, juntamente com o resíduo líquido (efluente) contendo a enzima celulase da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Apucarana (UTFPR, campus Apucarana).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Promover a degradação dos resíduos sólidos têxteis com resíduos líquidos (efluente) contendo a enzima celulase coletados nos laboratórios da UTFPR, campus Apucarana.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Coletar o efluente gerado nas aulas práticas do Laboratório de Lavanderia contendo a enzima celulase;
- Coletar o resíduo sólido gerado nas aulas práticas dos Laboratórios de Pesquisa e Desenvolvimento e de Produção do Vestuário;
- Aplicar o efluente na biodegradação do resíduo sólido;
- Avaliar as variáveis tempo, temperatura e agitação na biodegradação;
- Monitorar a biodegradação do resíduo sólido por gravimetria e análise microscópica;
- Avaliar o efluente líquido após o processo de biodegradação por espectroscopia no infravermelho.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Enzimas

As enzimas são amplamente utilizadas em diversos setores industriais, como por exemplo: análises; biossensores; indústria de alimentos; indústria de curtumes; indústria de papel e celulose; indústria têxtil; medicina; produção de álcool; produção de detergentes, óleos e gorduras (SINGH et al., 2016).

Enzimas são catalisadores biológicos que em sua maioria são de origem proteica atuando com o controle metabólico, acelerando reações termodinamicamente favorecidas, onde são versáteis, estero específicas e com alto grau de importância em processos biotecnológicos (COELHO; SALGADO; RIBEIRO, 2008).

Em processos em que são utilizadas substâncias químicas sintéticas, as enzimas podem substituir e colaborar para processos de produção e/ou gerar benefícios para o meio ambiente, por meio da biodegradabilidade e do menor consumo de energia, possuindo mais especificidade em sua ação do que as substâncias químicas sintéticas (UEDA et al., 2004). Uma das enzimas utilizadas em indústrias têxteis é a celulase.

#### 3.2 Celulase: Definição e Mecanismo de Ação

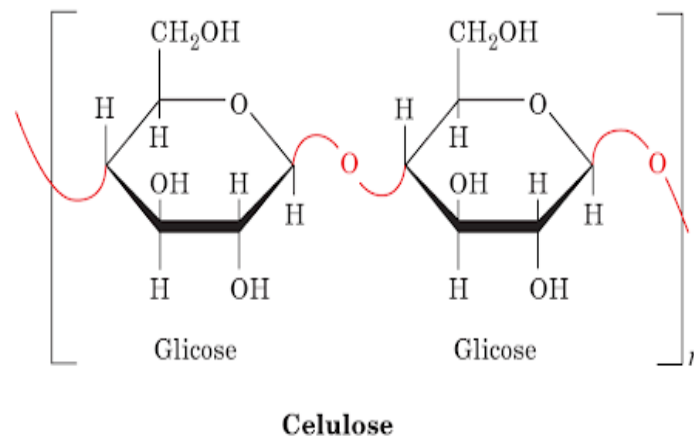
Celulases são enzimas que possuem a capacidade de degradar a celulose que representa o principal componente estrutural das paredes celulares de plantas. Com maior abundância nos vegetais, podem ser produzidas por algas, fungos e algumas bactérias (SJÖSTRÖM, 1993; ROSS; MAYER; BENZIMAN, 1981).

A celulose é um homopolissacarídeo linear formado por unidades monoméricas de D-glicose podendo conter até 15.000 unidades por ligações glicosídicas  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) (VOET; VOET, 2013). Sua estrutura primária está representada na Figura 1.

As cadeias de celulose agrupam-se formando fibrilas e apresentam ligações de hidrogênio entre as aglomerações hidroxila intra e intercadeiras, o que se denomina de cristalinidade da celulose (dividida em regiões cristalinas e

amorfos). As regiões cristalinas (cadeias ordenadas paralelamente) possuem maior resistência a tração, alongamento e a absorção de solvente do que as regiões amorfas (cadeias menos ordenadas), na qual possui maior flexibilidade (GALDEANO, 2001; VÁSQUEZ et al., 2007).

**Figura 1** - Estrutura primária da celulose (n pode ser milhares)



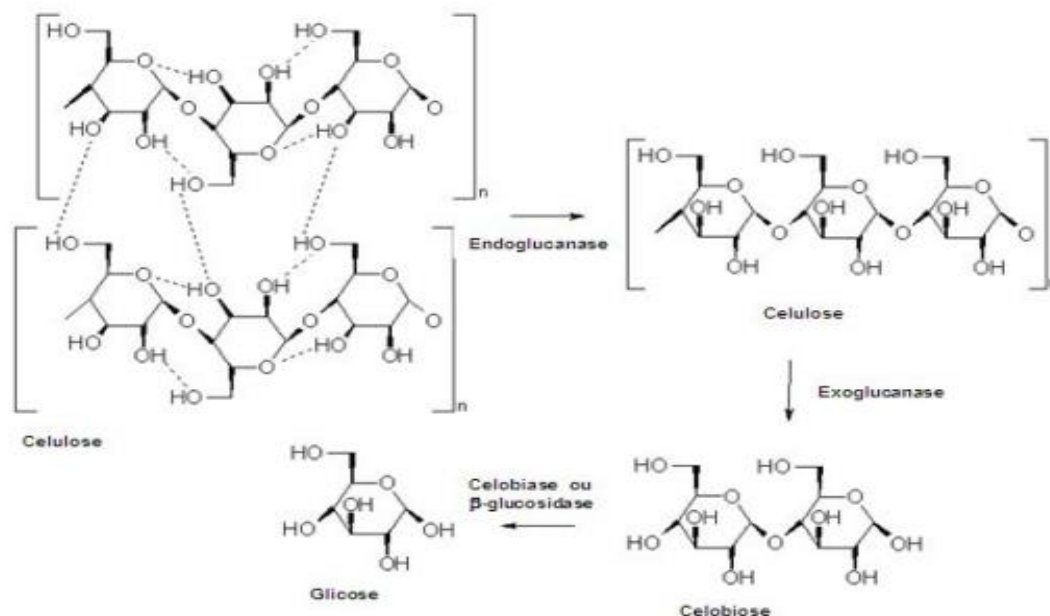
**Fonte:** VOET; VOET (2013).

As celulases são constituídas por um conjunto de três classes de enzimas, que possuem atuação na hidrólise da celulose que são: endoglucanases, exoglucanases e 1,4- $\beta$ -D-glucosidases ou celobiasas (JUHÁSZ et al., 2005).

- Endoglucanases: responsável por iniciar a hidrólise;
- Exoglucanases: capacidade de liberar glicose diretamente do polímero (OLSSON; HAHN-HÄGERDAL, 1996);
- 1,4- $\beta$ -D-glucosidases ou celobiasas: responsável pela transformação das regiões amorfas em regiões cristalinas (amorfogênese) (OHMIYA et al., 1982).

A Figura 2 exemplifica a ação das enzimas celulases na celulose:

**Figura 2** - Esquema da ação das enzimas na celulose



Fonte: ZHANG et al., (2006).

O esquema acima age da seguinte forma: a primeira ação randômica, onde causa mudança rápida no grau de polimerização através da hidrólise das ligações glicosídicas  $\beta$ -1,4 intramoleculares da cadeia de celulose. A exoglucanase é ativa sobre celulose cristalina, liberando celobiose a partir dos terminais da cadeia e a celbiase hidrolisa ligações glicosídicas  $\beta$ -1,4 da molécula de celobiose e de pequenos oligossacarídeos, liberando a glicose (ZHANG et al., 2006).

### 3.3 Biodegradação

Biodegradação é a ação dos microrganismos que são equipados com arsenais enzimáticos capazes de utilizar os constituintes do petróleo como fonte de nutrientes e energia, e podem atuar isoladamente ou em consórcios e degradar desde alcanos lineares a compostos poliaromáticos (ATLAS, 1995).

O termo biodegradação tem sido utilizado para descrever as transformações de todos os tipos, incluindo aquelas que são origem a produtos menos tóxicos que o composto original, devido a sua inativação, assim como as que são responsáveis pela completa mineralização até  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  e outros (MUSUMECI, 1992).

A biodegradação pode se dividir em:



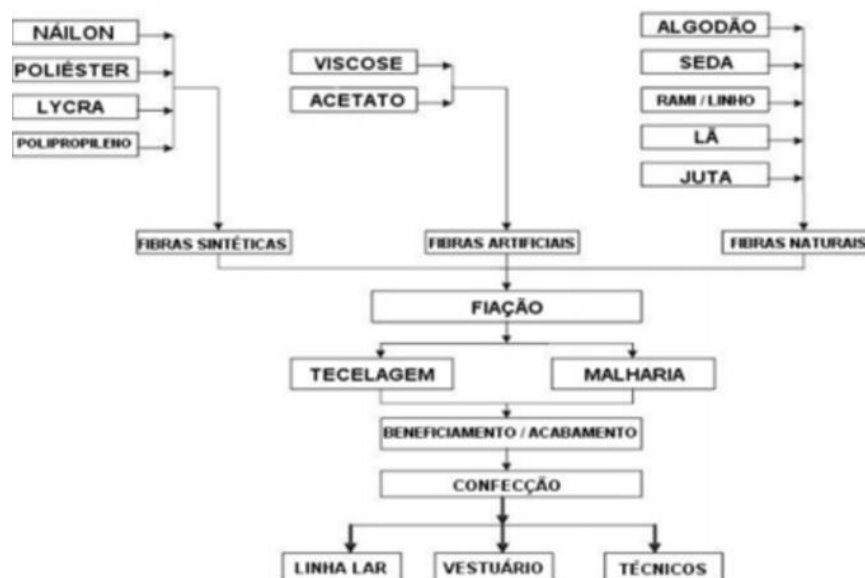
- Mineralização: compostos químicos orgânicos que se transformam em compostos químicos inorgânicos como  $\text{CO}_2$ , água e amônia;
- Biotransformação: compostos químicos orgânicos que são transformados em estruturas menores;
- Co-metabolismo: composto que é metabolizado primeiramente ou simultaneamente a um composto específico (DALTON et al., 1982).

### 3.4 Indústria Têxtil

A indústria têxtil é considerada uma das mais antigas do mundo, alguns dados levam a acreditar que o Egito, com suas múmias revestidas de tecido, e a Índia, com seus famosos panos para vestimenta, constituíram o berço dessa indústria (RIBEIRO, 2009).

A cadeia têxtil está apresentada na Figura 3, abaixo:

**Figura 3 - Fluxograma da cadeia têxtil produtiva**



Fonte: Adapto de BNDES (2013).

#### 3.4.1 Beneficiamento Têxtil

Beneficiamento têxtil é um conjunto de processos aplicados aos materiais têxteis com o objetivo de transformá-los, a partir do estado cru, em artigos brancos, tintos, estampados e acabados (FREITAS et al., 2002).

O mesmo pode ser segmentado em: beneficiamento primário (desengomagem, limpeza, mercerização e alvejamento químico), tingimento (montagem, fixação, tratamento final e corante e pigmentos), estamparia e acabamento final (ALCÂNTRA; DALTIM, 1996).

### 3.4.2 Confecção

A confecção consiste em transformar a matéria prima (tecido e malhas) em um produto final. Neste segmento existem diversos tipos de profissionais, como por exemplo: costureiras, cortadores, estilistas e engenheiros.

Este setor se destaca em números de produção, faturamento e empregabilidade comparado a outros setores têxteis (ABIT, 2017).

Segundo perspectivas da ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção) em relação ao setor de confecção para o ano de 2018 (2017).

“Para 2018, a expectativa da Abit é de crescimento de 2,5% na produção de vestuário, 4% na produção têxtil e de 5% no varejo de vestuário. A Entidade também estima que o faturamento chegue a R\$ 152 bilhões e que sejam investidos R\$ 2,25 milhões.”

O Setor Têxtil e de Confecção no Brasil, segundo dados da ABIT (2013):

- “O setor reúne mais de 32 mil empresas, das quais mais de 80% são confecções de pequeno e médio porte, em todo o território nacional”;
- O setor emprega cerca de 1,7 milhão de brasileiros, sendo que 75% são funcionários do segmento de confecção, mulheres em sua maior parte;
- São 9,4 bilhões de peças, incluindo cama, mesa e banho, produzidas ao ano e mais de 1,9 milhão de tonelada de algodão em pluma produzido (2012);
- O setor emprega 1,7 milhão de brasileiros de forma direta e mais de 4 milhões se somarmos os empregos diretos e indiretos.”

Este setor possui processos de geração de poluentes, auxiliando quantitativa e qualitativamente no aumento da poluição do meio ambiente. Os resíduos gerados podem ser: efluentes líquidos, emissões de gases e partículas, resíduos sólidos, odores e ruídos (PIZYBLSKI, 2012).

### 3.4.3 Lavanderia Industrial

A indústria de confecção de jeans está associada às lavanderias têxteis, por esta etapa ser essencial ao processo de beneficiamento das peças, e que é último acabamento realizado no produto final antes de chegar ao consumidor final (FERNANDES, 2010).

A lavanderia é utilizada para modificar as peças jeans de acordo com o pedido, e a mesma é dividida em três áreas, que são: física (manipulação física), química (produtos químicos) e biológicos (enzimas), onde são escolhidos a partir das características desejadas e do custo para realizar o processo (OLIVER, 2018).

Na área química existe um processo chamado com estonagem enzimática na qual são utilizadas enzimas celulasas com a finalidade de atacar a superfície do algodão (SCACCHETTI, 2018), que após o processo, o banho que foi utilizado é descartado na forma de resíduo líquido (efluente).

## 3.5 Resíduos

Resíduo é aquilo que pode ser reutilizado ou reciclado e, para isso acontecer é necessária a separação do material por tipo, permitindo a sua destinação para outros fins. Podem ser encontrados nas formas sólida (resíduos sólidos), líquida (efluentes) e gasosa (gases e vapores) (VG RESÍDUOS, 2017).

Os resíduos sólidos são gerados em praticamente todos os procedimentos industriais, e até algum tempo atrás, sua destinação era o aterro industrial, não dependendo de sua origem ou toxicidade. Contudo, com a elevação dos custos de deposição além de proibições em relação à disposição dos resíduos, fez com que fossem pesquisadas alternativas para este problema (PELTIER, 2009).

Segundo a ABNT, NBR 10.004:2004 (2004 p. 1), resíduos sólidos são aqueles que:

“Resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cuja particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções, técnica e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”

### 3.5.1 Resíduos Têxteis

A geração de resíduos da indústria têxtil e confecção está localizada em todos os processos (fição, malharia, tecelagem e confecção). No setor de tecelagem e corte do tecido, gerando quantidades significativas de: pelos, que são os refugos do processo de fição do fio; buchas, que são as sobras dos fios no processo de tecelagem e; retalhos, que são gerados no corte dos tecidos e na confecção (NEGREIROS et al., 2005).

Os principais resíduos sólidos gerados são basicamente fibras celulósicas e em menor escala proteicas, poliamídicas e poliésterna forma de “tops”, fios, tecidos ou malhas, dentre outros (LANGE et al., 2006).

Os resíduos líquidos (efluentes) poluem as águas, pois além de utilizar muita água em seu processo, também são depositadas nela e sem o tratamento adequado, podem provocar morte da fauna e flora aquática, causando interferência no processo de fotossíntese dos corpos d’água. O tratamento consiste em processos como: adsorção de carvão aditivado, lodo ativado e ozonização (COGO, 2011).

Os resíduos sólidos possuem as seguintes formas de descarte: reutilização e reciclagem têxtil, aterros industriais e a incineração (MENEGUCCI et al.,2015).

Em relação aos resíduos gerados na UTFPR, campus Apucarana, seguem a seguintes quantidades:

- Resíduo Sólido: desde 2014 que se deu o início da separação dos retalhos até o meio do ano de 2018, totalizou em torno de 152 kg, onde não se tem o dado mensurado por composição;
- Resíduo Líquido: totalizam 150 L de efluentes contendo enzima semanalmente.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

O efluente contendo enzima celulase foi coletado durante as aulas práticas da disciplina de Tecnologia de Lavanderia Industrial no Laboratório de Lavanderia Industrial da UTFPR, campus Apucarana.

A enzima celulase neutra granulada da Marca Power 700F foi cedida pelo Laboratório de Lavanderia Industrial da UTFPR, campus Apucarana.

Os retalhos de algodão (malha e tecido) foram coletados nos Laboratórios de Pesquisa e Desenvolvimento e Laboratório de Produção do Vestuário da UTFPR, campus Apucarana.

### 4.2 Métodos

#### 4.2.1 Preparo das amostras dos resíduos de algodão

Os retalhos de algodão foram divididos de acordo com a estrutura, sendo tecido e malhas, cru e tinto, totalizando 4 categorias de tecidos que foram avaliados. As amostras foram cortadas com dimensões de 2,5 x 2,5 cm -NBR 10588, levadas para a estufa a  $60 \pm 5$  °C por 24 horas e após esse período foram pesadas. As quantidades de amostras foram 3 em cada placa e Erlenmeyer.

#### 4.2.2 Biodegradação dos resíduos de algodão

##### Etapa I

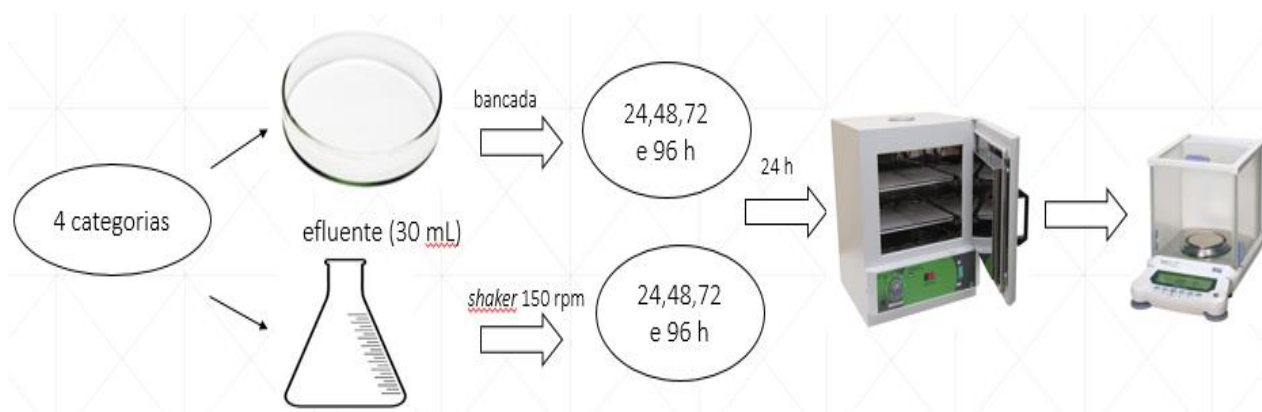
Na primeira etapa do processo de biodegradação utilizou-se as 4 categorias de resíduos de algodão (malha crua, malha verde, tecido cru e tecido rosa) da seguinte maneira:

- 1) Placas na bancada com 3 amostras cortadas resíduo de algodão e 30mL do efluente contendo a enzima, em temperatura ambiente e sem agitação;
- 2) Erlenmeyer de 250 mL na incubadora *shaker* com 3 amostras cortadas de resíduo de algodão e 30 mL do efluente contendo a enzima, em temperatura ambiente a 150 rpm.

Em tempos determinados de 24, 48 72 e 96 h, os frascos e as placas correspondentes foram retirados e os resíduos resultantes foram levados para a estufa a  $60 \pm 5^\circ\text{C}$  por 24h e pesados.

Desta forma, para a segunda etapa do processo de biodegradação foi realizada uma triagem em relação às categorias de resíduos de algodão utilizados na primeira etapa.

**Figura 4 - Esquema da etapa I**



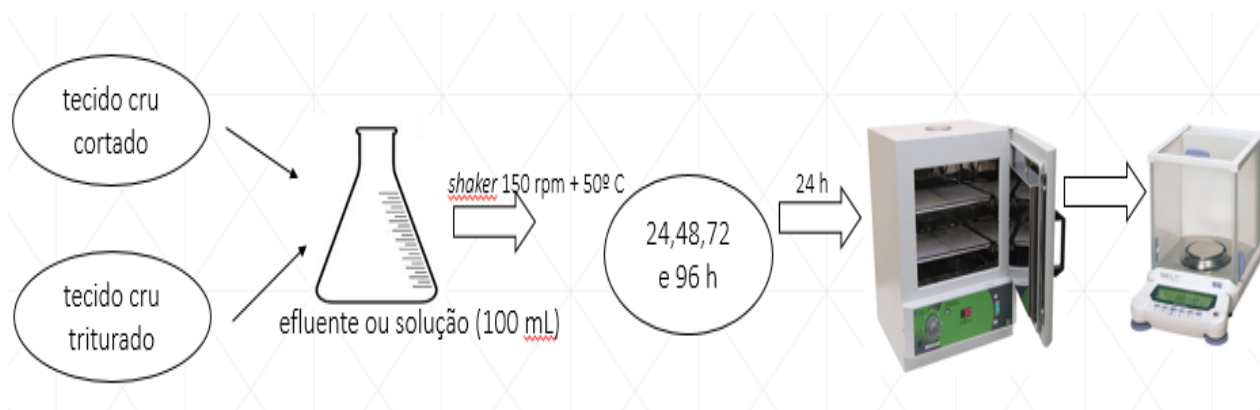
**Fonte:** Autora (2019).

### Etapa II

Nesta etapa utilizou-se somente o resíduo tecido cru cortado e também triturado com um liquidificador (Marca: Philips, Modelo: RI 2008). Também foi utilizada uma solução de enzima celulase para comparação.

Em Erlenmeyers de 250 mL e peso inicial (3 amostras em cada) indicado na Tabela 1 a seguir do resíduo de algodão (cortado e triturado), foi deixado em contato com 100mL do efluente ou solução da enzima celulase a  $50^\circ\text{C}$  e agitação de 150 rpm, durante 96 h, totalizando 16 frascos. Em intervalos de 24h os fracos correspondentes foram retirados e o seu conteúdo filtrado a vácuo.

Os sobrenadantes foram armazenados para posterior análise de açúcares redutores e espectroscopia de infravermelho.

**Figura 5 - Esquema da etapa II**

**Fonte:** Autora (2019).

**Tabela 1- Peso inicial das amostras de tecido cru**

| Amostras (g)             | 24h    | 48h    | 72h    | 96h    |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Efluente + não triturado | 0,3744 | 0,3651 | 0,3575 | 0,3745 |
| Efluente + triturado     | 0,3537 | 0,3834 | 0,3309 | 0,3513 |
| Enzima + não triturado   | 0,3593 | 0,3706 | 0,3795 | 0,3630 |
| Enzima + triturado       | 0,3435 | 0,3782 | 0,3674 | 0,3663 |

**Fonte:** Autora (2019).

#### 4.2.3 Cálculo da porcentagem de biodegradação

As amostras, após o processo de biodegradação, foram levadas para a estufa a 60°C e pesadas depois de 24h, onde foram comparadas às amostras antes do processo através da seguinte equação:

$$\% \text{ degradação} = \frac{\text{massa inicial} - \text{massa final}}{\text{massa inicial}} \times 100 \quad (1)$$

#### 4.2.4 Análise microscópica do resíduo sólido

As amostras foram analisadas individualmente por um Microscópio Digital (Marca: Kaiomy, Modelo: HELIOS 200, Ampliação: 1.3 MP).



#### 4.2.5 Atividade enzimática da solução da enzima celulase e efluente contendo a enzima celulase

Atividade de celulase foi realizada a partir do seguinte processo: em 3 tubos de ensaio de 10 cm contendo papel filtro (1 x 6 cm) em formato espiral, contendo em cada tubo 2 mL de solução tampão citrato de sódio (50mmol.L<sup>-1</sup>, ph 4,8) e 1mL da solução enzimática. A mistura de reação foi submetida a um banho-maria a 50 °C por 60 minutos. Após isso, os tubos foram resfriados à temperatura ambiente, retirou-se uma alíquota de 1 mL da solução, e a partir dessa solução, adicionou-se 3 mL do reagente DNS e 1mL de água destilada e em seguida, submetida novamente a um banho-maria a 100°C por 5 minutos e por fim, analisadas em temperatura ambiente por um espectrofotômetro (MILLER, 1959; SILVA et al., 2003) e o resultado foi obtido pela seguinte equação:

$$UI = \frac{DxC(\mu\text{mol.mL}^{-1})xVt(\text{mL})}{T(\text{min})xVe(\text{mL})} \quad (2)$$

onde,

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

C - concentração determinada a partir do método DNS;

Vt - volume total da reação;

T - tempo;

Ve - volume da solução enzimática.

UI: Unidades internacionais de atividade enzimática

Uma unidade de atividade enzimática (U) foi definida como aquela que libera um  $\mu\text{mol}$  do açúcar redutor correspondente, por minuto, nas condições do experimento. Os ensaios de atividade enzimática dos experimentos foram realizados em triplicata.

#### 4.2.6 Análise de açúcares redutores pelo método DNS

Os açúcares redutores foram analisados pela metodologia proposta por MILLER (1959), que está baseada na reação de redução do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) ao mesmo tempo em que o aldeído do açúcar é oxidado a grupo carboxílico, passando a coloração da solução de amarelo para laranja

avermelhado. Foi utilizada uma curva analítica com soluções de glicose + frutose com concentração de 0 – 1 gL<sup>-1</sup> para cálculo das concentrações. Em tubos de ensaio de 10 mL, a 1 mL de cada solução foi adicionado 1 mL do reagente DNS. Os tubos foram agitados e aquecidos por 5 min à temperatura de 100 °C. Após atingir a temperatura ambiente, as leituras de absorvância foram realizadas a 540 nm. O tubo apenas com água destilada (ausência de glicose + frutose) foi utilizado como controle (branco). As medidas de absorvância foram realizadas no espectrofotômetro (Marca: Perkin Elmer; Modelo: Lambda 750).

#### 4.2.7 Análise do efluente antes e após o processo de biodegradação por espectroscopia de absorção no infravermelho (FTIR)

O efluente antes e após o processo de biodegradação foi analisado por espectroscopia de absorção no infravermelho (Marca: Agilent Technologies; Modelo: Cary 630 FTIR). O espectro de transmitância foi registrado entre 4000 e 650 cm<sup>-1</sup> a partir das amostras do efluente em pastilhas de KBr.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Preparo das amostras dos resíduos de algodão

Segundo as normas internacionais ISO 139/2005, EM 20139/1992 e DIN 53802/1979 a temperatura recomendada é de 65 °C por 24 h (SOUZA, 2011), porém devido à instabilidade da estufa utilizada, notou-se a variação de temperatura que foi registrada como  $60 \pm 5$  °C.

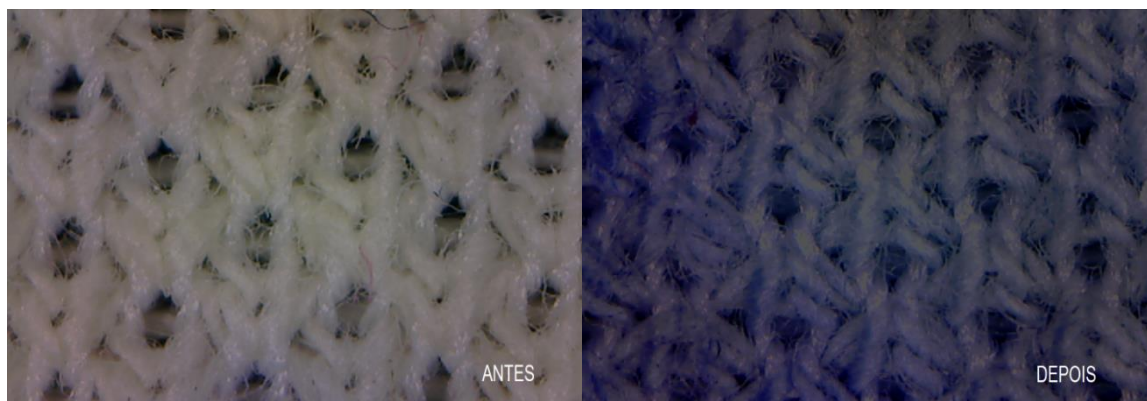
### 5.2 Biodegradação dos resíduos de algodão

#### 5.2.1 Etapa I

Nesta primeira etapa onde o processo de biodegradação foi avaliado em temperatura ambiente com e sem agitação, não foi verificada variação de peso nas amostras, possivelmente devido à enzima ser ativada em temperaturas mais altas.

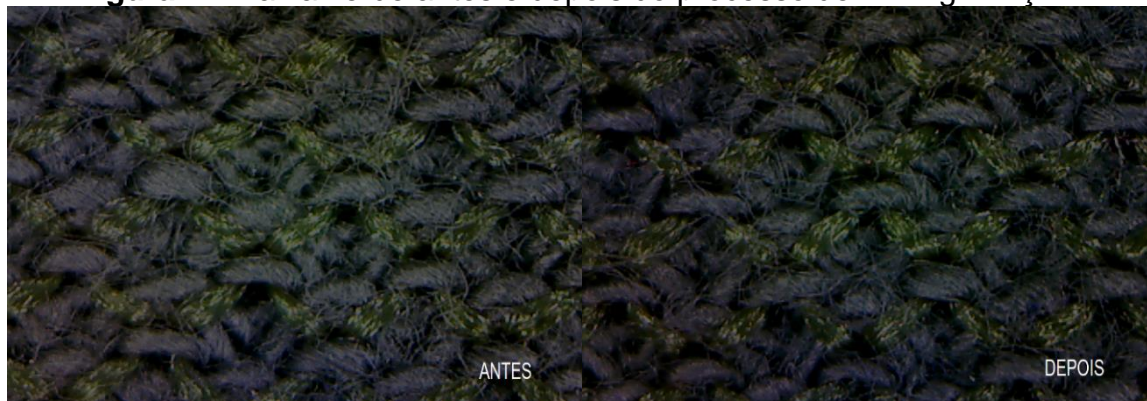
As Figuras 6 – 9 ilustram a pequena alteração ocasionada na superfície do tecido antes e após o contato com o efluente contendo a enzima.

**Figura 6** - Malha crua antes e depois do processo de biodegradação



Fonte: Autora (2019).

**Figura 7 - Malha verde antes e depois do processo de biodegradação**



**Fonte:** Autora (2019).

**Figura 8 - Tecido cru antes e depois do processo de biodegradação**



**Fonte:** Autora (2019)

**Figura 9 - Tecido rosa antes e depois do processo de biodegradação**



**Fonte:** Autora (2019)

Observou-se que não houve mudança em sua estrutura e que também, os tecidos de malha têm a presença de outra composição de fio, que possível é

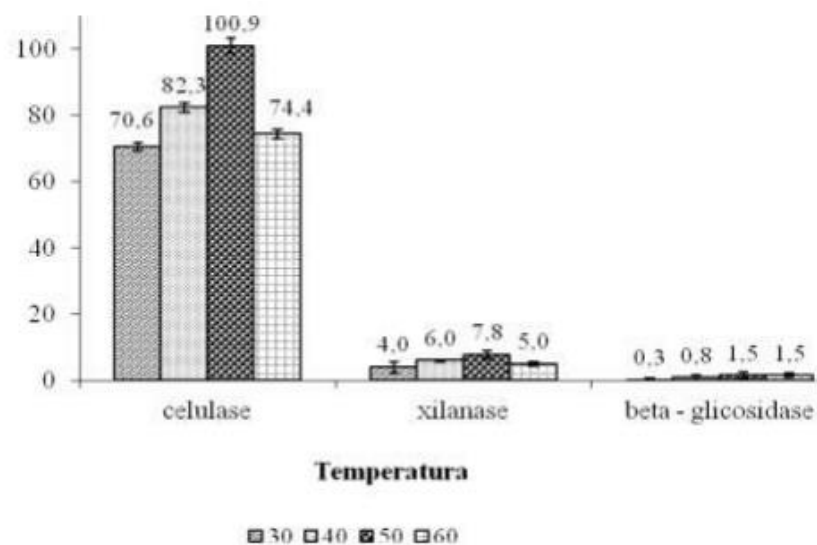
o elastano, ou seja, uma fibra sintética que não se degrada com a enzima celulase.

Com isso, foi feita uma triagem para a segunda etapa do processo de biodegradação, onde se escolheu o tecido cru por ele não ser da categoria malha e por não possuir cor (tingimento). Também se optou pelo processo com agitação e temperatura, já que no processo de Lavanderia Industrial que se utiliza a enzima celulase, é realizado com esses dois parâmetros.

### 5.2.2 Etapa II

Nesta etapa, o processo de biodegradação em temperatura de 50°C, onde essa é a temperatura ótima para a enzima celulase (CYSNEIROS, 2013), como mostra a Figura 8, e com agitação.

**Figura 10** - Influência da temperatura na atividade da enzima celulase



Fonte: Cysneiros (2013).

Os resultados obtidos foram satisfatórios, tendo em vista que houve a degradação parcial do resíduo de algodão, apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** - Porcentagem de biodegradação do tecido cru

| Amostras (g)             | 24 h   | 48 h   | 72 h   | 96 h    |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------|
| Efluente + não triturado | 1,28   | -10,35 | -11,74 | -12,33  |
| Efluente + triturado     | 0      | -19,74 | -90,17 | -12,69  |
| Enzima + não triturado   | -26,55 | -39,12 | -38,52 | -50,02  |
| Enzima + triturado       | -21,25 | -25,25 | -69,48 | -112,72 |

**Fonte:** Autora (2019)

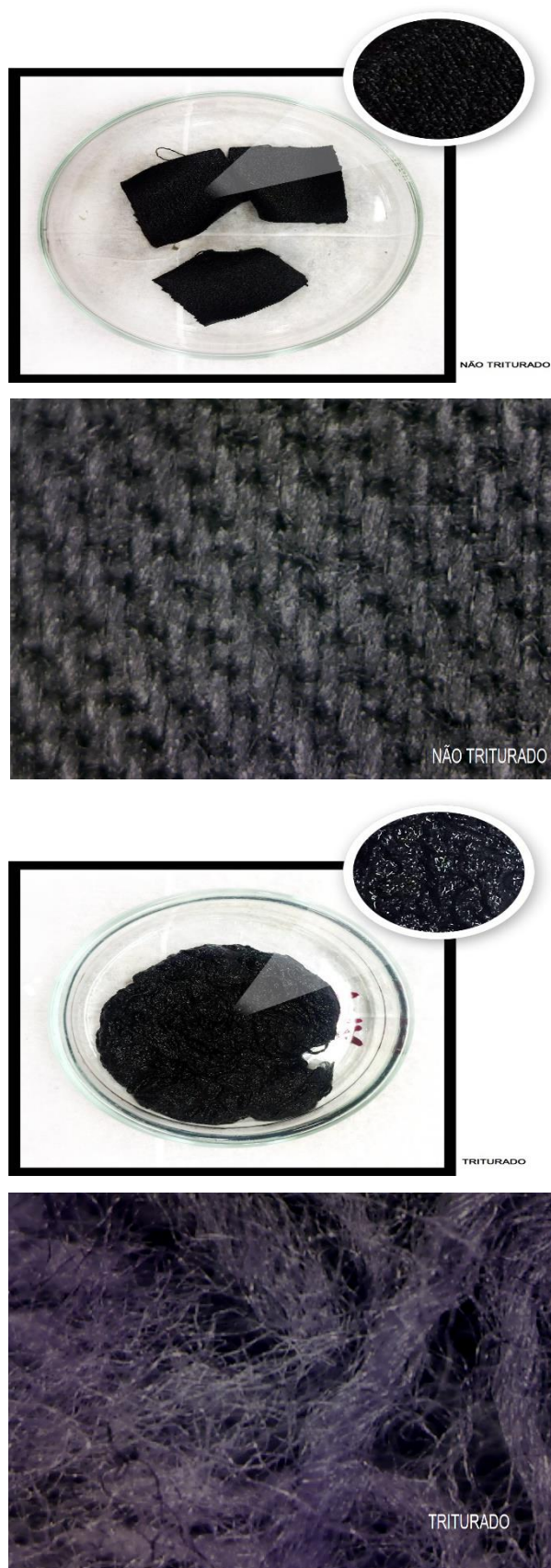
A partir dessa tabela, se tem que a porcentagem ficou negativa, ou seja, sua massa final foi maior que a inicial, mas isso se deve ao fato de que após a biodegradação parcial e secagem dos resíduos de algodão, foi notado um pó no fundo da placa. Esse pó pode ter promovido o aumento da sua massa final, mas ao mesmo tempo houve modificação em sua estrutura, como mostram as Figuras 11 e 12.

Nas figuras a seguir, observa-se que houve mudança em sua estrutura, ou seja, ocorreu a biodegradação parcial das amostras, onde se teve remoção da camada superficial do resíduo de algodão. A hidrólise enzimática removeu primeiramente as camadas externas das superfícies do tecido (LI; FREY; BROWNING, 2010).

Os resíduos sólidos tiveram alteração na sua cor devido a agentes externos, ou seja, a caneta que foi utilizada para marcar o tecido era de cor azul que passou para o processo. Como também, os resíduos tratados com o efluente, tiveram a cor mais escura, que pode ser devido a sua reutilização, ou seja, a temperatura, agitação e o corante que solta do jeans no processo de lavanderia pode ter sofrido oxidação.

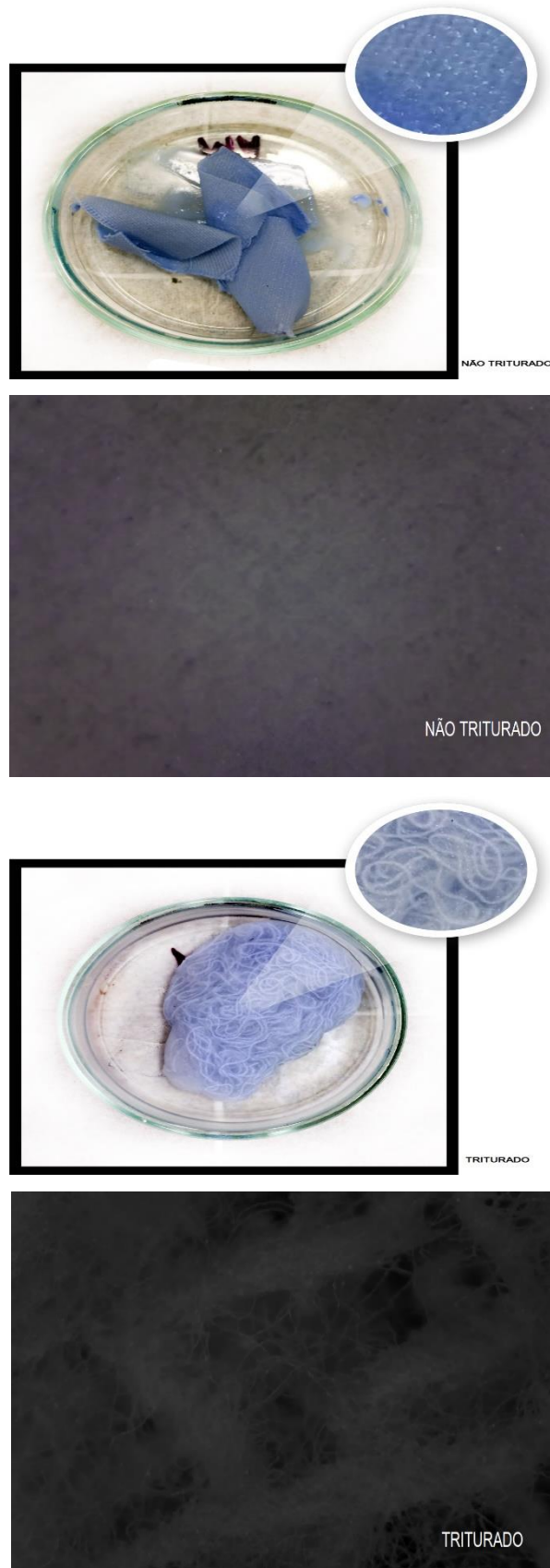
Observa-se que na Figura 12, ilustrado o tecido cru não triturado, não é possível visualizar as ligações do tecido, onde se supõe que houve a biodegradação da parte superior do tecido.

**Figura 11** -Tecido cru com efluente não triturado e triturado



Fonte: Autora (2019)

**Figura 12 - Tecido cru com solução de celulase não triturado e triturado**



Fonte: Autora (2019)



As enzimas são catalisadores naturais que aceleram as reações e não são alteradas. Ao final do processo a enzima é regenerada até que seja desativada por algum agente químico ou inativada por condições extremas de temperatura, pH ou reações químicas colaterais (SHAH, 2013).

Celulases são enzimas responsáveis pela degradação da celulose, comumente produzidas por fungos e bactérias. A celulose é um polissacarídeo formado por várias unidades de glicose unidas entre si através de ligações químicas. As celulases realizam a quebra das ligações químicas existentes entre as unidades de glicose que formam a celulose. São amplamente utilizadas na indústria têxtil (CASTRO; PEREIRA JR, 2010; LIMA et al., 2005).

Essas enzimas se apresentam como um sistema multi-componente enzimático, incluindo endoglucanases, exoglucanases e beta-glicosidases. As endoglucanases agem na região interna da fibra de celulose liberando compostos menores formados por poucas unidades de glicose (oligossacarídeos). As exoglucanases agem nas extremidades das fibras de celulose liberando unidades de glicose (livres) ou celobiose, que são compostos menores, formados por duas unidades de glicose. As beta-glicosidases quebram a ligação química existente entre as duas unidades de glicose que formam a celobiose, liberando unidades de glicose (livres) (SHAH, 2013; CASTRO; PEREIRA JR, 2010).

Para a obtenção de um bom resultado para a hidrólise é necessário aperfeiçoar as suas condições, que são: inibição da atividade enzimática pelos produtos finais da biodegradação, termoestabilidade das enzimas, concentração e adsorção do substrato, tempo, pH do meio, concentração de substrato no meio e velocidade de agitação (VALLANDER; ERIKSSON, 1985).

### **5.3 Atividade enzimática da solução da enzima celulase e efluente contendo a enzima celulase**

A atividade enzimática foi determinada na solução de enzima celulase utilizada como padrão e também no efluente contendo a enzima celulase. Os resultados estão na Tabela 3.

**Tabela 3** - Atividade enzimática da solução da enzima celulase e efluente contendo a enzima celulase

| Solução<br>( $\mu\text{mol/mL}$ ) | Efluente<br>( $\mu\text{mol/mL}$ ) |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| $0,012 \pm 0,0043$                | $0,0295 \pm 0,0021$                |

Fonte: Autora (2019)

O método DNS é descrito na literatura como sendo confiável com sensibilidade de detecção de 1 a 20  $\mu\text{mol}$  de glicose. Neste método utiliza-se o papel filtro Whatman nº1 (MILLER, 1959), porém devido à indisponibilidade do material, foi utilizado papel filtro comum.

Levando-se em consideração que o substrato utilizado para detecção da atividade enzimática não é adequado, obteve-se baixo valor de atividade da enzima, tanto na solução de celulase como no efluente contendo a enzima. Necessita-se, portanto, de uma nova avaliação utilizando o substrato adequado.

#### 5.4 Análise de açúcares redutores pelo método de DNS

A Tabela 4 apresenta os resultados de açúcar redutor da solução de enzima e do efluente antes e após o processo de biodegradação.

**Tabela 4** - Quantidade de açúcar redutor presente nas amostras de solução enzimática e efluente antes e após o tratamento ( $\mu\text{mol}$  de glicose)

| Amostra          | Solução Celulase    |                     | Efluente            |                     |
|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                  | 72 h                | 96 h                | 72 h                | 96 h                |
| Antes tratamento | $0,6661 \pm 0,4963$ |                     | $1,1233 \pm 0,0280$ |                     |
| Não triturado    | $1,1565 \pm 0,5175$ | $1,2161 \pm 0,0057$ | $2,2551 \pm 0,0048$ | $1,9204 \pm 0,0130$ |
| Triturado        | $0,9540 \pm 0,3251$ | $0,9152 \pm 0,5160$ | $1,0134 \pm 0,0885$ | $0,6759 \pm 0,0344$ |

Fonte: Autora (2019).

A análise de açúcar redutor proposta por MILLER (1959) está baseada na reação de redução do ácido 3,5-dinitro-salicílico (DNS) ao mesmo tempo em que o aldeído do açúcar é oxidado a grupo carboxílico, passando a coloração da

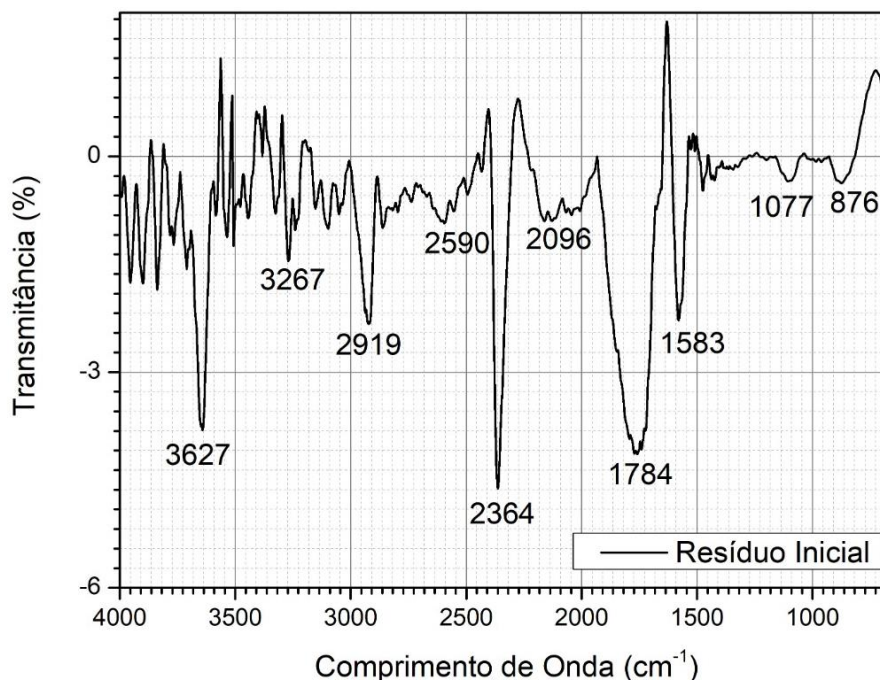
solução de amarelo para laranja avermelhado que é quantificado espectrometricamente. Portanto, quantifica os açúcares presentes na amostra provenientes da biodegradação da celulose, já que esta é um polímero de glicose.

Nota-se que para as amostras tratadas com o efluente contendo a enzima celulase somente as amostras não trituradas obtiveram aumento da concentração de açúcar redutor, demonstrando que sofreu processo de biodegradação. Este fato foi observado principalmente no tempo de 72 h. Já as amostras tratadas com a solução de celulase em todos os casos houve aumento da concentração de açúcar redutor e o melhor resultado obtido foi com o tempo de 96 h no tratamento do resíduo sólido têxtil não triturado.

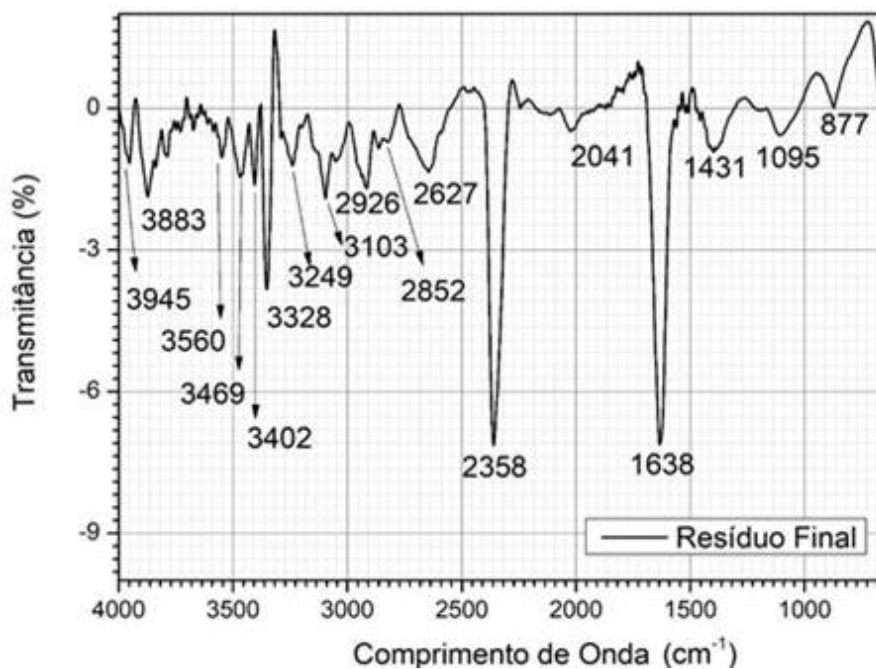
### **5.5 Análise do efluente antes e após o processo de biodegradação por espectroscopia de absorção no infravermelho (*FTIR*)**

As Figuras 13 e 14 apresentam os espectros obtidos para o efluente antes e após o processo de biodegradação. É possível notar que os dois possuem o mesmo perfil, sugerindo que não houve transformação do efluente após o tratamento.

Estiramentos característicos do corante utilizado (Figura 15) podem ser visualizados em  $1583\text{ cm}^{-1}$  (antes) e  $1638\text{ cm}^{-1}$  (após) que correspondem a anel aromático mononuclear. Assim como um duplete em  $1077$  e  $876\text{ cm}^{-1}$  (antes) e  $1095$  e  $877\text{ cm}^{-1}$  (após).

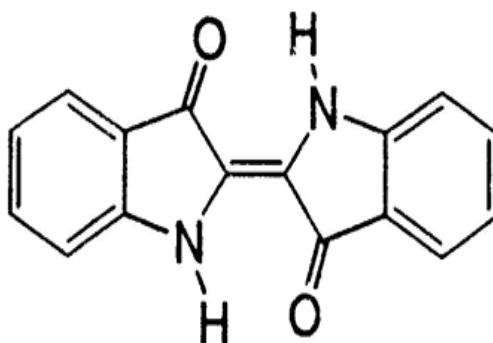
**Figura 13 - FTIR antes do processo de biodegradação**

Fonte: Autora (2019).

**Figura 14 - FTIR depois do processo de biodegradação**

Fonte: Autora (2019).

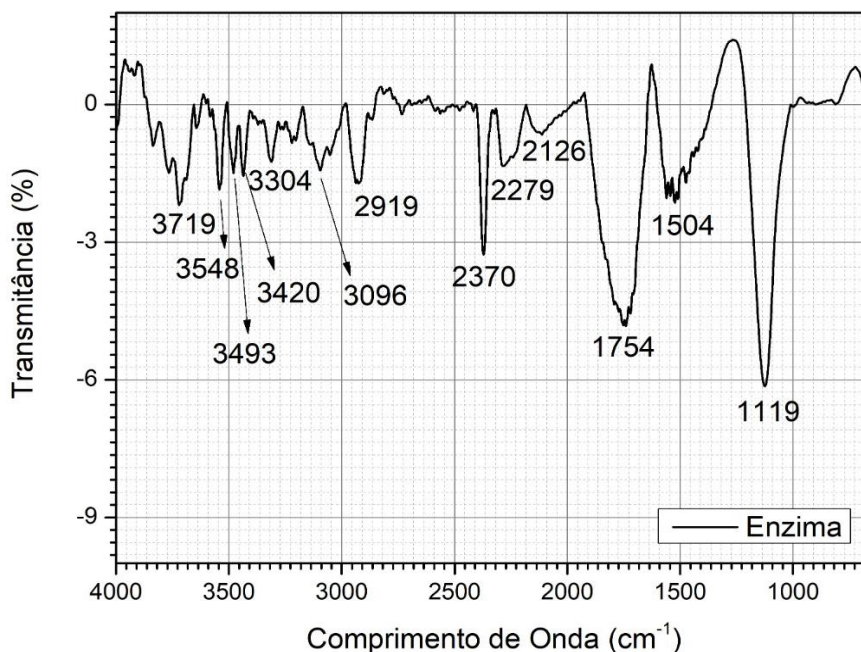
**Figura 15 - Estrutura do corante Índigo Blue**



**Fonte:** World dye variety (2016).

O sinal da enzima celulase aparece somente no efluente antes do processo de biodegradação em  $1784\text{ cm}^{-1}$  que é característico do estiramento N-H de aminas. Esse mesmo estiramento aparece no espectro registrado do sobrenadante resultante do tratamento com a solução de celulase em  $1754\text{ cm}^{-1}$  (Figura 16). Outros estiramentos característicos também aparecem como um duplete em aproximadamente  $3500\text{ cm}^{-1}$  referente a amina primária ( $\text{NH}_2$ ) e  $1119\text{ cm}^{-1}$  referente a vibração C-N.

**Figura 16 - FTIR da solução de celulase após o processo de biodegradação**



**Fonte:** Autora (2019).

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou que a utilização do efluente contendo a enzima celulase promoveu alteração no resíduo sólido testado, principalmente quando se elevou a temperatura para 50 °C, que foi a Etapa II do processo de biodegradação apresentado.

Com as análises microscópicas foi possível verificar que essas modificações foram semelhantes, independente da solução utilizada no tratamento.

Pela análise do açúcar redutor que detecta a presença de glicose foi possível verificar que houve biodegradação e as análises espectroscópicas sugerem que não há modificação no efluente após a sua reutilização. Desta forma, não tornando-o ainda mais tóxico, mas continua possuindo a toxicidade devido à presença do corante índigo.

Este trabalho serve como base para estudos futuros para otimizar o processo de biodegradação, assim como avaliar detalhadamente os produtos resultantes.

## REFERÊNCIAS

**ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção.** Disponível em: <<http://www.abit.org.br/noticias/setor-textil-e-de-confeccao-brasileiro-fecha-2017-com-crescimento>>. Acesso em 24 de outubro de 2018.

**ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção.** Cartilha da Indústria Têxtil, 2013. Disponível em: <[http://www.abit.org.br/conteudo/links/publicacoes/cartilha\\_rtcc.pdf](http://www.abit.org.br/conteudo/links/publicacoes/cartilha_rtcc.pdf)>. Acesso em 24 de outubro de 2018.

AGUIAR, Caroline Mariana de et al. **Hidrólise enzimática de resíduos lignocelulósicos utilizando celulasas produzidas pelo fungo *Aspergillus niger*.** 2010.

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A química do processamento têxtil. **Química nova**, v. 19, n. 3, p. 320-330, 1996.

ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira de. **Biodegradação, extração e análise de glifosato em dois tipos de solos.** 2002. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10588:** Materiais têxteis – determinação do número de fios de tecidos planos. Rio de Janeiro. 1998.

ATLAS, R. M.. **Petroleum biodegradacion and oil spill bioremediation.** Marine Pollution Bulletin, Oxford, v.31, p. 178-182, 1995.

BNDES. **Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecção e a questão da inovação.** Disponível em :<[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/Set2905.pdf)>. Acesso 23 de maio de 2019.

CARDOSO, P. M. M. **Avaliação da gestão e do gerenciamento dos resíduos sólidos têxteis numa fiação na cidade de Maringá – Paraná.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá, 2012.

CASTRO, A. M.; PEREIRA JR, N. Produção, propriedades e aplicação de celulasas na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 181-188, 2010.

CHAMBINO, Teresa; CORREIA, Anabela. **Prevenção de resíduos na indústria têxtil**. In: 1º Congresso Lusófono Sobre Ambiente e Energia-3ª Jornadas de Energia. 2009.

COELHO, Maria Alice Zarur; SALGADO, Andrea Medeiros; RIBEIRO, Bernardo Dias. **Tecnologia enzimática**. Editora EPUB, 2008.

COGO, Marina da Cunha. **Estudo de caracterização e disposição dos resíduos de uma indústria têxtil do Estado do Rio Grande do Sul**. 2011.

COUTINHO, Luana Dumas. **Gerenciamento de resíduos sólidos têxteis: nos laboratórios da Universidade Federal do Paraná**. 2016.

CYSNEIROS, Cristine dos Santos Settimi et al. **Produção, caracterização e avaliação de enzimas fibrolíticas na digestibilidade da forragem de milho**. 2013.

DALTON, Howard; STIRLING, D. I. Co-metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, v. 297, n. 1088, p. 481-496, 1982.

DE ARAUJO, Wanderbeg Correia; FONTANA, Marcele Elisa. **Análise do gerenciamento dos resíduos de tecidos gerados pela indústria de confecções do agreste de Pernambuco**. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 6, n. 1, p. 101-124, 2017.

DIAS, Diogo Lopes. **O que é titulação?**; *Brasil Escola*. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-titulacao.htm>>. Acesso em 01 julho de 2019.

DUMAS, Luana; MARIANO, Isabele Proença; DOS SANTOS, Thiago Damião. **Avaliação dos impactos do descarte incorreto de resíduos sólidos têxteis nas confecções na cidade de Apucaraca**. 4º CONTEXMOD, v. 4, n. 1, 2016.

ELEMENTUS. **A indústria têxtil, grs e efluentes**. Disponível em: <<https://www.elementusconsultoria.com/single-post/A-Ind%C3%BAstria-T%C3%AAxtil-GRS-e-Efluentes>>. Acesso em 24 de outubro de 2018.

FERNANDES, Alinne Kadidja de Sousa. **Reúso de água no processamento de jeans na indústria têxtil**. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

FREITAS, Kátya Regina de et al. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil**. 2002.

FUJITA, Mayumi; JORENTE, Maria José Vicentini. A indústria têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. *Moda Palavra e-periódico*, v. 8, n. 15, p. 153-174, 2015.



GALDEANO, M. C. **Caracterização e aplicação de casca de aveia modificada por tratamento com peróxido de hidrogênio alcalino associado à extrusão.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Tecnologia de Alimentos e Medicamentos, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2001.

GOLDBERG, M. E.; CHAFFOTTE, A. F. Undistorted structural analysis of soluble proteins by attenuated total reflectance infrared spectroscopy. **Protein Science**, v. 14, p. 2781-2792, 2005.

JUHASZ, T. et al. **Characterization of cellulases and hemicellulases produced by *Trichoderma reesei* on various carbon sources.** *Process Biochemistry*, v. 40, n. 11, p. 3519-3525, 2005.

LABOR BLOG. **Balança de precisão – cuidados e precauções ao utilizar.** Disponível em: <[www.splabor.com.br/blog/balanca-de-precisao/cuidados-com-a-balanca-digital-analitica/](http://www.splabor.com.br/blog/balanca-de-precisao/cuidados-com-a-balanca-digital-analitica/)>. Acesso em 01 de julho de 2019.

LABOR SHOPPING. **Placa de petri em vidro.** Disponível em: <<http://laborshopping.com.br/produto/placa-de-petri-em-vidro/7142>>. Acesso em 01 de julho de 2019.

LANGE, L. C. et al. **Processos construtivos de aterros sanitários: ênfase no estudo de camadas de cobertura como mecanismo de controle da geração de Lixiviados.** In: CASTILHOS JUNIOR, A.B. (Org.). Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água; prevenção, geração e tratamento de lixiviados de tratamento de lixiviados de aterros sanitários. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006, v. 1, p. 109-208.

LIMA, A. L. G.; NASCIMENTO, R. P.; BON, E. P. S.; COELHO, R. R. R. *Streptomyces drozdowiczii* cellulase production using agro-industrial by-products and its potential use in the detergent and textile industries. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 37, p. 272-277, 2005.

LI, Lili; FREY, Margaret; BROWNING, Kristie J. Biodegradability study on cotton and polyester fabrics. **Journal of Engineered Fibers and fabrics**, v. 5, n. 4, p. 155892501000500406, 2010.

LYND, Lee R.; ZHANG, Yiheng. Quantitative determination of cellulase concentration as distinct from cell concentration in studies of microbial cellulose utilization: analytical framework and methodological approach. **Biotechnology and bioengineering**, v. 77, n. 4, p. 467-475, 2002.

MENEGUCCI et al. **Resíduos têxteis: análise sobre descarte e reaproveitamento nas indústrias de confecção.** XI Congresso Nacional de Excelência Em Gestão. 2015.

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

MUSUMECI, M. R. Defensivos agrícolas e sua interação com a microbiota do solo. **Microbiologia do solo, Campinas: Sociedade Brasileira do Sol**, p. 341-360, 1992.

NEGREIROS MOURA, Thiago et al. **Intervenção da produção mais limpa nas indústrias têxteis do município de Jardim de Piranhas**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. ABES, 2005. p. 1-12.

OHMIYA, Kunio et al. Purification and properties of cellobiosidase from *Ruminococcus albus*. **Journal of bacteriology**, v. 150, n. 1, p. 407, 1982.

OLIVER, Media. **Tecido denim e suas lavagens**. Dinâmica Lavanderia Industrial. Disponível em: <<https://www.dinamicalavanderia.com.br/curiosidades8.php>>. Acesso em 24 de outubro de 2018.

OLSSON, Lisbeth; HAHN-HÄGERDAL, Bärbel. Fermentation of lignocellulosic hydrolysates for ethanol production. **Enzyme and Microbial technology**, v. 18, n. 5, p. 312-331, 1996.

PARIS, Leandro Daniel de et al. **Produção de enzimas fúngicas por fermentação em estado sólido das sojas orgânica, transgênica e convencional**. 2008.

PELTIER, Fabrice. **Design sustentável: caminho virtuoso** / FabricePeltier e Henri Saporta; [tradução Marcelo Gomes] - São Paulo: Editora Senai São Paulo, 2009.

PEREIRA, Gislaine de Souza. **Materiais e Processos Têxteis**. Santa Catarina: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Araranguá. 2009.

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

PIZYBLSKI, Elisandra Montes. **Estudo sobre a gestão de resíduos em uma indústria de confecção têxtil do município de Ponta Grossa-PR**. 2012.

RIBEIRO, Marília Cleto Meirelles. **Avaliação da possibilidade de reuso de efluentes têxteis após tratamento complementar por processos oxidativos avançados**. 2009. 78 f. Dissertação de Mestrado (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Departamento de Escola de Engenharia da UFMG, UFMG, Belo Horizonte, 2009.

RODRIGUES, R. S. **Produção, purificação e caracterização de celulasas e hemicelulasas do fungo da podridão branca pycnoporussanguineus PF-2.** Universidade Federal de Viçosa, 2014.

ROSS, P.; MAYER, R.; BENZIMAN, M. Cellulose Biosynthesis and Function in Bacteria. **Microbiological Reviews**, vol. 55, p. 35-58, 1991.

SCACCHETTI, Fábio. **Estonagem.** 2018. Aula ministrada na disciplina de Tecnologia de Lavanderia Industrial na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Apucarana. Apucarana, 2018.

SENSU, Pdepósg; ALMEIDA, Michely. **Seleção de fungos filamentosos produtores de xilanases e celulasas utilizando resíduos agroindustriais.** Unioeste, 2013.

SILVA, R.N; MONTEIRO,V.N.; ALCANFOR, J.D.X.; ASSIS, E.M. & ASQUIERI, E.R., Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e totais em mel. **Ciência Tecnologia**, set.- dez. 2003.

SINGH, R.; KUMAR, M.; MITTAL, A.; MEHTA, P. K. **Microbial enzymes: industrial progress in 21st century.** Biotech, v. 174, 2016.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and application.** London: Academic Press, 293 p. 1993.

SHAH, S. R. **Chemistry and application of cellulase in textile wet processing.** Research Journal of Engineering Sciences, v. 2278, p. 9472, 2013.

SOLUÇÃO INDUSTRIAIS. **Estufa para laboratório.** Disponível em: <<https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/maquinas-e-equipamentos/sterilifer/produtos/laboratorio/estufa-para-laboratorio>>. Acesso em 01 julho de 2019.

SOUZA, Clara Silvestre de. **Variação de temperatura e umidade e suas influências nas características físicas e mecânicas dos fios de algodão.** 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte..

UEDA, Kumiko et al. **Two distinct mechanisms cause heterogeneity of 16S rRNA.** Journal of Bacteriology, v. 181, n. 1, p. 78-82, 1999.

VALLANDER, Lars; ERIKSSON, Karl-Erik. Enzymic saccharification of pretreated wheat straw. **Biotechnology and bioengineering**, v. 27, n. 5, p. 650-659, 1985.

VÁSQUEZ, M.P.; DA SILVA, J. N. C.; DE SOUZA Jr., M.B.; PEREIRA Jr., N. Enzymatic hydrolysis optimization to ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation. **Applied biochemistry and biotechnology**. 12: 137-140, 2007.

VG RESÍDUOS. **A diferença de lixo, resíduo e rejeito e como é feito o seu gerenciamento.** Disponível em:

<<https://www.vgresiduos.com.br/blog/diferenca-entre-lixo-residuo-rejeito/>>.  
Acesso em 24 de outubro de 2018.

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

**WORLD DYE VARIETY**. Disponível em: < <http://www.worlddyevariety.com/vat-dyes/vat-blue-1.html> >. Acesso em 25 de junho de 2019.

ZHANG, Y. H. P.; HIMMEL, M. E.; MIELENZ, J. R. Outlook for cellulase improvement: screening and selection strategies. **Biotechnology Advances**, New York, v. 24, p. 452-481, 2006.