

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANA RAFAELA MESSIAS RAVANEDA

**DETERMINAÇÃO DA FITOTOXICIDADE DOS EFLUENTES GERADOS NO
PROCESSO DE CLAREAMENTO DO JEANS PELOS MÉTODOS CONVENCIONAL
E OXIDATIVOS AVANÇADOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

APUCARANA

2022

ANA RAFAELA MESSIAS RAVANEDA

**DETERMINAÇÃO DA FITOTOXICIDADE DOS EFLUENTES GERADOS NO
PROCESSO DE CLAREAMENTO DO JEANS PELOS MÉTODOS CONVENCIONAL
E OXIDATIVOS AVANÇADOS**

**Determination of phytotoxicity of the effluents generated in the jeans whitening
process using the conventional and advanced oxidative methods**

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: Profa. Dra. Valquíria Aparecida dos
Santos Ribeiro
Coorientadora: Ana Cláudia Ueda

APUCARANA

2022



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

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins 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:

**DETERMINAÇÃO DA FITOTOXICIDADE DOS EFLUENTES GERADOS NO
PROCESSO DE CLAREAMENTO DO JEANS PELOS MÉTODOS CONVENCIONAIS
E OXIDATIVOS AVANÇADOS**

Por

ANA RAFAELA MESSIAS RAVANEDA

Monografia apresentada às 09 horas do dia 01 de dezembro de 2022, como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus 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)**.

PROFESSORA VALQUÍRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO –
ORIENTADORA

PROFESSORA ANA CLÁUDIA UEDA – COORIENTADORA

PROFESSOR FLÁVIO AVANCI DE SOUZA – EXAMINADOR

PROFESSORA PATRÍCIA MELLERO MACHADO CARDOSO – EXAMINADORA

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por sempre me guiar em meio a escuridão e me tornar digna de todas as bênçãos presentes em minha vida.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por ter sido minha morada por exatos oito anos, disponibilizando um amplo ambiente educacional, professores altamente capacitados e amigos extremamente importantes.

À minha orientadora, Valquíria, por ter creditado confiança, paciência, acolhimento e oportunidade de aprender e de gostar mais ainda do universo têxtil.

À minha coorientadora, Ana Claudia, também pela confiança, pela paciência e por prontamente me ajudar sempre que a procurei.

À minha mãe, Rosana, que se fez pai e mãe ao mesmo tempo e por nunca medir esforços para que eu seguisse meus desejos e sonhos. Sem você eu não seria quem sou hoje.

À minha avó materna, Aparecida, que por mais que não esteja presente entre nós, foi base excepcional na minha criação.

À toda minha família, materna e paterna, por continuar me apoiando em qualquer situação.

Aos meus amigos de infância e graduação por sempre acreditarem na minha capacidade e por estarem comigo todos esses anos.

“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas.”

Carl Sagan.

RESUMO

A alta procura pelos artigos jeans originou diferentes formas e características as peças, a fim de atender aos desejos dos consumidores. Como consequência dessas características, fez-se cada vez mais necessário o uso de produtos químicos para obter diferenciação no ciclo da lavanderia. No entanto, para diversificar o jeans, efluentes complexos são gerados dificultando o seu processo de tratamento. Como uma alternativa de resolver o problema, estudos com processos oxidativos avançados (POA) vêm tomando espaço nas pesquisas, pois consistem na geração de substâncias altamente reativas capazes de degradar diversos poluentes. A proposta do presente trabalho é avaliar o clareamento do jeans por processo convencional com permanganato de potássio (KMnO_4) e pelo processo oxidativo avançado com dióxido de titânio (TiO_2), empregando a determinação da fitotoxicidade a partir de sementes de alface com 90% de germinação, identificando qual dos processos é menos danoso ao ambiente. O estudo teve como resultado duas amostras que se destacaram em meio aos banhos por KMnO_4 e TiO_2 , obtendo o valor de ΔE 40,93 e 10,82 respectivamente. Com a análise dos efluentes gerados foi possível observar que não há tanta diferença entre os agentes nos termos de fitotoxicidade.

Palavras-chave: Fitotoxicidade; Lavanderia; Processo Oxidativo Avançado; Jeans.

ABSTRACT

The high demand for denim articles originated different shapes and characteristics of the pieces, in order to meet the desires of consumers. As a consequence of these characteristics, the use of chemical products has become increasingly necessary to achieve differentiation in the laundry cycle. However, to diversify jeans, complex effluents are generated, making its treatment process difficult. As an alternative to solve the problem, studies with advanced oxidative processes (AOP) have been taking up space in research, as they consist in the generation of highly reactive substances capable of degrading various pollutants. The purpose of the present work is to evaluate the bleaching of jeans by the conventional process with potassium permanganate (KMnO_4) and by the advanced oxidative process with titanium dioxide (TiO_2), using the determination of phytotoxicity from lettuce seeds with 90% germination, identifying which of the processes is less harmful to the environment. The study resulted in two samples that stood out among the baths by KMnO_4 and TiO_2 , obtaining the value of ΔE 40.93 and 10.82, respectively. With the analysis of the effluents generated, it was possible to observe that there is not much difference in terms of phytotoxicity.

Keywords: Advanced Oxidative Process; Laundry; Phytotoxicity; Jeans.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Primeiras aparições das calças jeans	13
Figura 2 - Fluxo da cadeia têxtil	16
Figura 3 - Fluxo produtivo de jeanswear	17
Figura 4 - Fibra de Algodão	18
Figura 5 - Sistema de produção do fio open-end	19
Figura 6 - Gaiola da urdideira.....	20
Figura 7 - Rolo de urdideira.....	20
Figura 8 - Fórmula molecular do corante Índigo Blue	22
Figura 9 - Medida do comprimento da raiz.....	26
Figura 10 - Balança de precisão.....	27
Figura 11 - pHmetro	28
Figura 12 - Reator fotocatalítico.....	28
Figura 13 - Espectrofotômetro	28
Figura 14 - Máquina com capacidade de 3 kg.....	29
Figura 15 - Centrífuga Industrial	29
Figura 16 - Desenho do reator fotocatalítico tipo lama.....	30
Figura 17 - Amostras clareadas pelo POA	33
Figura 18 - Amostras clareadas pelo processo convencional	33
Figura 19 - Amostras controle positivo	36
Figura 20 - Amostra do controle negativo.....	37
Figura 21 - Germinações do processo convencional	38
Figura 22 - Amostras do efluente do POA.....	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Dados das amostras clareadas pelo método convencional	34
Gráfico 2 - Dados das amostras clareadas por POA.....	34

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Processos de lavanderia	23
Quadro 2 - Resultados obtidos nos testes de fitotoxicidade	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ΔE	Diferença entre as cores
CIE LAB	<i>A Comissão Internacional de L'Eclairage</i>
CO	Sigla americana para a fibra de algodão
CO ₂	Dióxido de Carbono
cm ²	Unidade de tamanho
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
GETECA	Grupo de Estudos de Tecnologias Ambientais
GR	Percentual de germinação
g/L	Unidade de volume
g/m ²	Unidade de gramatura
H ₂ O	Água
H ₂ O ₂	Peróxido de Hidrogênio
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
ICRRz	Percentual de inibição do crescimento relativo das raízes
KMnO ₄	Permanganato de Potássio
Kg	Quilograma
L*a*b	Coordenadas
M	Mol
MCRzA	Média do crescimento das raízes da amostra
MCRzC	Média do crescimento das raízes do controle
mL	Unidade de volume
Na ₂ S ₂ O ₅	Metabissulfito de Sódio
NaCl	Cloreto de Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio
Ne	Unidade de Medida para títulos em inglês
Nm	Unidade de Medida para títulos em Número Métrico
O ₃	Ozônio
OH°	Hidroxilas
pH	Escala numérica adimensional de medição de acidez ou basicidade
POA	Processos Oxidativos Avançados
RB	Relação de banho
SGA	Sementes germinadas na amostra
SGC	Sementes germinadas no controle negativo
TiO ₂	Dióxido de Titânio
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UV	Radiação Ultravioleta
W	Unidade de medida de energia (<i>Watts</i>)
XIX	Século 19

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Indústria Têxtil	16
2.2	Jeanswear	17
2.2.1	Fibra	18
2.2.2	Fio	18
2.2.3	Tecelagem.....	19
2.2.4	Tingimento.....	21
2.2.5	Confecção	22
2.3	Lavanderia	23
2.3.1	Efluentes	25
2.3.2	Tratamento de efluentes por processos oxidativos avançados	25
2.3.3	Teste de fitotoxicidade.....	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	Materiais	27
3.1.1	Aparelhos	27
3.2	Métodos	29
3.2.1	Amostra	29
3.2.2	Experimento e Reator (POA).....	30
3.2.3	Experimentos e Equipamentos (Clareamento Convencional)	31
3.2.4	Avaliação Espectrofotométrica das Amostras	31
3.2.5	Análise do Efluente por Fitotoxicidade	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1	Análise Espectrofotométrica	33
4.2	Análise da Fitotoxicidade	35
5	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Através da necessidade do uso de peças confortáveis e de alta durabilidade para trabalho, o surgimento do jeans veio em meados do século XIX por Levi Strauss quando o fundador da empresa *Levi Strauss Co* saiu da Alemanha sentido a Estados Unidos criando, inicialmente, uma alfaiataria. Com o passar dos anos, mais especificamente durante a colonização do Oeste americano, Strauss se empolgou e decidiu observar de perto o trabalho dos catadores de ouro. Onde foi possível notar que esses ficavam ajoelhados por horas em solo rústico e precisavam de calças jeans mais resistentes. Assim, calças confeccionadas a partir de lonas foram construídas e logo ganharam fama e se estenderam à cowboys que trabalhavam com o gado (PEZZOLO, 2003).

Figura 1 - Primeiras aparições das calças jeans



Fonte: Webinsider, 2018

Atualmente, as peças jeans não são usadas apenas para o conforto no trabalho, a procura por peças que acompanham conforto, durabilidade e estética têm crescido. Com esse aumento na procura as indústrias têxteis envolvidas nesse ramo, buscaram desenvolver processos mais tecnológicos dentro do beneficiamento dos tecidos denim. Assim, houve o surgimento das lavanderias industriais, as quais são responsáveis pelos diferentes tons e aspectos dos artigos denim (LUIZ; VALENTIM, 2019). A partir dessa evolução, os processos de beneficiamento do jeans foram separados entre biológicos, físicos e químicos, dependendo do aspecto final desejado, seja envelhecido, desbotado ou clareado.

Dentro dos processos químicos, a utilização de permanganato de potássio e hipoclorito de sódio são substâncias que quando em contato com o tecido denim

resultam um efeito esbranquiçado, clareando a peça. Bem como em processos anteriores, enzimas oxidativas são utilizadas, causando um grau de branqueamento (OLIVEIRA, 2008).

Basicamente, todo processo que convém algum processo de beneficiamento libera resíduos e as lavanderias têxteis são a prova disso. Dentro desse setor, grandes quantidades de resíduos sólidos e líquidos são descartadas nos corpos hídricos. Muitos desses efluentes podem possuir uma origem tóxica ao meio ambiente e a todos que passam pelo local de descarte.

Um estudo de Miklos *et al.* (2018) mostra que o tratamento de águas residuais por processos convencionais, não é totalmente eficaz. Onde nem todas as substâncias são removidas por completo. Assim, o uso dos Processos Oxidativos Avançados (POA) vem sendo abordado para a resolução desse problema. O POA é baseado em um radical hidroxila (OH°) que, possuem uma alta reatividade. Este processo se torna eficaz pelo ataque nas substâncias orgânicas produzindo dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O), resultando uma oxidação completa desses compostos (PIGNATELLO *et al.*, 2006).

Desse modo, a proposta do presente trabalho é a análise e determinação de amostras de tecido denim submetidas à processos convencionais e à processos oxidativos avançados com a utilização de permanganato de potássio (KMnO_4), metabissulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) e dióxido de titânio (TiO_2), a qual agregará processos de lavagens sustentáveis, liberando águas residuais com baixa carga de cor, pois o corante será destruído.

1.1 Justificativa

Atualmente, o consumo do jeans é considerado um dos maiores em âmbito mundial. A crescente procura desses artigos demandou novos processos de beneficiamento impregnados a lavanderia.

Muitos dos produtos utilizados no processo de lavanderia não são considerados tão agressivos ao ambiente, devido a fácil degradabilidade, no entanto, existem outras substâncias que apresentam grandes riscos. Dentre esses, estão os corantes que apresentam grande resistência a luz, à temperatura, à perspiração, à abrasão, à lavagem e outros fatores, os tornando complexos e de difícil degradação (KADOLPH; LANGFORD, 1998).

Nos últimos anos, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e frequentes, devido ao aumento populacional e o aumento da inovação industrial (ALMEIDA et al., 2016). Sendo assim, o tratamento correto dos efluentes gerados nos processos de lavanderia é indispensável para que não prejudique o meio ambiente e, também, para que siga com a legislação vigente (AL-DEGS et al., 2000).

As técnicas de tratamentos para os efluentes utilizadas pela indústria têxtil são fundamentadas em processos de coagulação, flotação e sedimentação. Tais procedimentos apresentam alta eficiência de remoção do material particulado. Entretanto, não há tanta eficiência na remoção dos corantes e compostos orgânicos, que são a maior parte das substâncias encontradas nos resíduos gerados pelo setor têxtil (KUNZ et al., 2000).

Sendo assim, uma alternativa de sustentabilidade é o método de tratamento por Processo Oxidativo Avançado, POA, que consiste na atuação do radical hidroxila (OH°) tornando o processo mais eficiente e menos agressivo ao meio ambiente. Bem como os testes de fitotoxicidade que, auxiliam na determinação e tratamento dos efeitos causados pelos compostos tóxicos (PIGNATELLO et al., 2006; ORTEGA et al., 2000).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Determinar a fitotoxicidade dos efluentes gerados pelo processo de clareamento de jeans pelo método convencional e oxidativo avançado e fazer a análise espectrofotométrica das amostras clareadas.

1.2.2 Objetivos Específicos

Caracterizar fisicamente as amostras de jeans, quanto a gramatura, densidade de fios e cor, antes e após o clareamento.

Realizar ensaios de clareamento por método convencional e pelo método de oxidação avançado.

Realizar os ensaios de fitotoxicidade utilizando sementes de alface.

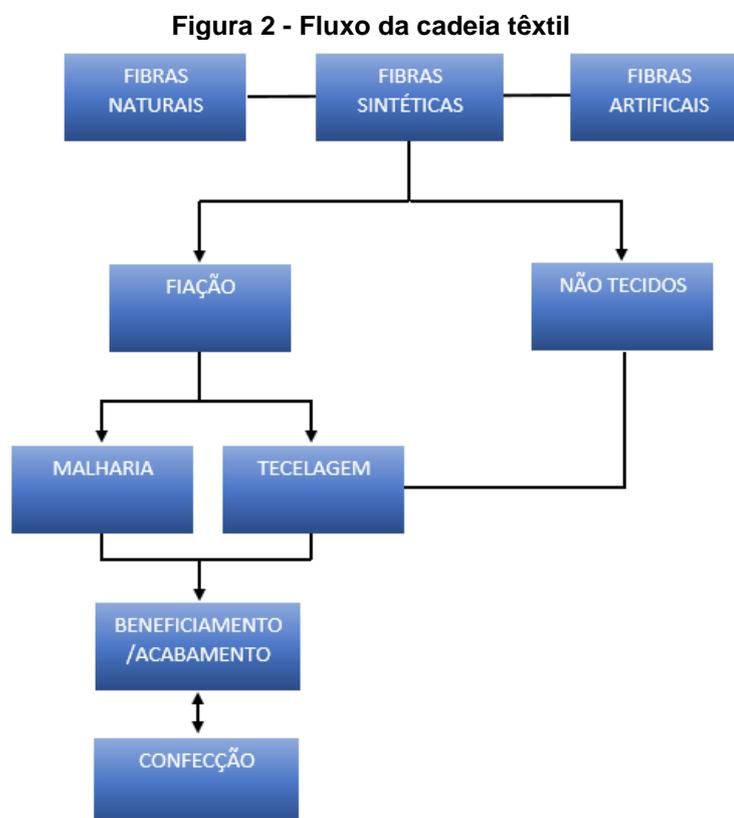
Realizar a análise espectrofotométrica das amostras clareadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Indústria Têxtil

A indústria têxtil é considerada um dos grandes setores mundial. O Brasil, é um grande polo do setor têxtil mundial, sendo o 5ª maior do mundo e a 4ª no segmento de vestuário. Assim, corresponde a uma parcela significativa na geração de empregos. A indústria brasileira, é autossuficiente em produção de algodão e é a maior cadeia têxtil completa do ocidente. Tornando-se, assim, o segundo maior empregador da indústria de transformação. (ABIT, 2022).

A cadeia têxtil é bastante ampla e abrange desde a preparação de fibras até a venda do produto acabado, como mostra a Figura 2.



Fonte: Adaptado de Gutierrez (2006).

A indústria têxtil é formada por setores distintos, porém dependentes entre si. Cada uma possui características únicas, onde são responsáveis, respectivamente, pela produção de fibras/filamentos, fabricação de tecidos planos ou de malhas e de nãotecidos; acabamento dos artigos que conferem características como conforto, durabilidade, tingimento e mais propriedades específicas; e a elaboração dos desenhos e confecção de peças que serão destinadas ao mercado, sobressaindo

como principal matéria-prima as fibras de origem sintética, natural e/ou artificial (ABIT, 2018).

Com esse amplo mercado, a indústria têxtil pode ser caracterizada como uma das maiores no quesito tecnologia e inovação, como por exemplo no setor maquinário e no de acabamento de têxteis técnicos e funcionais.

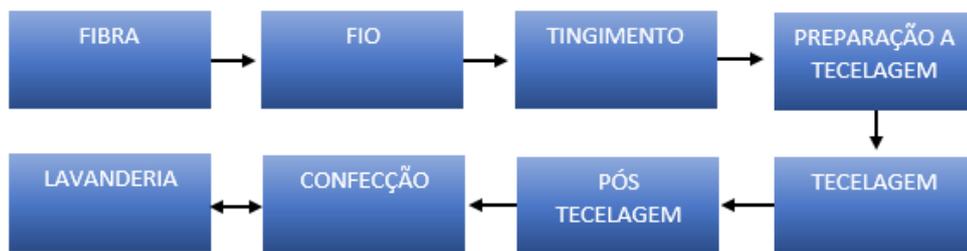
Assim, é visto no ramo denim onde as peças já confeccionadas são encaminhadas para o setor de lavanderia (acabamento) para ser realizado processos físicos, químicos e biológicos, a fim de obter-se de artigos diferenciados esteticamente e mais confortáveis ao usuário. Essas peças são destaques no mundo todo, sendo o Brasil o segundo maior produtor e o terceiro maior consumidor de tecido denim do mundo (MORITA et al., 2017).

2.2 Jeanswear

O jeans foi criado em meados do século XIX por Levi Strauss, e buscava atender a classe trabalhista. No entanto, as peças confeccionadas fizeram muito sucesso e, que, até os dias atuais fazem sucesso, não só para o mercado de trabalhadores, mas para o ramo da moda também. Assim, requerem processos produtivos específicos para que a cadeia produtiva seja mais flexível (MENDES et al., 2008).

A produção no segmento *jeanswear*, passa por um longo processo de transformação da matéria-prima conforme descrito na Figura 3.

Figura 3 - Fluxo produtivo de jeanswear



Fonte: Adaptado de Santos (2020).

A seguir estão descritos cada uma dessas etapas, exceto lavanderia que estará descrita no item 2.3.

2.2.1 Fibra

As fibras têxteis podem ser classificadas por meio de suas origens e constituição química, podendo elas serem de origem natural ou manufaturada. Algumas propriedades das fibras como, morfologia, elasticidade, comprimento e alongamento, são responsáveis por sua destinação, em como e onde elas podem ser aplicadas (ABNT, 1992).

Inicialmente o jeans era fabricado a partir de tecido denim 100% CO, porém hoje, por motivo de custo e conforto, são fabricados utilizando a mistura de fios de algodão/elastano e algodão/poliéster/elastano.

O algodão é uma fibra vegetal, obtida pelo cultivo e plantio das sementes, que são revestidas pela fibra do algodão, conforme a Figura 4. A fibra é composta por longas cadeias de celulose, em formatos helicoidais que possuem como propriedades físicas importantes, a resistência a tração e estabilidade dimensional. As cadeias celulósicas são ligadas por grupos OH^0 que conferem a fibra uma alta absorção de água, facilitando o tingimento (MORITA, et al., 2017).

Figura 4 - Fibra de Algodão



Ferdinando de Sousa (2021).

A partir dessas propriedades, o tecido denim é feito por meio da tecelagem plana com padronagem sarja, com os fios de trama cru e os fios de urdume tintos com corante índigo, podendo ser acrescentados fios de elastano, conforme mencionado.

2.2.2 Fio

Os fios são classificados pela qualidade e sua melhor aplicação para determinados artigos. Uma das características principais dos fios, é o seu título, que é definido como uma relação entre peso e comprimento (ABRAFAS, 1998).

Para o fio de algodão, o sistema utilizado é o indireto. Nesse sistema, a massa se mantém fixa e o comprimento variável, sendo o título do fio inversamente proporcional à sua espessura. A representação do sistema de titulação indireta é dada por Ne ou Nm, usados em inglês e métrico, respectivamente. Sendo predominante na fiação algodoeira o Ne, que se refere ao número de meadas de 1 *hank*, equivalente a 840 jardas e que se iguala a 768 metros. Quantidade necessária para se obter a massa de 1 libra, equivalente a 454 gramas (PEREIRA, 2008).

A fabricação do denim é feita por meio do sistema de fiação cardado *open-end* (Figura 5). Esse método é utilizado para a produção de fios e fibras descontínuas usada por qualquer método no qual a mecha é aberta ou separada nas suas fibras individuais, sendo reconstituída no dispositivo de fiação para a formação do fio. Esse método exibe inúmeras vantagens, como: alta velocidade no mecanismo de torção; melhores condições de homogeneidade; e paralização das fibras e menor quantidade de irregularidades que ocasionam ruptura dos fusos. (SANTOS; ANTONIOLLI, 2012).

Figura 5 - Sistema de produção do fio open-end



Fonte: Santana et al. (2002)

2.2.3 Tecelagem

A tecelagem se dá início no setor de urdimento, quando os fios dos cones são transferidos para os carretéis, denominado como rolo de urdume, sendo na sequência submetidos ao processo de tingimento com corante índigo. Em seguida, o rolo de urdume é transferido para a engomadeira, onde os rolos de urdume recebem banhos de agentes engomantes com intuito de proteger e dar resistências aos fios para quando estiverem na etapa de tecimento (LOBO et al., 2014). Abaixo, as Figuras 6 e 7, evidenciam o que foi citado acima.

Figura 6 - Gaiola da urdideira



Fonte: Silva et al. (2018)

Figura 7 - Rolo de urdideira



Fonte: Silva et al. (2018)

As gomas utilizadas na etapa de engomagem podem ser de origem natural, como as de amido de milho, batata ou mandioca, bem como as sintéticas, como a de álcool polivinílico, carboximetilamino, carboximetilcelulose ou poliacrilatos, necessitando de agentes auxiliares para melhorar o desempenho (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

O tecido mais usado no jeans é o denim. Sua característica é o entrelace diagonal dos fios de algodão, comumente definidos como sarja (ALEXANDRINO, 2013). O tecido denim mais conhecido é o índigo blue, feito com gramatura 14 oz, e um peso aproximado de 397,6 gramas. Na tecelagem do denim, apenas os fios de

urdume são tingidos com o corante índigo, enquanto os fios de trama não recebem nenhum processo de tingimento (ABNT; SEBRAE, 2012).

Após a tecelagem, o tecido denim precisa ser submetido a um processo de desengomagem, onde são retirados todos os produtos químicos adicionados nas etapas anteriores. Para que assim, o denim possa ser submetido a outros processos, como a chamuscagem que se trata da eliminação das fibras curtas e soltas utilizando chamas de fogo.

2.2.4 Tingimento

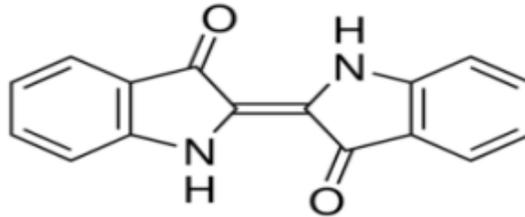
O tingimento é constituído pela ação de colorir determinado artigo, através de corantes, substâncias químicas orgânicas com propriedades que possuem capacidade de absorção de luz. Os corantes constituem em sua estrutura química grupos funcionais como os cromóforos e auxocromos. Os cromóforos são responsáveis pelas diversas variações de cores. Já a intensificação das cores são responsabilidade dos auxocromos, que são grupos de átomos ligados aos cromóforos e que possuem a capacidade de interferir no desempenho de absorção de luz (SALEM, 2010).

Para o tingimento com corante índigo o processo de tingimento é a tina, sistema de fourlardagem. Dentro disso, existem aspectos importantes que se dão pela velocidade de montagem, fixação e tratamento final. A velocidade de montagem dos corantes depende das propriedades que o mesmo oferece. Enquanto a fixação sob as fibras se dá pelas reações químicas que podem ocorrer nas diversas etapas. Para que a fixação tenha um bom desempenho é necessário que o artigo têxtil seja submetido a um banho corrente para que excesso de corante hidrolisado seja totalmente retirado (SALEM, 2010).

No tingimento de algodão e nas demais fibras celulósicas, é utilizado eletrólitos para que a substantividade seja aumentada e assim o aumento tintorial do corante, também (SALEM, 2010). O tingimento do jeans de coloração azul é obtido pelo corante índigo, cujo nome se refere à uma planta Indiana denominada *indigus* (ABNT; SEBRAE, 2012). Esse corante é um dos mais antigos utilizados pelo homem que, atualmente teve seu nome alterado para Índigo Blue e que possui a fórmula molecular apresentada na Figura 8. Segundo Guaratini e Zanoni (2000) os corantes índigos, tioindigóides e antraquinóides são classificados como corantes à tina, que

são aqueles que são insolúveis em água, mas quando acompanhados de uma solução alcalina, transformam-se em um composto solúvel.

Figura 8 - Fórmula molecular do corante Índigo Blue



Fonte: Araújo et al. (2016).

Um das características do corante, é a solubilidade baixa que pode ser explicada pelas fortes ligações de hidrogênios intermoleculares. As cores se formam pela estrutura de um sistema cruzado, cromóforo, existindo uma única ligação dupla que durante o processo de tingimento é substituída por dois grupos doadores e dois aceitadores (VAUTIER et al., 2001).

No tecido denim, apenas os fios de urdume passam pelo processo de tingimento, onde recebem a cor azulada que caracteriza o jeans. Enquanto a trama não sofre nenhum tipo de beneficiamento, ou seja, é utilizada crua. A intensidade das cores no fio de urdume, se dá pelo tempo, ou seja, quanto maior for o tempo de submersão do tecido no corante índigo blue, maior será a intensidade da cor (ABNT; SEBRAE, 2012).

2.2.5 Confeção

O setor da confecção possui uma grande importância, pois é nela que as peças são desenvolvidas, ganhando estrutura e características de modelagem demandadas pelo consumidor final. A peça, antes de chegar no setor de confecção propriamente dito, passa por inúmeras etapas, como pesquisas de tendências, testes e ajustes, para que assim, a mesma tenha a modelagem perfeita e possa se adequar as linhas do corpo humano (FRASQUETE; OLIVEIRA, 2009).

As peças de jeans, como mencionado antes, passam por diversas etapas até que possam estar disponíveis para compra. Os processos são separados por: criação, onde os designers desenvolvem produtos e ideias; modelagem, etapa que as medidas do corpo humana são transferidas para papéis e/ou softwares; ficha técnica, é o documento que contém todos os elementos que compõe a peça em questão; enfiar e corte, etapa em que os moldes são organizados no tecido, cortados e direcionados

à costura, cuja etapa consiste em juntar todas as partes; lavanderia, onde as peças ganham cor e defini qual aspecto a mesma ganhará; e por fim, acabamento, na qual aviamentos serão acrescentados nos artigos, bem como a limpeza e a revisão das mesmas (REIS; RIZZI, 2020).

2.3 Lavanderia

Os processos de lavanderia no jeans são recentes, começaram a ser utilizados em meados dos anos 80, onde houve evolução das lavanderias domésticas para as industriais. O objetivo do uso das peças tintas com o corante índigo blue era imitar as calças dos vaqueiros Americanos do Velho Oeste, que tinham aparência de usadas há muito tempo (SENAI, 2016).

Antes da evolução, os artigos têxteis não passavam por todas as etapas de beneficiamento que existem hoje. Os consumidores usavam as peças de jeans ainda com goma. Assim, fez-se necessário o uso de amaciantes para melhor conforto dos consumidores (SENAI, 2016).

O setor de lavanderia para os artigos *jeanswear* pode ser dividido em vários processos (Quadro 1).

Quadro 1 - Processos de lavanderia

Tipo de Lavagem	Características
<i>Acid wash</i>	Pedras pomes são batidas juntamente com cloro que provocam um alveamento mais nítido.
Detonado	Utiliza-se um instrumento chamado esmeril que é responsável pelo desgaste e corte da peça quando em contato com o mesmo.
<i>Destroyed</i>	São utilizados enzimas que corroem levemente a fibra para resultar na aparência de destruído.
<i>Enzyme wash</i>	Enzimas que aceleram reações naturais são usadas para que os artigos sejam desgastados e desbotados.
<i>Hand Brushed</i>	Escova-se a peça no sentido do urdume ou da trama, com o objetivo de resultar em um desgaste localizado.
Lixado	Utiliza-se lixas que provocam desgaste localizado.

<i>Sand Washed</i>	É inserido areia para que as peças tenham aparência envelhecida.
<i>Stone Washed</i>	São usados máquinas com tambores rotativos com pedras imersas que entram em contato com os artigos e resultam o desgaste e desbotamento.
<i>Used</i>	Utiliza-se uma pistola que contém produtos descolorantes para clarear regiões desejadas.

Fonte: Adaptado Santos (2020).

Um dos primeiros processos usados na lavanderia foi o estonado, cujo processo tem por objetivo proporcionar um envelhecimento nas peças, por meio da abrasão. Pode ser provocada sob ação mecânica da máquina onde é adicionado pedras, tampas de garrafa PET ou até pneu cortado e tratado quimicamente, ou por processo biológico onde enzimas específicas são adicionadas ou pela adição de oxidantes (SENAI, 2016).

Quando as pedras são utilizadas, podendo ser de origem vulcânica, o processo é considerado abrasivo pois, nele é eliminado a cor do corante índigo blue por meio do atrito entre as pedras e as peças. O uso das enzimas é considerado mais adequado pois possuem uma maior afinidade com o corante, no entanto, apresentam uma maior migração do corante (GOUVEA et al., 2018).

O processo de clareamento do jeans pode ser de âmbito químico, físico e biológico, variando de acordo com a cor desejada do jeans. O processo de clareamento mais comum é o devalê, onde alvejantes como o cloro retiram a intensidade do tecido tingido, resultando em um tom de azul claro. No entanto, a utilização do cloro causa danificação a fibra de algodão, para isso, pode-se ser utilizado o permanganato que resulta no mesmo aspecto estético sem danificar a elasticidade e a durabilidade (PEZZOLO, 2007).

Os processos citados acima apresentam efeitos que agregam mais valor às peças, por outro lado as substâncias químicas utilizadas não são tão benéficas ao meio ambiente e podem provocar problemas na saúde de quem frequenta os locais de descarte dos resíduos. Esses efluentes, muitas vezes, são tratados com utilizando água residual ou com tratamento que possam purificar a água (ALMEIDA, 2013).

2.3.1 Efluentes

A indústria têxtil é uma das principais geradoras de resíduos, principalmente efluentes. As etapas que mais utilizam recursos e descartam resíduos tóxicos são beneficiamento, acabamento e tingimento. Alguns desses efluentes se caracterizam altamente coloridos devido a presença de corantes que não se fixam no processo de tingimento e acabamento. Quando não tratados corretamente, geram grandes problemas ao meio ambiente (KUNZ et al., 2000).

Os efluentes gerados nas lavanderias são, geralmente, alcalinos contendo grandes quantidades de sabões e detergentes, óleos, graxas e sujidades. A Demanda Biológica de Oxigênio, DBO, nos processos de lavanderia são 2 a 5 vezes maior que a medida em esgotos domésticos (BUSS, 2015).

2.3.2 Tratamento de efluentes por processos oxidativos avançados

Com o decorrer dos anos, os Processos Oxidativos Avançados, POAs, tem se destacando no tratamento das águas residuais pelo seu impacto ambiental ser considerado menor e mais eficiente (ARAÚJO, 2016).

Os processos de tratamento alternativo, como o Processo Oxidativo Avançado, têm recebido grandes destaques nas questões de degradação de espécies orgânicas, por responsabilidade do radical hidroxila (OH^\bullet). Os POAs têm como característica a degradações parciais e/ou totais poluentes convertendo-os em dióxido de carbono e água. A participação do radical hidroxila é altamente reativa, e capaz de oxidar e decompor várias espécies tóxicas e recalcitrantes, através da formação de dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O), sendo considerado importante no tratamento de resíduos (PIGNATELLO et al., 2006).

O radical hidroxila pode ser produzido por meio da aplicação da radiação UV ou da utilização de agentes oxidantes fortes como o ozônio (O_3) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radiação eletroquímica e/ou ultrassom (AZBAR et al., 2004).

Segundo Dezotti (2008), os Processos Oxidativos Avançados possuem diversas vantagens, como: forte poder oxidantes, mineralização total dos poluentes, versatilidade e eficiência, decomposição dos reagentes utilizados, e condições operacionais de temperatura e pressão ambiente.

Diante da possibilidade apresentada pelos POAs de degradação das moléculas de corantes, Santos (2020) testou o processo oxidativo avançado no clareamento do jeans, obtendo resultados promissores.

Assim, o presente trabalho irá analisar a fitotoxicidade do efluente gerado no clareamento do jeans por processos convencional e pelo POA.

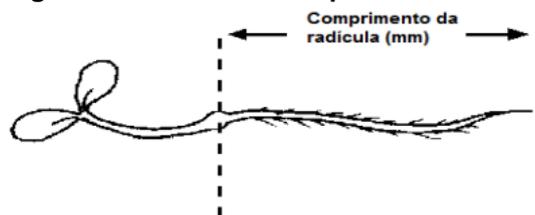
2.3.3 Teste de fitotoxicidade

A Ecotoxicologia se tornou essencial para a caracterização dos impactos que os poluentes agravam ao meio ambiente. O termo ecotoxicologia integra os conceitos de toxicologia, efeitos que os poluentes causam sobre as comunidades biológicas, e ecologia, representatividade dos organismos nos ecossistemas (ZAGATTO, 2014).

Uma área da ecotoxicologia é o ensaio de fitotoxicidade que consiste em qualificar a capacidade de inibição de uma amostra em relação ao processo de desenvolvimento de uma espécie de planta (KOHATSU *et al.*, 2018).

Os ensaios de fitotoxicidade constituem no uso de plantas sensíveis a substâncias tóxicas, como por exemplo sementes de alface, pois, possuem crescimento rápido e necessitam de pouca reserva de energia para a sua germinação. Nas análises, comumente avalia-se a inibição do processo germinativo e o alongamento das raízes (Figura 9), que ocorre na presença de pequenas concentrações de composto tóxico, tornando o organismo um indicador mais sensível aos efeitos biológicos (PALÁCIO *et al.*, 2012).

Figura 9 - Medida do comprimento da raiz



Fonte: Ariati, 2015.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

As amostras do tecido denim e os reagentes para a realização dos processos foram fornecidas pelo laboratório de lavanderia industrial têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana.

No clareamento convencional, foi utilizado o permanganato de potássio (KMnO_4) e o neutralizante metabissulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Outros agentes como o hidróxido de sódio (NaOH) foram utilizados para o controle do pH. Essa etapa foi realizada no laboratório de lavanderia, em uma lavadora vertical com capacidade de processar 3 kg de material.

Na etapa de clareamento por POA foi utilizado como catalisador o dióxido de titânio (TiO_2). Este composto é muito indicado como fotocatalisador para tratamento de água e efluentes, em razão de ser altamente fotorreativo, ter preço acessível, não ser tóxico e fotoestável (RIZZO et al., 2007).

Para os ensaios de fitotoxicidade foi utilizado sementes de alface com índice de germinação mínimo de 90%, adquirida junto a uma casa agropecuária.

3.1.1 Aparelhos

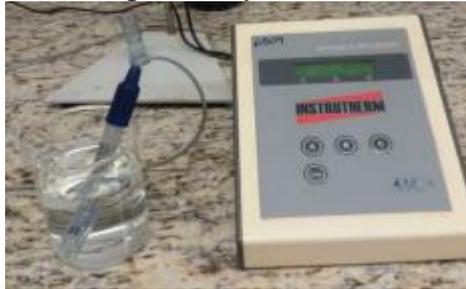
Os aparelhos utilizados para o processo oxidativo avançado foram: balança de precisão (Bel), Figura 10, pHmetro (*Instrutherm*), Figura 11, reator fotocatalítico de lama (disponibilizado pelo grupo GETECA), Figura 12, espectrofotômetro portátil para análise de cor em tecidos (Delta Color), Figura 13. Para o processo convencional foram usadas uma máquina com capacidade de 3 kg (Bosch) (Figura 14) e centrífuga industrial (Suzuki) (Figura 15), encontrados no laboratório de lavanderia.

Figura 10 - Balança de precisão



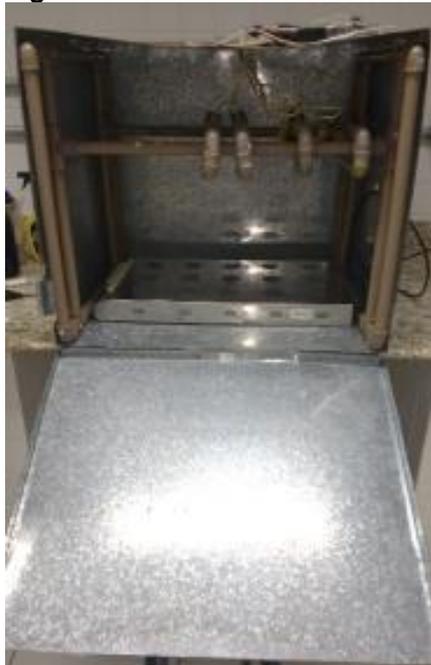
Fonte: Autora, 2022.

Figura 11 - pHmetro



Fonte: Autora, 2022.

Figura 12 - Reator fotocatalítico



Fonte: Autora, 2022.

Figura 13 - Espectrofotômetro



Fonte: Autora, 2022.

Figura 14 - Máquina com capacidade de 3 kg



Fonte: Autora, 2022.

Figura 15 - Centrífuga Industrial



Fonte: Autora, 2022.

3.2 Métodos

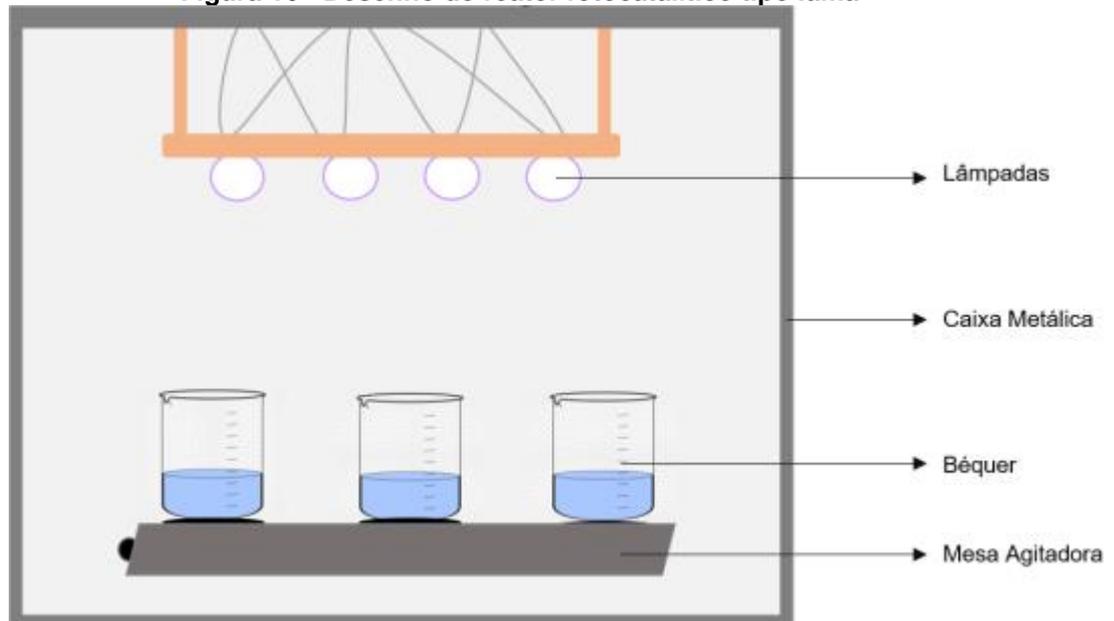
3.2.1 Amostra

Para o procedimento de clareamento por POA, foram utilizadas amostras de jeans cru, sem lavagem, com gramatura de 331 g/m², cortadas em tamanhos de 5 cm². Para o processo de clareamento convencional, foram usadas amostras com a mesma gramatura anterior, mas cortadas com tamanhos de 15 cm².

3.2.2 Experimento e Reator (POA)

As amostras foram inseridas em uma substância composta por 200 mL de água e 1,0 g/L do catalisador TiO_2 , com o pH devidamente controlado $> 9,0$, pela solução de NaOH em uma variação de tempo entre 6,54 a 5,95s. Os ensaios foram realizados no reator tipo lama, Figura 16, instalado e disponibilizado no laboratório do grupo de pesquisa GETECA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Apucarana.

Figura 16 - Desenho do reator fotocatalítico tipo lama



Fonte: Silva, 2020.

O reator é formado por um agitador magnético multi-posições, sobre o qual são posicionados os béqueres. Acima do agitador, são distribuídas quatro lâmpadas germicidas de 15 W cada, resultando em uma fonte de radiação ultravioleta de 60 W. O sistema é fechado, sendo isolado ambientalmente por uma caixa metálica, a fim de evitar a dissipação da radiação e promovendo a reflexão da radiação em todas as direções dentro do reator.

As soluções com as amostras foram preparadas no béquer e posicionadas no reator por um tempo de 10 minutos, permanecendo sob agitação no escuro para que a adsorção inicial seja realizada. Em outras palavras, esse processo inicia a transferência das partículas residuais do clareamento para a superfície do semicondutor. Em seguida, após ter acabado o tempo estipulado, as lâmpadas foram ligadas e as soluções permaneceram por mais 60 minutos.

Posteriormente, as amostras foram submetidas a lavagem em água corrente e a secagem em temperatura ambiente, para que a análise de coloração seja feita. O efluente gerado fora armazenado em uma garrafa plástica sob refrigeração e analisado a fim de determinar a fitotoxicidade.

3.2.3 Experimentos e Equipamentos (Clareamento Convencional)

As amostras foram submetidas a uma solução de 10g de KMnO_4 e 10g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ em um RB 1:10. Inicialmente, as amostras foram lavadas por 10 min a frio, após, o efluente foi coletado. Em seguida, as amostras foram enxaguadas e neutralizadas (adição de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) por 10 minutos. Depois, foram enxaguadas por mais duas vezes, ensaboadas por 10 minutos à 60°C e então centrifugadas por 10 minutos na centrífuga. Após esse processo, as amostras foram secas em temperatura ambiente.

3.2.4 Avaliação Espectrofotométrica das Amostras

As amostras de jeans foram avaliadas pelo espectrofotômetro Delta Color, obtendo as cores pelo modelo de cor CIE LAB.

A *Comission Internacionale de L'Eclairage* (CIE) é uma organização internacional que estuda luzes e cores, expressando numericamente as cores. Um dos modelos utilizados é o de mensuração cromática L^*a^*b , descrito em 1976. O modelo considera três eixos espaciais perpendiculares entre si, onde os pontos fornecem diferenças numéricas uniformes comparadas às diferenças visuais, por meio de um dispositivo de mensuração de cor denominado espectrofotômetro (CHU; TRUSHKOWSKY; PARAVINA, 2010).

O sistema de cores CIE L^*a^*b remete três coordenadas, sendo L^* à luminosidade do objeto observado, sendo capaz de variar do preto ao branco; a^* refere-se a medida do croma no eixo vermelho ao verde e; b^* é a medida do croma no eixo amarelo ao azul (CIE, 1986).

3.2.5 Análise do Efluente por Fitotoxicidade

Os testes de fitotoxicidade foram conduzidos seguindo a metodologia descrita pelos autores Palácio et al. (2012). Foram utilizadas sementes de alface com 90% de índice de germinação, cultivadas em placa de Petri com filtro qualitativo, sendo

regada, com 14 mL do efluente, para os dois processos executados. Cada placa de Petri continha 12 sementes de alface e foram feitos testes em duplicatas. As placas foram acondicionadas em sacos plásticos e colocadas no escuro à temperatura ambiente por 120h.

As amostras de efluentes foram divididas em duplicatas sem diluição e com correção do pH para 5,0. O controle foi feito através de água destilada, denominada controle negativo e soluções salinas NaCl 2 M, 1 M e 0,5 M denominado como controle positivo. Após a germinação de 120h, as germinações foram coletadas e medidas suas raízes.

A partir disso, o percentual de germinação (%GR) foi obtido por meio da Equação (1).

$$\%GR = \frac{n^{\circ}SGA}{n^{\circ}SGC} \times 100 \quad (1)$$

Sendo n° SGA é o número de sementes germinadas na amostra e n° SGC o número de sementes germinadas no controle negativo (um para cada e média).

O percentual de inibição do crescimento relativo das raízes (%ICRRz) foi obtido por meio da Equação (2).

$$\%ICRRz = \frac{MCRzC - MCRzA}{MCRzC} \times 100 \quad (2)$$

MCRzC = Representa a média do crescimento das raízes do controle.

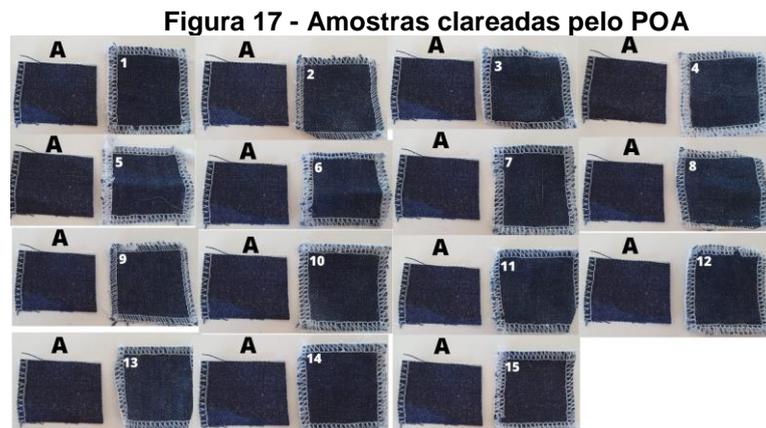
MCRzA = Equivale à média do crescimento das raízes da amostra.

$$\%ICRz = \frac{MCRzC - MCRzA}{MCRzC} \times 100 \quad (3)$$

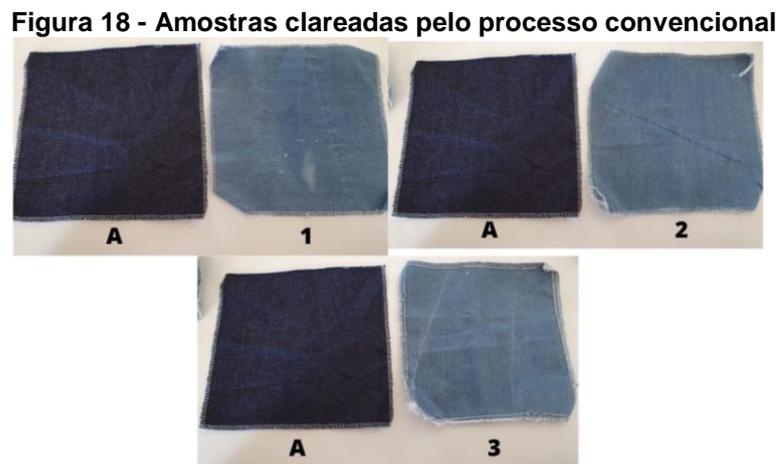
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise Espectrofotométrica

As amostras submetidas aos processos convencional e oxidativo avançado estão apresentadas nas Figuras 17 e 18, onde as amostras com a sigla A servem como referência de padrão do jeans sem clareamento.



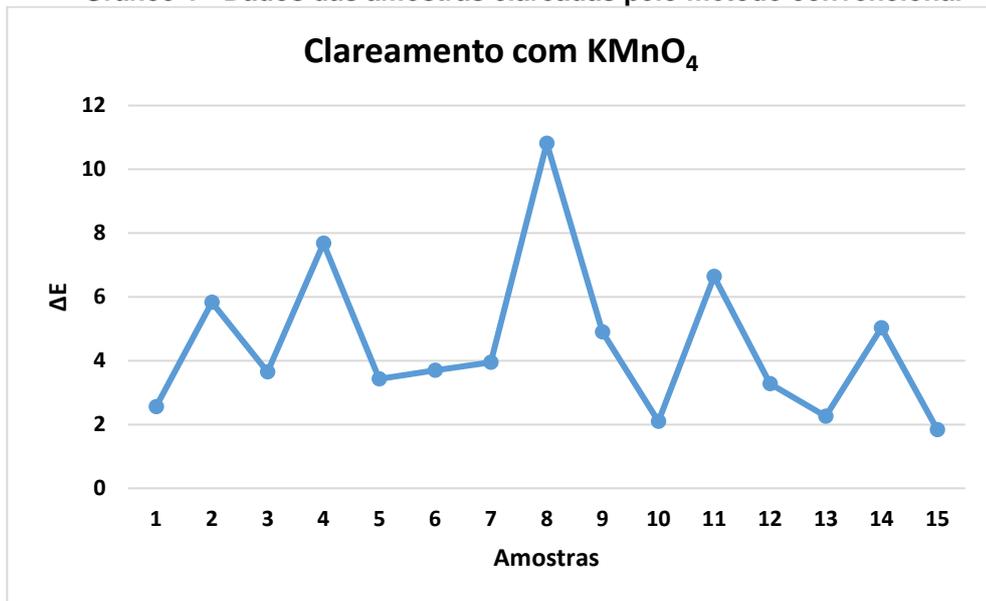
Fonte: Autora, 2022.



Fonte: Autora, 2022.

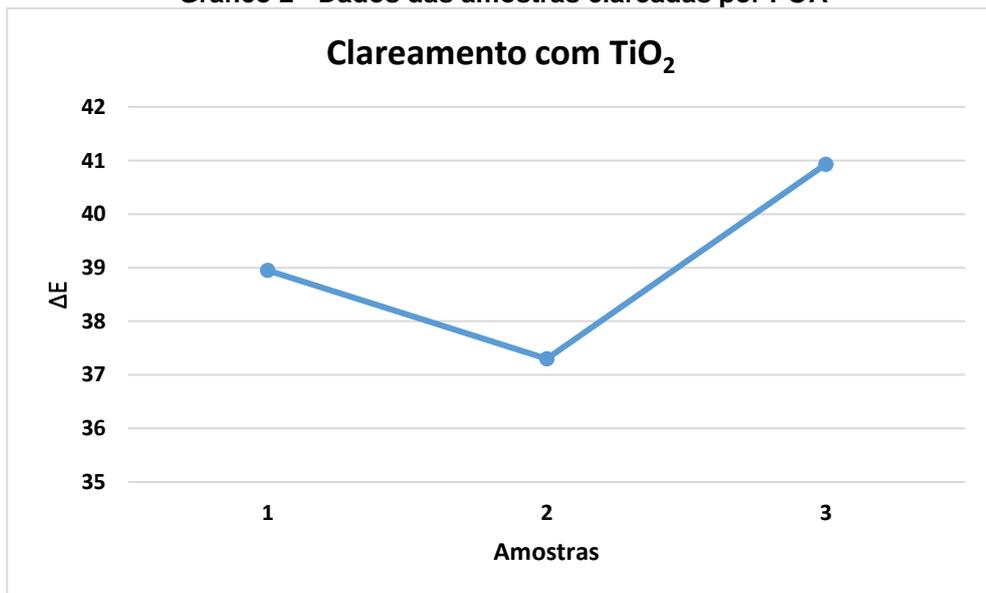
A partir das amostras clareadas obteve-se o ΔE , o qual determina a diferença ou distância entre duas cores a partir de expressões numéricas, avaliando a diferença de cor (Δ) de um padrão conhecido. Assim, quanto maior for a diferença entre a amostra e o padrão maior será o clareamento do artigo (SANTOS, 2020). Abaixo, no Gráfico 1, está evidenciado o resultado do ΔE das amostras clareadas por POA. Enquanto no Gráfico 2, se trata dos resultados das amostras clareadas pelo método convencional.

Gráfico 1 - Dados das amostras clareadas pelo método convencional



Fonte: Autora, 2022.

Gráfico 2 - Dados das amostras clareadas por POA



Fonte: Autora, 2022.

Para parâmetro de comparação, observa-se a unidade correspondente, assim, quando o ΔE de duas cores for menos que 1 unidade ($\Delta E < 1$) as cores são consideradas iguais. Se o ΔE for maior que 2 unidades ($\Delta E \geq 2$) é possível detectar diferença de cor (JOHNSTON, 1989).

Os dados mostram que, no clareamento com TiO_2 a amostra 8 apresentou maior variação de cor com ΔE de 10,82, ou seja, é a que mais clareou a partir do processo de fotocatalise heterogênea. Enquanto, no processo de clareamento com KMnO_4 a amostra 3 foi a que mais clareou, apresentando ΔE de 40,93.

Os resultados do POA estão ligados com o pH da solução, visto que, o mesmo pode alterar as propriedades superficiais do catalisador, ligadas com o equilíbrio ácido-base dos radicais hidroxila adsorvidos (PERALTA-ZAMORA et al. (1998). Uma justificativa seria o fato do corante índigo não se dissolver em água, havendo uma redução em solução alcalina e transformando-o em um composto solúvel (forma leuco), facilitando o clareamento já que em forma leuco apresenta uma fraca ligação corante-fibra (GUARATINI; ZANONI, 2000).

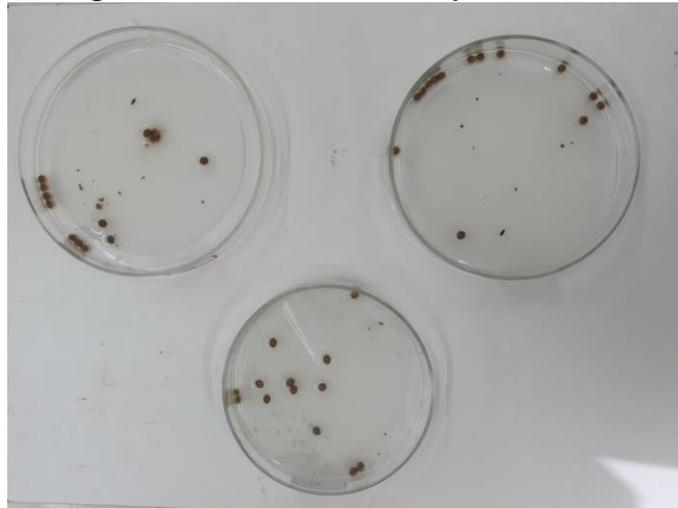
Em comparação dos dois processos, o clareamento convencional com KMnO_4 se mostrou mais eficiente nos parâmetros de clareamento por ser um forte agente oxidante. Em soluções aquosas, o reagente fornece oxigênio para efetuar troca química com compostos orgânicos e inorgânicos, o que a torna uma oxidação vantajosa porque a sua reação independe do pH da solução (SAMPAIO, 1995).

4.2 Análise da Fitotoxicidade

Após o tempo de germinação de 120h foi possível observar que, as sementes de controle positivo não germinaram, no qual já era esperado. O autor Andreo-Souza *et al.* (2012) explica que, uma vez que duas das concentrações salinas usadas no experimento (2 M e 1 M) estão acima da concentração isosmótica (0,8 M), é prejudicial ao desenvolvimento da semente, devido a desidratação da semente pelo sal, impedindo a sua germinação e crescimento. Já a concentração do controle positivo para 0,5 M, que se encontra abaixo da concentração isosmótica, a falta de desenvolvimento da semente pode ser explicada pelo fenômeno de intumescimento da semente. Desse modo, não ocorreu germinação de nenhuma semente nas placas de controle positivo, o que já era esperado de acordo com a literatura.

A Figura 19, indica as amostras de controle positivo e a falta de desenvolvimento das sementes.

Figura 19 - Amostras controle positivo



Fonte: Autora, 2022.

O ensaio de controle negativo realizado, depois de 120h, teve todas as sementes germinadas, o que já era esperado pois o ambiente em que as sementes foram preservadas é favorável para o desenvolvimento das mesmas. Assim, servindo como referência para o cálculo do índice de germinação e para o índice de inibição do crescimento das raízes.

Abaixo, no Quadro 2, é apresentado os dados obtidos nos testes e os resultados das Equações 1 e 2, apresentadas no item [3.2.5](#).

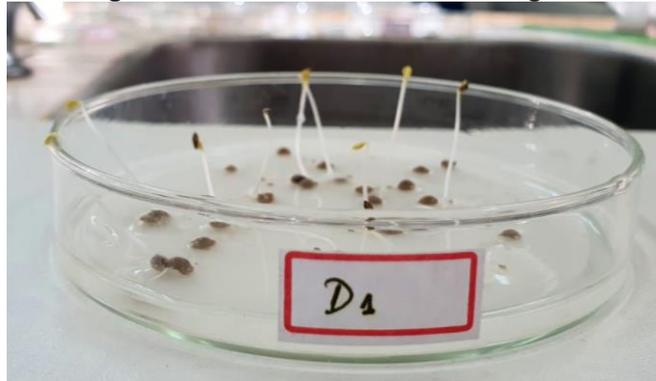
Quadro 2 - Resultados obtidos nos testes de fitotoxicidade

	Processo Convencional		Processo Oxidativo Avançado		Controle Negativo
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 1
1	5,7	5,8	6,5	6,5	7,4
2	5	6,8	6,4	6,5	3,5
3	7,2	6,3	7	5,5	6,5
4	5,7	5,8	5,5	5,2	6,4
5	5,5	6,7	6	5,2	5,9
6	5,7	5,8	6,8	5,8	6,4
7	6	5,6	5,8	5,5	6,5
8	7,9	5,5	6	3,7	7
9	7,5	4,5	5,6	6	7,1
10	6,1	7	5,8	3,8	7,5
11	4,2	7	7,1	7	7,2
12	4,4	-	2,9	5,8	7,5
Média cresc.	5,91	6,07	5,95	5,54	6,58
Média cresc.	5,99		5,75		
%GR	100	91,67	100	100	100
Média germ.	7,67		8		
%ICRRz	10,14	7,64	9,51	15,72	0
Média ICRRz	8,89		12,61		

Fonte: Autora, 2022.

A média do índice de germinação da amostra do controle negativo (SGC) foi 100%, ou seja, todas as sementes germinaram. Enquanto, a média do crescimento da raiz (MCRzC) no controle negativo foi de 6,58 cm. Esses resultados eram esperados, uma vez que o índice de germinação das sementes era de 90%. A Figura 20, mostra o crescimento das sementes do controle negativo.

Figura 20 - Amostra do controle negativo



Fonte: Autora, 2022.

Os ensaios realizados com o efluente gerado pelo clareamento com KMnO_4 e $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ também resultaram na maioria das sementes germinadas. O número médio obtido de germinação nas amostras (SGA) mostrou que, aproximadamente, 11 entre 12 sementes germinaram, resultado expressivo comparado com a média de germinação do controle negativo, 12 sementes. Lembrando-se também que como o índice de germinação é de 90%, esse resultado está dentro do aceitável. Enquanto, a média de crescimento na raiz das duas amostras (MCRzA) obteve um valor de 5,99 cm de desenvolvimento da raiz.

Os resultados apresentados anteriormente, confirmam que apesar do alto número de sementes germinadas na amostra, o crescimento foi afetado diretamente pelos resíduos presentes no efluente, afetando as características do meio, comparado ao controle negativo. A Figura 21, ilustra as raízes das sementes com o efluente gerado do processo convencional de clareamento.

Figura 21 - Germinações do processo convencional



Fonte: Autora, 2022.

Os ensaios feitos com o efluente gerado pelo clareamento com TiO_2 , após 120 horas, expressaram um resultado melhor do que o processo anterior. Onde, o número médio obtido da germinação nas amostras (SGA) foi de 12 sementes germinadas, resultado semelhante ao obtido no controle negativo.

A média de crescimento da raiz das amostras (MCRzA) resultou em 5,75 cm, resultado inferior do que o clareamento com KMnO_4 , o que demonstra um resultado significativamente abaixo ao do controle negativo, indicando que as características do TiO_2 não afetam a germinação, porém influencia no crescimento da planta, mostrando-se agressor ao meio.

Abaixo, na Figura 22, é ilustrado a germinação das duplicatas com o efluente gerado no clareamento por POA.

Figura 22 - Amostras do efluente do POA



Fonte: Autora, 2022.

As porcentagens de germinações das amostras, resultou em um valor inferior ao do controle negativo, no qual é um valor considerável e esperado. Uma vez que, as outras amostras dos efluentes possuem produtos químicos que podem influenciar na germinação das sementes.

O índice de inibição do crescimento das raízes obteve um resultado de 8,89% para as amostras com o efluente gerado no clareamento pelo método convencional. Enquanto, as amostras com o efluente gerado no clareamento pelo POA resultaram em 12,61%. Com base nos ensaios de fitotoxicidade, o processo de clareamento por convencional possui maior potencial agressor ao ambiente do que o POA.

Isso demonstra que o efluente que contém mais carga de produtos químicos inibi o crescimento das sementes, entretanto, mesmo com uma carga menor de produtos químicos o efluente com TiO_2 ainda inibi de forma considerável o crescimento das sementes. Estes dados podem ser um indicativo que o KMnO_4 não influencia diretamente em um efluente menos ecológico e o que faz a inibição oscilar de uma amostra para outra é a quantidade de carga química que cada uma possui.

Este conjunto de informações demonstra que, não existe uma grande diferença para o desenvolvimento das sementes entre os dois efluentes, uma vez que os resultados obtidos se assemelham muito um ao outro.

5 CONCLUSÃO

Tendo em vista que, o objetivo de determinar a fitotoxicidade dos efluentes gerados no processo de clareamento do jeans pelos métodos convencional e oxidativo avançado, o presente trabalho atingiu com êxito.

A partir da análise espectrofotométrica, foi evidenciado que embora visualmente não seja possível ver a diferença entre as amostras clareadas por POA, a grande maioria teve variações correspondentes ao ΔE , destacando a amostra 8 que obteve o valor de ΔE igual a 10,82. Enquanto as amostras clareadas pelo método convencional resultaram em valores mais significativos, com destaque para a amostra 3 que resultou em um ΔE de 40,93.

As condições apresentadas referentes ao teste de fitotoxicidade mostrou que, por mais que a literatura demonstre que os métodos de clareamento por POA sejam menos agressivos ao meio ambiente que o KMnO_4 , esta pesquisa mostra que a análise é mais complexa, podendo ser classificados com o mesmo potencial poluidor. Embora os testes tenham resultado pouca diferença entre si e os efluentes sejam cristalinos, ambos os efluentes continham substâncias que comprometeram os resultados das germinações fossem mais eficazes.

Para que o trabalho seja mais pontual, seria interessante aumentar o número de amostras e aplicar testes de estatística para ser, de fato, afirmado que não existe tanta diferença entre os dois processos e ambos tenham o mesmo potencial agressor.

REFERÊNCIAS

- ABIT. Têxtil e confecção. **Perfil do Setor**. São Paulo, 2018.
- ABIT. Têxtil e confecção. **Perfil do Setor**. São Paulo, 2022.
- ABNT. NBR12744: **Fibras Têxteis-Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 08p.
- ABNT; SEBRAE. **Guia de implementação: Normas para confecção de jeans [recurso eletrônico] / Associação Brasileira de Normas Técnicas, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas**. Rio de Janeiro: Abnt/ Sebrae, 2012.
- ABRAFAS. **Filamentos e Fibras Artificiais e Sintéticas**. Curso de Merceologia de Produtos Têxteis. 1998.
- A HISTÓRIA DO JEANS. **Webinsider**, 2018. Disponível em: < <https://webinsider.com.br/a-historia-do-jeans/>>. Acesso em: 27 de maio de 2022.
- ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. **A Química do Processamento Têxtil**. Química Nova, São Paulo, v. 19, 1996.
- AL-DEGS, Y. et al. **Effect of Carbon Surface Chemistry on The Removal of Reactive Dyes from Textile Effluent**. Wat. Res. Vol. 34, No. 3. Great Britain, 2000.
- ALMEIDA, M. D. de. **A MODA CONTEMPORÂNEA E A SUSTENTABILIDADE NO JEANSWEAR: ESTUDOS DE CASO**. 2013. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Bauru, 2013.
- ALMEIDA, E. J. R. et al. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes**. 2016. Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.
- ALEXANDRINO, C. A. **Desenvolvimento De Produto Inovador Em Uma Empresa Jeans Wear**. 2013. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Design de Moda, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2013.
- ANDRÉO-SOUZA, Y. et al. **EFEITO DA SALINIDADE NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E NO CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS DE PINHÃO-MANSO**. Revista Brasileira de Sementes, Bahia, v. 32, n. 2, p.83-92, jan. 2012.
- ARAÚJO, H. N.; RODRIGUES, E. C. **ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DO CORANTE ÍNDIGO PRESENTE EM ÁGUAS DE LAVAGEM DE CALÇAS JEANS UTILIZANDO RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA E PERCARBONATO DE SÓDIO**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Presidente Epitácio, 2016.
- ARAÚJO, K. S. et al. **Processos Oxidativos Avançados: Uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais**. Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2016.

ARIATI, W. L. **INTERAÇÃO ENTRE SALINIDADE E Ph NA GERMINAÇÃO DE SEMENTE DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA*)**. 2015. Universidade do Extremo Sul Cararinense, Criciúma, 2015.

AZBAR, N.; YONAR, T.; KESTIOGLU, K. **Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from polyester and acetate fiber dyeing effluent**. *Chemosphere*, v. 55, n. 1, p. 35-43, 2004.

BUSS, M. V. et al. **Tratamento dos Efluentes de uma Lavanderia Industrial: Avaliação da Capacidade de Diferentes Processos de Tratamento**. Universidade do Oeste de Santa Catarina; Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2015.

CHU SJ, TRUSHKOWSKY RD, PARAVINA RD. **Dental color matching instruments and systems. Review of clinical a research aspects**. *J Dent*. 2010.

CIE, Commission Internationale de L'Éclairage. **Colorimetry**. 2nd ed. Wien: Central Bureau of the CIE; 1986.

DEZOTTI, M. (Coord.). **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008.

FRASQUETE, Débora Russi; OLIVEIRA, Heloisa Pereira. **Contribuição Das Etapas De Produção Para O Encarecimento Das Peças Em Denim**. In: Encontro Paranaense De Moda Design E Negócios. Universidade Estadual de Maringá, 2009.

GOUVEA, B. S.; RIBEIRO V. A. S.; JABUR, A. S. TESSAR, R. K. **Análise da perda de resistência provocada pelos processos de estonagem em peças confeccionadas em denim**. *Química Têxtil*, 2018.

GUARATINI, C. C. I. e ZANONI, M. V. B. **Corantes Têxteis**. *Química Nova*, São Paulo, v. 23, 2000.

GUTIRREZ, P. L. **Aprender a empreender**. Têxtil e confecção. Brasília: Sebrae, 2006.

JOHNSTON WM, Kao EC. **Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry**. *J Dent Res*. 1989.

KADOLPH, S. J., LANGFORD, A. L. **Textiles. 8ª Edition**. Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, 1998.

KOHATSU, M. Y. et al. **AVALIAÇÃO DA FITOTOXICIDADE DE ÁGUAS E SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DA REPRESA BILLINIGS E DE CÓRREGOS ADJACENTES POR MEIO DE BIOENSAIOS COM *Sinapis alba***. In: IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Universidade Federal do ABC, 2018.

KUNZ, A. et al. **Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis**. Universidade Federal do Paraná; Universidade Estadual de Campinas, 2000.

LOBO, R. N. et al. **Fundamento da tecnologia têxtil: da concepção da fibra ao processo de estampa**. São Paulo: Érica, 2014.

LUIZ, Sanara; VALENTIM, Anamélia Fontana. **LAVANDERIA EM JEANS E A SUSTENTABILIDADE EM MODA: COMPARATIVO ENTRE PROCESSOS TRADICIONAIS E ECOLÓGICOS**. 2019. 18 f. Curso Superior de Tecnologia em Design de Moda, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2019.

MENDES, Francisca Dantas et al. **POSTERGAÇÃO COMO ESTRATÉGIA COMPETITIVA NO SEGMENTO JEANSWEAR DA MANUFATURA DO VESTUÁRIO DE MODA - MVM**. In: XXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção, Rio de Janeiro, 2008.

MIKLOS, David B. et al. **Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment e A critical review**. Water Research, Germany, v. 139, p.118-131, 2018.

MORITA, A. M. et al. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 6., 2017, São Paulo. **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DE CALÇA JEANS**. Brasil, 2017.

OLIVEIRA, G. J. **Jeans, a alquimia da moda**. Naipe Design, 2008.

ORTEGA, M. C. et al. **Propuesta de Bioensayos para detectar factores fitotóxicos en sustratos y enmiendas**. Actas de Horticultura, v. 32, p. 363-376, 2000.

PALÁCIO, S. M. et al. **Estudo da toxicidade de efluente têxtil tratado por foto-fenton artificial utilizando as espécies *Lactuca sativa* e *Artemia salina***. Engevista, v. 14, n. 2, 2012.

PERALTA-ZAMORA, P. et al. **“Evaluation of ZnO, TiO₂ and dupported ZnO on the photoassisted remediation of black liquor, cellulose and textile mill effluents.”** Chemosphere, Vol. 36, n. 9., 1998.

PEREIRA, G. S. **Introdução à tecnologia têxtil**. Araranguá: CEFET-SC, 2008.

PEZZOLO, Dinah Bueno. **Moda fácil**. CONEX, 2003.

PEZZOLO, Dinah Bueno. **Tecidos: histórias, tramas, tipos e usos**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007.

PIGNATELLO, J. J.; OLIVEROS, S. E.; MACKAY, A. **Advanced oxidation processes of organic contaminant destruction based of the Fenton reaction and related chemistry**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 36, p. 1-84, 2006.

REIS, Julia Candida Leandro dos; RIZZI, Suelen. **Jeans e Sustentabilidade: Caminhos possíveis por meio do Upcycling**. 2020. Artigo Científico – Curso Superior de Tecnologia em Design de Moda, Instituto Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2020.

RIZZO, L.J.K.; BELGIORNO, V.; ANDERSON, M.A. **Removal of methylene blue in a photocatalytic reactor using polymethylmethacrylate supported TiO₂ nanofilm**. Desalination, v. 211, 2007.

SALEM, Vidal. **Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias**. São Paulo: Blucher, 2010.

SAMPAIO, C. A. A. **Remoção de ferro de manganês pelo pré-tratamento de águas de abastecimento com permanganato de potássio**. 1995. 159f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP, 1995.

SANTANA, J. C. F. et al. **Desempenho Industrial da Fibra, do Fio e da Malha do Algodão BRS 200 Marrom, em Filatório Open-End**. Campina Grande, 2002.

SANTOS, A. C. A. **CLAREAMENTO DE JEANS UTILIZANDO OS PRINCÍPIOS DA FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COM TiO₂**. 2020. 48 f. Trabalho De Conclusão De Curso, Engenharia Têxtil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana – 2020.

SANTOS, R. B. B.; ANTONIOLLI, I. S. **Fiação open-end e suas inovações**, 2012. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Tecnologia em Produção Têxtil) - Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2012.

SENAI. **Beneficiamento Têxtil**. São Paulo: SENAI-SP, 2016.

SILVA, A. N. et al. **Estudo de caso em empresa têxtil do Seridó: Padronização de produtos e processos**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2018.

SOUSA, F. Os problemas ambientais criados pelo algodão, a fibra natural mais utilizada no mundo. **Água, vida & CIA**, 2021. Disponível em: <<https://ferdinandodesousa.com/2021/11/15/os-problemas-ambientais-criados-pelo-algodao-a-fibra-natural-mais-utilizada-no-mundo/>>. Acesso em: 27 de maio de 2022.

VAUTIER M, GUILLARD C, HERRMANN J. **Photocatalytic Degradation of Dyes in Water: Case Study of Indigo and of Indigo Carmine**. Catal, 2001.

ZAGATTO, P.A. **Ecotoxicologia**. In: Zagatto, P. A.; Bertoletti, E. (Ed.), 2014. Ecotoxicologia Aquática - Princípios e aplicações. São Carlos: RiMa. 2^a ed. cap. 1. p. 1-13.