

ESTUDO DO TINGIMENTO COM CORANTE ÍNDIGO NATURAL PARA
APLICAÇÃO TÊXTIL: A TRANSDISCIPLINARIDADE DO DESIGN
CONTRIBUINDO PARA UMA PROPOSTA DE MATERIAL ECOLÓGICO
PARA A INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO

Dissertação de mestrado
Linha 1: Tecnologia, Materiais e Ergonomia

Aluna: Luciana Machado Coelho Silva

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Eliane Ayres
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Caroline Salvan Pagnan

Belo Horizonte
Dezembro de 2019

LUCIANA MACHADO COELHO SILVA

ESTUDO DO TINGIMENTO COM CORANTE ÍNDIGO NATURAL PARA
APLICAÇÃO TÊXTIL: A TRANSDISCIPLINARIDADE DO DESIGN
CONTRIBUINDO PARA UMA PROPOSTA DE MATERIAL ECOLÓGICO
PARA A INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO

Dissertação de mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Design
pela Universidade do Estado de Minas
Gerais.

Linha de pesquisa: Tecnologia, Materiais
e Ergonomia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Eliane Ayres

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Caroline
Salvan Pagnan

Belo Horizonte
Dezembro 2019

S586 Silva, Luciana Machado Coelho

Estudo do tingimento com corante indigo natural para aplicação textil: a transdisciplinaridade do design contribuindo para uma proposta de material ecológico para a indústria do vestuário. [manuscrito] / Luciana Machado Coelho Silva - Belo Horizonte, 2019.

120f.: il. color. fots. Tabs. Grafts.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Eliane Ayres

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Caroline Salvan Pagnan

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG - como requisito para a obtenção de grau de Mestre em Design, na linha de pesquisa: Tecnologia, Materiais e Ergonomia.

1. Design. 2. Impactos Ambientais. 3. Corante índigo. 4. Indústria têxtil. 5. Moda. I. Ayres, Prof.^a Dr.^a Eliane. II. Universidade do Estado de Minas Gerais. III. Título.

CDU – 687.03

“Estudo do tingimento com corante índigo natural para aplicação têxtil: a transdisciplinaridade do design contribuindo para uma proposta de material ecológico para a indústria do vestuário”

Autora: Luciana Machado Coelho Silva

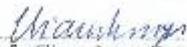
Esta dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para a obtenção do título de Mestre em Design no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 20 de dezembro de 2019.


Rita A. C. Ribeiro
Coordenadora de Curso e Controladora
MSP 1231056-1
ESCOLA DE DESIGN - UEMG

Prof.^a Rita Aparecida da Conceição Ribeiro
Coordenadora do PPGD

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Eliane Ayres, Dra.

Orientadora

Universidade do Estado de Minas Gerais



Prof.^a Caroline Salvan Pagnan, Dra.

Coorientadora

Universidade do Estado de Minas Gerais



Prof.^a Mercês Coelho da Silva, Dra.

Universidade Federal de Itajubá



Prof.^a Kátia Andréa Carvalhaes Pógo, Dra.

Universidade do Estado de Minas Gerais

AGRADECIMENTOS

São muitas as pessoas que participaram desse processo atuando direta e indiretamente, como também os que compreenderam minha ausência, pois minha prioridade estava aqui, nessa pesquisa, durante esse tempo.

Fui privilegiada de ter como orientadora e co-orientadora duas pessoas maravilhosas e dedicadas que me permitiram seguir com a pesquisa à minha maneira, indicando apenas o caminho para enriquecer o trabalho.

Quero agradecer a Cedro Têxtil por possibilitar conhecer, durante meu tempo como colaboradora, o processo produtivo têxtil e o fascinante tingimento com o corante índigo. Aos ex-colegas de trabalho e hoje amigos, que sempre me atenderam em momentos de dúvidas: Warley, Ismahir, Edson, Fred, Eduardo Paixão e Eduardo Henrique.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, principalmente ao Laboratório de Tecnologia Têxtil, em especial à Patrícia Muniz dos Santos Silva que foi extremamente solícita a realizar os ensaios têxteis da pesquisa.

Ao Júnior da Fertex e à Kiri Miyazaki pelas contribuições sobre o tingimento com o índigo natural.

Aos colegas de mestrado pela caminhada e por dividir os momentos de angústia e, principalmente à Clara por compartilhar o laboratório, os erros, os acertos e os momentos de alegria. À equipe do PPGD/UEMG, coordenadores, professores e funcionários.

Aos meus pais que foram fundamentais nesse processo, pois entenderam e confiaram na minha decisão. Ao meu irmão pelo incentivo. E ao Lucas que sempre me apoiou, incentivou, compreendeu meus momentos de ausência e vibrou junto comigo as conquistas.

A todos vocês, muito obrigada e gratidão por essa experiência de vida.

RESUMO

A indústria têxtil e do vestuário gera um alto impacto negativo ambiental e social e a escolha do material têxtil para o desenvolvimento do produto de moda influencia diretamente esse impacto. Uma das etapas que contribui com a emissão de grandes quantidades de resíduo e poluição, contaminando os efluentes e emitindo gases responsáveis pelo efeito estufa, é a etapa de preparação e tingimento do tecido. Para tanto, foi realizada uma pesquisa aplicada de cunho quantitativo e de caráter experimental com o objetivo de estudar os parâmetros para alcançar a excelência nos resultados do tingimento do tecido de algodão orgânico com o corante índigo natural utilizando reagentes químicos de baixo impacto ambiental, como os açúcares. Ainda, aplicar o material pesquisado em uma proposta de um produto de moda sustentável que faça parte do sistema circular da indústria têxtil. O estudo busca refletir como o design, sob a ótica da seleção de materiais, pode contribuir por meio da transdisciplinaridade do conhecimento para que essa indústria reduza o impacto negativo ambiental e social, trazendo significado para o produto de moda por meio de propriedades que agreguem valor ao material, como a exclusividade do tingimento natural e o uso de matéria-prima biodegradável. Com isso, podendo ser traduzido em bem estar, prática de justiça social, proteção do meio-ambiente e valorização da autoestima diante de um consumo de um produto de moda sustentável, transcendendo a efemeridade da moda.

Palavras-chave: Design; impactos ambientais; corante índigo; indústria têxtil; moda.

ABSTRACT

The textile and clothing industry generates a high negative environmental and social impact. Thereby, the choice of textile material for fashion product development directly influences this outcome. Part of this impact occurs at the preparation and the dyeing fabric production process which contributes to the emission of large amounts of waste and pollution, contaminating effluents and sending greenhouse gases to the atmosphere. To this end, the aim of this quantitative and experimental research was to study the criterion to achieve excellence in the results of dyeing organic cotton fabric with natural indigo dye using chemical products that generate low environmental impact, as reducing sugars. Afterwards, the dyed textile was applied in a proposal for a sustainable fashion product that is part of the circular system of the textile industry. The study seeks to reflect how design, from the perspective of material selection, can contribute to reduce the negative environmental and social impact, bringing meaning to the fashion product through properties that add value to the material, such as the exclusivity of natural dyeing and the use of biodegradable raw material. Thus, it can be translated into well-being, social justice practice, environmental protection and self-esteem valorization in face of a consumption of a sustainable fashion product, transcending the ephemerality of fashion.

Key words: Design; environmental impact; indigo dye; textile industry; fashion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Transdisciplinaridade do design.....	19
Figura 2 - Projeção dos impactos da indústria da moda.....	24
Figura 3 - Cadeia linear da indústria da moda.....	35
Figura 4 - Fibras têxteis.....	41
Figura 5 - Fibra de algodão.....	43
Figura 6 - Planta Indigofera Tinctoria.....	59
Figura 7 - Redução industrial do corante índigo.....	61
Figura 8 - Banho de tingimento industrial do índigo.....	62
Figura 9 - Etapas da pesquisa.....	67
Figura 10 - Processo de redução do corante índigo insolúvel.....	72
Figura 11 - Banho de tingimento.....	75
Figura 12 - Fotografia das amostras de tecido purgada e não purgada com os respectivos parâmetros L*, a*, b* do sistema CIELAB.....	83
Figura 13 - Comportamento da reflectância para: (a) tecido sem limpeza e (b) tecido com limpeza (purgado).....	84
Figura 14 - Imagens de MEV da amostra sem limpeza e com limpeza (purga).....	85
Figura 15 - Diagrama do processo pelo qual os polímeros catiônicos formam uma camada de cargas catiônicas quando aplicados às superfícies das fibras.....	87
Figura 16 - Diagrama do processo pelo qual os reagentes modificam a fibra, formando ligações covalentes com a fibra celulósica.....	87
Figura 17 - (a) Fotografia da tintura mãe, na qual foi usado Na ₂ S ₂ O ₄ como agente redutor e NaOH como meio alcalinizante (amostra para tingimento convencional CI) e (b) Ilustração do corante índigo reduzido (tintura-mãe).....	89
Figura 18 - (a) Fotografia do resultado da redução das amostras B e C e (b) Ilustração do resultado da redução sem sucesso da amostra C.....	91

Figura 19 - Fórmulas estruturais do índigo e suas diferentes formas de leucoíndigo.....	93
Figura 20 - Aspecto visual das amostras tingidas.....	93
Figura 21 - Diagrama para o espaço de cores CIELAB/L*a*b*	94
Figura 22 - Posição das amostras tingidas no espaço CIELAB.....	96
Figura 23 - Valores de ΔE^* em relação à amostra controle CE para todas as amostras tingidas.....	97
Figura 24 - Comparação da força colorística após o teste de lavagem entre as amostras sem tratamento de cationização, com agente de cationização comercial e com quitosana solúvel em água: D, I e K, respectivamente (usando frutose como agente redutor) e F, H e J, respectivamente (usando glicose como agente redutor).....	103
Figura 25 - Proposta do produto de moda utilizando o método de modelagem resíduo zero.....	113
Figura 26 - Sistema circular da indústria do vestuário e etapas onde o produto proposto está inserido.....	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Reagentes e quantidades utilizados no pré-tratamento das amostras de tecido para os dois controles.....	71
Tabela 2 - Reagentes e quantidades utilizados no pré-tratamento das amostras de tecido para os diferentes experimentos.....	72
Tabela 3 - Reagentes utilizados na redução do corante índigo para as amostras controle.....	73
Tabela 4 - Reagentes utilizados na redução do corante índigo para as amostras experimentais.....	73
Tabela 5 - Reagentes utilizados no banho de tingimento para as amostras controle.....	74
Tabela 6 - Reagentes utilizados no banho de tingimento para as amostras experimentais.....	74
Tabela 7 - Tempo de redução, valor do pH e temperatura do processo de redução.....	90
Tabela 8 - Valores de L*, a* e b*.....	95
Tabela 9 - Valores de K/S no comprimento de onda de 660 nm e valores de absorvância.....	98
Tabela 10 - Valores de K/S no comprimento de onda de 660 nm, valores da força colorística em relação ao controle (K/S em %) e valores de absorvância após o teste de solidez à lavagem	101
Tabela 11 - Valores de K/S no comprimento de onda de 660 nm, valores da força colorística em relação ao controle (K/S em %) e valores de absorvância após o teste solidez ao suor ácido	104
Tabela 12 - Valores de K/S no comprimento de onda de 660 nm, valores da força colorística em relação ao controle (K/S em %) e valores de absorvância após o teste solidez ao suor básico	105
Tabela 13 - Valores de K/S no comprimento de onda de 660 nm, valores da força colorística em relação ao controle (K/S em %) e valores de absorvância após o teste solidez à luz	107
Tabela 14 - Grau de solidez e respectivos valores.....	108
Tabela 15 - Avaliação visual do ensaio de solidez a lavagem.....	109

Tabela 16 - Avaliação visual do ensaio de solidez ao suor ácido.....	109
Tabela 17 - Avaliação visual do ensaio de solidez ao suor básico.....	110
Tabela 18 - Avaliação visual do ensaio de solidez à luz.....	110
Tabela 19 - Relação entre necessidade do mercado e material/produto..	115

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

%	Porcentagem
A	Absorbância
a.C.	Antes de Cristo
ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BSE	Detector de elétrons retroespalhados
CA	Acetato
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio
CIELab	<i>Commision Internationale L'Eclairage</i>
Cm	Centímetro
CO	Algodão
CO ₂	Dióxido de carbono
DDS	Dodecil sulfato de sódio
g	Gramas
h	Hora
H ₂ O	gua
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	Organização Internacional de Normalização
K/S	Força colorística
kV	Kilovolt
LCA	<i>Life Cycle Design</i>
LTDA	Limitada
m ²	Metro quadrado

MEV	Microscopia eletrônica de varredura
Min	Minutos
mL	Mililitros
Na ₂ S ₂ O ₄	Ditionito de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
Nm	Nanometro
°C	Graus Celsius
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
P.A.	Para análise
PA	Poliamida
PAC	Acrílica
PDDACI	Poli(cloreto de dialildimetilamônio)
PES	Poliéster
PET	Polietileno tereftalato
pH	Escala numérica utilizada para especificar a acidez ou basicidade de uma solução aquosa.
PLA	Poli(ácido láctico)
R:B	Relação de banho
SCE	Refletância difusa
SCI	Componente especular incluída
SNI	Comitê Têxtil da Sociedade Nacional das Indústrias
T	Temperatura
US\$	Moeda dólar
UV	Raio ultravioleta
WO	Lã

β

Beta

Δa^*

Delta a*

Δb^*

Delta b*

ΔE

Delta E

ΔL^*

Delta L*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	17
	2.1 Objetivo geral	17
	2.2 Objetivos específicos	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
	3.1 A indústria da moda, o design e as diretrizes para a redução dos impactos negativos dessa indústria	18
	3.1.1 O significado e as consequências do consumo de moda	19
	3.1.2 A seleção dos materiais no design	25
	3.1.3 O significado do objeto por meio da percepção do usuário	28
	3.1.4 Redução dos impactos negativos na indústria do vestuário: projetar um produto de moda responsável	31
	3.2 O começo do produto de moda: a indústria têxtil	36
	3.2.1 O algodão	40
	3.2.2 O beneficiamento têxtil	44
	3.2.3 O tingimento	46
	3.2.4 Os corantes têxteis	48
	3.2.5 O corante índigo	55
	3.3 Ensaio	59
	3.3.1. Colorimetria	59
	3.3.2 Solidez da cor	60
	3.3.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	61
4	METODOLOGIA	63

4.1 Materiais	65
4.2 Tingimento das amostras de tecido	65
4.2.1 Limpeza do tecido	66
4.2.2 Pré-tratamento do tecido	66
4.2.3 Preparação da redução do corante: tintura mãe	68
4.2.4 Tingimento do tecido	70
4.3 Caracterizações	71
4.3.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	71
4.3.2 Colorimetria	72
4.3.3 Ensaio de solidez a lavagem	72
4.3.4 Ensaio de solidez ao suor	72
4.3.5 Ensaio de solidez a luz	73
4.3.6 Avaliação visual dos resultados de solidez de cor	74
4.4 Aplicação do material têxtil	74
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
5.1 Limpeza do tecido (purga)	79
5.2 Pré-tratamento do tecido	82
5.3 Redução do corante: tintura mãe	85
5.4 Tingimento das amostras	89
5.5 Aplicação do material têxtil	109
6 CONCLUSÕES	117
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	120
REFERÊNCIA	121

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil teve um significado importante na transição dos processos industriais e hoje constitui uma das maiores atividades econômicas mundiais. O material têxtil é usado em diversos setores. Entre eles, o setor do vestuário fabrica produtos desejados e comprados por consumidores de diferentes nacionalidades e perfis socioeconômicos, movimentando um dos sistemas mais influentes do mundo, a moda.

O modelo linear de produção - explorar, fazer, utilizar e descartar - transforma recursos naturais em materiais e produtos básicos para venda através de uma série de etapas que agregam valor ao produto (STAHEL, 2016). Entretanto, de acordo com Fletcher e Grose (2012), pesquisadores e cientistas estão estudando as consequências no planeta provocadas por esse modelo e quais são os limites da atividade do homem em relação à capacidade do meio ambiente em se reconstituir.

Diante disso, a sustentabilidade ambiental descreve que as atividades produzidas pelo homem não devem interferir nos ciclos naturais do planeta, assim, toda atividade realizada pelo homem não pode prejudicar o tempo necessário da natureza em se recuperar, para não empobrecer seu capital natural, preservando-o assim para as futuras gerações (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

Por outro lado, a economia circular favorece a preservação dos recursos finitos de matéria prima e reduz a quantidade e resíduos descartados no meio ambiente, pois transforma bens que estão no final da sua vida útil em recursos para outros processos. Portanto, fechando os ciclos industriais com a reutilização do que for possível, reciclando o que não pode ser reutilizado, reparando o que está danificado e remanufaturando o que não pode ser reparado (STAHEL, 2016).

Assim, diante da necessidade em buscar novos caminhos para a melhoria das condições de vida das pessoas e do meio ambiente, temas como o da sustentabilidade vem ganhando relevância na indústria da moda. Certamente um desafio para o setor, visto que ela é marcada pelo excesso de consumo e pela efemeridade de seus produtos.

Para Fletcher e Grose (2012), enquanto a moda faz uma reflexão sobre individualidade e pertencimento, ela também lida com produção tecnológica e cultura do vestuário. A cadeia da moda tem uma relação complexa com os grandes sistemas econômicos, ecológicos e sociais. A moda, como fenômeno, abrange diversos setores e o têxtil e do vestuário é um importante setor influenciado por ela.

É notória a extensão e a complexidade da indústria da moda e do vestuário, uma vez que o processo se inicia pela fibra e seu processamento, passando pela fabricação de tecidos e de produtos, continuando até o consumo final. Neste longo processo, grandes quantidades de resíduo e poluição são geradas, contaminando os efluentes, emitindo gases responsáveis pelo efeito estufa, e contribuindo para a pegada de carbono, impactando o meio ambiente e as pessoas que estão diretamente em contato com os processos de fabricação (FLETCHER; GROSE, 2012).

No decorrer do processo de produção têxtil, uma das etapas que contribuem para os impactos negativos é o de preparação e tingimento do tecido. Nesta etapa, utilizam-se uma elevada quantidade de água, energia, produtos químicos e corantes sintéticos, gerando um grande volume de efluentes (KUNZ, 2002; ÖKTEM *et al.*, 2003).

Com o desenvolvimento do corante sintético, por W.H. Perkin, em 1856, a utilização dos corantes naturais entrou em declínio. Porém, o uso de plantas, minerais, insetos e outras fontes naturais para realizar o tingimento foi muito utilizado desde o início da civilização. Escavações e registros históricos comprovam o uso dessas matérias primas em diversos usos. Como por

exemplo, na Idade da Pedra, metais eram usados para colorir o corpo e o cabelo de quem iria caçar, assim ganhariam poderes mágicos, e a escrita cuneiforme egípcia relatou o uso de tingimento com corante natural nos tecidos dessa época. (ADEEL *et al.* 2017; SAXENA *et al.*, 2014).

Os corantes sintéticos são usados extensivamente para tingir as diversas fibras existentes, pois possuem preço baixo, permitem a repetibilidade e variação de cor, além de desbotar com menor facilidade, possuindo alta propriedade de solidez comparado aos corantes naturais. Entretanto, foram avaliados como altamente tóxicos e carcinogênicos (SINHA *et al.*, 2012; ADEEL *et al.* 2017).

Cerca de 10 a 35% dos corantes sintéticos não fixam adequadamente no tecido e com isso são descartados nos efluentes. Se estes efluentes não forem tratados corretamente, o corante descartado passa a fazer parte do ecossistema, desestabilizando-o (ADEEL *et al.* 2017). Com isso, percebeu-se o reaparecimento do uso de corantes naturais, como também se observa uma vasta quantidade de pesquisas e artigos publicados relacionados ao tema.

Todavia, diante dos problemas causados pela indústria têxtil e o volume de consumo e descarte de produtos de moda, uma parcela dos consumidores está mudando seus hábitos de consumo e criando um novo estilo de consumir, engajado com os problemas da humanidade e preocupado com questões éticas e sociais (SAXENA *et al.*, 2014)

A Organização das Nações Unidas buscando um caminho para o desenvolvimento sustentável do planeta criou uma agenda baseada no resultado da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável de 2012 (Rio+20). Essa agenda com dezessete objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), para serem cumpridos até 2030, determinarão ações para erradicar a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar das pessoas, proteger o meio ambiente e enfrentar as mudanças climáticas, questões que estão diretamente associadas aos problemas gerados pela indústria têxtil e do vestuário (ONU, 2019).

Assim, a ODS de número 12 trata especificamente sobre a produção e consumo sustentáveis com o objetivo de alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais, reduzir o desperdício, reduzir a emissão de produtos químicos no ar, água e solo, reduzir a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso, entre outros itens (ONU, 2019).

O cenário da sustentabilidade no contexto da moda abrange não só a mudança no processo produtivo da indústria têxtil e do vestuário, como também a compreensão, por parte dos consumidores, de que é fundamental priorizar produtos que façam uso consciente de matéria-prima renovável e dos recursos naturais.

Assim, a sustentabilidade é multidimensional e envolve o meio ambiente, a economia e a sociedade. Uma ênfase no uso de corantes naturais na indústria têxtil pode dar uma contribuição valiosa para a sustentabilidade considerando os aspectos ambientais, sociais e econômicos, no século XXI (SAXENA *et al.*, 2014).

Essa pesquisa tem como objetivo minimizar os impactos ambientais negativos gerados pelos atuais métodos de tingimento com o corante índigo sintético na indústria têxtil e verificar a viabilidade de substituir o método convencional pelo tingimento natural utilizando o corante índigo natural, assim como reagentes químicos menos nocivos ao meio ambiente.

Dessa maneira, o estudo contribui para a reflexão sobre a transversalidade do conhecimento, no qual ciência e engenharia de materiais, design e moda se relacionam para trazer soluções ao cenário complexo da indústria têxtil e do vestuário, contribuindo para a produção e consumo responsáveis. Com isso, foi aplicado o material têxtil pesquisado em uma proposta de produto para a moda dentro dos parâmetros da economia circular, na qual a etapa de criação e desenvolvimento do produto tem forte influência, selecionando o material adequado dentro de uma perspectiva de redução dos impactos negativos.

O texto irá discorrer, por meio de seções, sobre a indústria da moda, o design e

as diretrizes para minimizar o impacto desta indústria. Posteriormente, a metodologia irá tratar detalhadamente da pesquisa experimental com o corante índigo natural no tecido de algodão orgânico, assim como as caracterizações e ensaios realizados para testar a qualidade e resistência do tingimento. Logo após, será apresentado os resultados e discussão acerca dos experimentos e da proposta de produto e, por fim, a conclusão e sugestão para trabalhos futuros.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

A pesquisa tem como objetivo minimizar os impactos ambientais negativos gerados pelos atuais métodos de tingimento com o corante índigo sintético na indústria têxtil e verificar a viabilidade de substituir o método convencional pelo tingimento natural utilizando o corante índigo natural, assim como reagentes químicos menos nocivos ao meio ambiente.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar o estudo do tingimento com corante índigo natural;
- Pesquisar reagentes redutores ecológicos para ser usado na etapa de redução do tingimento com corante índigo natural;
- Selecionar bases para tornar o meio alcalino nas etapas de pré-tratamento, redução e tingimento;
- Variar a temperatura de acordo com o redutor usado e observar os resultados do tingimento com cada uma dessas temperaturas;
- Testar a absorção do corante pela fibra na presença de agente cationizante comercial e quitosana;
- Avaliar os resultados do tingimento por meio dos valores de parâmetros colorimétricos do sistema CIELab;
- Ensaaiar as amostras tingidas quanto realizar a solidez da cor à lavagem, solidez da cor ao suor ácido e básico e solidez da cor à luz;
- Desenvolver uma proposta de um produto de moda responsável para aplicar o material têxtil pesquisado;
- Divulgar os resultados da pesquisa em periódico científico da área.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

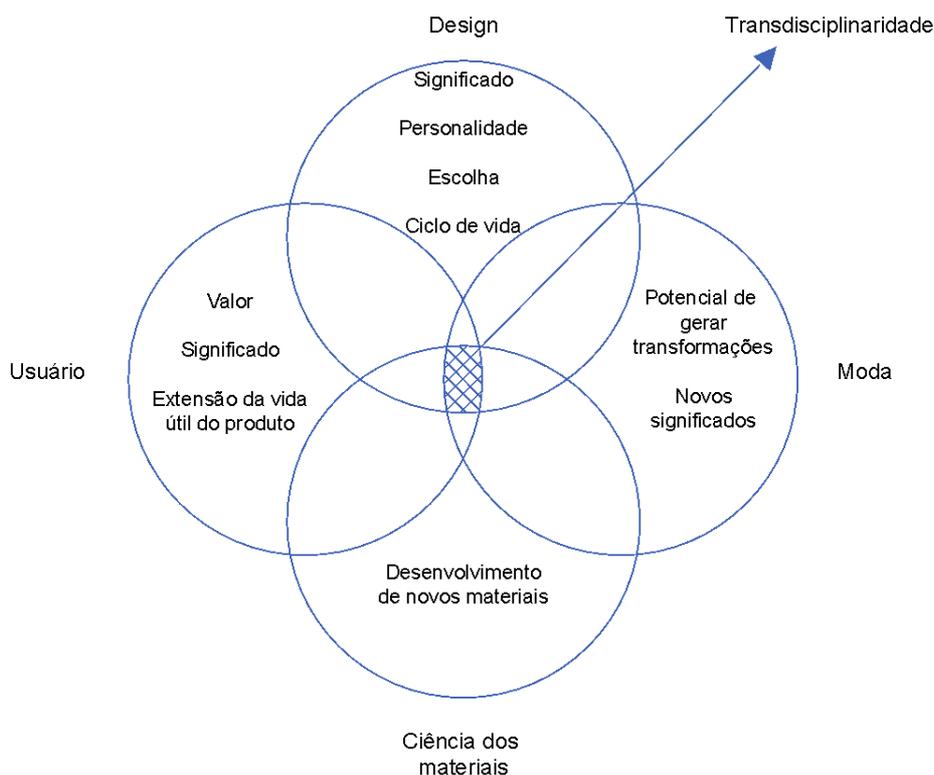
3.1 A indústria da moda, o design e as diretrizes para a redução dos impactos negativos dessa indústria

Falar sobre a relação entre a indústria da moda e o design implica em rever conceitos acerca desses temas para então discutir sua conexão. No mundo contemporâneo, a ligação entre as áreas é extremamente pertinente visto que nada está isolado. Pelo contrário, o conhecimento é transversal às diferentes áreas do saber contribuindo para encontrar respostas para o cenário da atualidade. São muitos os cenários do mundo atual, entretanto, nessa pesquisa, a indústria do vestuário será o foco do estudo, devido ao significado e aos impactos que o produto de moda traz para a sociedade.

Diante disso, este subitem irá relacionar essas duas áreas do conhecimento, trazendo primeiramente o conceito de moda e a relação de consumo existente nesse setor, permitindo compreender o significado do produto de moda para o usuário e as consequências desse consumo. Posteriormente, será abordada a importância do design para dar personalidade e sentido ao produto, juntamente com o entendimento sobre o valor que o estudo dos materiais representa para o design e conseqüentemente para a indústria da moda.

Portanto, a transdisciplinaridade dessas duas áreas do saber contribui para a busca de alternativas responsáveis para o desenvolvimento do produto de moda, respeitando o meio ambiente, adicionando sentido a esse produto, colaborando para aumentar o tempo de vida do mesmo, e assim, possibilitar a redução dos impactos negativos dessa indústria (Fig. 1).

Figura 1 - Transdisciplinaridade do design



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

3.1.1 O significado e as consequências do consumo de moda

A moda, uma indústria cultural e criativa, por meio de estilistas e designers, é responsável pela produção e comercialização de produtos que se tornam símbolos, e que, ao distribuí-los transmite valores e atributos para os consumidores (REFOSCO *et al.*, 2011).

A indústria da moda está diretamente ligada a esses símbolos e valores. Fato defendido por Lipovestsky (2009), quando aborda o conceito sobre a moda, que lidera de forma soberana, da distinção social, tanto com relação ao vestuário quanto aos objetos da cultura moderna.

Para o autor, o vestuário possibilita uma forma de comunicação não verbal instantânea, na qual uma pessoa conseguirá fazer uma leitura prévia e rápida

sobre a outra com quem está interagindo. A moda é um fenômeno global que lida com o comportamento humano, econômico e cultural de todas as sociedades.

Segundo Armoni (2007) *apud* Cobra (2007), o conceito de moda surgiu no fim da Idade Média. Desde então, várias mudanças vêm acontecendo. Com uma velocidade cada vez maior, a moda tem influenciado diversos segmentos do mercado no mundo inteiro, não só o vestuário.

No entanto, segundo Fletcher e Grose (2012), isso não explica tudo o que a moda é. A moda é um fenômeno amplo, envolvendo os diversos setores da economia, cultura e sociedade. A moda se relaciona com a cultura sendo o vestuário pertencente a uma cultura material; se relaciona com a sociedade quando traz uma reflexão para o âmbito pessoal e suas relações sociais; se relaciona com a economia quando inúmeros profissionais, designers, produtores, varejistas estão relacionados com o setor. Diante disso, a moda em seu sentido mais amplo, faz um papel de conexão e atração entre as diversas esferas da sociedade, configurando a relação sistêmica e complexa do setor.

Para Lipovetsky (2009), a despeito do conceito de moda relacionado à distinção social, é fundamental pensá-la fora desse espectro, de poder econômico e outros significados comumente dados a ela. A relevância do fenômeno está ligada ao significado cultural que ela traz, a forma de expressão das individualidades e sua complexidade.

Segundo Armoni (2007) *apud* Cobra (2007), as características comportamentais e individuais das pessoas, ou o seu estilo de vida, passaram a representar a decisão pelo que se consome. Se antes a moda era associada apenas ao vestuário, hoje está ligada a vários outros segmentos, influenciando o comportamento das pessoas e seu poder de compra.

Portanto, compreender o consumo de moda como forma de expressão e de comunicação é entender as identidades culturais, sociais e pessoais do indivíduo. Na indústria do vestuário, o consumidor, ao fazer suas escolhas por

meio da roupa e da simbologia que ela representa, está comunicando seu posicionamento na sociedade (MASSAROTO, 2008).

Segundo Bauman (2008), o consumo faz parte da organização social, na qual existem desejos, necessidades e vontades a serem atendidas, impulsionando as relações comerciais, com o objetivo de manifestar integração e diferenciação social, auto-identificação e pertencimento.

Deste modo, o consumo de moda é parte determinante da cultura mundial, visto que é possível entender tal fenômeno como um processo de interação material e cultural, uma vez que a moda possibilita ao indivíduo satisfazer sua necessidade de vestir como também buscar, por meio do vestuário, satisfação, representatividade e aceitação por meio da imagem social construída por ele (MARTINS; MARTINS, 2017).

Laufhutte e Cipiniuk (2016) reforçam que, na sociedade de consumo, a aquisição de um objeto não é mais vista apenas como uma satisfação da necessidade diante da finalidade do mesmo, mas o desejo de posse e a necessidade de ter algo novo transformaram a relação entre objeto e sujeito, no qual a importância dos objetos ficou cada vez mais valorizada pelas pessoas. A aquisição de um bem material ultrapassa sua finalidade técnica quando, representando uma afirmação do posicionamento social, é mais valorizado pelo usuário.

Contudo, para Bauman (2008), em uma sociedade de consumidores, o desejo de segurança e estabilidade se transforma mediante um volume de vontades sempre crescentes, implicando no imediatismo e na substituição de objetos a cada momento de mudança dessas vontades. Nesse caminho, o desejo de satisfação por novas mercadorias nunca cessará, ocasionando assim em um mau funcionamento da sociedade.

Segundo Cardoso (2012), a indústria da moda percebeu essa mudança muito bem, manipulando a comunicação visual, na qual a aparência é carregada de significados capaz de expressar valores e reflexões sobre a nossa história.

Para Bauman (2008),

A instabilidade dos desejos e a insaciabilidade das necessidades, assim como a resultante tendência ao consumo instantâneo e à remoção, também instantânea, de seus objetos, harmonizam-se bem com a nova liquidez do ambiente em que as atividades existenciais foram inscritas e tendem a ser conduzidas no futuro previsível. Um ambiente líquido-moderno é inóspito ao planejamento, investimento e armazenamento lógico (BAUMAN, 2008, p. 45).

Uma das formas de consumo dentro da indústria da moda que reforça esse ambiente líquido-moderno, trazido por Bauman (2008), incentivando consequentemente à prática do consumismo, é o *fast-fashion* ou moda rápida.

A definição para esse conceito, de acordo com o Uniethos (2013), surgiu nos anos 1990 para classificar uma alteração ocorrida na cadeia da moda na qual a produção e o consumo passaram a ficar cada vez mais rápidos. Para acompanhar as tendências e garantir as vendas no momento certo em que uma tendência de consumo estava sendo lançada, o modelo foi implantado como padrão por diversas marcas e grandes redes varejistas de moda.

Brooks (2015) corrobora com o conceito do *fast-fashion* quando relata que a posse e o uso da roupa tornam-se passageiros, pois as roupas acessíveis financeiramente são feitas com materiais de baixa qualidade fazendo com que a rápida duração e descarte da roupa gerem impacto negativo no meio ambiente.

De acordo com Brooks (2015), o *fast-fashion* é impulsionado pela lógica de mercado. Sob o olhar do capitalismo, a necessidade de aumentar continuamente os lucros resulta em mais produtos a serem consumidos. Novas roupas são comercializadas como sendo a última moda, significando que as que estão no mercado ficaram ultrapassadas.

Assim, segundo Lipovetsky (2009), a moda está no comando da sociedade; a sedução e o efêmero tornaram-se, em menos de meio século, os princípios organizadores da vida coletiva moderna. Para Bauman (2008), na era consumista os produtos aparecem antes que a necessidade. Essa “carência” será criada pelos mercados fomentando o desejo de satisfação, que será logo substituído por outro, assim que um novo produto for criado.

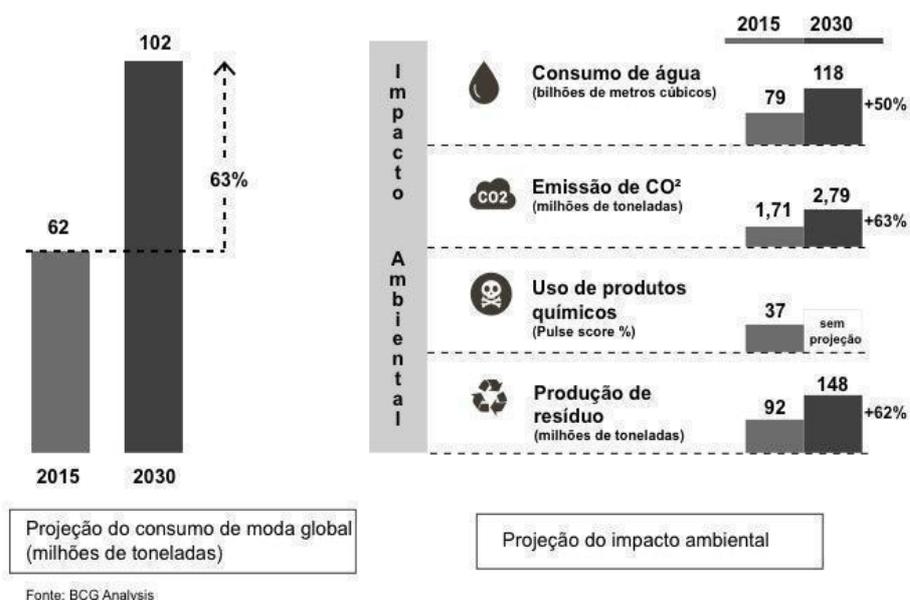
Entretanto, para Lipovetsky (2009), a moda hoje vive de contradições: a forma inconsciente de consumir, estimulada pela própria moda e por sua criação de desejos despertou a importância em ter consciência do que é consumido, em vista do impacto negativo ambiental, social e econômico gerados.

Slater (2003) corrobora com o autor pontuando que existem dois grandes problemas ambientais causados pelo consumo e pela necessidade de desfrutar do luxo: o esgotamento de recursos naturais e a produção de poluição.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT), a cadeia têxtil e de confecção brasileira obteve, em 2016, um faturamento de US\$ 37 bilhões. O setor emprega 1,5 milhão de trabalhadores diretos e 8 milhões de trabalhadores indiretos, sendo que 75% da mão de obra é feminina. O Brasil é o quinto maior produtor têxtil do mundo e tem o quarto maior parque produtivo de confecção. O país é, ainda, a última cadeia têxtil completa do ocidente, passando pela produção das fibras, fiações, tecelagens, beneficiadoras, confecções, até os desfiles de moda e varejo.

Apesar da relevância do setor, é prudente ressaltar os impactos causados pela indústria têxtil decorrentes do processo de produção e do grande volume de consumo de produtos do vestuário (Fig. 2).

Figura 2 – Projeção dos impactos da indústria da moda



Fonte: Adaptado de Kerr; Landry, 2017.

Segundo Fletcher e Grose (2012), a definição dos materiais para o desenvolvimento do produto é fundamental para a indústria do vestuário. Eles são a síntese tangível dos fluxos de recursos, uso de energia e trabalho além de ser o meio físico que forma a identidade entre os indivíduos dentro da moda. Contudo, eles conectam a muitos dos problemas ambientais: mudança climática, efeitos adversos sobre a água e seus ciclos, poluição química, perda da biodiversidade, uso excessivo e mal-uso de recursos não-renováveis, produção de resíduos, impactos negativos na saúde humana e efeitos sociais prejudiciais nas comunidades produtoras. Porém, esses impactos diferem em escala e tipo de fibra.

Segundo Slater (2003), com a Revolução Industrial, o homem encontrou auxílio mecânico para aproveitar os recursos da natureza, mudando drasticamente a relação entre a humanidade e o meio ambiente, sem se atentar para os efeitos negativos que esse comportamento poderia ter. O equilíbrio da Terra envolve todos os elementos presentes aqui, principalmente o ar, a água e a terra. Se

um desequilíbrio ocorre a sobrevivência de todas as espécies pode ficar comprometida.

Nos dias de hoje, pode-se perceber que o dano ambiental vem aumentando e que o ecossistema está doente, porém, o homem ainda tem como motivação o consumo puramente para exibir status e riqueza, não se dando conta dos enormes impactos ambientais que vem causando.

3.1.2 A seleção dos materiais no design

Segundo Cardoso (2012), o design surgiu com o objetivo de organizar a produção industrial. Com o surgimento do sistema fabril em parte da Europa e dos Estados Unidos, entre o século XVIII e o final do século XIX, a oferta de bens de consumo e a queda dos preços, provocados por avanços na tecnologia produtiva, de transporte e distribuição, contribuíram para que o acesso a esses bens ficasse cada vez mais fácil, iniciando assim a sociedade de consumo.

Contudo, para alguns, esse processo teria configurado uma queda da qualidade e da estética dos produtos. Com isso, entre 1850 e 1930, com a intenção de melhorar o gosto e a configuração dos objetos, para torná-los mais atraentes e eficientes, profissionais de vários setores, entre eles os de design, debateram com o setor público e privado o rumo desse processo (CARDOSO, 2012).

Denis (2000) reforça que o design pode ter surgido naturalmente do processo produtivo e da divisão do trabalho, porém, sua consolidação sucedeu através do reconhecimento do consumidor perante a fabricação de bens projetados por designers. Para o autor, enquanto ao longo do século XIX o design se preocupava em reconfigurar a vida social, contribuindo para projetar a cultura material e visual da época, hoje, segundo Dias e Gontijo (2011) o design permite a interdisciplinaridade para revelar valores imateriais e intangíveis e criar conexões afetivas entre os produtos e seus usuários.

Para Löbach (2001) o design é a capacidade de materialização de determinadas necessidades do usuário, transformando-as em objetos capazes de ser produzidos em grande escala. Denis (2000) salienta que falar de design sem mencionar os objetos que gera seria um contrassenso. Uma vez que, para Moles (1981), o papel fundamental do objeto é mediar a relação do homem com o mundo.

Niemeyer (2010) faz uso da semiótica para que os resultados dos projetos de design atendam aos requisitos de significação. Para a autora, o produto resultante de um projeto de design é portador de representações e constitui um processo de comunicação. Segundo a autora, os atributos que constituem a possibilidade de comunicação do produto se mostram em sua configuração: suas qualidades, características, seu modo de produção, para que serve e para quem se dirige.

Para os atributos intangíveis podem-se considerar aspectos relacionados diretamente ao uso como também aspectos estéticos e psicológicos dos produtos. Essa abordagem, com foco no produto final, propõe novas soluções em metodologia de design, na qual Seleção de Materiais e Processos de Fabricação, Design e Marketing se relacionam para encontrar a melhor solução para um projeto e melhorar a experiência do usuário (KROES, 2002). Segundo Ashby e Johnson (2011), a observação e a percepção são fundamentais para criar métodos com o objetivo de aprimorar e criar a personalidade de um produto.

De acordo com Löbach (2001), a ideia da satisfação de uma necessidade por meio de um produto e o significado desse produto no processo de sua utilização é feito por meio de um processo de comunicação, no qual empresários, designers e usuários precisam transmitir informações para encontrar a melhor maneira de materializar essa satisfação da necessidade.

Para Baxter (2000), descobrir as necessidades do mercado (ou do usuário), conceber e desenvolver um produto para satisfazer essas necessidades faz parte de um mesmo processo. Diante disso, o autor corrobora com a

importância de uma abordagem interdisciplinar para o desenvolvimento de produtos.

Cara (2010) reforça que no cenário da pós-modernidade, o design revela outros significados que vão além dos aspectos materiais e projetuais do objeto, mas acima de tudo, relaciona a experiência humana gerada pela produção destes objetos. Forma, função, significado e valor são aspectos fundamentais para a construção da identidade de um objeto e da experiência do usuário. Para Cardoso (2012), quanto mais clara a experiência emocional relacionada à percepção do objeto, mais fácil será a compreensão desse significado, e conseqüentemente sua adequação ao propósito para o qual foi criado.

Em vista disso, Niemeyer (2010), traz a importância da significação do objeto para o processo projetual de design, bem como, Cardoso (2012), explora que o significado dos artefatos está relacionado com o processo de fabricação, sua estrutura e o material que foi usado; o contexto de uso do objeto; repertório, experiência de vida, gosto e comportamento do usuário e o tempo, o impacto que o artefato sofrerá com sua passagem.

Dias e Gontijo (2011) consideram que a fabricação, a aplicação e a apreciação dos materiais são uma nova referência para o debate relacionado ao significado do artefato. A fabricação se refere ao ciclo de vida dos materiais, considerando desde sua matéria-prima até seu descarte. A aplicação trata da satisfação das necessidades do usuário. Os materiais precisam ser transformados para atender a uma determinada necessidade. Por fim, a apreciação aborda a receptividade do material pelo usuário, momento em que ocorre uma identificação e interação entre produto e usuário.

De tal maneira, a relação entre a Ciência dos Materiais e o Design é visível, já que o designer desenvolve artefatos que precisam de materiais para existir, sendo a Ciência dos Materiais uma área meio, fornecendo subsídios para a área fim, o Design (DENIS, 2011).

Segundo Ashby e Johnson (2011), o estudo dos materiais não são apenas dados, e design não é só um exercício de estética sem significado. A combinação dos dois, materiais e design, é importante para fornecer soluções criativas para os projetos. A combinação de elementos de arte e ciência proporciona experiências aos usuários por meio de produtos desenvolvidos pelo designer.

De acordo com Walter (2006), estrutura, propriedades e processamento de materiais estão diretamente relacionados, permitindo o entendimento da aplicação dos materiais nos artefatos. A estrutura do material é responsável por determinar o conjunto de propriedades ou “características” que um material terá. Além das propriedades físicas, químicas e mecânicas que vão ter influência no comportamento dos materiais, é importante ressaltar outros conjuntos de propriedades obtidos da relação dos materiais com o homem.

3.1.3 O significado do objeto por meio da percepção do usuário

Para Cardoso (2012), todo objeto, ou artefato, transmite um significado que está relacionado diretamente com a percepção do usuário em relação ao mesmo. O modo como o objeto é percebido pelo usuário perpassa pelas experiências antecedentes vividas por ele, contribuindo para a criação de seu repertório e do significado que ele dará ao objeto.

Do mesmo modo, Gonçalves *et al.*, 2016, reiteram que a percepção compreende no conjunto de processos reconhecidos, organizados e entendidos mediante as sensações recebidas pelos estímulos ambientais percebidos pelo homem por meio dos cinco sentidos. Isto posto, o sistema simbólico de representação e comunicação perpassa pela elaboração de vivências internas e externas e sua inter-relação.

No entanto, para Chapman (2008), a condição que o significado do produto possui pode ser a maior oportunidade para se criar experiências individuais, perceptivelmente pontuais; da peculiaridade e aleatoriedade da emoção

humana. A esse respeito, é possível imaginar como esse significado pode ser orientado pelos designers, mas nunca totalmente direcionado.

Portanto, pode-se afirmar que, embora um designer possa provocar nos usuários uma resposta emocional a um determinado objeto, a natureza explícita da resposta está além do controle deste profissional. O conjunto único de experiências passadas, específico de cada usuário e sua jornada de vida, é que determinam esse significado (CHAPMAN, 2008).

Niemeyer (2010) corrobora com Cardoso (2012) quando destaca que os designers devem considerar a relação comunicativa estabelecida entre produto e usuário, que por meio de sua forma, cor, textura, materiais e organização se estrutura como linguagem e comunica como ele deverá ser manuseado.

Diante disso, segundo Karana e Kesteren (2008), os materiais contribuem para estabelecer os significados e as experiências pretendidos. O uso estratégico destes é uma maneira de influenciar as conexões entre produto e usuário. Dias (2009, p. 2) considera que “[...] a utilização estratégica de materiais é um dos mais influentes meios de que os designers podem se valer para comunicar e criar conexões emotivas entre os produtos e seus usuários”. Na interação com o material, os órgãos dos sentidos são capazes de proporcionar diferentes sensações. Entretanto, a interação usuário – produto é única, visto que a percepção é particular para cada usuário (DIAS, 2009).

Um estudo feito por Karana e Kesteren (2008) mostra que, ao descrever os materiais dos produtos, os usuários não se concentram apenas nas características físicas dos mesmos, mas também em suas características sensoriais e perceptivas, ou nas emoções provocadas por eles.

Para Karana e Kesteren (2008) seis categorias descritivas na experiência com materiais foram classificadas: (1) descrições emocionais de materiais, (2) descrições associativas de materiais, (3) descrições perceptivas de materiais, (4) descrições sensoriais de materiais, (5) usar descrições de materiais e (6) descrições físicas de materiais.

As descrições emocionais dos materiais são os sentimentos das pessoas em relação a eles, ou como um material os faz sentir, tristes ou alegres, por exemplo. As descrições associativas de materiais requerem recuperação da memória e das experiências passadas para fazer associações. As características perceptivas dos materiais elucidam o que pensamos sobre os materiais, que tipo de significado atribuímos após o *input* sensorial inicial e quais as qualidades que um material específico expressa, por exemplo, moderno, sexy, masculino, sóbrio, agressivo (KARANA; KESTEREN, 2008).

Os itens descritivos esclarecem a interação entre os materiais e os usuários através dos cinco sentidos - visão, tato, olfato, paladar e audição - e foram definidos como as descrições sensoriais, aspectos táteis como: aspectos suaves, frios, fluidos ou visuais, translúcido e brilhante. São consideradas descrições físicas todas as características quantificáveis dos materiais, tais como resistência, peso, condutividade, bem como as descrições relacionadas às técnicas de fabricação. Segundo este estudo, as características sensoriais dos materiais parecem ser a categoria descritiva mais importante na experiência dos usuários com os materiais (KARANA; KESTEREN, 2008).

Para Ashby e Johnson (2011), atributos sensoriais são fundamentais para a aquisição de um produto. A estética impulsiona o interesse e atrai os sentidos por meio do senso de beleza. Para Löbach (2001), a satisfação das necessidades estéticas não é necessária para nossa existência física, mas contribui para nossa saúde psíquica. Aspectos estéticos negligenciados podem resultar em repulsa ao objeto por parte dos usuários. No design, o autor descreve que os elementos configurativos do produto podem ser descritos como portadores da informação estética do objeto e a cor representa um desses elementos.

A cor é indicada para atingir a psique do usuário do produto, provocando sensações diferentes de acordo com a cor utilizada. Para Dondis (1991), a percepção da cor é o mais emocional dos elementos específicos do processo visual. A cor não apenas tem um significado universalmente compartilhado

através da experiência, como também um valor informativo específico, que se dá através dos significados simbólicos a ela vinculados.

Farina *et al.*, (2006) corroboram com Dondis (1991), quando relatam que é necessário considerar que as cores provocam sensações polarizadas, visto que influenciam o indivíduo diante dos estímulos psicológicos que geram associados com as experiências vividas no passado.

A cor também é uma das características da moda, estando, portanto, intrinsecamente ligada ao estilo de vida, isto é, à maneira que cada sociedade tem de ser e de fazer determinadas coisas. Farina *et al.*, (2006) destacam que a capacidade do homem em criar um espectro amplo de cores por meio da química passou a ter possibilidades maiores e diversificadas de se trabalhar a criatividade, contribuindo para o surgimento de estilo e gosto diferentes, quebrando padrões tradicionais de aceitação da cor.

Silveira (2001) esclarece que a informação cor é fortemente regida por aspectos fisiológicos, psicológicos e culturais quando exemplifica que no Brasil os produtos industriais são predominantemente brancos e beges devido à necessidade de compensar as cores saturadas existentes na natureza exuberante da Amazônia, enquanto no Japão, um país marcado pelos tons pastéis da sua paisagem, as cores brilhantes e saturadas são usadas para produtos industriais, fazendo parte do aspecto cultural deste país.

3.1.4 Redução dos impactos negativos no âmbito da indústria do vestuário: projetar um produto de moda responsável

Com o propósito de estabelecer uma abordagem baseada na redução dos impactos ambientais de um produto, em 1971, Victor Papanek lançou o livro *“Design for the real world”* e definiu o ecodesign como um processo que conserva a funcionalidade e o desempenho de um produto ao mesmo tempo em que melhora a qualidade de vida do usuário, respeitando o meio-ambiente, a viabilidade técnica, os custos e a demanda de mercado (KAZAZIAN, 2005). Uma vez que, para Manzini e Vezzoli (2008), a sociedade depende da natureza

e de seus ecossistemas para produzir alimentos e energia, capacidade produtiva essencial para a vida hoje e das gerações futuras.

Diante disso, uma das atuações do designer no processo de transição para a sustentabilidade é facilitar a criação de oportunidades que possibilitem a prática de um estilo de vida consciente, considerando que, só é possível existir a responsabilidade ambiental em uma sociedade que viabilize e mantenha padrões em favor da sustentabilidade. Assim, a compreensão sobre a sustentabilidade coloca em debate o atual modelo de desenvolvimento (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

Bistagnino (2009) considera que a mudança em favor da sustentabilidade requer uma compreensão de que os âmbitos projetual, industrial, político, econômico, social e ambiental são interligados e interdependentes, formando um sistema. Vezzoli (2008) corrobora com o autor pontuando que os critérios para projetar produtos, serviços e sistemas com baixo impacto ambiental é projetar adotando uma relação sistêmica entre todos os atores envolvidos.

Segundo Cardoso (2012), o pensamento do século XX “forma segue a função”, não é suficiente para resolver as questões do mundo atual. O design contemporâneo está inserido em um sistema constituído de muitos elementos que se relacionam entre si.

De acordo com Ashby e Johnson (2011), a engenharia de materiais também têm se preocupado em minimizar os impactos negativos por meio de projetos voltados para a responsabilidade ambiental. Além disso, os consumidores do século XXI estão mais exigentes em relação ao produto; eles querem não só um produto que funcione bem, mas também querem satisfação e prazer, o que faz com que o design e a estética estejam alinhados para influenciar essa exigência.

Segundo Refosco *et al.* (2011), na moda permeia-se uma dicotomia ao se tratar da sustentabilidade. Sendo um produto efêmero e símbolo do consumismo, designers e estilistas devem exercer uma nova atitude durante a criação do

produto de moda para torná-lo um produto com menor impacto negativo ambiental e social.

Reduzir verdadeiramente esse impacto gerado pela indústria do vestuário envolve uma extensa responsabilidade da cadeia de produção. Por parte do designer de moda, o desenvolvimento de um produto do vestuário requer atenção a todas as fases do ciclo de vida do produto (VEZZOLI, 2008).

Segundo Bistagnino (2009), os designers, a indústria e os usuários do mundo desenvolvido ocidental são focados em uma sequência linear, concentrada na fabricação de produtos, aumentando o ritmo produtivo e o descarte. De acordo com Kerr e Landry (2017), a cadeia linear da indústria da moda começa no design e desenvolvimento do produto e finaliza com o fim da vida do produto (Fig. 3). Para Bistagnino (2009), é necessário mudar o modo de gerir esse processo.

Figura 3 – Cadeia linear da indústria da moda



Fonte: Adaptado de Kerr; Landry, 2017.

Para Fletcher e Grose (2012) ter uma visão completa de todo o ciclo de produção e consumo de moda reflete em um modo de pensar em cada parte do sistema da indústria da moda está ligado a todos os outros e que para avançar em direção à sustentabilidade, em longo prazo, todo o ciclo da moda precisa passar por melhorias e não apenas algumas partes isoladas.

Atualmente, a indústria da moda está muito distante do sistema circular. Neste, as peças de roupa não são descartadas e retornam para a cadeia de produção, ou como material a ser reciclado ou como reuso. De acordo com o relatório *Pulse of the Fashion Industry 2017*, 73% das roupas do mundo são descartadas em aterros sanitários, enquanto menos de 15% das roupas são

recicladas e menos de 1% do material usado na produção é reciclado (CHALMER *et al.*, 2018).

De Moraes *et al.* (2016) reforçam que, para que a moda seja consciente ambientalmente, a construção de práticas relacionadas a este conceito precisam passar pelo designer, enquanto ator social, pela produção responsável, até chegar à relação do consumidor final com os produtos produzidos pela indústria da moda, corroborando com o que foi exposto por Bistagnino (2009) e Vezzoli (2008) acerca da relação sistêmica entre os atores envolvidos na indústria do vestuário.

Diante disso, o design para a sustentabilidade tem como objetivo projetar utilizando quantidades bem menores de recursos naturais pensando no bem-estar social e do planeta. Entretanto, para o termo ser verdadeiramente reconhecido, o design para sustentabilidade deve aprofundar nas diferentes soluções técnicas, ambientais, econômicas e sociais durante a concepção do produto ou serviço, considerando todo o seu ciclo de vida (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

Segundo Ashby (2012), o projeto é o processo de compreender a necessidade do mercado ou uma nova ideia e traduzir em informações precisas os passos para o desenvolvimento de um produto. Baxter (2000) contribui relatando que, para que um projeto tenha sucesso é preciso que ele seja orientado para o mercado, com benefícios significativos para os consumidores e características valorizadas por eles, além de estudar sua viabilidade técnica e econômica.

Assim sendo, de acordo com Löbach (2001), as etapas do processo de desenvolvimento de um produto têm influência direta no produto final, pois é onde as decisões mais críticas são tomadas, incluindo custo, aparência, seleção de materiais, inovação, desempenho, sustentabilidade e qualidade.

Perante um cenário de mudança com relação às práticas sustentáveis, empresas do vestuário estão assumindo uma postura proativa para a criação de sistemas que atendam ao bem-estar humano e são compatíveis com a

sustentabilidade do meio-ambiente, concentrando esforços na fase de projeto que planeja a cadeia de suprimentos. Nessa etapa, a maioria das decisões sobre os materiais são tomadas, afetando todo o ciclo de vida do produto do vestuário (CURWEN *et al.*, 2012).

Segundo Chalmer *et al.* (2018), a escolha das matérias-primas para os produtos de moda pode definir até 50% de seu impacto ambiental. Portanto, a rastreabilidade e a transparência da cadeia de suprimentos contribuem para identificar e melhorar a sustentabilidade ambiental, social e ética relacionada ao impacto da produção de um produto.

Para Fletcher e Grose (2012), designers de moda precisam conhecer e entender sobre fabricação e processamento de fibras têxteis para contribuir efetivamente com o desenvolvimento de soluções para o setor. O engajamento dos designers nos processos industriais e técnicos pode aumentar a consciência sobre as mudanças necessárias para a sustentabilidade.

Ainda, de acordo com Curwen *et al.* (2012), a ferramenta de avaliação, Análise do Ciclo de Vida do Produto ou *Life Cycle Design* (LCA), é um componente importante para avaliar o grau de sustentabilidade de um produto. A análise do ciclo de vida é o método mais utilizado para identificar potenciais melhorias no processo, avaliando os impactos ambientais associados a todas as etapas da vida de um produto: pré-produção, produção, distribuição, uso e descarte (MANZINI; VEZZOLI, 2008).

Assim, as equipes de design e desenvolvimento de produtos de marcas de moda devem ser capacitadas para criar produtos com o objetivo de longo prazo, projetando itens que sejam duráveis e fáceis de desmontar e reciclar, contribuindo para a criação de sistemas circulares e reaproveitamento de matéria-prima (CHALMER *et al.*, 2018).

Outro tema importante relacionado à sustentabilidade é o problema social. A indústria global da moda emprega 60 milhões de pessoas ao longo de sua cadeia de valor, de acordo com o *Pulse of the Fashion Industry 2017*. No

entanto, os salários nos países produtores de vestuário são muitas vezes inadequados. As empresas de moda devem garantir que seus fornecedores cumpram os requisitos trabalhistas da lei local e implementem novos e melhores sistemas salariais (CHALMER *et al.*, 2018).

Além disso, ambientes de trabalho seguros e dignos podem aumentar a produtividade, reduzir as faltas por motivos de saúde e erros. O respeito pelos direitos humanos universais não é apenas uma questão ética, mas é também importante para a prosperidade do negócio (CHALMER *et al.*, 2018).

De acordo com o relatório *Pulse of the Fashion Industry 2017*, avaliar cada etapa da cadeia de valor da indústria da moda - design, matérias-primas, processamento, fabricação, transporte, comercialização, uso e pós-uso – com relação ao nível de sustentabilidade e identificar os principais problemas contribui para a indústria romper com os desafios existentes relacionados com os impactos ambientais, sociais e questões éticas, para assim conseguir fazer as mudanças necessárias em cada etapa.

Segundo Krucken (2009), características próprias do design como habilidade visionária e riqueza interpretativa podem colaborar para uma pluralidade de soluções para o contexto dinâmico dos dias atuais e trazer soluções para os cenários futuros, entre eles, o da indústria têxtil e do vestuário.

3.2 O começo do produto de moda: a indústria têxtil

A interferência do homem na natureza começou a partir da sua existência, quando melhorar a espécie, ter proteção, conforto e posteriormente riqueza passou a ser relevante para a evolução do ser humano. Dentre essas interferências galgadas pelo homem, o surgimento dos tecidos colabora para essa evolução, podendo ser caracterizado em três tipos de uso: sobrevivência ou proteção, guerra ou armamento e desejo de posses (SLATER, 2003). Para Kartick *et al.*, (2016), os tecidos têm sido parte integrante das vidas humanas

há mais de sete mil anos, visto que os povos pré-históricos usavam fibras naturais como bambu e cânhamo para suas vestimentas.

As fibras são as bases fundamentais de todo material têxtil, independentemente da sua aplicação e construção (O`HIRE; GOSWAMI, 2018). Para Collier *et al.* (2009), muitas substâncias, naturais ou manufaturadas, podem ser classificadas como fibras, mas apenas algumas são utilizadas para produzir fios ou tecidos. Nem todas as substâncias fibrosas possuem as qualidades essenciais exigidas para se tornarem fibras têxteis.

Para O`hire e Goswami (2018), o tipo de fibra, sua forma e função afetarão diretamente as propriedades do tecido final. É fundamental que o designer conheça esses atributos para fazer a escolha certa do material têxtil a ser usado em um produto.

Segundo Collier *et al.* (2009), a maioria das fibras têxteis é formada por polímeros orgânicos, naturais ou sintéticos e são eles que irão atribuir as características fundamentais de cada fibra. Para entender sobre tecidos é necessário um conhecimento básico sobre polímeros.

Portanto, O`hire e Goswami (2018) corroboram com os autores afirmando que independente se a fibra é curta ou é um filamento, se é natural ou sintética, suas propriedades são determinadas por suas dimensões e estrutura geral que são construídas a partir de longas cadeias de átomos conhecidas, em sua maioria, como polímeros. Essas estruturas podem ser formadas naturalmente (celulose, queratina, colágeno) ou podem ser formadas por processamento químico sintético (polietileno, nylon, éster). Independentemente do método de síntese, o comprimento, estrutura molecular e orientação desses polímeros que irão determinar não apenas as propriedades mecânicas (resistência, rigidez, elasticidade), mas também o processamento têxtil a ser realizado (filamentos, fabricação de tecidos, tingimento) e o comportamento com relação à resistência ao vinco, adsorção e respirabilidade, por exemplo.

As fibras naturais foram usadas por milênios para criar roupas e ferramentas que contribuíram para a expansão e desenvolvimento da humanidade. De acordo com O`hire e Goswami (2018), as fibras naturais são formadas através de um processo biológico, que determina a forma e a estrutura da fibra. A abundância e variabilidade da natureza deram uma gama de materiais fibrosos que podem ser transformados em fibras têxteis. As principais fibras naturais usadas são o algodão, a lã, o linho e a seda. Essas fibras são radicalmente diferentes em forma e desempenho e geram desenhos e funções têxteis drasticamente diferentes.

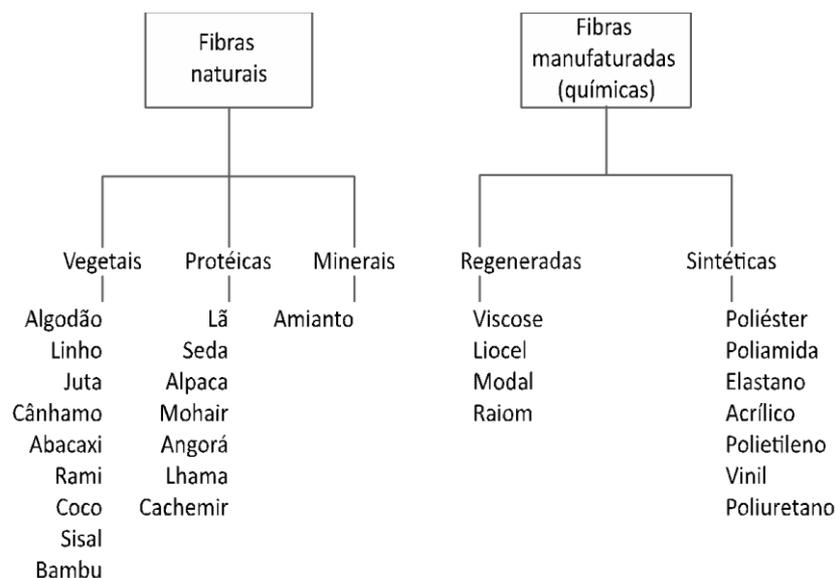
Mais recentemente, a ciência e a indústria criaram uma série de fibras e filamentos derivados de materiais poliméricos feitos pelo homem através do processamento de extrusão, principalmente o nylon e o poliéster (Fig. 4). A maioria das fibras sintéticas são derivadas de fontes petroquímicas, normalmente de baixo custo e relativamente fáceis de processar. O PET¹ é a forma mais comum de poliéster e domina o mercado de fibras. Este material é formado através da policondensação de dois precursores petroquímicos. O PET é fundido por extrusão para formar uma fibra resistente e resiliente. O fio PET totalmente desenhado tem uma alta tenacidade² e alto módulo³, tornando-o adequado para aplicações têxteis exigentes, como linhas de costura (O`HIRE; GOSWAMI, 2018).

¹ Nome do polímero: Polietileno tereftalato.

² Habilidade de um material absorver energia até sua ruptura.

³ Deformação elástica da fibra.

Figura 4 - Fibras têxteis



Fonte: Adaptado de Collier *et al.* 2009.

Moreira *et al.* (2012) mencionam a importância do planejamento e desenvolvimento do produto têxtil quando relatam que bastaram duas décadas de comercialização das fibras sintéticas para que houvesse um declínio da demanda devido à falta de conforto das roupas, pois não permitiam a transpiração, logo, não supria as necessidades dos consumidores.

Entretanto, esse episódio contribuiu para que a ciência e a tecnologia encontrassem novas soluções para os consumidores. Diante disso, na década de 1990, o mercado das fibras sintéticas voltou a crescer com o surgimento da microfibras, que proporciona ao artigo têxtil maior suavidade, melhor caimento, maciez e resultados positivos quanto à respirabilidade, iniciando, assim, a geração dos tecidos funcionais (MOREIRA *et al.*, 2012).

Segundo Kartick *et al.*, (2016) a demanda por tecidos compostos por fibras naturais para aplicação têxtil está aumentando devido aos benefícios ecológicos como biodegradabilidade e ser proveniente de fonte renovável, como também proporcionar conforto térmico para o usuário devido às suas propriedades de absorção de umidade, respirabilidade, leveza e resistência.

Em produtos naturais, há também a inevitabilidade da variação dessas fibras, que impacta no custo, aparência e processamento. Essa inconsistência é freqüentemente severa e a maioria dos produtos naturais passa por várias etapas de classificação para aumentar a uniformidade e redirecionar a fibra de baixa qualidade para um fluxo de produto apropriado. Apesar do tecelão considerar a variabilidade da fibra como um problema a ser eliminado, a presença de fibras manchadas ou inconsistentes pode criar um efeito de aparência natural que pode adicionar valor significativo para o custo de uma peça de roupa ou tapete (O`HIRE; GOSWAMI, 2018).

Para o desenvolvimento sustentável de produtos têxteis, as fibras naturais devem ser preferencialmente usadas como também os processamentos, os acabamentos e os tingimentos devem dar preferência aos produtos derivados de fontes naturais. Biopolímeros, biomoléculas e bioextratos como enzimas, corantes naturais, extratos de plantas aromáticas e medicinais podem ser usados para a produção sustentável de produtos que irão respeitar o meio-ambiente, além de proporcionar funcionalidade aos tecidos. Das várias fibras celulósicas naturais as mais utilizadas são algodão, linho e bambu (KARTICK *et al.*, 2016).

3.2.1 O algodão

Com o foco em sustentabilidade e materiais renováveis, a fibra de celulose, como o algodão, tem ganhado importância devido às suas vantagens ambientais diante das fibras sintéticas (Fig. 5). Uma apreciação do valor e diferenciação dessas fibras ajudará os designers de moda a desenvolverem produtos com caráter ambiental, uma vez que o mercado está mais diversificado e exigente (COLLIER *et al.*, 2009).

Figura 5 - Fibra de algodão



Fonte: Acervo pessoal, 2019.

Segundo O'Haire e Goswani (2018), as fibras de algodão são filamentos retirados de plantas pertencentes ao gênero *Gossypium* que são formadas em torno da cápsula da semente que atingiu sua maturidade, ajudando na distribuição e proteção da mesma. A fibra de algodão pode variar em diâmetro, comprimento e maturidade, determinando qual tipo de fiação deverá ser realizada e conseqüentemente a qualidade do tecido fabricado.

Segundo Crowle (2017), a fibra de algodão é composta por quase 95% de celulose pura, o restante é constituído por materiais não celulósicos, como proteínas, ceras, açúcares e íons metálicos. A celulose é um biopolímero de unidades D-glucopirranose, um isômero de glicose, unidas em cadeias não ramificadas por ligações β (1 \rightarrow 4) – glicosídicas. A unidade repetida da cadeia é a celobiose, formada por duas moléculas de glicose. O número de unidades de glicose ligadas entre si para formar a cadeia de celulose é descrito como grau de polimerização. Na fibra de algodão, o grau de polimerização varia, em média, entre 10.000 e 15.000 unidades de glicose.

De acordo com Zhou e Wu (2012), a fibra de algodão contém dois tipos de celulose, cristalina e amorfa, em várias proporções. Segundo Collier et al. (2009) o algodão, o linho e a viscose, apesar de serem compostas pelo mesmo polímero, a celulose, se comportam de maneira diferente com relação à

resistência da fibra e absorção de umidade, devido às proporções diferentes de suas formas cristalinas e amorfas.

As cadeias de celulose são mantidas juntas por ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila com as cadeias adjacentes. Estima-se que, em média, a fibra de algodão possui 70% de celulose cristalina e 30% de celulose amorfa. As regiões amorfas distribuem-se regularmente ao longo das microfibrilas de celulose, com a transição entre regiões cristalinas e amorfas. A celulose cristalina por ter uma estrutura altamente compactada e ordenada e ligações de hidrogênio intermoleculares fortes evita que muitos reagentes, inclusive a água, penetrem nas regiões intra cristalinas (COLLIER *et al.*, 2009).

Entretanto, a celulose amorfa não tem forma cristalina definida. As regiões que contêm celulose amorfa são mais acessíveis à água e a outras substâncias (CROWLE, 2017; COLLIER *et al.*, 2009). Portanto, segundo Collier *et al.* (2009) o algodão tem mais resistência e absorve menos umidade com relação à viscose, que tem mais regiões amorfas.

A resistência e a rigidez da fibra de algodão são determinadas pelo comprimento e disposição da cadeia de carbono, oxigênio e hidrogênio ligados à estrutura de celulose. Essas correntes se organizam em fibrilas lineares, que resistentes, ficam difíceis de se quebrarem. O grupo químico hidroxila, na cadeia de celulose, permite a absorção e a hidrofiliidade contribuindo para o conforto e absorção de umidade dos produtos feitos de algodão (O'HAIRE; GOSWANI, 2018).

De acordo com Collier *et al.* (2009) a densidade das fibras celulósicas tende a ser relativamente alta, fazendo com que os tecidos feitos a partir dessa fibra pareçam pesados quando comparados a outros tecidos. As fibras celulósicas têm elasticidade e resiliência relativamente baixas. Diante disso, elas formam vincos por compressão com facilidade e não se recuperam rapidamente. A absorção de umidade é geralmente alta. A maioria das fibras celulósicas é, portanto, lenta para secar quando molhadas, confortável de usar e fácil de tingir. Como bons condutores de calor, as fibras de celulose transportam o

calor para longe do corpo e são preferencialmente recomendadas para usar em climas quentes.

No contexto da moda responsável, algumas fibras naturais estão ganhando importância devido às suas vantagens de biodegradabilidade, renovabilidade e neutralidade de carbono, bem como por possuir propriedades como absorção de umidade e sensação de maciez. As fibras naturais desempenham um papel fundamental na emergente economia “verde”, reduzindo as emissões de carbono e aumentando o número de produtos feitos com materiais recicláveis que, em última análise, minimizem a geração de resíduos (KARTICK *et al.*, 2016).

Entretanto, segundo Fletcher e Grose (2012) a renovabilidade e a biodegradabilidade da matéria-prima sozinha não garante a sustentabilidade, pois a capacidade de regeneração de um material diz muito pouco sobre as condições em que é produzido, os insumos energéticos, hídricos e químicos necessários no campo ou na fábrica; o impacto nos ecossistemas e trabalhadores; ou o seu potencial para uma vida longa e útil.

O cultivo de produtos orgânicos, entre eles o algodão orgânico, é uma alternativa ao uso do algodão convencional, que faz uso intensivo de fertilizantes químicos, pesticidas e desfolhantes, resultando em elevados níveis de poluição, que atingem o solo, as fontes de água, o ar e causam enormes prejuízos à saúde humana e animal e, não raro, casos de envenenamento e morte. O algodão orgânico é todo aquele obtido em sistemas sustentáveis, mediante o manejo e a proteção dos recursos naturais, sem a utilização de agrotóxicos, adubos químicos ou outros insumos prejudiciais à saúde humana e animal e ao meio ambiente, mantendo e recuperando a fertilidade e a vida dos solos e a diversidade de seres vivos, além de ser um fator de fixação do homem no campo e nas zonas rurais, garantindo melhores condições socioeconômicas (BELTRÃO *et al.*, 2010).

Melhorar verdadeiramente a qualidade ambiental e social de um material têxtil envolve uma visão de responsabilidade mais extensa e mais complexa, em que a regeneração rápida do material de origem de uma fibra é buscada não isoladamente, mas como parte de uma estratégia maior de produção segura e engenhosa com planos coerentes e eventual reutilização da fibra (FLETCHER; GROSE, 2012).

3.2.2 O beneficiamento têxtil

Os materiais têxteis, especialmente os tecidos, passam por uma série de tratamentos antes de serem disponibilizados para a comercialização. A preparação do tecido ou o pré-tratamento pode envolver várias etapas, incluindo chamoscar, desengomar, limpar (purga), alvejar e mercerizar, com o objetivo de remover as sujeiras, as ceras e pectinas e a goma das fibras ou tecidos para melhorar a absorção de umidade e proporcionar um tom de branco mais limpo para que haja sucesso no tingimento e acabamento (CROWLE, 2017; COLLIER *et al.*, 2009).

Fibras naturais, especialmente o algodão, têm uma tendência a ter mais impurezas e tipicamente precisam de um pré-tratamento mais extenso. Segundo Choudhury (2018) a ebulição prolongada é necessária porque o algodão contém ceras de alto peso molecular, que são difíceis de remover.

Os pré-tratamentos serão descritos a seguir de acordo com Crowle (2017) e Collier *et al.*, (2009):

I. Chamuscagem: é realizada em fios ou tecidos para queimar as fibras que ficam soltas ao fio ou tecido. O tecido é levemente escovado para levantar as fibras soltas antes de passar rapidamente sobre uma placa aquecida ou chama aberta.

II. Desengomagem: é feita para remover os amidos e outras impurezas que podem ter sido aplicados ao fio ou ao tecido nas etapas de processamento anteriores e envolve o tratamento com enzimas amilase ou agentes oxidantes.

III. Limpeza ou purga: é realizada para remover as ceras, a pectina e impurezas que podem inibir o tingimento. Tradicionalmente, a limpeza é feita em condições alcalinas, usando soluções fortes de hidróxido de sódio a altas temperaturas.

IV. Alvejamento: remove ainda mais as impurezas do algodão, particularmente aquelas que podem ter causado descoloração ou amarelamento, com o objetivo de melhorar os resultados do tingimento, proporcionando uma base uniforme. O alvejamento do algodão é feito tipicamente usando peróxido de hidrogênio em altas temperaturas.

V. Mercerização: é um processo químico projetado para dilatar as fibras celulósicas, melhorando a afinidade do corante com a fibra e melhorando o brilho. A mercerização envolve o tratamento do fio ou do tecido em um banho de hidróxido de sódio altamente concentrado e sob tensão, seguido de neutralização. Não é necessária no pré-tratamento do algodão, contudo, por ser um tratamento permanente e de baixo custo, costuma ser usado bastante em tecidos e fios de algodão.

Segundo O'haire e Goswani (2018), esses processos consomem uma quantidade enorme de água e energia, além de gerar resíduos nos efluentes, que devem ser cuidadosamente tratados. Uma possibilidade para reduzir a emissão de agentes poluentes nos efluentes é fazer um pré-tratamento do algodão para que ele fique mais reativo e mais fácil de tingir, usando agentes cationizantes. O pré-tratamento catiônico elimina completamente a necessidade do uso de sais fixadores e usa 50% menos de energia para tingir o algodão, comparado ao algodão não tratado (TICHA *et al.*, 2013).

As fibras naturais de celulose são negativamente carregadas devido à presença de grupos carboxila e hidroxila em sua estrutura. A utilização de agentes catiônicos no pré-tratamento do tecido de algodão pode aumentar a absorção do corante como também aumentar a intensidade da cor no tingimento e melhorar a resistência à lavagem, pois esses agentes reagem com

os grupos hidroxila da celulose criando cargas positivas na superfície do tecido. (RYM; FAROUK; BECHIR, 2014; ALEBEID; ZHAO, 2014).

Dentro de uma perspectiva ecológica para a funcionalização da superfície do algodão, a quitosana é um biopolieletrólito natural com forte poder de cationização em materiais celulósicos, uma vez que é possível realizar um tingimento sem a utilização de quaisquer tipos de auxiliares (sais e álcalis), gerando uma menor carga de efluente para o meio ambiente (SANTOS *et al.*, 2016).

3.2.3 O tingimento

Segundo Choudhury (2018), o tingimento é o processo de aplicação de cor ao material têxtil, sendo necessário a cor possuir algum grau de solidez. Isto implica que a coloração do material têxtil não desbote com facilidade durante a lavagem ou exposição do tecido à luz. De acordo com Ladchumananandasivam (2008), acredita-se que o tingimento começou a ser praticado no ano 3000 a.C. na China, Índia e Egito.

De acordo com Choudhury (2018), o principal objetivo do tingimento têxtil é melhorar as propriedades estéticas do tecido. Fletcher e Grose (2012) corroboram com o autor afirmando que um dos fatores mais importantes no apelo comercial de produtos do vestuário é a cor, sendo o foco principal das tendências de moda de curto prazo, pois é a maneira mais rápida, barata e segura de mudar a aparência e atrair um cliente.

Segundo Ladchumananandasivam (2008), existem três formas nas quais o material têxtil pode ser tingido: em forma de rama ou fibras soltas antes de formarem fios, em forma de fio e em forma de tecido. Para Choudhury (2018), o tingimento em forma de tecido tem maior flexibilidade, sendo capaz de responder rapidamente à demanda do mercado.

De acordo com Ladchumananandasivam (2008), o processo de tingimento acontece por meio da transferência do corante do banho para a superfície da fibra e por meio da difusão do corante da superfície para dentro da fibra. Assim, segundo Choudhury (2018), os materiais têxteis são tingidos por meio de processos contínuos ou por esgotamento, processo em que ocorre a transferência do corante do banho para a fibra.

Diante disso, segundo Ladchumananandasivam (2008), a velocidade com que os corantes são absorvidos (aspecto cinético) e a distribuição do corante entre a fibra e o banho, quando o equilíbrio está estabelecido (aspecto termodinâmico), são fatores importantes a serem considerados no processo de tingimento.

Segundo Collier *et al.* (2009), o tingimento do material têxtil resulta da interação dos grupos funcionais dentro das fibras e daqueles dentro do material corante por meio da junção das moléculas de corante com a fibra. Ladchumananandasivam (2008) confirma que as forças de atração das moléculas são responsáveis pela absorção dos corantes no material têxtil.

Segundo Ladchumananandasivam (2008), qualquer processo químico ou mecânico que modifica a capacidade do tingimento dos materiais têxteis deve ser controlado para evitar irregularidades e o tingimento não ficar uniforme. Assim sendo, a difusão do corante na fibra e sua absorção dependem fortemente da estrutura química e física das fibras.

Por outro lado, o autor expõe que o pH, a força iônica e a temperatura são fundamentais para o tingimento. Como se não bastasse, o grau de inchaço apresentado pelas fibras têxteis mergulhadas em soluções aquosas é uma reflexão da composição química da fibra e uma característica significativa no comportamento do tingimento. Sem dúvida, o grau de inchaço da fibra e seu "regain %"⁴ estão intimamente relacionados com a habilidade do processo de tingimento (LADCHUMANANANDASIVAM, 2008).

⁴ Capacidade de absorver umidade.

Segundo Hossain *et al.* (2016) a expansão de um mercado de bens de consumo que carregam rótulos de “naturais”, “ecológicos” e “verdes”, vem ganhando visibilidade diante da crescente conscientização do público acerca dos impactos ambientais negativos no processo de tingimento.

3.2.4 Os corantes têxteis

O aparecimento da cor está condicionado à existência de dois elementos: a luz, agindo como estímulo e o olho, aparelho receptor que decompõe ou altera o fluxo luminoso através da função seletora da retina (PEDROSA, 1982). Segundo o autor, em quase todos os idiomas, a palavra cor representa tanto o fenômeno da percepção, a sensação, como também as radiações luminosas diretas ou as refletidas por determinados objetos, a coloração que o provocam.

Segundo Pedrosa (1982), na percepção da cor três características principais, que correspondem aos parâmetros básicos da cor, são identificadas. O matiz, atribui-se ao comprimento de onda ou ao nome dado a cor, o valor refere-se à luminosidade ou brilho e o croma especifica a saturação ou a pureza da cor.

Os estímulos cromáticos, ou a sensação colorida, dividem-se em três categorias, segundo Goethe⁵: estímulos fisiológicos, físicos e físico-químicos. O primeiro é caracterizado por integrar as funções da retina; o estímulo físico é o emitido por uma fonte luminosa ou pela dispersão desses raios; e o estímulo físico-químico é determinado pela natureza e pela organização dos átomos nas moléculas, ocasionando a cor percebida nas substâncias (PEDROSA, 1982).

Um dos fatores mais importantes no apelo comercial de produtos do vestuário é a cor e é o foco principal das tendências de moda de curto prazo, pois é a maneira mais rápida, barata e segura de mudar a aparência e atrair um cliente. Há muitos fatores que influenciam o perfil de sustentabilidade de uma determinada escolha de cor. Esses incluem: tipo de fibra, corante, produtos

⁵ Escritor alemão que publicou a obra A Teoria das Cores, em 1810.

químicos auxiliares, método de aplicação, tipo e idade do maquinário e dureza da água, entre muitos outros (FLETCHER; GROSE, 2012).

Segundo Collier *et al.* (2009), a coloração de têxteis é alcançada adicionando colorantes naturais ou sintéticos ao substrato, que podem ser divididos em corantes e pigmentos. Os corantes são produtos químicos orgânicos, já os pigmentos podem ter natureza orgânica ou inorgânica. Pigmentos são colorantes insolúveis e não são molecularmente dispersos. São pequenas partículas de agregados insolúveis que podem ser adicionados ao estágio líquido da fiação das fibras artificiais ou são aplicados na superfície de materiais têxteis e fixados com um aglutinante.

Os corantes são colorantes aplicados ou formados no substrato têxtil por meio da dispersão de suas moléculas. Devem ser solúveis ou ter capacidade de se tornarem solúveis na sua aplicação, de modo que possam penetrar na fibra (COLLIER *et al.*, 2009).

Segundo Choudhury (2018) e Ladchumananandasivam (2008), as quatro características principais dos corantes são: devem proporcionar cores intensas ao substrato têxtil, devem ser solúveis em água permanentemente ou apenas durante o processo de tingimento, devem ter afinidade ou substantividade com um ou mais tipos de fibras ou ser quimicamente combinado com ela e devem ter propriedades de solidez.

A constituição química e as propriedades de tingimento são as formas com que os corantes são classificados. A constituição química é mais importante para os fabricantes de corantes e pesquisadores, enquanto as propriedades de tingimento e o método de aplicação são relevantes para o tintureiro e fábricas de tecido (CHOUDHURY, 2018).

De acordo com o método de aplicação os corantes podem ser classificados das seguintes formas (CHOUDHURY, 2018; LADCHUMANANANDASIVAM, 2008):

I. Corantes básicos ou corantes catiônicos: usualmente são hidrocloreídricos ou sais de bases orgânicas.

II. Corantes azóicos: são sais de sódio, usualmente de ácidos sulfônicos, mas em alguns casos ácidos carboxílicos. A maioria não tem afinidade com o algodão.

III. Corantes diretos: são também chamados de corantes substantivos, têm afinidade com as fibras celulósicas e são semelhantes aos corantes azóicos por serem sais de sódio de ácidos sulfônicos e são compostos azóicos. A característica mais atraente dos corantes diretos é a simplicidade do processo de tingimento e menor custo para alcançar alta profundidade de tons.

IV. Corantes mordentes: este grupo inclui muitos corantes sintéticos e naturais. Não tem afinidade natural com as fibras têxteis, porém são aplicados em fibras celulósicas e protéicas que foram tratadas com óxidos metálicos.

V. Corantes de enxofre: são compostos orgânicos que contêm enxofre. Possuem alta solidez nas fibras celulósicas e é um corante de baixo custo. Os corantes de enxofre constituem agora a maior classe de corantes em termos de quantidade, com produção mundial de mais de 80.000 toneladas por ano.

VI. Corantes dispersos: são compostos orgânicos com pouca solubilidade.

VII. Corantes reativos: podem formar combinações químicas com a celulose e por essa razão tem excelente solidez.

VIII. Corantes à Tina: são insolúveis em água, mas podem ser convertidos em forma solúvel (leuco) pela ação do hidróxido de sódio e um agente redutor, como o hidrossulfito de sódio. A celulose tem afinidade com estes compostos leuco, sendo absorvido pela fibra, e subseqüentemente são oxidados para um pigmento insolúvel. Possuem alta solidez, porém é considerado um corante caro.

Com o propósito de reduzir o impacto ambiental, o uso de corantes naturais está ganhando popularidade nos setores de alimentos, produtos farmacêuticos, têxteis e cosméticos. Corantes naturais são aqueles obtidos de fontes naturais renováveis, como minerais, plantas, animais e microrganismos (UL-ISLAM, 2017).

Como relatado por Latthe *et al.* (2014) a natureza é um enorme laboratório de pesquisa, aberto a todos os cientistas de áreas interdisciplinares que vão desde a Biologia, Física, Química, Matemática e Ciência dos Materiais e Engenharia.

Para Ul-Islam (2017) existem dois tipos de corantes naturais, os corantes substantivos e os corantes aditivos. Os corantes substantivos são aqueles que não necessitam do uso de mordentes para fixar a cor no substrato têxtil. Estes corantes não só criam afinidade entre o tecido e a molécula de corante, mas também darão um amplo espectro de cor. Já os corantes aditivos têm propriedades de solidez pobres e precisam de mordentes para aumentar a fixação do corante no substrato.

Segundo Collier *et al.* (2009), o tingimento ou a coloração das fibras resulta da interação dos grupos funcionais dentro das fibras e daqueles dentro do material corante, ou seja, da junção das moléculas de corante com a fibra. Fibras diferentes têm diferentes propriedades químicas. Ainda de acordo com os autores, para os corantes naturais essa interação pode acontecer fazendo um tratamento dos tecidos com ácidos naturais ou óxidos apropriados que melhoram a ligação das moléculas do corante com a fibra e conseqüentemente, melhora a solidez da cor, ou seja, sua fixação. Essas substâncias, chamadas mordentes, reagem com o corante formando um composto insolúvel, fixando assim a cor na fibra.

Segundo Crowle (2017), o algodão pode ser tingido em fibras, fios ou tecidos. O processo é um pouco diferente para cada classe de corante, mas os estágios básicos permanecem os mesmos. Estes são: pré-tratamento, tingimento e

acabamento. Segundo Kartick *et al.* (2016) a maioria dos corantes naturais requer o uso de mordentes para melhor exaustão da cor, fixação e solidez desejada.

Para Hossain *et al.* (2016) a expansão de um mercado de bens de consumo que carregam rótulos de “naturais”, “ecológicos” e “verdes”, vem ganhando visibilidade diante da crescente conscientização do público acerca dos impactos ambientais negativos no processo de tingimento.

Por esta razão, o uso de corantes naturais está tendo maior visibilidade. Pesquisas recentes evidenciam que o produto à base de plantas é relativamente útil para aplicação têxtil que tenha biocompatibilidade, além de possuir baixas propriedades tóxicas (HOSSAIN *et al.*, 2016).

Entretanto, segundo Kartick *et al.*, (2016) com o advento dos corantes sintéticos, amplamente disponíveis, com baixo custo e com propriedades de solidez da cor de moderadas a excelentes, desde 1856, os corantes naturais foram lentamente substituídos. De acordo com Yussuf *et al.* (2017), hoje em dia existem muitos tipos de corantes disponíveis para uso em têxteis de algodão, incluindo corante direto, sulfuroso, azóico e reativo, além dos corantes naturais, em menor escala.

As fontes de obtenção dos corantes naturais possuem substâncias tintórias que podem ser aplicadas e fixadas em alguns materiais. Estes corantes possuem um anel aromático que contém um auxocromo, responsável pela ressonância, tornando-se capaz de conferir cor aos substratos (UL-ISLAM, 2017).

Segundo Collier *et al.* (2009), para os corantes naturais essa interação entre a fibra e o corante pode acontecer fazendo um tratamento dos tecidos com ácidos naturais ou óxidos apropriados que melhoram a ligação das moléculas do corante com a fibra e conseqüentemente, melhora sua fixação e solidez da cor. Segundo Kartick *et al.* (2016) a maioria dos corantes naturais requer o uso de mordentes para melhor exaustão da cor, fixação e solidez desejada. Os

mordentes reagem com o corante formando um composto insolúvel, fixando assim a cor no substrato.

O uso de têxteis tingidos de maneira natural vem se expandindo diante aos efeitos menos tóxicos do processo de tingimento, sendo menos nocivo ao meio ambiente e com menor propensão de causar alergias. Com uma disponibilidade de uma grande variedade vegetal, os extratos das plantas proporcionam funcionalidades adicionais, que vão além do tingimento, como proteção UV e atividade antimicrobiana (KARTICK *et al.*, 2016).

Segundo UI-Islam (2017), os corantes naturais possuem inúmeras características benéficas que o tornam superior aos corantes sintéticos. Algumas dessas vantagens são mencionadas abaixo:

- I. O manuseio de corantes naturais durante sua aplicação e processos é mais seguro e não carcinogênico.
- II. Corantes naturais têm melhor biodegradabilidade e geralmente têm maior compatibilidade com o meio ambiente.
- III. São corantes atóxicos e não causam alergias na pele.
- IV. São produtos renováveis.
- V. Os corantes naturais possuem uma ampla gama de tons dependendo da parte da planta utilizada e do tipo de mordente aplicado.
- VI. Os corantes naturais são fonte de renda para agricultores.
- VII. Os corantes naturais possuem inúmeras propriedades benéficas dependendo da matéria-prima utilizada, tais como: repelente de insetos, desodorantes, proteção UV, propriedades antimicrobianas, bem como propriedades antioxidantes.

VIII. O uso de materiais residuais como fontes de corantes naturais pode ajudar na preservação do meio ambiente e também reduzir o custo do tingimento natural.

IX. Corantes naturais têm ampla gama de aplicação, como no setor de alimentos, cosméticos, agricultura, têxteis, etc.

Além dos benefícios citados acima, quando utilizado corantes naturais para o tingimento de tecidos, a cor natural proporciona um caráter exclusivo, diferente dos corantes sintéticos que padronizam as cores e não contribuem com uma narrativa própria e original sobre o tecido. O tingimento natural é influenciado pelo meio em que a matéria-prima foi cultivada, as características do solo e do clima. A cor natural conecta mais intimamente com as pessoas, suas economias locais e a terra, trazendo significado e valor para o tecido (FLETCHER; GROSE, 2012).

Corantes naturais são identificados com base em sua estrutura, cor e aplicação. Para Yussuf *et al.* (2017), a classificação de corantes naturais com base na estrutura química é o sistema de classificação mais apropriado e amplamente aceito, porque identifica prontamente corantes pertencentes a um grupo químico particular que possui propriedades específicas.

Segundo UI-Islam (2017) a base de classificação com relação à estrutura química permite identificar a coloração que será atingida. Alguns exemplos, como os flavonóides são responsáveis por transmitir cor amarela ao substrato. O tanino é considerado o componente mais importante e essencial para tingir com corantes naturais, especialmente para obter tons de marrom. Devido à presença do grupo polifenólico, o tanino pode ser empregado como um mordente seguro para o meio ambiente. Os alcalóides apresentam cor amarela clara quando combinado com sulfato de cobre e cinza quando utilizado com sulfato ferroso. Outros grupos químicos existentes nos corantes naturais possibilitam cores variadas ao substrato têxtil.

No processo de tingimento natural, mordentes sintéticos (químicos) e biomordentes são usados para fixar o corante na fibra. Os mordentes químicos são sais de alumínio, potássio, cobre, ferro, estanho e os biomordentes são substâncias que podem ser obtidas a partir de fontes naturais como, plantas e animais. O tanino ou ácido tânico é encontrado na goiaba e nas cinzas de folhas de bananeira, por exemplo. Diante disso, foi sugerido por muitos pesquisadores que o biomordente é mais seguro e eficaz para o uso do que os mordentes químicos (UL-ISLAM, 2017). Segundo Kartick *et al.* (2016) o alumínio natural e o vinagre também foram explorados como biomordentes para o tingimento natural de têxteis.

3.2.5 O corante índigo

Para Yussuf *et al.* (2017) a indigotina é talvez o grupo mais importante de corantes naturais e o corante mais antigo usado pelas civilizações humanas. O índigo natural é um corante de cor azul distinta, com longa história de utilização, e é considerado um dos mais importantes e valiosos. Qualquer têxtil com mais de 100 anos, se tiver azul, provavelmente será do corante índigo (SAKTHIVEL, 2011). Segundo Ul-Islam (2017) o corante índigo tem sido usado para a pintura dos gregos e romanos desde 640-320 aC.

Conforme Ul-Islam (2017) a substância presente na planta precursora do índigo é o indoxil, e quando exposto ao ar é convertido em indigotina (índigo azul), insolúvel em água. A *Indigofera tinctoria* e a *Isatis tinctoria L* são exemplos de plantas que fornecem o corante índigo natural (Fig. 6).

Figura 6 – Planta *Indigofera tinctoria* e corante índigo



Fonte: Acervo pessoal, 2017.

O termo "índigo" sugere que a arte de extrair o corante e aplicar o tingimento foi praticada na Índia por muitos artesãos há milhares de anos. O conhecimento da ciência do uso do corante índigo, sua extração e a arte e tecnologia do tingimento foram dominadas e provavelmente disseminadas para outras partes do globo. Por muito tempo, até a invenção do índigo sintético, a Índia era o maior produtor e exportador do índigo natural (SAKTHIVEL, 2011). Segundo Sakthivel (2011) o tingimento com o corante índigo tem sido praticado de diferentes formas em várias partes do mundo. Na Índia, o tingimento com o índigo foi feito através da fermentação do índigo extraído da planta em um processo de tingimento a cuba, na qual os corantes insolúveis se tornam solúveis através de uma reação de redução. A fermentação quebra o corante para se dissolver na água e poder tingir o substrato.

Ao contrário da maioria dos corantes, o índigo não se liga covalentemente ao algodão, mas sim é impregnado às fibras. O índigo absorvido é resistente a detergentes fortes usados na lavagem, mas se desprende com abrasão persistente expondo o núcleo branco interno do fio, produzindo o desejado desgaste que caracteriza a calça jeans. Esta combinação, única de resistência aos detergentes e susceptibilidade à abrasão, torna o índigo insubstituível como um corante de *denim*, tecido usado para a confecção da calça jeans, contribuindo para a popularidade duradoura do denim azul (HSU *et al.*, 2018).

Portanto, o índigo, quando tingido no algodão, não se une ao material ou à fibra quimicamente, mas está ligado ao material por adesão física. Esse fenômeno faz com que o tecido de algodão tingido com o índigo seja menos resistente à abrasão na superfície, o que conferem vários matizes e valores tonais ao tecido. A calça jeans com visual desbotado, como é conhecida, se deve à baixa resistência do corante índigo na fibra. Já no caso da seda e da lã essa adesão é um pouco mais forte (SAKTHIVEL, 2011).

A aplicação do corante índigo ao algodão requer um processo de tingimento muito específico. Entre as principais condições que influenciam o processo de tingimento por esgotamento do corante índigo estão, a temperatura de redução, a temperatura de esgotamento da tintura, a duração do tingimento e o pH do meio (TICHA *et al.*, 2013). Segundo Hossain *et al.* (2016) são necessários agentes redutores fortes para converter o corante em sua forma solúvel (leuco), para permitir a absorção e difusão do corante na fibra (Fig. 7).

Figura 7 – Redução industrial do corante índigo



Fonte: Acervo pessoal, 2019.

O agente redutor mais utilizado no tingimento do índigo industrial é o ditonito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) devido ao seu poderoso poder de redução. No entanto, a geração de produtos para oxidação não renováveis, tais como sulfito e sulfato, causam vários problemas na eliminação do banho de tingimento e da água de lavagem (HOSSAIN *et al.*, 2016).

Como relatado por Hsu *et al.* (2018), o processo de tingimento industrial do corante índigo consiste em mergulhar repetidamente cordas feitas de fios de algodão em múltiplos banhos de corante contendo uma solução aquosa de índigo solúvel, hidróxido de sódio e ditonito de sódio. A exposição ao ar entre os banhos de tingimento permite a oxidação espontânea do leuco índigo, depositando o índigo nas fibras.

Conforme Ticha *et al.* (2013) o processo de tingimento é contínuo, sendo necessário vários banhos de tingimento no tecido (*dip – nip*) para chegar a cor desejada. Entre um banho e outro é necessário deixar o tecido arejar para entrar em contato com o oxigênio do ar e ocorrer a reação de oxidação, transformando o índigo solúvel em sua forma insolúvel, de tonalidade azul, e assim fixando-se na fibra de algodão.

O processo *dip-nip* pode acontecer em intervalos diferentes. Para Ticha *et al.*, (2013) esse processo acontece mergulhando o tecido no banho de tingimento por um minuto e deixando-o em contato com o ar por dois minutos, repetindo o processo seis vezes. De acordo com Saikhao *et al.* (2018), o processo foi realizado deixando o tecido submerso por trinta segundos e em contato com o ar durante dois minutos, repetindo uma ou duas vezes. Já Ferreira (1998), realiza o processo mergulhando o tecido por quinze minutos no banho de tingimento e deixando-o oxidar por trinta minutos, repetindo duas vezes o procedimento. A figura 8 ilustra o processo de tingimento do corante índigo na indústria têxtil, conforme relatado pelos autores.

Figura 8 – Banho de tingimento industrial com o corante índigo



Fonte: Acervo pessoal, 2019.

É uma tarefa desafiadora encontrar soluções mais sustentáveis para o tingimento com o corante índigo. Saikhao *et al.* (2018) mencionou em seu estudo possíveis alternativas ambientalmente favoráveis para a redução do corante índigo, tais como, técnicas eletroquímicas, redução bacteriana, uso de extrato de frutas e glicose.

Agentes redutores naturais, como a frutose, encontrada na banana, maçã e na tâmara, substituem o uso do ditionito de sódio para a redução do corante (HOSSAIN *et al.*, 2016). A glicose foi empregada com sucesso como açúcar redutor em solução alcalina. A combinação de glicose com uma solução de NaOH em alta temperatura proporciona condições estáveis do banho e da redução do corante, mantendo o índigo em sua forma reduzida (SAIKHAO *et al.*, 2017).

O sistema de redução usando produtos naturais como a glicose e a frutose são considerados ecológicos por serem não-tóxicos, biodegradáveis, além de serem de fácil aquisição e economicamente viáveis (SAIKHAO *et al.*, 2018).

3.3 Ensaio

Nos últimos anos, com o aumento da demanda por produtos coloridos com corantes naturais o número de estudos sobre tingimentos naturais aumentou, principalmente quando se aplica o tingimento em produtos do vestuário. Testes específicos são necessários para comprovar a resistência e a qualidade do tingimento aplicado ao substrato têxtil e conseqüentemente sua aplicabilidade para a indústria do vestuário dependerá dos resultados.

3.3.1 Colorimetria

A colorimetria é uma técnica de medição de cor na qual podemos quantificar em dados numéricos e objetivos a sensação e a impressão sensorial da cor (SALEM, 2010).

No tingimento a intensidade da cor está diretamente relacionada à quantidade de corante absorvida pelo tecido. O seu rendimento e a capacidade de absorção do substrato têxtil podem ser avaliados visualmente, contudo uma avaliação quantitativa é possível usando a equação de Kubelka-Munk definida mediante a relação entre a concentração de corante no substrato têxtil e sua curva de reflectância (BROADBENT, 2001; GIACOMINI *et al.*, 2015).

A medição com o espectrofotômetro fornece a descrição numérica da reflexão ou transmissão de luz por um objeto. A reflexão ou transmissão do espectro dá a fração da luz incidente que um objeto reflete ou transmite em um comprimento de onda. As cores percebidas quando visualizadas em condições correspondentes às do iluminante e observador padrão, selecionado no equipamento (BROADBENT, 2001).

Uma das principais exigências de qualidade no tingimento de têxteis com corantes naturais é o quanto um tingimento realizado no material é sensível ou durável quando exposto a um agente que cause o desbotamento de sua cor. A colorimetria é utilizada para avaliar a solidez do tingimento do material têxtil comparando uma amostra padrão e a amostra submetida aos ensaios de solidez.

3.3.2 Solidez da cor

A estabilidade da cor de um tingimento, ou a sua solidez, é uma das propriedades mais importantes a serem avaliadas no tingimento do substrato têxtil. Durante o uso, um material tingido é exposto a uma variedade de intercorrências que podem fazer com que sua cor desbote acompanhada por alterações na saturação e matiz da cor. Essas mudanças ocorrem porque pode haver a decomposição das moléculas de corante na fibra, por exemplo, por fotodegradação, como no desbotamento da cor quando exposta à radiação. Ou remoção do corante para o meio externo ocasionado nas lavagens do material têxtil, além da possibilidade da cor ser transferida para outros materiais (BROADBENT, 2001).

As propriedades de solidez de um tingimento são uma característica da combinação particular entre corante e fibra e suas variáveis, que incluem: a estrutura molecular do corante, a maneira pela qual o corante está ligado à fibra, a quantidade de corante presente na fibra, a natureza química da fibra, a presença de outros produtos químicos, e as condições reais durante a exposição do material têxtil a determinadas situações (BROADBENT, 2001).

Diante disso, os testes de solidez da cor de um substrato têxtil simulam a resistência da cor às intercorrências características do uso do material e a consequência da variação de cor do tingimento. Estes testes são detalhadamente descritos em documentos de organizações profissionais como a Organização Internacional de Normalização (ISO) (BROADBENT, 2001).

3.3.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Segundo Gonçalves (2003) as várias técnicas de microscopia eletrônica são hoje as principais ferramentas para estudar a estrutura fina e a morfologia de materiais. Os microscópios eletrônicos utilizam elétrons para formação de imagem, do qual a principal vantagem é a resolução, sendo capaz de ver detalhes menores que 1 nanômetro. Sendo a topografia da superfície a principal característica a ser analisada, a espessura da amostra não é um problema para o estudo.

O microscópio eletrônico de varredura é utilizado para o estudo de estruturas superficiais ou subsuperficiais de amostras com dimensões relativamente grandes. As imagens têm alta profundidade de foco, obtendo diferentes relevos da superfície da amostra. São imagens tridimensionais, facilitando sua interpretação (GONÇALVES, 2003).

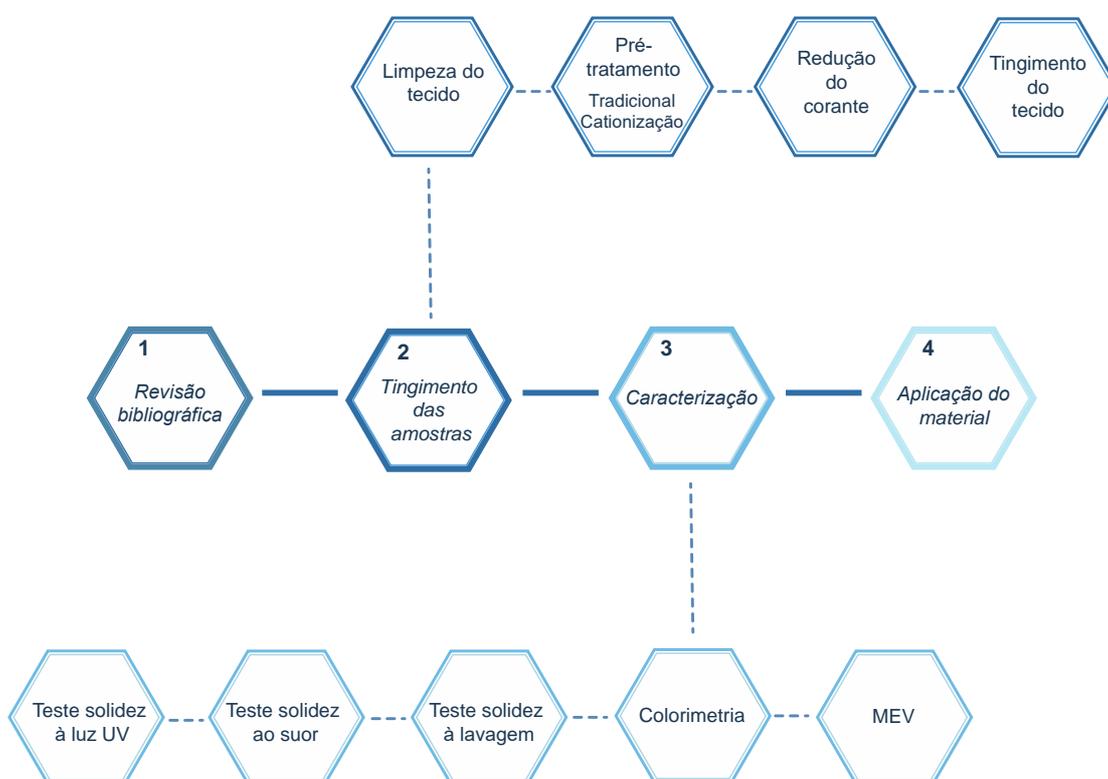
Materiais não condutores, como o substrato têxtil, requerem o uso de revestimentos condutivos ou o uso de baixa voltagem de aceleração do feixe. A montagem da amostra é feita sobre suportes metálicos, utilizando adesivos condutivos. O filme condutor que reveste a amostra deve ter uma camada

suficientemente contínua e fina (menor que 20 nanômetros) para não interferir na topografia da superfície (GONÇALVES, 2003).

4 METODOLOGIA

O presente trabalho se caracteriza como uma pesquisa aplicada de cunho quantitativo e de caráter experimental, realizada a partir do levantamento bibliográfico no contexto do tingimento natural com o corante índigo. As etapas envolvidas estão resumidas no esquema ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora, 2019

Etapa 1: Revisão bibliográfica

O objetivo desta etapa foi abordar o design como um mediador social e interdisciplinar que possibilita, por meio da transdisciplinaridade, atuar na seleção dos materiais para produtos. Dentro deste contexto, a pesquisa trata da importância em projetar produtos usando materiais ambientalmente responsáveis e que carregam significados, para aplicação na indústria do vestuário, contribuindo para mitigar os impactos ambientais deste setor. Diante disso, foi pesquisado o algodão orgânico como fonte de fibra renovável para a indústria do vestuário e o uso do tingimento natural com corante índigo como substituto ao tingimento convencional.

Etapa 2: Tingimento das amostras de tecido

Nesta etapa foram produzidas amostras de tecidos tingidos as quais foram comparadas com a amostra controle, denominada aqui de tingimento convencional. Tal amostra controle foi produzida de acordo com os conhecimentos adquiridos em uma oficina de tingimento vegetal, com produtos fornecidos sem divulgação da formulação (amostra CE). Além disso, também foi produzida outra amostra controle, cujo tecido foi tingido com reagentes normalmente usados na indústria, denominada aqui de 'tingimento convencional' (amostra CI).

Para os experimentos de tingimento foi necessário realizar as seguintes atividades: (I) limpeza do tecido, (II) pré-tratamento convencional do tecido, (III) pré-tratamento com cationizantes, (IV) redução do corante índigo, gerando a tintura mãe, como é denominado na literatura, e então (V) efetivar o tingimento.

Etapa 3: Caracterização das amostras

Após o tingimento das amostras de tecido de algodão, foram realizados ensaios de colorimetria pelo sistema CIELab relativos aos testes de solidez à lavagem, solidez ao suor e solidez à luz. A caracterização por meio do microscópio eletrônico de varredura (MEV), foi realizada em determinadas

amostras para analisar a homogeneidade da superfície de cada uma para comparação.

Etapa 4: Aplicação do material têxtil

Foi desenvolvida uma proposta de um produto de moda para demonstrar a aplicação do material pesquisado, considerando a possibilidade de criação de um produto responsável ambientalmente.

4.1. Materiais

Tecido meia malha 100% algodão orgânico cru, fio cardado, título 30.1, gramatura 165 g/m², adquirido na Coopnatural e extrato Azul Índigo Vegetal IT Anileira obtido com o fabricante Etno Botânica. Para o experimento de redução do corante índigo natural foi adquirido hidrossulfito de sódio do fabricante Sulfal Química, redutor comercial do fabricante Etno Botânica, D-frutose código 1661 do fabricante Dinâmica Química Contemporânea LTDA e D-glicose anidra da marca Synth. Os reagentes básicos utilizados foram o hidróxido de cálcio P.A do fabricante Ecibra Reagentes Analíticos e hidróxido de sódio 98% do fabricante Sulfal Química. Como cationizantes foi usado o cationizador Catiofix do fabricante Coratex e quitosana solúvel em água do fabricante Alfa Chemistry. Para a limpeza do tecido foi utilizado detergente neutro concentrado, metassilicato de sódio e peróxido de hidrogênio 130 volumes, todos do fabricante Sulfal Química. Igualizante comercial adquirido no fabricante Etno Botânica e surfactante dodecilsulfato de sódio 90% do fabricante Synth foram utilizados nos processos de pré-tratamento do tecido, redução do corante índigo e banho de tingimento.

4.2. Tingimento das amostras de tecido

Essa etapa foi constituída por quatro procedimentos que, de forma sequencial, tiveram o objetivo de tingir o material têxtil com o corante índigo natural. Os procedimentos realizados foram: 1 - Limpeza do tecido para extrair todas as ceras, gorduras e impurezas. 2 - Pré-tratamento do tecido para facilitar a

absorção do corante pelas fibras, sendo eles: (a) pré-tratamento tradicional e (b) pré-tratamento com agentes cationizantes. 3 - Redução do corante índigo em meio alcalino para torná-lo solúvel em água e ser absorvido pelas fibras. 4 - Tingimento do tecido por esgotamento e fixação do corante por oxidação.

O desempenho do tingimento no substrato têxtil foi avaliado de acordo com a variação dos seguintes parâmetros: reagente alcalino, agente redutor, concentração do corante índigo e temperatura, além do teste com amostras cationizadas. Tais experimentos deram origem a treze amostras que foram nomeadas como: CI (controle-tingimento convencional usado na indústria) e CE (controle-tingimento tradicional), além das amostras experimentais A – K.

4.2.1. Limpeza do tecido

A limpeza do tecido, baseada em Ferreira (1998) e Costa (2013), foi realizada em uma relação de banho (R:B) de 1:18 (1g de tecido e 18 mL de água), em meio alcalino, à temperatura de 70°C por trinta minutos. Foi utilizado 99,32 mL de água, 0,22 mL de detergente neutro concentrado, 0,16 mL de NaOH a 50%, 0,08 g de metassilicato de sódio e 0,22 mL de peróxido de hidrogênio 130 volumes. Foi realizada a neutralização das amostras para que os reagentes não interferissem na absorção da cor. Brevemente, os reagentes foram adicionados na água a temperatura indicada e o substrato têxtil foi adicionado. Permaneceram por 30 minutos nessa solução de purga e posteriormente as amostras foram enxaguadas em água a 90°C por 5 minutos, em seguida sofreram outro enxague a 50°C por 15 minutos e por fim, o terceiro enxague em água fria corrente.

4.2.2. Pré-tratamento do tecido

Para as amostras CI, CE, A a G foi realizado, baseado em Ferreira (1998), o pré-tratamento tradicional do tecido a uma temperatura de 50°C por 15 minutos. A relação de banho (R:B) no pré-tratamento foi de 1:30 (1g de tecido e 30 mL de água). Outro procedimento de pré-tratamento foi realizado nas amostras H, I, J e K, no qual agentes cationizantes foram utilizados.

Brevemente, adaptado de Ticha *et al.* (2013), Rym *et al.* (2014), Alebeid e Zhao (2014), Kamel *et al.* (2009), Baaka *et al.* (2016) foi realizado o pré-tratamento com um cationizante comercial nas amostras H e I, como também, adaptado de Santos *et al.* (2016), Öktem *et al.* (2003), Ul-Islam *et al.* (2017) foi realizado o pré-tratamento com a quitosana solúvel em água como uma alternativa ecológica de cationizante nas amostras J e K. Para estas amostras, a solução de água e quitosana ficaram em agitação magnética por três horas a 60° C. Posteriormente o tecido foi imerso nesta solução. Para todas as amostras a secagem foi em temperatura ambiente. Os reagentes e quantidades utilizados no pré-tratamento das amostras de tecido para os dois controles (CI e CE) e os diferentes experimentos estão mostrados nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Reagentes e quantidades utilizados no pré-tratamento das amostras de tecido para os dois controles

	*H ₂ O	**NaOH	*Iguazante	*DDS	**Na ₂ S ₂ O ₄	**Redutor	T	t
CI	***	0,16	---	0,20	0,20	---	50	15
CE	***	0,16	0,20	---	---	0,20	50	15

*(mL); **(g); Iguazante Etno Botânica®; Redutor Etno Botânica®; DDS (dodecil sulfato de sódio-25% m/V); Na₂S₂O₄ (metabissulfito de sódio); T (temperatura - °C); t (tempo - min);***H₂O completar para 100.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Tabela 2 - Reagentes e quantidades utilizados no pré-tratamento das amostras de tecido para os diferentes experimentos

Pré-tratamento	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
*H ₂ O	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
**NaOH	0,16	0,16	---	0,08	0,08	0,08	0,08	0,52	0,52	---	---
**Ca(OH) ₂	---	---	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	---	---	---	---
*DDS	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	---	---	---	---
**Frutose	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	---	---	---	---	---	---
**Glicose	---	---	---	---	---	0,20	0,20	---	---	---	---
*Catiofix	---	---	---	---	---	---	---	1,15	1,15	---	---
**Quitosana	---	---	---	---	---	---	---	---	---	1,96	1,96
T (°C)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
t (min)	15	15	15	15	15	15	15	60	60	60	60

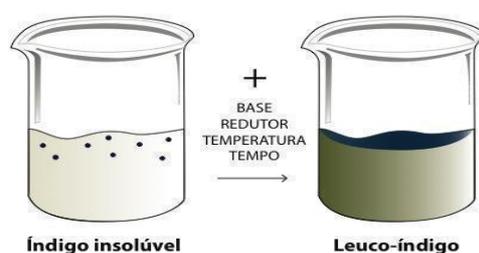
*(mL); **(g); NaOH (hidróxido de sódio-50% m/V); Ca(OH)₂ (hidróxido de cálcio); Catiofix Coratex®; Quitosana em água (2% m/V); DDS (dodecil sulfato de sódio-25% m/V); T (temperatura); t (tempo); ***H₂O completar para 100.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

4.2.3. Preparação da redução do corante: tintura mãe

O procedimento de redução do corante índigo envolve solubilizar o índigo insolúvel em água usando reagentes alcalinos e redutores para que ele penetre na fibra, conforme ilustrado na figura 10 (SAIKHAO *et al.*, 2018)

Figura 10 – Processo de redução do corante índigo insolúvel



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

As tabelas 3 e 4 apresentam as quantidades de reagentes utilizados no preparo da tintura-mãe para os dois controles (CI e CE) e para os diferentes experimentos, respectivamente.

Os reagentes e quantidades da tabela 4 foram adaptados de Ticha *et al.* (2013), Hossain *et al.* (2016), Saikhao *et al.* (2017), Shuvo (2018), Saikhao *et al.* (2018). Brevemente, a tintura mãe permaneceu em repouso durante trinta minutos após a mistura dos reagentes para que a reação de redução pudesse ocorrer. Cada tintura mãe foi utilizada no tingimento de cada amostra respectivamente. O pH das soluções de redução foi medido com o pHmetro de bancada Kasvi.

Tabela 3 - Reagentes utilizados na redução do corante índigo para as amostras controle

	*H ₂ O	**Índigo	**NaOH	*Iguazante	*DDS	**Na ₂ S ₂ O ₄	**Redutor	T
CI	***	4,21	5,64	---	0,84	5,05	---	50
CE	***	4,21	5,64	0,84	---	---	5,05	50

*(mL); **(g); Igualizante Etno Botânica®; Redutor Etno Botânica®; DDS (dodecil sulfato de sódio-25% m/V); Na₂S₂O₄ (metabissulfito de sódio); T (temperatura - °C);***H₂O completar para 100.

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Tabela 4 - Reagentes utilizados na redução do corante índigo para as amostras experimentais

Redução	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
*H ₂ O	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
**Índigo	4,21	6,32	4,21	4,21	6,32	4,21	6,32	4,21	4,21	4,21	4,21
**NaOH	5,64	5,64	---	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82
**Ca(OH) ₂	---	---	8,47	8,47	8,47	8,47	8,47	8,47	8,47	8,47	8,47
*DDS	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
**Frutose	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05	---	---	---	5,05	---	5,05
**Glicose	---	---	---	---	---	5,05	5,05	5,05	---	5,05	---
T (°C)	50	50	50	50	50	70	70	70	50	70	50

*(mL); **(g); NaOH (hidróxido de sódio-50% m/V); Ca(OH)₂ (hidróxido de cálcio); DDS (dodecil sulfato de sódio-25% m/V); T (temperatura); ***H₂O completar para 100.

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

4.2.4. Tingimento do tecido

O processo de tingimento é contínuo, no qual, para ser realizado são necessários vários banhos de tingimento no tecido para que o corante penetre na fibra de algodão e obtenha o tom de azul desejado. Foram realizados 13 experimentos de tingimento com as respectivas tinturas mãe. A relação de banho (R:B) foi de 1:30 (1g de tecido e 30 mL de água). As tabelas 5 e 6 apresentam as quantidades de reagentes utilizados no banho de tingimento para os dois controles (CI e CE) e para os diferentes experimentos, respectivamente.

Tabela 5 - Reagentes utilizados no banho de tingimento para as amostras controle

	*H ₂ O	*T. mãe	**NaOH	*Iguazante	*DDS	**Na ₂ S ₂ O ₄	**Redutor	T
CI	***	1,58	0,26	---	0,11	0,32	---	50
CE	***	1,58	0,26	0,11	---	---	0,32	50

*(mL); **(g); T. mãe (tintura mãe); Iguazante Etno Botânica®; Redutor Etno Botânica®; DDS (dodecil sulfato de sódio-25% m/V); Na₂S₂O₄ (metabissulfito de sódio); T (temperatura - °C); ***H₂O completar para 100.

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Tabela 6 - Reagentes utilizados no banho de tingimento para as amostras experimentais

Redução	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
*H ₂ O	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
*T. mãe	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
**NaOH	0,26	0,26	---	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
**Ca(OH) ₂	---	---	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
*DDS	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
**Frutose	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	---	---	---	0,32	---	0,32
**Glicose	---	---	---	---	---	0,32	0,32	0,32	---	0,32	---
T (°C)	50	50	50	50	50	70	70	70	50	70	50

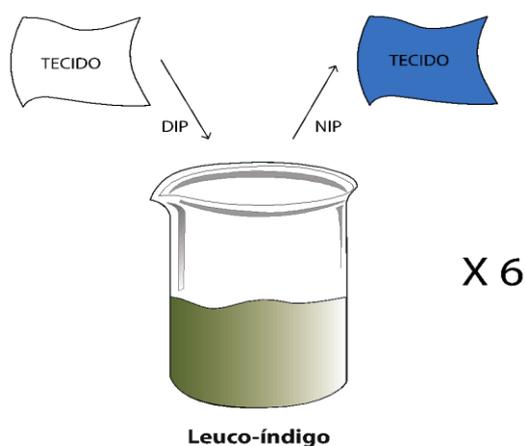
*(mL); **(g); T. mãe (tintura mãe); NaOH (hidróxido de sódio-50% m/V); Ca(OH)₂ (hidróxido de cálcio); DDS (dodecil sulfato de sódio-25% m/V); T (temperatura); ***H₂O completar para 100.

Fonte: elaborado pela autora, 2019.

Baseado em Ticha *et al.* (2013), Hsu *et al.* (2018), Saikhao *et al.* (2018) e Ferreira (1998), foi realizado o tingimento 6 *dip* - 6 *nip* no qual o tingimento acontece mergulhando a amostra de tecido no banho de tingimento por um

minuto e deixando oxidar em contato com o ar por dois minutos, momento no qual acontece a oxidação do índigo, passando da cor verde para a cor azul, natural do tingimento. Este procedimento foi repetido seis vezes, figura 11, sendo que na última vez a amostra permaneceu por três minutos em contato com o ar. Depois de realizado esta etapa, as amostras foram enxaguadas em água corrente, fria, por cinco minutos. As amostras foram secas à sombra, em temperatura ambiente.

Figura 11 – Banho de tingimento



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

4.3. Caracterizações

Essa etapa teve como objetivo realizar os ensaios das amostras tingidas para avaliar os parâmetros colorimétricos de cada amostra, a adesão do corante na fibra e a solidez do tingimento, visto que, para a aplicação do material no vestuário a cor é fator determinante para a escolha do consumidor.

4.3.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As superfícies das amostras de tecido sem limpeza e com limpeza foram investigadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando um equipamento de bancada modelo Hitachi 4000 Plus com feixe de elétrons operando a 5 kV. As amostras foram fixadas em um porta amostra com auxílio

de uma fita condutora de carbono e as imagens foram captadas usando o detector de elétrons retroespalhados (BSE).

4.3.2. Colorimetria

As amostras tingidas foram avaliadas em espectrofotômetro CM-600d, por refletância SCE, no espaço CIELab (L^* , a^* , b^*). Foram utilizadas as seguintes condições de operação no espectrofotômetro: varredura de 360 a 740 nm, iluminante CIE D65 e ângulo do observador de 10° . Os dados foram lidos pelo software Spectra Magic NX. Foram determinadas a cor (L^* , a^* , b^*), a diferença de cor (ΔE^*) e os valores de força colorística (K/S) em diferentes comprimentos de onda, sendo selecionados os valores no comprimento de absorção máxima, 660 nm, para as análises.

4.3.3. Ensaio de solidez a lavagem

O ensaio de solidez de cor à lavagem foi realizado pelo laboratório têxtil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em São Paulo, de acordo com a norma ISO 105 - C06:2010 – *Textiles – Tests for colour fastness – Part C06: Colour fastness to domestic and commercial laundering*. O método utilizado foi o A1M (teste múltiplo que simula cinco lavagens a 40°C).

Brevemente, foi recortado um corpo de prova de cada amostra tingida para ser avaliado, com dimensões de 10 x 4 cm e um retângulo de mesma dimensão do tecido – testemunha multifibra DW (composto por fibras de: acetado secundário, algodão alvejado, poliamida 6.6, poliéster, acrílico e lã). Os dois tecidos foram unidos por costura ao longo de um dos lados menores para realizar o ensaio. Posteriormente, foi realizada a avaliação visual da alteração da cor dos corpos e prova e a transferência da cor para o tecido – testemunha, conforme o item 4.3.6.

4.3.4. Ensaio de solidez ao suor

Este ensaio foi realizado pelo laboratório têxtil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em São Paulo, de acordo com o método ISO 105 - E04: 2013 – *Textiles – Tests for colour fastness – Part E04: Colour fastness to perspiration*. Este procedimento prescreve o modo pelo qual é avaliada a solidez da cor de artigos têxteis sob a ação de suor sintético, elaborado em laboratório, simulando o suor produzido pelo corpo humano, suor ácido e suor alcalino.

Brevemente, foi recortado um corpo de prova de cada amostra tingida para ser avaliado, com dimensões de 10 x 4 cm e um retângulo de mesma dimensão do tecido – testemunha multifibra DW (composto por fibras de: acetado secundário, algodão alvejado, poliamida 6.6, poliéster, acrílico e lã). Os dois tecidos foram unidos por costura ao longo de um dos lados menores para realizar o ensaio. Posteriormente, foi realizada a avaliação visual da alteração da cor dos corpos de prova e a transferência da cor para o tecido – testemunha, conforme o item 4.3.6.

4.3.5. Ensaio de solidez a luz

O ensaio de solidez de cor à luz foi realizado de acordo com a norma ISO 105-B02: 2014 – *Textiles - Tests for colour fastness part B02: Colour fastness to artificial light: Xenon arc fading lamp test*. A exposição foi realizada de acordo com o método ⁶ e foi utilizado o ciclo de exposição A1 (condição normal, com replicação da condição climática de zona temperada)⁷. O ensaio foi realizado pelo laboratório têxtil do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Foi recortado corpos de prova de 1 cm de largura das amostras a serem avaliadas. Posteriormente, foi realizada a avaliação visual da alteração da cor dos corpos e prova e a transferência da cor para o tecido – testemunha, conforme o item 4.3.6

⁶ Cada corpo de prova a ser avaliado deve ser exposto juntamente com os tecidos de lã azuis de referência 1 a 8 e a sua avaliação deve ser individual, seguindo os critérios da norma.

⁷ Temperatura do padrão preto: (47 ± 3) °C; temperatura do painel preto: (45 ± 3) °C; umidade efetiva: aproximadamente 40%; irradiância: (1,10 ± 0,02) W/(m²·nm) no comprimento de onda de 420 nm.

4.3.6. Avaliação visual dos resultados de solidez de cor

Foram realizadas pelo laboratório têxtil do IPT as avaliações visuais da alteração e transferência da cor. As avaliações foram mensuradas a partir da comparação visual entre o tecido padrão e o tecido a ser avaliado. Com base na escala cinza de alteração e transferência de cor foram atribuídas notas de acordo com os graus de solidez 1 a 5. Todas as avaliações foram realizadas por três avaliadores e o resultado de cada amostra avaliada foi a média dessas três avaliações.

Os graus de solidez variam entre 1 e 5, em que 1 representa a nota mais baixa (grande alteração/transferência) e 5 representa a nota mais alta (nenhuma alteração/transferência), havendo também graus intermediários 1-2, 2-3, 3-4 e 4-5 (GIACOMINI, *et al.*, 2015).

De acordo com Silva (2018) os critérios da norma de solidez a luz avalia as amostras tingidas com base nos tecidos de lã azuis de referência 1 a 8, sendo que o 1 representa solidez muito baixa e o 8 solidez elevada. Quando a alteração da cor pela escala cinza dos tecidos avaliados alcança nota 3, os tecidos de lã azuis de referência são avaliados também pela escala cinza de alteração de cor. O número do tecido de lã azul de referência que obteve a mesma nota de solidez de cor no momento da avaliação, nota 3, é considerado como a nota do ensaio de solidez à luz.

4.4. Aplicação do material têxtil

Foi realizado o desenvolvimento de um produto de moda como proposta experimental para o mercado de moda responsável, inserido em um sistema de economia circular, com o objetivo de averiguar a importância da seleção da matéria-prima e aplicar o material têxtil pesquisado, bem como desenvolver um produto que tenha significado e valor para o consumidor.

Foi definido, portanto, baseado na literatura, dois requisitos e três metas para projetar o produto, fundamentados nos princípios da sustentabilidade (BAXTER, 2000; ASHBY, 2012). Os requisitos para o projeto foram:

I – Compatibilidade do projeto com o desenvolvimento de um produto responsável social e ambientalmente: para o projeto ser bem sucedido é necessário transparência na cadeia de valor, considerando que os atores atuem de acordo com os princípios éticos e mais adequados frente à problemática ambiental e social.

II – Expectativa do consumidor: apresentar características que tragam benefícios e significado para o consumidor.

A partir dos requisitos estabelecidos foram definidas as metas do projeto com o intuito de desenvolver um projeto de produto viável de ser implantado. As metas do projeto são:

I – Mapear a cadeia de suprimentos, considerando: a produção da matéria-prima (fibra e tecido), os insumos para a fase de beneficiamento do tecido e o processo produtivo para o desenvolvimento do produto.

II – Analisar o ciclo de vida do produto e compreender a possibilidade de ser inserido em um sistema da economia circular da indústria do vestuário.

III – Analisar as propriedades do material têxtil e os aspectos funcionais do produto considerando a importância do produto em ter um significado para o consumidor.

Para tanto, realizou-se o estudo de tendências de consumo de produtos de moda responsável, assim como de técnicas de modelagem que minimize a geração de resíduo têxtil, durante o processo de confecção do produto.

Posteriormente, de acordo com os requisitos pré-estabelecidos, foi elaborado um mapa do sistema de moda circular e analisadas em quais etapas o produto proposto está diretamente envolvido. Foi elaborado ainda, uma tabela comparativa com o intuito analisar a proposta de desenvolvimento de um produto de moda responsável diante dos critérios fundamentais de sustentabilidade e significado de produto.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos últimos anos, tem havido um interesse crescente no ressurgimento de corantes naturais para o tingimento de tecidos, principalmente por razões ambientais (ZARKOGIANNI *et al.*, 2010). Nesse contexto, essa pesquisa foi realizada pensando em combinar conhecimentos tradicionais com demandas atuais, além de contribuir para aproximar o conhecimento científico do saber tradicional.

Primeiramente, foi feito um curso de imersão em tingimento vegetal no conservatório ETNO Botânica em Itamonte-MG. Conforme consta no website da ETNO Botânica, o trabalho é realizado em conjunto às cooperativas e associações de pequenos agricultores que habitam o Cerrado, a Amazônia e o Sertão Brasileiro, adotando a agricultura familiar como base de sustentação de toda a produção das matérias-primas usadas, sejam elas fibras têxteis (algodão orgânico, linho, cânhamo, seda natural), plantas tintoriais para a produção de corantes naturais e sementes ricas em óleos, resinas, bálsamos e manteigas vegetais para a produção de sabões, fixadores e amaciantes (ETNO BOTÂNICA, 2019).

O corante índigo natural foi selecionado para os experimentos na presente pesquisa (TUE *et al.*, 2019). Sendo assim, primeiramente o tingimento de tecido de algodão orgânico com corante índigo natural foi realizado de acordo com os ensinamentos do curso de imersão supramencionado e com produtos comercializados por eles, obviamente sem identificação da formulação. O tingimento com corante índigo natural também foi realizado com matéria-prima convencional normalmente utilizada na indústria, isto é, eficiente, de baixo custo, porém sem necessariamente ser eco responsável.

A partir desses dois controles, foram realizados experimentos com base na literatura de forma a se obter a mesma qualidade de tingimento demonstrada pelos dois controles, porém com matérias primas conhecidas, preferencialmente eco responsáveis, e com processos controlados e reprodutíveis.

O espaço de cor $L^*a^*b^*$, também conhecido como espaço de cor CIELAB, atualmente o mais popular dos espaços de cores uniformes, foi o utilizado para analisar as cores das amostras têxteis produzidas na presente pesquisa.

Um espaço de cor pode ser descrito como um método para se expressar a cor de um objeto usando algum tipo de notação, por exemplo, os números. A CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) definiu três espaços de cor, CIE XYZ, CIE L^*C^*h e CIE $L^*a^*b^*$ - para a comunicação e expressão das cores. O sistema de coordenadas CIELAB é decomposto nos componentes L^* , a^* e b^* , em que L^* varia de 0 (ou seja, preto) a 100 (ou seja, branco) e descreve a luminosidade, e a^* e b^* representam as coordenadas cromáticas, ou seja, a^* coordenada vermelho/verde (+ a^* indica vermelho e - a^* indica verde) e b^* coordenada amarelo / azul (+ b^* indica amarelo e - b^* indica azul) (ul-ISLAM *et al.*, 2014; BUNKHOLT *et al.*, 2013).

5.1. Limpeza do tecido (purga)

As amostras trabalhadas nesta pesquisa passaram pelo processo de purga com o objetivo de fazer com que o corante penetrasse na fibra com maior facilidade e o tingimento ficasse uniforme, incorporando um caráter mais hidrofílico ao tecido após o procedimento de limpeza. A avaliação do efeito da purga inicial na coloração do tecido também foi realizada pelas medidas dos parâmetros colorimétricos no espaço de cor CIELAB.

A figura 12 mostra a comparação da luminosidade e coordenadas cromáticas no espaço de cor CIELAB para amostras de tecido purgadas e não purgadas. Olhando para os valores de $L^*a^*b^*$ de cada amostra, podemos determinar objetivamente que as mesmas não têm cores iguais. Esses valores nos dizem que o tecido purgado (lavado) 1 é levemente mais escuro, verde e mais amarelo que o tecido não purgado.

Conforme relatado por Costa (2013), uma amostra que sofreu o processo de purga, apesar de permanecer com a coloração amarelada, levou o menor tempo para se umectar, apresentando maior hidrofiliabilidade do que as outras amostras que sofreram alvejamento com peróxido de hidrogênio e branqueamento óptico, mostrando assim, maior facilidade para a absorção do tingimento.

Por outro lado, o gráfico da figura 13 apresenta o comportamento da reflectância das duas amostras na região do visível (comprimento de onda de 400 nm a 700 nm).

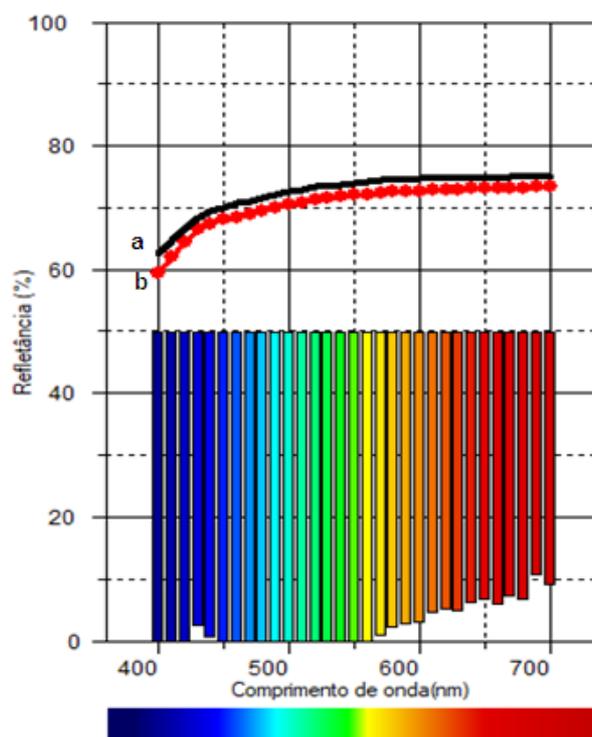
Figura12 – Fotografia das amostras de tecido purgada e não purgada com os respectivos parâmetros L^*,a^*,b^* do sistema CIELAB



Fonte: Realizado pela autora, 2019.

Os valores de reflectância, fração da radiação eletromagnética refletida na amostra, ligeiramente mais baixos para a amostra de tecido purgada podem estar relacionados com o amarelecimento da amostra após a limpeza do tecido (purga) (LIMA *et al.*, 2009).

Figura13 - Comportamento da reflectância para: (a) tecido sem limpeza e (b) tecido com limpeza (purgado)

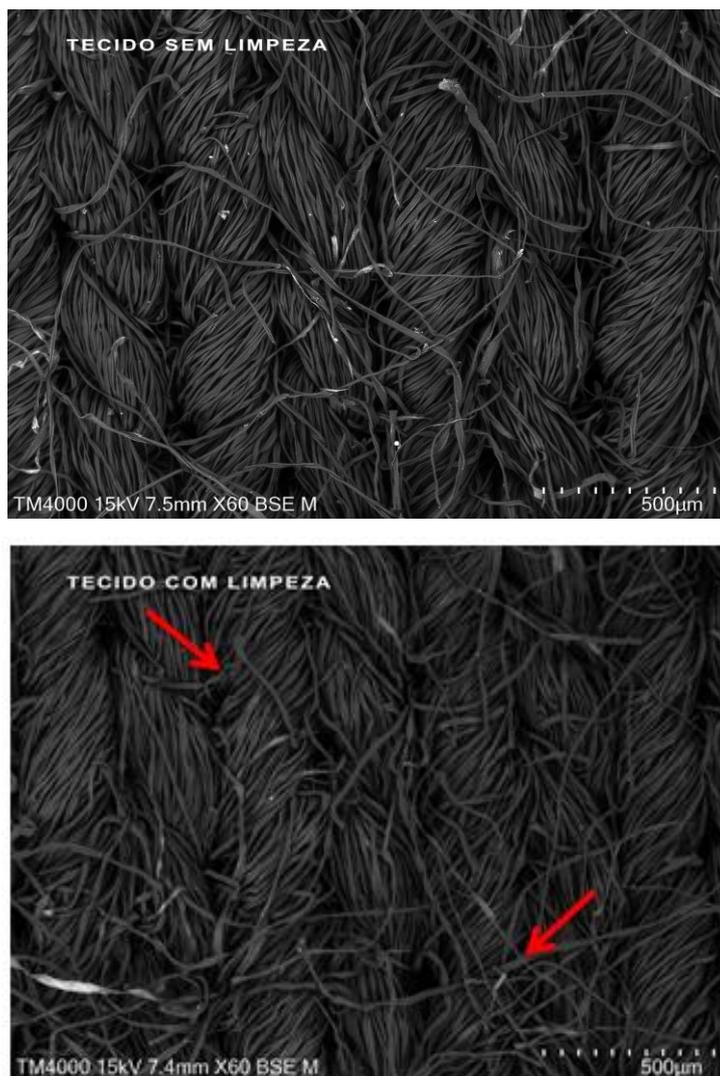


Fonte: Espectrofotômetro CM-600d, 2019.

Foram então realizadas imagens de MEV (figura 14) nas duas amostras com o objetivo de observar diferenças entre suas superfícies. Observou-se que o tecido sem limpeza possui alguns pequenos pontos brancos podendo caracterizar a presença de ceras e gorduras, além de uma melhor ordenação das fibras de algodão. Por outro lado, o tecido purgado mostrou um desalinhamento das fibras, que pode ter ocorrido durante o processo da purga devido ao uso de temperatura ou aos enxágues para realizar a neutralização. Não foram observados os pontos brancos que apareceram na imagem do

tecido sem limpeza, podendo-se inferir a ação dos reagentes no processo de purga.

Figura 14 – Imagens de MEV da amostra sem limpeza e com limpeza (purga) (Aumento: 60X)



Fonte: MEV editado pela autora, 2019.

Também é possível observar a influência do tratamento de purga nas torções dos filamentos das fibras de algodão nos tecidos (SANTOS *et al.*, 2017).

5.2. Pré-tratamento do tecido

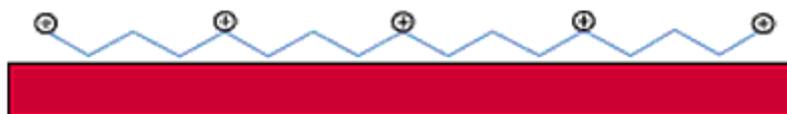
De acordo com Li *et al.* (2019), em todo o mundo, cada comunidade tem seus próprios métodos de tingimento índigo, que incluem diferentes espécies de plantas produtoras de índigo, receitas, técnicas e rituais associados aos processos tradicionais de tingimento. Segundo os autores, na região da China pesquisada por eles, o tecido deve primeiramente ser umedecido para que o pigmento consiga aderir bem às fibras do algodão. Conforme reportado, para esse propósito, os tintureiros geralmente colocam o tecido na própria solução de tingimento por 1 h e depois o retiram para lavar e secar. Na etapa do tingimento propriamente dito, eles costumam fazer uma média de 10 imersões do tecido na solução de tingimento.

Segundo Ferreira (1998), no processo de pré-tratamento convencional do tecido também são utilizados os mesmos reagentes do processo de redução do corante e do banho de tingimento. Esse tipo de pré-tratamento foi usado nas amostras CI, CE e A-G.

Alternativamente são usados agentes cationizantes para melhorar a adesão do corante índigo à fibra de algodão, conforme relatado por Ticha *et al.* (2013), Rym *et al.* (2014), Alebeid e Zhao (2014), Kamel *et al.* (2009), Baaka *et al.* (2016).

Existem fundamentalmente dois diferentes tipos de pré-tratamentos catiônicos em uso. O primeiro tipo são polímeros catiônicos que formam uma camada de cargas catiônicas quando aplicados às superfícies das fibras (figura 15).

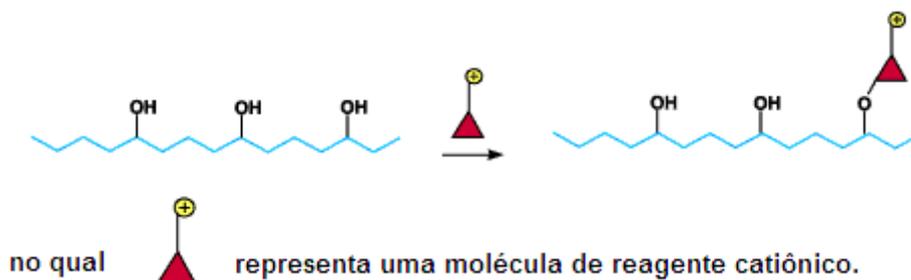
Figura 15 – Diagrama do processo pelo qual os polímeros catiônicos formam uma camada de cargas catiônicas quando aplicados às superfícies das fibras



Fonte: <https://www.textileworld.com/textile-world/textile-news/2000/10/cationic-pretreatments-of-cotton/> (acesso em 08/11/2019).

A segunda categoria de pré-tratamentos catiônicos envolve reagentes que modificam a fibra, formando ligações covalentes com a fibra celulósica (figura 16).

Figura 16 – Diagrama do processo pelo qual os reagentes modificam a fibra, formando ligações covalentes com a fibra celulósica



Fonte: <https://www.textileworld.com/textile-world/textile-news/2000/10/cationic-pretreatments-of-cotton/> (acesso em 08/11/2019).

A presença de cargas catiônicas sobre ou na fibra faz com que materiais aniônicos fiquem muito mais fortemente atraídos pela fibra do que sem as cargas catiônicas, resultando assim em uma absorção de corante melhorada. Contudo, segundo Hsu *et al.* (2018) e Sakthivel *et al.* (2011) o tingimento com o corante índigo não se liga covalentemente ao material, não se unindo à fibra de forma química, mas é impregnado às fibras por adesão física. Dentre os agentes cationizantes, o polímero quitosana é reportado como agente cationizante natural (SANTOS *et al.*, 2016; ÖKTEM *et al.*, 2003; UI-ISLAM, 2017).

Na presente pesquisa o agente cationizante comercial, como também a solução aquosa do polímero quitosana foram depositados sobre o tecido de acordo com a figura 21. Esse tipo de pré-tratamento foi usado nas amostras H-K. Os resultados do tingimento serão apresentados posteriormente.

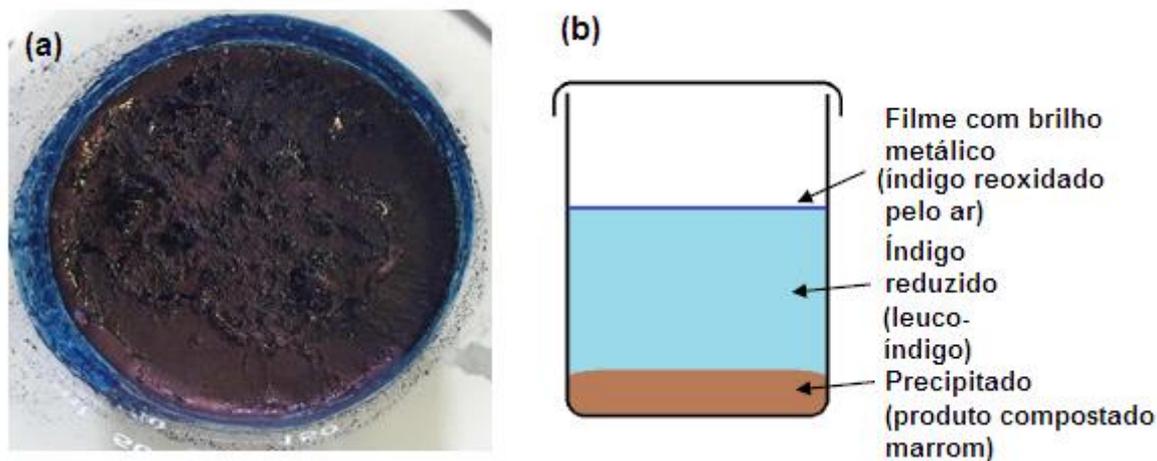
5.3. Redução do corante: tintura mãe

Na reação de redução do corante índigo, primeiramente, mistura-se o pó do corante insolúvel na água para, posteriormente, acrescentar os outros reagentes e, por fim o agente redutor. Dessa forma, o corante insolúvel se solubiliza após alguns instantes em contato com o meio alcalino, sendo necessário misturar primeiro todo o corante à solução para assim acrescentar o redutor.

O metabissulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) é o agente redutor mais usado nos modernos processos de tingimento de índigo, porém esse agente de redução e seus derivados são os principais poluentes da indústria têxtil e têm efeitos negativos na saúde humana (LI *et al.*, 2019). Sendo assim, essa etapa envolveu principalmente a substituição desse reagente por outros que podem ser inseridos dentro do conceito de química verde, a saber: glicose e frutose.

Segundo Shuvo (2018) e Saikhao *et al.* (2018), o início da redução é caracterizado quando percebe-se a formação de uma nata de cor carbono na superfície da solução, conforme figura 17a, e a cor da solução passa de azul para um amarelo ou verde amarronzado, significando que o procedimento de redução está concluído e a tintura mãe está pronta para ser usada no banho de tingimento. O resultado do processo de redução do corante índigo foi ilustrado por Tue *et al.* (2019), como mostrado na figura 17b.

Figura 17 – (a) Fotografia da tintura mãe, na qual foi usado $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ como agente redutor e NaOH como meio alcalinizante (amostra para tingimento convencional CI) e (b) Ilustração do corante índigo reduzido (tintura-mãe)



Fonte: Acervo pessoal, 2019 (a). TUE *et al.* (2019) (b).

O início da redução aconteceu em momentos diferentes, conforme o redutor, o pH da solução e a temperatura. O tempo para cada experimento iniciar a redução, o valor do pH e a temperatura de cada amostra encontra-se na tabela 7. A medição do pH ocorreu após 30 minutos de repouso de cada solução e em temperatura ambiente.

Tabela 7 - Tempo de redução, valor do pH e temperatura do processo de redução

Amostra	Início da redução	pH	Temperatura
CI	Imediato	14,20	50
CE	Após 1 min	14,01	50
A	Após 4 min	14,12	50
B	Após 4 min	14,14	50
C	Não reduziu	12,65	50
D	Após 10 min	13,69	50
E	Após 10 min	13,63	50
F	Após 8 min	13,56	70
G	Após 8 min	13,50	70

As amostras H, J e K usaram a mesma tintura mãe da amostra F. A amostra I usou a mesma tintura mãe da amostra D.

Fonte: Realizado pela autora, 2019.

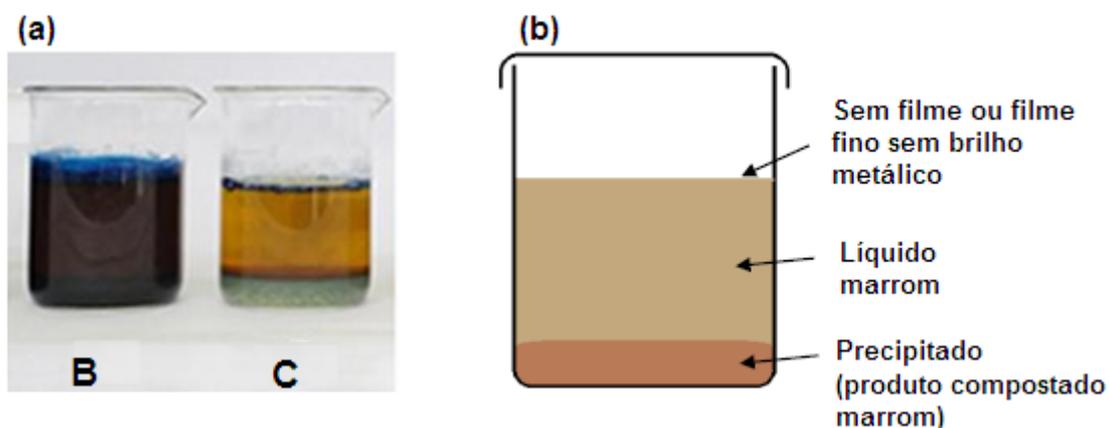
Observou-se que a redução da amostra CI ocorreu imediatamente após a adição do redutor hidrossulfito de sódio à solução. Conforme Saikhao *et al.* (2018), o índigo é rapidamente reduzido pelo hidrossulfito de sódio, mesmo à temperatura ambiente. A redução da amostra CE também ocorreu rapidamente, e apesar de não se saber exatamente qual o redutor presente nessa amostra, ela também exala o cheiro de hidrossulfito de sódio.

As amostras A e B, que tiveram como redutor a frutose e como meio básico o NaOH realizaram a reação de redução após quatro minutos em que o índigo foi adicionado à solução, corroborando com Saikhao *et al.* (2018). Segundo o autor, a frutose a uma temperatura de 50°C, sob condições altamente básicas leva a uma rápida redução do índigo. De acordo com Hossain *et al.* (2016), no processo de redução das moléculas do corante índigo dois elétrons da D-frutose entram no processo transformando o índigo insolúvel em leuco-índigo incolor e parcialmente solúvel. Em um meio altamente alcalino (pH 10,8 - 11) o

sal de sódio solúvel do leuco-índigo é formado para poder penetrar na fibra, essa solução tem cor marrom amarelada. O corante índigo reduzido retorna a sua forma insolúvel durante a exposição ao oxigênio atmosférico pela reação de oxidação, e retorna a sua coloração azul. A molécula de corante índigo exaurida fica presa mecanicamente no interior da fibra.

A redução na amostra C (meio básico com hidróxido de cálcio) não foi observada. A figura 18a mostra a fotografia comparativa entre as amostras B e C, ambas com frutose como redutor. O resultado quando o processo de redução do corante índigo não ocorre foi ilustrado por Tue *et al.* (2019), como mostrado na figura 18b.

Figura 18 – (a) Fotografia do resultado da redução das amostras B e C e (b) Ilustração do resultado da redução sem sucesso da amostra C



Fonte: Acervo pessoal da autora, 2019 (a). TUE *et al.* (2019) (b).

De acordo com os resultados obtidos por Saikhao *et al.* (2018), sob as condições altamente básicas, a frutose leva a uma rápida redução do índigo. Pelo valor do pH apresentado na tabela 1, o hidróxido de cálcio não produziu o meio alcalino necessário para efetivar a redução.

As amostras D e E, nas quais o redutor foi a frutose e o meio básico foi gerado pela combinação de NaOH e Ca(OH)₂, levaram o maior tempo para iniciar a redução (10 min). No entanto a redução ocorreu, fato que pode ser atribuído à presença de NaOH e conseqüente elevação do pH do meio. Já as amostras F e G nas quais a glicose foi usada como agente redutor e com o mesmo meio básico, iniciaram a redução um pouco mais rápido (8 min). Segundo Chavan (2015), o uso da glicose como redutor também necessita de um meio fortemente alcalino, além da temperatura mais alta do que a frutose.

No caso das amostras F e G, o tempo ligeiramente menor para iniciar a redução do corante índigo pode ser atribuído ao efeito positivo do aumento de 20 °C na temperatura do banho. Em outras palavras, o aumento da temperatura atuou de maneira mais efetiva do que o tipo de açúcar redutor, já que a frutose a 50 °C é o monossacarídeo com mais alto potencial redox negativo e, portanto, possui maior capacidade redutora do corante índigo do que a glicose (Saikhao *et al.*, 2018).

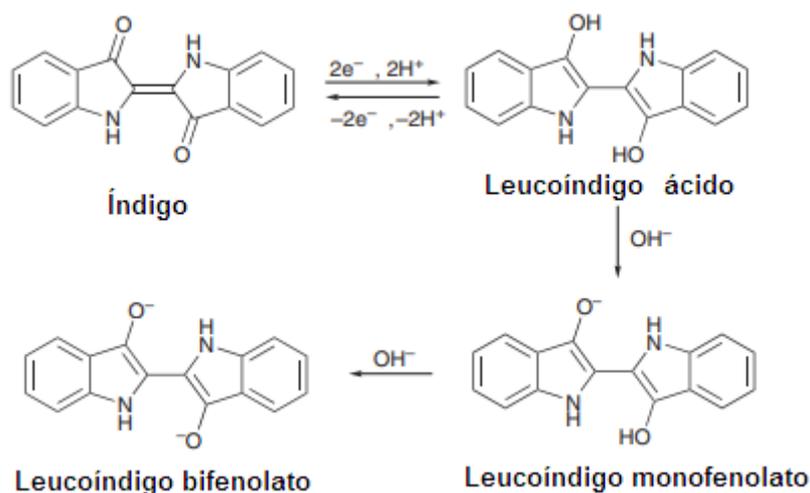
Também, vale a pena ressaltar que o aumento de 50% na quantidade de corante índigo não interferiu no tempo de redução, conforme pode ser constatado se for comparadas as amostras: A versus B, D versus E e F versus G.

5.4. Tingimento das amostras

De acordo com Blackburn *et al.* (2009), não é apropriado afirmar sumariamente que "Leucoíndigo alcalino" adsorve na celulose, pois o pH desempenha um papel crucial nas condições ideais para adsorção do leucoíndigo. Foram descritas diferentes formas de leucoíndigo, nomeadamente leucoíndigo ácido, a forma iônica monofenolato do leucoíndigo alcalino e a forma iônica bifenolato do leucoíndigo alcalino, como mostrado na figura 24.

Como mostrado na figura 19, a forma monofenolada resulta da adição de álcalis ao leucoíndigo ácido e, à medida que o pH aumenta com adição extra de álcalis, a forma de bifenolato é desenvolvida. Conforme Blackburn *et al.* (2009), a forma mono-iônica do leucoíndigo tem uma afinidade muito maior pela celulose do que a forma di-iônica.

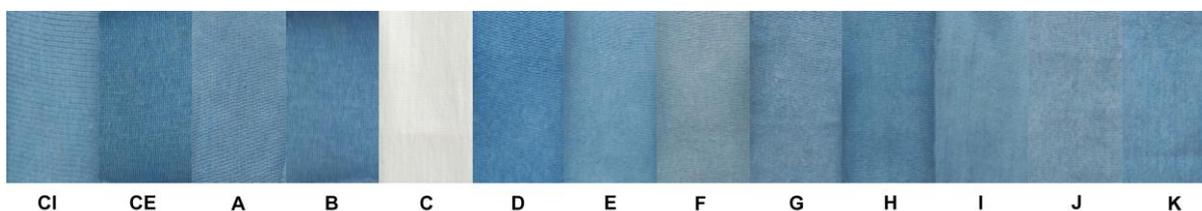
Figura 19 – Fórmulas estruturais do índigo e suas diferentes formas de leucoíndigo



Fonte: BLACKBURN *et al.*, 2009.

O resultado do aspecto visual do tingimento de todas as amostras está apresentado na figura 20.

Figura 20 – Aspecto visual das amostras tingidas



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

5.4.1. O espaço CIELAB

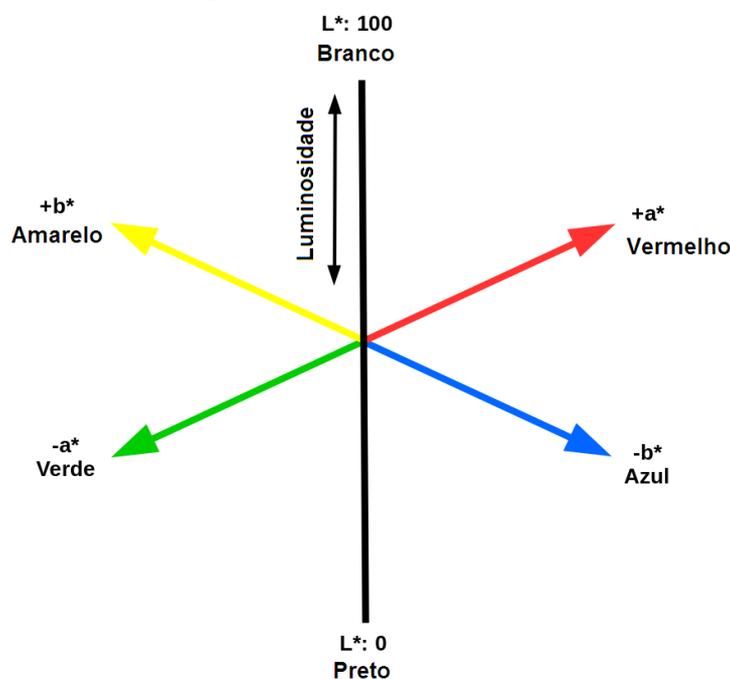
O LAB e o LCH são sistemas subtrativos de cor propostos pela *Commission Internationale L'Eclairage – CIE* e são os mais utilizados pela indústria têxtil. O espaço LAB utiliza três eixos (figura 21) (MICHEL & BILLINGTON, 2012).

L*: luminosidade: 0 indica preto perfeito, 100 indica branco perfeito. Se seguirmos os eixos L*, vamos ver todos os tons de cinza.

a*: eixos vermelho-verde: valores de a* positivos caracterizam cores vermelhas, valores negativos de a* designam cores verdes.

b*: eixos amarelo-azul: valores positivos de b* são para cores amarelas, valores negativos de b* assinalam cores azuis.

Figura 21 – Diagrama para o espaço de cores CIELAB/L*a*b*



Fonte: Domínio público (acesso em 10/11/2019).

As coordenadas do sistema CIELAB (L*, a* e b*) para as amostras de tecido tingido estão apresentadas na tabela 8. A luminosidade L* depende do brilho e da reflectância especular da amostra tingida. Ao contrário, um valor alto para luminosidade é resultado da menor intensidade da cor (BARANI, 2019). Em

outras palavras quanto menor L^* o tom se torna mais escuro, conforme pode ser acompanhado pela figura 21.

Tabela 8 - Valores de L^* , a^* e b^* . As medidas foram realizadas com iluminante D65, componente especular incluída (SCI) e observador padrão suplementar CIE 1964 (observador 10°) Os valores sobrescritos se referem ao desvio padrão em relação à média de três medidas em diferentes regiões de cada amostra

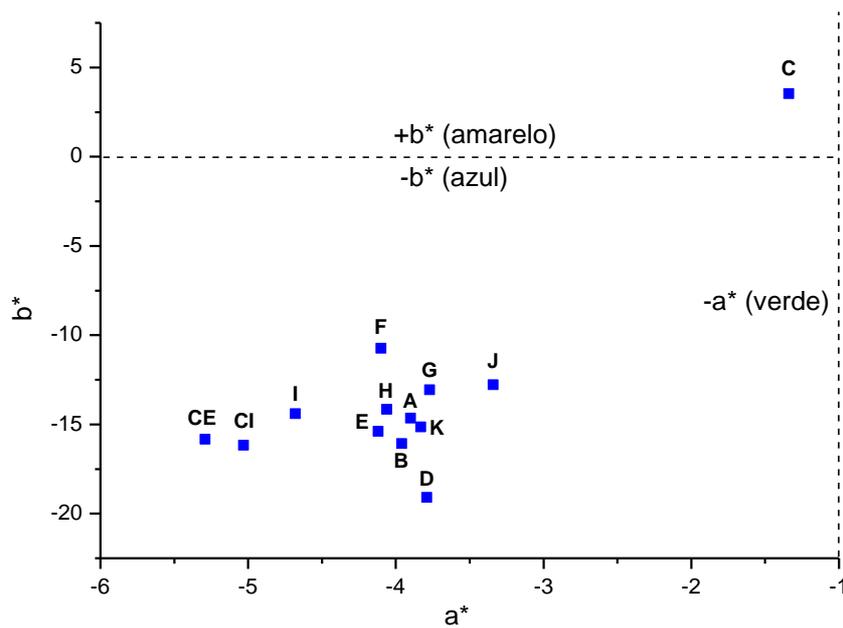
Amostra	L^*	a^*	b^*
CI	59,64 ^{0,72}	-5,03 ^{0,10}	-16,16 ^{0,34}
CE	54,05 ^{0,23}	-5,29 ^{0,04}	-15,83 ^{0,32}
A	64,07 ^{1,89}	-3,90 ^{0,16}	-14,63 ^{1,04}
B	59,70 ^{0,36}	3,96 ^{0,04}	-16,08 ^{0,04}
C	91,98 ^{0,27}	-1,34 ^{0,09}	3,53 ^{0,08}
D	53,17 ^{0,70}	-3,79 ^{0,06}	-19,10 ^{0,35}
E	61,17 ^{0,22}	-4,12 ^{0,02}	-15,40 ^{0,10}
F	65,89 ^{0,37}	-4,10 ^{0,03}	-10,74 ^{0,10}
G	58,13 ^{0,14}	-3,77 ^{0,04}	-13,06 ^{0,14}
H	52,92 ^{0,98}	-4,06 ^{0,06}	-14,15 ^{0,31}
I	55,25 ^{0,49}	-4,68 ^{0,04}	-14,41 ^{0,14}
J	58,73 ^{0,88}	-3,34 ^{0,02}	-12,79 ^{0,11}
K	60,46 ^{0,61}	-3,83 ^{0,10}	-15,14 ^{0,43}

Fonte: Realizado pela autora, 2019.

A posição no espaço de cor CIELAB das amostras de algodão tingidas com corante índigo natural foi inserida de acordo com os valores de a^* e b^* da tabela 8 e está ilustrada na figura 22. Conforme pode ser facilmente visualizado, a única amostra que não está no espaço do azul é a amostra C. E todas elas estão no espaço do verde, o que significa que elas não têm tendência ao vermelho. Por meio das posições assinaladas no diagrama verifica-se que a amostra I (cationizada com agente cationizante comercial) está mais próxima dos controles CE e CI. Ao passo que a amostra D é a mais

azul. Também é possível inferir que as amostras F, G, H, e J, que usaram a glicose como redutor, são menos azuis.

Figura 22 – Posição das amostras tingidas no espaço CIELAB



Fonte: Realizado pela autora, 2019.

No espaço CIELAB pode-se quantificar as diferenças em termos psicométricos de ΔL^* , Δa^* e Δb^* entre um padrão e uma amostra. A diferença de cor ΔE é determinada pela equação 1 (PAES *et al.*, 2015).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (1)$$

Onde:

$$\Delta L^* = L^*_{amostra} - L^*_{padr\tilde{a}o}$$

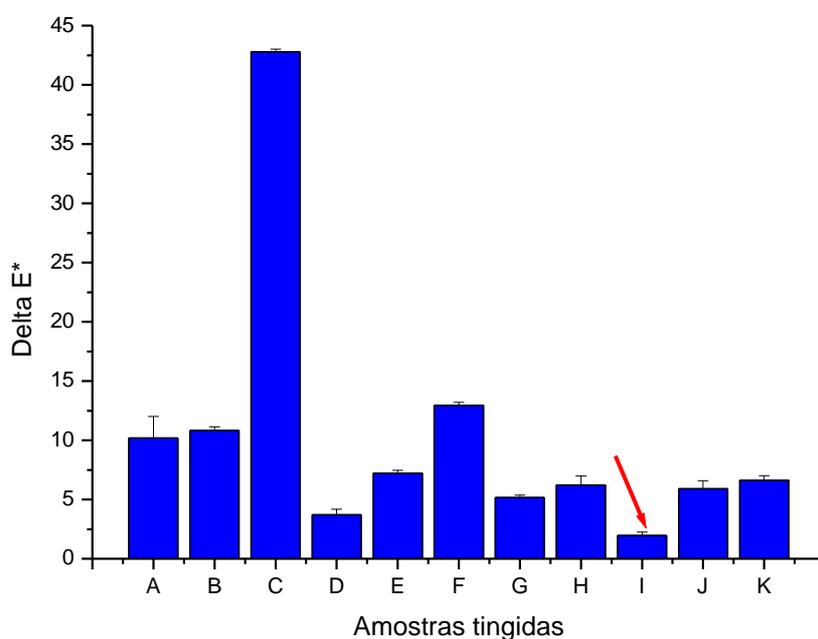
$$\Delta a^* = a^*_{amostra} - a^*_{padr\tilde{a}o}$$

$$\Delta b^* = b^*_{amostra} - b^*_{padr\tilde{a}o}$$

Assim, os valores calculados com auxílio da equação 1 mostram a diferença de cor entre cada amostra tingida e o padrão CE (figura 23). Isto é, quanto maior o valor de ΔE^* (delta E) maior a diferença de cor entre a amostra e o padrão.

Vale a pena lembrar que a amostra CE foi aquela tingida com os produtos adquiridos no conservatório ETNO Botânica. É possível visualizar na figura 28 que o tingimento que mais se aproxima do padrão é o da amostra I (pré-tratamento com agente cationizante comercial, meio alcalino NaOH + Ca(OH)₂ e frutose como redutor. Tal resultado já havia sido percebido pela posição da amostra no espaço CIELAB (figura 22)

Figura 23 – Valores de ΔE^* em relação à amostra controle CE para todas as amostras tingidas



Fonte: Realizado pela autora, 2019.

5.4.2. Testes de solidez do tingimento

Após a realização de um tingimento é importante saber o quanto ele foi efetivo, através da intensidade colorística (K/S). O valor de K/S pode ser calculado com a utilização da equação 2 conhecida como equação de Kubelka-Munk (PAES *et al.*, 2015).

$$\frac{K}{S} = \left[\frac{(1 - R)^2}{2R} \right] \quad (2)$$

Onde: K é o coeficiente de absorção, S é o coeficiente de espalhamento e R é a reflectância.

A tabela 9 apresenta os valores máximos da intensidade de cor K/S no comprimento de onda de 660 nm e também da absorbância (A) neste comprimento de onda.

Tabela 9 – Valores de K/S no comprimento de onda de 660 nm e valores de absorbância (informação referente à capacidade da amostra em absorver luz no comprimento de onda de 660 nm). Os valores sobrescritos se referem ao desvio padrão em relação à média de três medidas em diferentes regiões de cada amostra

Amostra	K/S	A
CI	2,05713 ^{0,10}	0,774 ^{0,016}
CE	2,94343 ^{0,08}	0,890 ^{0,089}
A	1,40258 ^{0,24}	0,662 ^{0,049}
B	1,98698 ^{0,05}	0,764 ^{0,008}
C	0,02169 ^{0,001}	0,090 ^{0,002}
D	3,30733 ^{0,19}	0,929 ^{0,020}
E	1,73761 ^{0,03}	0,723 ^{0,005}
F	1,07097 ^{0,03}	0,589 ^{0,019}
G	1,89426 ^{0,02}	0,749 ^{0,003}
H	2,78683 ^{0,20}	0,872 ^{0,023}
I	2,50866 ^{0,06}	0,837 ^{0,008}
J	1,76454 ^{0,10}	0,728 ^{0,018}
K	1,78926 ^{0,10}	0,732 ^{0,017}

Fonte: realizado pela autora, 2019.

Os valores apresentados na tabela 9 (em negrito significa maior valor de K/S) são indicativos de alguns resultados tais como:

- Não foi possível inferir que o aumento da concentração do corante índigo produz aumento no valor de K/S nas amostras que usaram frutose como agente redutor (A x **B** e **D** x E);
- Nas amostras que usaram frutose como agente redutor, não foi possível concluir sobre a influência no valor de K/S da combinação de Ca(OH)_2 com NaOH no meio alcalinizante, quando comparada com o uso de NaOH puro (A x **D** e **B** x E);
- Em relação às amostras que usaram glicose como agente redutor, quanto maior a concentração do corante índigo, maior o valor de K/S (F x G);
- No que diz respeito ao pré-tratamento de cationização, nas amostras que usaram frutose a cationização não teve o efeito de aumentar o valor de K/S (**D** x I e K), sendo que o agente cationizante comercial foi mais efetivo do que o uso da quitosana (**I** x K);
- Já nas amostras que usaram a glicose como agente redutor o pré-tratamento de cationização atuou de maneira positiva no valor de K/S (F x **H** e J), sendo que o agente cationizante comercial foi mais efetivo do que o uso da quitosana (**H** x J).

Em suma, pode-se verificar que os tingimentos realizados com a glicose como agente redutor são mais sensíveis à variação de outros parâmetros que envolvem o tingimento. Além disso, vale a pena ressaltar que as medidas de K/S ficam sujeitas às mínimas variações que podem ter ocorrido durante os experimentos. Portanto, são valores indicativos de uma tendência. A própria

etapa de medição é sensível às condições de calibração do equipamento, incidência de luz nas amostras, entre outros fatores.

Os valores da absorvância na tabela 9 estão de acordo com cada um dos valores de K/S. Saikhao *et al.* (2018) usaram frutose para reduzir o corante índigo à 50 °C e encontraram valor de absorvância de 0,94 (comparável à amostra D). No entanto, o valor de absorvância quando usaram glicose para reduzir o corante índigo a 70 °C foi muito superior aos valores das amostras F, G, H ou J nas quais foi usada a glicose nessa temperatura.

A solidez do tingimento em todas as amostras (exceto a amostra C) foi testada quanto à lavagem, ao suor ácido, ao suor básico e à luz. As tabelas 10-13 apresentam os valores de K/S, força colorística (K/S em %), além da absorvância (A) após os testes supracitados, respectivamente.

Tabela 10 – Valores de K/S no comprimento de onda de 660 nm, valores da força colorística em relação ao controle (K/S em %) e valores de absorbância após o teste de **solidez à lavagem**. Os valores sobrescritos se referem ao desvio padrão em relação à média de três medidas em diferentes regiões de cada amostra

Amostra	K/S	K/S (%)	A
Após o teste de solidez à lavagem			
CI	1,58437 ^{0,07}	77,02	0,696 ^{0,028}
CE	2,85231 ^{0,24}	96,90	0,879 ^{0,028}
A	1,24383 ^{0,17}	88,68	0,629 ^{0,038}
B	1,91818 ^{0,09}	96,53	0,753 ^{0,015}
C	...	...	...
D	2,30105 ^{0,15}	69,57	0,822 ^{0,020}
E	1,05116 ^{0,05}	60,49	0,585 ^{0,013}
F	0,59606 ^{0,03}	63,83	0,453 ^{0,009}
G	1,29881 ^{0,06}	68,56	0,640 ^{0,013}
H	1,77777 ^{0,16}	63,79	0,730 ^{0,027}
I	1,93885 ^{0,15}	77,28	0,756 ^{0,024}
J	1,42372 ^{0,05}	80,68	0,666 ^{0,010}
K	1,58978 ^{0,07}	88,82	0,697 ^{0,012}

Fonte: Realizado pela autora, 2019.

Conforme pode ser observado na tabela 10, após o teste de lavagem a força colorística da amostra padrão CE apresentou melhor desempenho (96,90%), comparável com a amostra B (96,53%). Esse resultado indica maior resistência à lavagem quando o tingimento usa frutose como agente redutor e NaOH como meio básico. Também foi possível perceber o efeito do aumento de 50% na quantidade do corante índigo (A x **B**). Shin *et al.* (2013) utilizaram extrato de casca de banana para fazer a redução do corante índigo. Os autores sugeriram que as propriedades antioxidantes do extrato estariam contribuindo para evitar que a leuco forma do índigo reduzido retornasse para forma original insolúvel. Além disso, segundo eles, o tratamento da D-frutose com álcalis pode causar

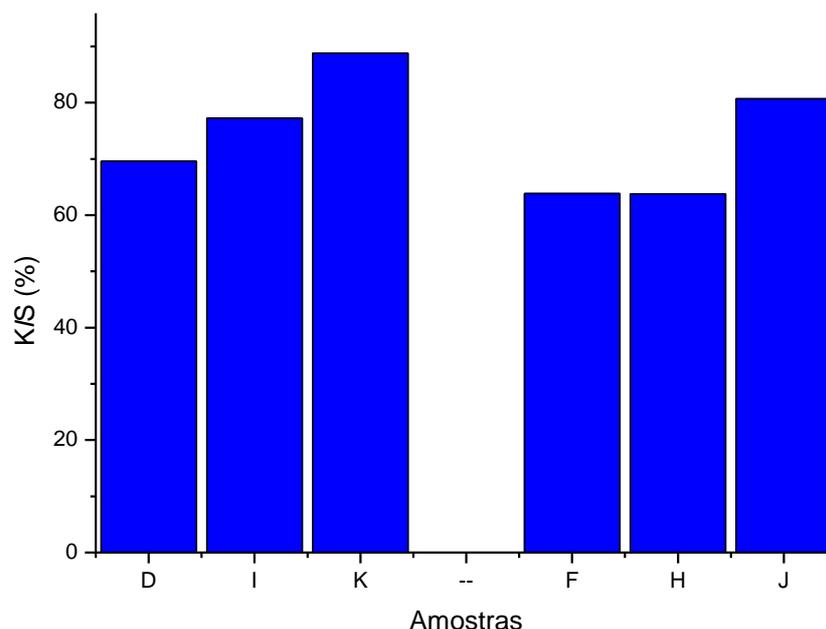
decomposição da cadeia de carbono para formar mais produtos com capacidade de redução. A análise cromatográfica de tal extrato mostrou que a frutose é um dos principais componentes. Nesse contexto, tais hipóteses podem ser aplicadas ao tingimento com a frutose como agente redutor e explicar o seu bom desempenho.

Por outro lado, os valores para a força colorística apresentados na tabela 10 para as amostras D-G ficaram muito próximos. Tais amostras foram derivadas das combinações entre tipo de agente redutor (frutose ou glicose) e quantidade de índigo. Em todas elas o meio foi alcalinizado com a combinação de NaOH e Ca(OH)_2 , ao invés de NaOH puro. Tal resultado aponta para a importância do meio alcalinizante e sugere o NaOH puro como mais efetivo.

Também foi possível perceber que a amostra controle na qual foi usado ditionito de sódio como agente redutor (amostra CI) não teve o desempenho esperado em termos de resistência à lavagem, o que já tinha sido observado pelo valor de K/S apresentado na tabela 9. Segundo Saikhao *et al.* (2018) o metabissulfito de sódio ou ditionito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) pode ser facilmente oxidado pelo oxigênio atmosférico e não é estável em um solução alcalina, particularmente a temperaturas mais elevadas.

A figura 24 ilustra o efeito do pré-tratamento com agente cationizante usando as amostras D (frutose) e F (glicose) como controles. Nas amostras as quais o índigo foi reduzido com frutose (D, I e K) é possível verificar melhora no desempenho do teste de lavagem quando as amostras foram submetidas ao pré-tratamento de cationização (I e K), principalmente quando foi usada a quitosana como agente cationizante (**K**). As amostras as quais o índigo foi reduzido com glicose (F, H e J), apresentaram menor força colorística. No entanto, houve aumento significativo dessa grandeza devido ao pré-tratamento de cationização com a quitosana (aumento de 26%), que demonstrou um desempenho superior ao agente cationizante comercial.

Figura 24 – Comparação da força colorística após o teste de lavagem entre as amostras sem tratamento de cationização, com agente de cationização comercial e com quitosana solúvel em água: D, I e K, respectivamente (usando frutose como agente redutor) e F, H e J, respectivamente (usando glicose como agente redutor)



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Paes *et al.* (2015) reportaram um aumento na solidez à lavagem de 80% em tecido de malha de poli(ácido láctico) (PLA) submetido a tingimento ácido quando o mesmo foi pré-tratado com o agente de cationização poli(cloreto de dialildimetilamônio) (PDDACl). Em outro exemplo, Santos *et al.* (2016) verificaram o efeito no desempenho do tingimento com corante ácido (*Coomassie Blue*) da modificação catiônica da superfície de vários tecidos usando o biopolieletrólito quitosana. Os resultados mostraram que todas as fibras com quitosana apresentaram uma maior força colorística quando comparadas com as mesmas sem funcionalização, com ganho percentual de 78,4% para o algodão alvejado e 66,7% para o algodão cru. No entanto, conforme os autores, após o teste de lavagem, apesar dos tecidos ainda estarem com resultados de Luminosidade inferiores (mais escuras), as amostras cationizadas perderam de forma considerável grande parte do corante adsorvido.

Na presente pesquisa, após o teste de lavagem a força colorística da amostra cationizada com quitosana alcançou aumento próximo a 30% em relação à amostra não cationizada. Novos experimentos devem ser realizados variando-se parâmetros tais como: quantidade do agente cationizante, temperatura e tempo de cationização.

Tabela 11 – Valores de K/S no comprimento de onda de 660 nm, valores da força colorística em relação ao controle (K/S em %) e valores de absorvância após o teste **solidez ao suor ácido**. Os valores sobrescritos se referem ao desvio padrão em relação à média de três medidas em diferentes regiões de cada amostra

Amostra	K/S	K/S (%)	A
Após o teste de solidez ao suor ácido			
CI	1,38798 ^{0,06}	67,47	0,659 ^{0,012}
CE	2,63118 ^{0,04}	89,39	0,853 ^{0,005}
A	1,09446 ^{0,01}	78,03	0,595 ^{0,002}
B	1,90651 ^{0,01}	95,95	0,751 ^{0,001}
C	...	...	...
D	3,37242 ^{0,19}	100*	0,936 ^{0,019}
E	1,37576 ^{0,12}	79,17	0,656 ^{0,025}
F	0,87381 ^{0,07}	81,59	0,539 ^{0,019}
G	1,56559 ^{0,14}	82,65	0,693 ^{0,026}
H	2,78683 ^{0,14}	78,14	0,767 ^{0,021}
I	2,50866 ^{0,06}	78,11	0,759 ^{0,050}
J	1,76454 ^{0,09}	84,27	0,678 ^{0,018}
K	1,77021 ^{0,12}	98,93	0,729 ^{0,021}

*erro experimental (não poderia encontrar valor maior do que 100%).

Fonte: realizado pela autora, 2019.

Em relação aos valores da tabela 11 observou-se que os valores de K/S referentes às amostras CI, CE, A e B são menores do que aqueles que aparecem na tabela 10. Ou seja, as amostras demonstram maior solidez à

lavagem do que ao suor ácido. Tal resultado sugere que as amostras que usaram NaOH como meio básico (pH mais alto na redução) ficaram mais sensíveis à reações químicas e degradação do corante em meio ácido (ZHUANG *et al.*, 2019). Ao contrário, as amostras D-K, as quais usaram a combinação NaOH com Ca(OH)₂ como meio básico (pH mais baixo na redução) apresentaram maior solidez ao suor ácido do que à lavagem.

Tabela 12 – Valores de K/S no comprimento de onda de 660 nm, valores da força colorística em relação ao controle (K/S em %) e valores de absorbância após o teste **solidez ao suor básico**. Os valores sobrescritos se referem ao desvio padrão em relação à média de três medidas em diferentes regiões de cada amostra

Amostra	K/S	K/S (%)	A
Após o teste de solidez ao suor básico			
CI	1,52443 ^{0,08}	74,10	0,685 ^{0,012}
CE	2,72483 ^{0,18}	92,57	0,684 ^{0,022}
A	1,01423 ^{0,10}	72,31	0,575 ^{0,025}
B	1,90633 ^{0,04}	95,94	0,751 ^{0,006}
C	...	...	...
D	2,28670 ^{0,06}	69,14	0,807 ^{0,009}
E	0,96855 ^{0,09}	55,74	0,564 ^{0,023}
F	0,65841 ^{0,06}	61,47	0,474 ^{0,021}
G	1,12667 ^{0,04}	59,48	0,602 ^{0,009}
H	1,83793 ^{0,13}	65,95	0,740 ^{0,022}
I	1,87360 ^{0,30}	74,68	0,746 ^{0,050}
J	1,49344 ^{0,07}	84,63	0,679 ^{0,013}
K	1,78739 ^{0,07}	99,89	0,732 ^{0,012}

Fonte: Realizado pela autora, 2019.

Em relação aos valores apresentados na tabela 12, de modo geral os valores da força colorística são menores do que aqueles apresentados para solidez à

lavagem (tabela 10). O destaque fica com as amostras J e K, as quais foram pré-tratadas com quitosana e que apresentaram maior solidez ao suor básico do que à lavagem e equivalente ao suor ácido. Os resultados apresentados nas tabelas 10-12, os quais apontaram o bom desempenho das amostras cationizadas quanto às propriedades de solidez do tingimento estão de acordo com os resultados de Kamel *et al.* (2009). Tais autores usaram corante de cochonilha extraído por meio de processo convencional e por ultrassom para tingir tecido de algodão. Segundo eles, as amostras demonstraram boa solidez à lavagem a ao suor, tanto ácido como básico. Conforme os autores, a cationização é uma estratégia muito boa para aumentar as propriedades de solidez de corantes aniônicos (diretos e reativos) em fibras de algodão, ao mesmo tempo em que evita problemas ambientais causados pelo descarte de grandes quantidades de eletrólito usado para aumentar a absorção de tais corantes.

Tabela 13 – Valores de K/S no comprimento de onda de 660 nm, valores da força colorística em relação ao controle (K/S em %) e valores de absorvância após o teste **solidez à luz**. Os valores sobrescritos se referem ao desvio padrão em relação à média de três medidas em diferentes regiões de cada amostra

Amostra	K/S	K/S (%)	A
Após o teste de solidez à luz			
CI	1,26397 ^{0,14}	61,44	0,633 ^{0,012}
CE	1,75555 ^{0,21}	59,64	0,726 ^{0,035}
A	0,56952 ^{0,08}	40,60	0,444 ^{0,032}
B	1,02505 ^{0,23}	51,59	0,578 ^{0,060}
C	...	...	...
D	1,96538 ^{0,14}	59,42	0,760 ^{0,021}
E	0,85145 ^{0,04}	49,00	0,533 ^{0,012}
F	0,49498 ^{0,09}	46,22	0,416 ^{0,035}
G	1,32508 ^{0,05}	69,95*	0,646 ^{0,011}
H	1,37468 ^{0,09}	49,32	0,656 ^{0,019}
I	1,08176 ^{0,04}	43,12	0,592 ^{0,011}
J	1,37848 ^{0,36}	78,12*	0,657 ^{0,069}
K	0,93763 ^{0,09}	52,40	0,556 ^{0,024}

Fonte: Realizado pela autora, 2019.

Conforme os valores mostrados na tabela 13 conclui-se que nenhum dos tingimentos apresentou boa solidez à luz. Diante dos resultados os valores marcados para as amostras G e J foram considerados como erro de medida.

Segundo Hossain *et al.* (2016) de modo geral a solidez à luz dos corantes naturais costuma ser pobre. Apesar disso, bons resultados de solidez à luz em tecidos de algodão tingidos com corante índigo foram encontrados na literatura, embora muitas vezes não fosse especificado se o tingimento foi realizado com índigo natural ou sintético. Um exemplo é o trabalho de Jabar (2014) no qual o

autor citou vários fatores que contribuiriam para alcançar boas propriedades de solidez no tingimento de tecido de algodão com corante índigo, inclusive solidez à luz. Foram eles: Maior tempo de tingimento, redução do corante índigo à sua forma leuco antes do tingimento e pré-tratamento do tecido cinza.

A fim de que se obtenham indicadores de qualidade no que se refere à solidez da cor de materiais têxteis, estes não podem sofrer modificações durante os processos a que serão submetidos, sejam de cunho laboratorial, industrial ou doméstico (VALENTE; OLIVEIRA, 2011). A tabela 14 foi apresentada por Valente e Oliveira (2011) e destina-se à visualização do grau de solidez e às informações dos respectivos valores.

Tabela 14 – Grau de solidez e respectivos valores

Grau de solidez	Índice
5	Ótima solidez
4-5	Boa solidez
4	Média solidez
3-4	Solidez regular
3	Solidez regular
2-3	Pouca solidez
2	Pouca solidez
1-2	Baixa solidez
1	Baixa solidez

Fonte: Valente; Oliveira, 2011.

As amostras foram entregues ao laboratório têxtil do IPT (SP) para análise de acordo com as normas da ISO. O princípio de todos os ensaios consiste em simular a ação de determinado agente, expresso na norma referente ao mesmo e avaliar as possíveis modificações ao final do teste.

Os índices correspondentes à solidez à lavagem, ao suor ácido, ao suor básico e à luz das amostras de tecidos tingidos estão mostrados nas tabelas 15-18.

Tabela 15 – Avaliação visual do ensaio de solidez a lavagem

Amostra	Alteração da cor	Transferência de cor					
		CA	CO	PA	PES	PAC	WO
CI	4	5	5	5	5	5	5
CE	4/5	5	5	5	5	5	5
A	4/5	5	5	5	5	5	5
B	5	5	5	5	5	5	5
D	4/5	5	5	5	5	5	5
E	4	5	5	5	5	5	5
F	4	5	5	5	5	5	5
G	3/4	5	5	5	5	5	5
H	4	5	5	5	5	5	5
I	4	5	5	5	5	5	5
J	4	5	5	5	5	5	5
K	4/5	5	5	5	5	5	5

CA: acetato; CO: algodão; PA: poliamida; PES: poliéster; PAC: acrílica; WO: lã.

Fonte: IPT, Laboratório têxtil, 2019.

Tabela 16 - Avaliação visual do ensaio de solidez ao suor ácido

Amostra	Alteração da cor	Transferência de cor					
		CA	CO	PA	PES	PAC	WO
CI	4	5	5	5	5	5	5
CE	4/5	5	5	5	5	5	5
A	4	5	5	5	5	5	5
B	4/5	5	5	5	5	5	5
D	4/5	5	5	5	5	5	5
E	4/5	5	5	5	5	5	5
F	4/5	5	5	5	5	5	5
G	4/5	5	5	5	5	5	5
H	4/5	5	5	5	5	5	5
I	4/5	5	5	5	5	5	5
J	4/5	5	5	5	5	5	5
K	4/5	5	5	5	5	5	5

CA: acetato; CO: algodão; PA: poliamida; PES: poliéster; PAC: acrílica; WO: lã.

Fonte: IPT, Laboratório têxtil, 2019.

Tabela 17 - Avaliação visual do ensaio de solidez ao suor básico

Amostra	Alteração da cor	Transferência de cor					
		CA	CO	PA	PES	PAC	WO
CI	4	5	5	5	5	5	5
CE	4/5	5	5	5	5	5	5
A	4	5	5	5	5	5	5
B	4/5	5	5	5	5	5	5
D	4/5	5	5	5	5	5	5
E	4/5	5	5	5	5	5	5
F	4/5	5	5	5	5	5	5
G	4/5	5	5	5	5	5	5
H	4/5	5	5	5	5	5	5
I	4/5	5	5	5	5	5	5
J	4/5	5	5	5	5	5	5
K	4/5	5	5	5	5	5	5

CA: acetato; CO: algodão; PA: poliamida; PES: poliéster; PAC: acrílica; WO: lã.
 Fonte: IPT, Laboratório têxtil, 2019.

Tabela 18 - Avaliação visual do ensaio de solidez à luz

Tempo de exposição	Alteração de cor				Nota Final (escala azul)
	44 h	68 h	92 h	147 h	
Amostra	Nota (escala cinza)				
CI	-	3	-	-	3/4
CE	-	4	4	3	4
A	-	3	-	-	3/4
B	-	3/4	3/4	3	4
D	-	3	-	-	3/4
E	3	-	-	-	2/3
F	3/4	3	-	-	3/4
G	3	-	-	-	2/3
H	3	-	-	-	2/3
I	3	-	-	-	2/3
J	3	-	-	-	2/3
K	3	-	-	-	2/3

Fonte: IPT, Laboratório têxtil, 2019.

Mongkhorrattanasit *et al.* (2014) avaliaram a alteração da cor quanto à solidez a lavagem, ao suor ácido e ao suor básico de amostras de vários tecidos tingidos com corante índigo natural, com e sem mordente. No caso de tecido de

algodão sem mordente os índices alcançados foram 4-5, 4 e 4-5, respectivamente. Tais resultados foram considerados como bons a muito bons e estão de acordo com a presente pesquisa. Da mesma forma Muzzazinah e Nunik (2016) também reportaram índices de 4-5 para alteração de cor após os testes de solidez à lavagem, solidez ao suor ácido e solidez ao suor básico em tecidos de algodão tingidos com *I. tinctoria*. Os resultados para transferência de cor dos autores nesses testes também ficaram de acordo com os da presente pesquisa.

Segundo esses autores, os valores encontrados atendem aos requisitos de qualidade estabelecidos pelo SNI (comitê têxtil da sociedade nacional das indústrias), que é de no mínimo 3-4 (moderado a bom). Isso sugere que a ligação entre o corante índigo e o tecido atingiu o equilíbrio máximo, impedindo que a cor desbote.

Ainda conforme os critérios de Muzzazinah e Nunik (2016), o tingimento possui alta solidez ao suor ácido e suor básico. De acordo com eles o valor de 4-5 já atende ao requisito de qualidade do corante, que é de pelo menos 3 (moderado), conforme estabelecido pelo SNI. Esses valores mais altos (tabelas 16 e 17) indicam que o corante índigo penetrou nas fibras do tecido, portanto não pode ser removido por soluções ácidas ou alcalinas.

Por outro lado os valores apresentados para a solidez à luz (tabela 18) não atenderam ao requisito de qualidade do corante estabelecido pelo SNI, que é um valor médio de 4 (bom). Segundo Muzzazinah e Nunik (2016), essa faixa de valor mostra que a ligação entre o corante índigo da *Indigofera t.* e as fibras do tecido é forte e estável, de modo que as cadeias moleculares não são quebradas quando o tecido é exposto à luz. Os autores sugerem que a estabilidade da cadeia molecular do corante índigo na fibra pode ser causada pela característica índigo de não exigir a etapa de fixação no processo de

coloração; em vez disso, a presença de oxigênio faz com que a indigotina se fixe firmemente no tecido e o torne resistente à descoloração pela luz.

Os autores relatam que ainda assim a solidez à luz é influenciada por vários outros fatores, como as propriedades químicas e físicas do corante, a concentração do corante, além de sua estrutura química. No caso da presente pesquisa é possível que a concentração do corante esteja abaixo do limite para incorporar solidez à luz ao tecido tingido.

5.5. Aplicação do material têxtil

Diante da distância da indústria do vestuário em ser configurada dentro de um sistema sustentável e a dificuldade de encontrar produtos para o mercado de moda responsável, percebeu-se a necessidade de desenvolver uma proposta de produto de moda que garanta padrões de produção e consumo responsáveis, que seja atraente esteticamente e gere valor para o consumidor.

Portanto, como etapa final da pesquisa, foi desenvolvido um projeto e a produção de uma peça experimental para a aplicação do tecido orgânico de algodão tingido com o corante índigo natural. O objetivo foi o desenvolvimento de um produto que reunisse as funcionalidades do material e os atributos do produto, gerando valor e significado para o consumidor e que faça parte de um sistema de economia circular aplicado à indústria do vestuário. Entretanto, nesse estudo, foram analisadas apenas as etapas da cadeia circular: materiais, design e produção.

Para relacionar um produto de moda sustentável com o sistema circular da indústria têxtil e do vestuário foi desenvolvida uma peça de roupa nomeada

como casaqueto, produzido com o material têxtil pesquisado e confeccionado por meio do método de modelagem resíduo zero⁸, conforme figura 25.

Figura 25 - Proposta do produto de moda utilizando o método de modelagem resíduo zero



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

As propriedades do material têxtil e seus aspectos funcionais foram especificados baseado em Kartick *et al.* (2016) e Chung (2016) sendo eles: biodegradabilidade, conforto térmico, absorção de umidade, toque suave e

⁸ Tipo de modelagem que tem como objetivo o aproveitamento total do tecido, sem gerar resíduos (ANICET *et al.* 2013).

resistência. Assim como, os atributos do produto foram analisados segundo Ashby e Johnson (2011), Cara (2010) e Lundblad e Davies (2016) no qual foram considerados o aspecto estético, a forma, a função, e o significado do produto para o consumidor.

Os requisitos do projeto foram detalhados em tópicos relacionados à sustentabilidade e a expectativa do consumidor, conforme tabela 19 (LUNDBLAD; DAVIES, 2016; CHUNG, 2016; KARTICK *et al.*, 2016). A tabela relaciona esses tópicos ao desenvolvimento da peça experimental proposto na pesquisa.

Tabela 19 - Relação entre necessidade do mercado e material/produto

Necessidade do mercado	Requisito do Projeto	Propriedade do material
Produto com menor geração de resíduos	Modelagem resíduo zero	Tecido com gramatura e caimento adequados para a modelagem resíduo zero
Produto com Ciclo de Vida mais longo	Estética atemporal com menor efemeridade	Alta durabilidade das propriedades visuais de cor e textura
	Associação do produto a um serviço de recolhimento das peças e encaminhamento para reutilização da matéria-prima	
	Alta qualidade e valor percebido	Alto conforto térmico
		Capacidade de absorção da umidade
Produto com menor impacto ambiental	Matéria-prima cuja produção gere menores impactos negativos ao meio ambiente	Alta resistência a repetidos ciclos de lavagem
		Toque suave e agradável
		Tecido produzido com algodão orgânico
		Tingimento com corante índigo natural
	Amaciamento com produto neutro	
Matéria-prima cujo descarte tenha impacto negativo reduzido ao meio ambiente	Matéria-prima cujo descarte tenha impacto negativo reduzido ao meio ambiente	Produção com menor liberação de produtos químicos
		Tecido e aditivos de tratamento biodegradáveis
Produto com responsabilidade social	Matéria-prima com rastreamento de produção	Algodão proveniente de comunidades de agricultura familiar
		Tecido produzido em uma cooperativa
		Tingimento realizado em comunidades de maneira natural e artesanal
	Projeto da peça valorizando profissionais nacionais	
	Fabricação das peças com valorização de comunidades locais	
Venda do produto com valorização do comércio local em lojas colaborativas		

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Conforme pode ser percebido na tabela 19, a proposta do produto de moda sustentável está de acordo com Kartick *et al.* (2016), Beltrão *et al.* (2010), Fletcher e Grose (2012), que considera que para o desenvolvimento sustentável de produtos têxteis, as fibras naturais devem ser preferencialmente usadas, como também os processamentos, os acabamentos e os tingimentos devem dar preferência aos produtos derivados de fontes naturais, por serem biodegradáveis e menos tóxicos para o meio ambiente,

Ainda assim, a intenção de desenvolver um produto de qualidade, que tenha um estilo próprio, toque agradável e permita que o consumidor sinta bem estar ao adquiri-lo, juntamente com características sustentáveis da matéria-prima corrobora com Chung (2016) quando, para os consumidores, os mesmos critérios que motivam a compra de um produto de moda comum, motivam a compra de um produto de moda sustentável, entre eles: benefícios relacionados ao custo pessoal de se adquirir uma peça, atributos do produto e atributos emocionais. Em vista disso, preço, conveniência, qualidade, satisfação, felicidade, estilo, design e caimento são alguns dos critérios utilizados na decisão de consumir. Assim, um produto de moda sustentável não seria consumido apenas pelas questões ambientais, mas sim pela combinação de todos os critérios citados.

Outro critério para a aquisição de um produto é o significado e valor que o objeto representa para o consumidor. Segundo Ashby e Johnson (2011) atributos estéticos, relacionados diretamente aos sentidos, como visão, tato, paladar, olfato e audição colaboram com a configuração visual para dar sentido ao produto.

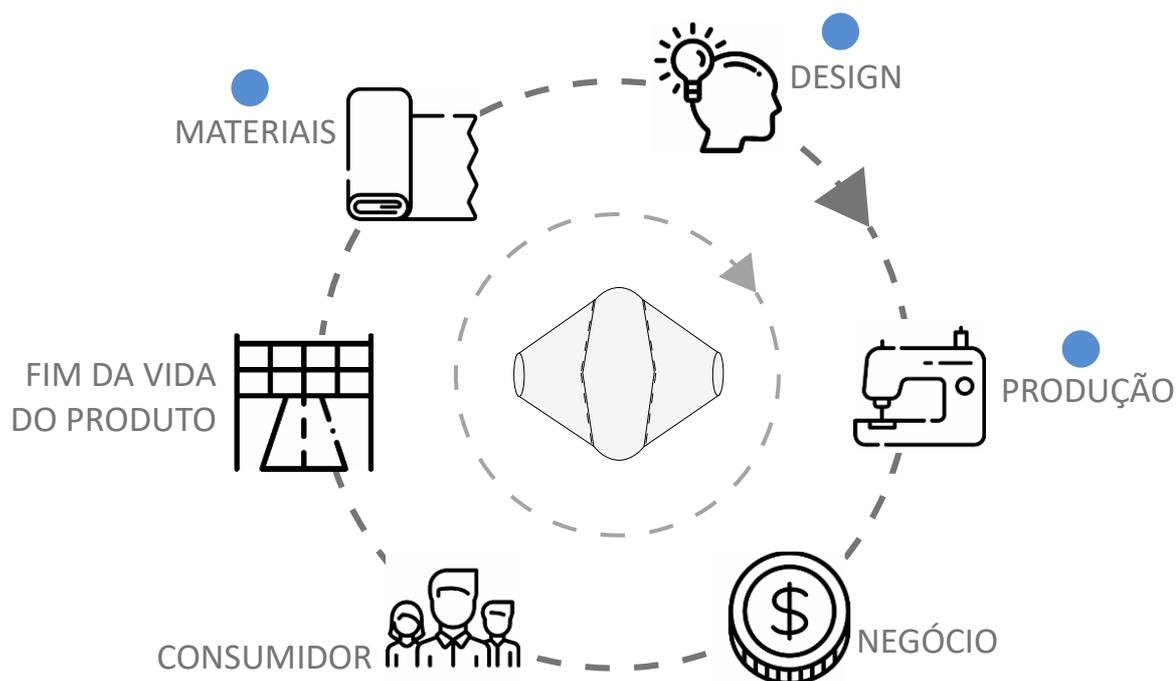
Diante disso, corroborando com os autores citados, a peça elaborada tem características próprias e exclusivas por ter sido tingida naturalmente e artesanalmente. Como também, foi desenvolvida dentro de um contexto no qual a matéria-prima biodegradável, o ciclo de vida do produto, sua linguagem

visual e os aspectos funcionais e técnicos contribuem para a construção da identidade do produto e para a criação de significado e valor para o consumidor, com o objetivo de transcender a efemeridade da moda. Bem como, segundo Lundblad e Davies, (2016), ser traduzido em bem estar, prática de justiça social, proteção do meio-ambiente e valorização da autoestima diante de um consumo de um produto de moda sustentável.

O resultado dessa combinação de processos é uma peça exclusiva e produzida de maneira responsável gerando valor e significado para consumidores conscientes, conforme relatado por Cardoso (2012), Ashby e Johnson (2011) e Dias (2009), que descrevem que a percepção do usuário é única, visto que ela é influenciada pelo contexto e experiência de cada indivíduo. Assim, a peça de moda sustentável terá valor e significado para consumidores que prezam por um consumo responsável.

A figura 26 apresenta as etapas onde o produto está inserido no sistema circular da indústria do vestuário baseado na seleção do material pesquisado, no design, e no método de produção. As etapas do negócio, consumidor e fim da vida do produto não foram estudadas nessa pesquisa, porém são etapas que fazem parte do sistema circular.

Figura 26 - Sistema circular da indústria do vestuário e etapas onde o produto proposto está inserido



● Etapas em que a aplicação do material e a proposta de produto atuam diretamente no sistema circular da indústria têxtil.

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O tecido de algodão orgânico utilizado nesse estudo é plantado por pequenos agricultores e foi adquirido em uma cooperativa têxtil da Paraíba, assegurando a relevância da rastreabilidade e transparência da matéria-prima no sistema circular, como afirma Chalmer *et al.* (2018). Como também, corrobora com Beltrão *et al.* (2019) que relata que o algodão orgânico é obtido sem a utilização de agrotóxicos e insumos prejudiciais à saúde humana, animal e ao meio ambiente, além de ser um fator de fixação do agricultor na zona rural, garantindo melhores condições socioeconômicas para o trabalhador.

Ainda, foi tingido com corante índigo natural, reduzindo a emissão de produtos tóxicos nos efluentes, sendo biodegradável e não carcinogênico, corroborando com Ul-Islam (2017), que relata que os corantes naturais possuem inúmeras características benéficas que o tornam superior aos corantes sintéticos.

A modelagem resíduo zero é um método de modelagem que minimiza a redução de resíduos desse processo. Esse método restringe, de certa forma, as opções de peças a serem produzidas. Contudo, cria peças atemporais, unissex e com uma modelagem que adapta a diversos biotipos, gerando valor para a etapa de design, cooperando com a criação de uma peça democrática e com possibilidade de uso prolongado, afirmando o que foi dito por Vezzoli (2008), que para reduzir verdadeiramente o impacto negativo gerado pela indústria do vestuário, o designer em seu processo de criação, precisa pensar o desenvolvimento do produto considerando todas as fases do ciclo de vida do produto.

Essa proposta de produto corrobora com Curwen *et al.* (2012) quando as soluções e princípios abordados, como o design de produto, o foco em materiais e a necessidade de inovação no design contribuem para o desenvolvimento de um produto de menor impacto social e ambiental. Assim como, para Manzini e Vezzoli (2008), a descontinuidade do sistema atual e linear de produção, alterando os fluxos de matéria-prima e energia, as relações entre os atores sociais, como também a mudança de critérios de valor e de juízos de qualidade irão ao encontro de uma sociedade sustentável.

CONCLUSÕES

A pesquisa propôs a encontrar alternativas para realizar o tingimento têxtil com o corante índigo natural de forma menos nociva ao meio ambiente e aplicar o material pesquisado em uma proposta de produto que seja inserido na economia circular da indústria do vestuário. Portanto, atingiu seu objetivo geral: minimizar os impactos ambientais negativos gerados pelos atuais métodos de tingimento com o corante índigo sintético na indústria têxtil e verificar a viabilidade de substituir o método convencional pelo tingimento natural utilizando o corante índigo natural, assim como reagentes químicos menos nocivos ao meio ambiente.

Diante disso, todos os objetivos específicos foram atendidos pelas etapas da metodologia, no qual se iniciou com a limpeza do tecido, pré-tratamento das amostras, preparação da redução do corante índigo e o tingimento. Ainda, as amostras passaram por ensaios de solidez da cor e colorimetria e por fim, foi aplicado o material têxtil pesquisado em uma proposta de produto inserido no contexto da sustentabilidade da indústria têxtil e do vestuário.

Assim sendo, as conclusões da pesquisa foram:

- As amostras que tiveram como redutor a frutose e como meio básico o NaOH realizaram a reação de redução mais rápido que as outras amostras, indicando que a frutose a uma temperatura de 50°C, sob condições altamente básicas pode ser considerada um reagente ecológico para a redução do corante índigo.
- O uso da glicose como redutor também necessita de um meio fortemente alcalino, além de uma temperatura mais alta comparada à

frutose. Assim, também pode ser considerada uma alternativa de redutor ecológico.

- A amostra que utilizou o Ca(OH)_2 , como meio básico, como alternativa mais ecológica ao NaOH não realizou a redução, pois não produziu o meio alcalino necessário para efetivar a redução.
- As amostras que utilizaram uma combinação de NaOH e Ca(OH)_2 levaram o maior tempo para iniciar a redução, no entanto a redução ocorreu, fato que pode ser atribuído à presença de NaOH.
- A amostra que teve o pré-tratamento com agente cationizante comercial, a combinação de NaOH e Ca(OH)_2 para tornar o meio alcalino, e a frutose como redutor obteve o tingimento mais próximo da amostra controle. E a força colorística da amostra cationizada com quitosana alcançou um aumento próximo a 30% em relação à amostra não cationizada. Esses resultados indicam que a cationização pode contribuir para a qualidade do tingimento. Contudo, ainda é necessário realizar novos experimentos com os agentes cationizantes .
- O tecido de algodão orgânico tingido com o corante índigo natural demonstrou propriedades de solidez da cor à lavagem satisfatória, alcançando índices de 4-5. A amostra que utilizou frutose como agente redutor e NaOH como meio básico apresentou melhor desempenho com relação à força colorística (K/S) comparado à amostra controle. Assim, a frutose pode ser considerada um substituto ecológico ao agente redutor ditionito de sódio e o meio alcalino utilizando NaOH puro é mais efetivo.
- Com relação ao teste de solidez ao suor ácido concluí-se que as amostras que usaram o NaOH puro como meio básico ficaram mais sensíveis às reações químicas e degradação do corante em meio ácido. Contudo, a avaliação visual alcançou resultado satisfatório, com índice 4-5, considerando boa solidez do tingimento.

- O ensaio de solidez ao suor alcalino também foi satisfatório, de acordo com o índice 4-5. As amostras que foram cationizadas tiveram o melhor desempenho com relação à força colorística.
- De modo geral, a solidez do tingimento à luz foi baixa e não atendeu ao requisito de qualidade.
- Em relação à aplicação do tecido em um produto de moda sustentável, buscou-se analisar a inserção do produto na economia circular, considerando as seguintes etapas: materiais, design, e produção. Assim, foi possível concluir que o material selecionado possui características sustentáveis, por ser um material de fonte renovável, orgânico e ser tingido naturalmente, como também a força de trabalho utilizada e os meios para a obtenção do tecido estão dentro de padrões éticos de produção.

Diante disso, a pesquisa demonstrou que a transição para a sustentabilidade na indústria do vestuário necessita de práticas e processos que permitam uma visão transparente da cadeia de suprimentos e que, a seleção do material e a escolha do processo de produção impactam toda a cadeia de valor.

Portanto, a transdisciplinaridade do design contribui com uma mudança de paradigma do sistema econômico - produtivo linear para um sistema circular da economia, envolvendo as diversas áreas do conhecimento, os atores da cadeia da indústria do vestuário e os consumidores a buscarem soluções para minimizar os impactos ambientais e sociais gerados pela indústria da moda. Ainda, cria valores imateriais e intangíveis e conexões afetivas propondo alternativas responsáveis ambientalmente de materiais e produtos que

permitam o consumidor a adotar práticas de consumo responsável, contribuindo para a preservação do planeta para as futuras gerações.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A realização desta pesquisa possibilitou o desenvolvimento de possíveis desdobramentos e estudos, a partir das conclusões, como:

- Estudo de outras bases ecológicas para tornar o meio alcalino.
- Pesquisa aprofundada usando agentes cationizantes para tratar o algodão.
- Estudo do efeito da fotodegradação e alternativas para minimizar o desbote de cor.
- Pesquisa sobre a qualidade da água do tingimento..
- Pesquisa da viabilidade de realizar o tingimento em outros tipos de fibras.
- Estudo de outras matérias-primas naturais corantes.

REFERÊNCIA

ADEEL, Shahid; RAFI, Sana; SALMAN, Mahwish. Potencial resurgence of natural dyes in applied fields. In: UI – ISLAM, Shahid. **Plant Based Natural Products: derivatives and applications**. New Jersey, USA: Wiley, 2017, v. 1, cap. 1, p. 1-26.

ALEBEID, Omer Kamal; ZHAO, Tao. Anti-ultraviolet treatment by functionalizing cationized cotton with TiO₂ nano-sol and reactive dye. **Textile Research Journal**, Estados Unidos, v. 85, n. 5, p. 449-457, 2014.

ANICET, Anne; RUTHSCHILLING, Evelise Anicet. Relações entre moda e sustentabilidade. In: COLÓQUIO DE MODA, 9, 2013, Fortaleza. **Anais do 9 Colóquio de Moda**. Fortaleza: Abepem, 2013.

ARMONI, Amnon. Prefácio. In: COBRA, Marcos. **Marketing e moda**. São Paulo: Editora Senac e Cobra Editora e Marketing, 2007.

ASHBY, M. F. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. Tradução de Arlete Simille. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ASHBY, Michael; JOHNSON, Kara. **Materiais e design: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto**. Tradução de Arlete Simille. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL. **Perfil do Setor**. Disponível em: <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 09 out. 2018.

BAAKA, Nouredine; HADDAR, Wafa; MAHFOUNDHI, Adel; MHENNI, M. F. Green dyeing process of modified cotton fibres using natural dyes extracted from *Tamarix aphylla* (L.) Karst. Leaves. **Natural Product Reserach**, v. 13, n. 33, p. 2-10, 2016.

BARANI, Hossein. Simultaneous synthesis of silver nanoparticles and natural indigo dyeing of wool fiber. **Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials**, p. 1-9, 2019.

BAUMAN, Zygmunt. **Vida para consumo: a transformação das pessoas em mercadoria.** Tradução Carlos Alberto Medeiros. Zahar: Rio de Janeiro, 2008.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos.** São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2000.

BECHTOLD, T.; TURCANU, A.; GANGLBERGER, E.; GEISLER, S..Natural dyes in modern textile dyehouses - how to combine experiences of two centuries to meet the demands of the future. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, p. 499 - 509, 2003.

BELTRÃO, Napoleão Esberard de Macêdo; DO VALE, Leandro Silva; MARQUES, Luciano Façanha; CARDOSO, Gleibson Dionizio; ARAÚJO, Whellyson Pereira. O cultivo do algodão orgânico no semi-árido brasileiro. Mossoró: **Revista Verde**, v. 5, n. 5, p. 8-13, 2010.

BISTAGNINO, Luigi. Design sistêmico: uma abordagem interdisciplinar para inovação. In: DE MORAES, Dijon; KRUCKEN, Lia. **Caderno de estudos avançados em design: Sustentabilidade II.** Barbacena: Eduemg, 2009. Cap. 1. p. 13-29. Tradução de Lia Krucken.

BLACKBURN, Richard S.; BECHTOLD, Thomas; JOHN, Philip. The development of indigo reduction methods and pre-reduced indigo products. **Coloration Technology**, n. 125, p. 193–207, 2009.

BROADBENT , Arthur D. Basic principles of textile coloration. Londres: Society of Dyers and Colourists, cap. 21, 22, 24, 2001.

BROOKS, Andrew. **Clothing poverty: the hidden world of fast fashion and second-hand clothes.** London: Zed Books, 2015.

BUNKHOLT, Ingjerd; KLEIV, Rolf Arne. The applicability of the Kubelka–Munk model in GCC brightness prediction. **Minerals Engineering**, v. 56, p. 129-135, 2014.

CARA, Milene. **Do desenho industrial ao design no Brasil: uma bibliografia crítica para a disciplina.** São Paulo: Blucher, 2010.

CARDOSO, Rafael. **Design para um mundo complexo.** São Paulo: Cosac Naify, 2012.

CHALMER, Caroline; EDER-HANSEN, Jonas; LEHMANN, Morten; TOCHTERMANN, Thomas; TÄRNEBERG, Sofia. **CEO Agenda 2018: seven sustainability priorities for fashion industry leaders**. Global Fashion Agenda, 2018.

CHAPMAN, Jonhathan Alexander. **Emotionally durable design: sustainable relationships between users and domestic electronic products**. 2008. 171 f., Tese (doutorado) – University of Brighton`s, Centre for Research and Development. Disponível em: http://eprints.brighton.ac.uk/6641/1/485756_Redacted.pdf. Acesso em: 12 de setembro de 2018.

CHAVAN, R. B. Indigo dye and reduction techniques. In: ROSHAN, Paul. **Denim: Manufacture, Finishing and Applications**. Woodhead Publishing Series in Textile. Cap. 3, p. 37-67, 2015.

CHOUDHURY, Asim Kumar Roy. Fabric dyeing and printing. In: CASSIDY, Tom (Ed.); GOSWAMI, Parikshit (Ed.). **Textile and clothing design technology**. Boca Raton: Taylor and Francis Group. Cap. 11, p. 281 – 332, 2018.

CHOUDHURY, Asim Kumar Roy. Fiber and filament dyeing. In: CASSIDY, Tom (Ed.); GOSWAMI, Parikshit (Ed.). **Textile and clothing design technology**. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2018. Cap. 6, p. 109 - 142.

CHUNG, Anna Perry Telin. Understand attitude-behavior gaps and benefit-behavior connections in Eco-Apparel. **Journal of Fashion Marketing and Management**, v. 20, n. 1, p. 105-119, 2016.

COLLIER, Billie J.; BIDE, Martin J.; TORTORA, Phyllis G. **Understanding Textiles**. 7 ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2009.

COSTA, Silgia Apararecida da. **Beneficiamento têxtil I: 2º relatório purga, alveamento e branqueamento ótico**. São Paulo: Universidade de São Paulo - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, 2013.

CROWLE, Genevieve. **Effects of cotton structure and surface interactions on dye uptake**. Tese de doutorado em filosofia. Deakin University, Australia, p. 239, 2017.

CURWEN, Lisa G.; PARK, Juyeon; SARKAR, Ajoy K. Challenges and solutions of sustainable apparel product development: a case study of Eileen Fisher. **Clothing and Textile Research Journal**, Michigan, v. 31, n. 1, p. 32-47, abril de 2012.

DE MORAIS, Giulia Pinheiro; PARODE, Fábio Pezzi. Moda e sustentabilidade: cenários a partir do design estratégico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 12, 2016, Belo Horizonte. **Anais do 12 Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. Belo Horizonte: Blucher, 2016. p. 1708-1719. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/ped2016/0145.pdf>>. Acesso em: 15 dez 2017.

DENIS, Rafael Cardoso. **Uma introdução à história do design**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

DIAS, Maria Regina Álvares Correia. **Percepção dos materiais pelos usuários**: modelo de avaliação Permatius. Tese de doutorado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC, Florianópolis, 2009.

DIAS, Regina Álvares; GONTIJO, Leila Amaral. Método para a seleção de materiais centrado no usuário. In: DE MORAES, Dijon; DIAS, Regina Álvares; BOM CONSELHO, Rosemary. **Cadernos de estudos avançados em design**: método. Barbacena: EdUEMG, 2011. Cap. 7, p. 117-132.

DOGAN, Selma Dolanbay; AKAN, Meral. A research on colours and fastness values of different materials dyed with some natural dyes. **International Journal of Materials Science and Applications**, v. 7, n. 3, p. 69-74, 2018.

DONDIS, Donis A. **A sintaxe da linguagem visual**. São Paulo: Martins Fontes, 1991, p. 51-83.

ETNO BOTÂNICA Serviços de Pesquisas & Comercio de Produtos Naturais Sustentáveis Ltda. Disponível em <<https://etnobotanica.com.br/>>. Acesso em 10 de agosto de 2019.

FARINA, Modesto; PEREZ, Clotilde; BASTOS, Dorinho. **Psicodinâmica das cores em comunicação**. 5 ed. São Paulo: Blucher, 2006.

FERGUSON, Stanley MacArthur; PADHYE, Rajiv. The effect of domestic laundry detergents on the light fastness of certain reactive dyes on 100% cotton. **Textile Research Journal**, Australia, v. 89, n. 6, p. 1105-1112, 2018. Disponível em: < journals.sagepub.com/home/trj>. Acesso em: 15 de julho de 2018.

FERREIRA, Eber Lopes. **Corantes naturais da flora brasileira**: guia prático de tingimento com plantas. Curitiba: Optagraf editora e gráfica, 1998.

FLETCHER, Kate; GROSE, Lynda. **Fashion and sustainability**: design for change. London: Laurence King, 2012.

GIACOMINI, Fernando; SILVA, Andreia Bortoluzzi da; SILVA, Márcia Gomes da; BARROS, Maria Angélica Simões Dornellas de. Análise da alteração de tonalidade em tecidos tintos com corantes naturais submetidos ao teste de solidez da cor à lavagem. **3º Contexmod: Congresso científico têxtil e de moda**. Fortaleza, v. 1, n. 3, agosto de 2015.

GONÇALVES, Eveline Filgueiras; OLIVEIRA, Rafael Alves de; NEVES, Dulce Amélia de Brito. Análise da informação imagética: uma abordagem sob a perspectiva cognitiva. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 22, n. 3, p.110-135, set/dez. 2016.

GONÇALVES, Maria do Carmo. Microscopia eletrônica de varredura. In: CANEVAROLO, Sebastião V. Jr. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2003. p. 165-176.

HOSSAIN, Md. Delwar; KHAN, Md. Mashiur; UDDIN, Md. Zulhash. Fastness properties and color analysis of natural indigo dye and compatibility study of different natural reducing agents. **Journal of Polymers and Environment**, v. 25, n. 4, p. 1219-1230, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-016-0900-6>. Acesso em: 06 de março de 2018.

HSU, Tammy M; WELNER, Ditte H; RUSS, Zachary N.; CERVANTES, Bernardo; PRATHURI, Ramya L.; ADAMS, Paul D.; DUEBER, John E..Employing a biochemical protecting group for a sustainable indigo dyeing strategy. **Nature Chemical Biology**, v. 14, n. 3, p. 256-261, 2018.

JABAR, J. M. Effect of rate of dyeing on the fastness properties of indigo dyed cotton fabrics. **Scholars World-IRMJCR**, v. 2, n. 1, 2014.

KAMEL, M. M; EL ZAWAHRY, M. M; AHMED, N.S.E.; ABDELGHAFAR, F. Ultrasonic dyeing of cationized cotton fabric with natural dye. Part 1: cationization of cotton using Solfix E. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 16, p. 243-249, 2009.

KARANA, Elvin; KESTEREN, Ilse van. Materials affect: the role of materials in product experience. In: DESMET, Pieter; VAN ERP, Jeroen; KARISSON, Mari Anne. **Design and Emotion Moves**. Cambridge: Cambridge Scholars Publishing, p. 221 – 246, 2008.

KARTICK, K. Samanta; BASAK, S.; CHATTOPADHYAY, S.K.. Potential of Ligno-cellulosic and Protein Fibres in Sustainable Fashion. In: MUTHU, Subramanian Senthilkannan; GARDETTI, Miguel Angel. **Sustainable Fibres for Fashion Industry**. Singapore: Springer, 2016. v. 2, cap. 5, p. 61-109.

KAZAZIAN, Thierry. **Haverá a idade das coisas leves: design e desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005.

KERR, John; LANDRY, John. **Pulse of the fashion industry 2017**. Copenhagen: Global Fashion Agenda e The Boston Consulting Group, 2017.

KROES, P. Design Methodology and the nature of technical artefacts. **Design Studies**, Inglaterra, v. 3, n. 23, p. 287-302, 2002.

KRUCKEN, Lia. **Design e território: valorização de identidades e produtos locais**. Studio Nobel: São Paulo, 2009.

KUNZ, A; ZAMORA, P. P., MORAES, S. G., DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, n.1, p.78-82, 2002.
LADCHUMANANANDASIVAM, Rasiah. **Processos Químicos Têxteis Volume III – Tingimento Têxtil**. 2. ed. rev. Natal: Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

LATTHE, Sanjay S.; TERASHIMA, Chiaki; NAKATA, Kazuya; FUJISHIMA, Akira. Superhydrophobic surfaces developed by mimicking hierarchical surface morphology of Lotus Leaf. **Molecules**, v. 19, p. 4256-4283, Japan, 2014. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/molecules>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

LAUFHUTTE, Maria Luiza; CIPINIUK, Alberto. Um bonde chamado consumo, um objeto chamado desejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 12, 2016, Belo Horizonte. **Anais do 12º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**. Belo Horizonte: Blucher Design Proceedings, 2016. p. 512-524. Disponível em: <<http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/um-bonde-chamado-consumo-um-objeto-chamado-desejo-24280>>. Acesso em: 01 dez 2017.

LI, Shan; CUNNINGHAM, Anthony B; FAN, Ruyan; WANG, Yuhua. Identity blues: the ethnobotany of the indigo dyeing by Landian Yao (lu Mien) in Yunnan, Southwest China. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 15, n. 13, p. 1-14, 2019.

LIMA, Anny Kelly Vasconcelos de Oliveira; DUARTE, Simone Mirtes Araújo; SILVA, Lenice. Caracterização da reflectância e grau de amarelamento da fibra do algodão BRS 200 Marrom armazenada. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, n. 2, 2009.

LIPOVETSKY, Gilles. **O império do efêmero: a moda e seu destino nas sociedades modernas**. Tradução Maria Lucia Machado. São Paulo: Companhia das Letras, 2009.

LIU *et al.* Recent Progress in Fabrication and Applications of Superhydrophobic Coating on Cellulose-Based Substrates. **Materials**, v. 9, n. 124, p. 1-37, 2016. Disponível em: <www.mdpi.com/journal/materials> Acesso em 15 de maio de 2017.

LÖBACH, B. **Design Industrial**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2001.

LUNDBLAD, Louise; DAVIES, Ian A. The values and motivations behind sustainable fashion consumption. **Journal of Consumer Behavior**, v. 15, p. 149-162, 2016.

MANZINI, Ézio. VEZZOLLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. Tradução de Astrid de Carvallho. 3. ed. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 2008.

MARTINS, Carla Cristina Siqueira; MARTINS, Ana Caroline Siqueira. A dimensão cultural do consumo de moda: uma discussão teórica. In: CONGRESSO CIENTÍFICO TÊXTIL E MODA, 5, 2017, São Paulo. **Contexmod**. São Paulo: ABTT, 2017.

MASSAROTTO, Ludmila Prado. Moda e identidade: o consumo simbólico do vestuário. In: COLÓQUIO DE MODA, 4, 2008, São Paulo. **Anais do IV Colóquio de Moda**: grupo de trabalho. São Paulo: Fapesp, 2008. Disponível em < http://www.coloquiomoda.com.br/anais_ant/anais/4-Coloquio-de-Moda_2008/39705.pdf >. Acesso em: 01 dez 2017.

MICHEL, A. T.; BILLINGTON, S. L. Characterization of poly-hydroxybutyrate films and hemp fiber reinforced composites exposed to accelerated weathering. **Polymer Degradation and Stability**, v. 97, p. 870-878, 2012.

MOLES, Abraham A. **Teoria dos objetos**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1981.

MONGKHOLRATTANASIT, Rattanaphol; KLAICHOI, Charoon; MUDCHIEW, Orawan; PUNRATTANASIN, Nattaya; SASIVATCHUTIKOOL, Nuttanan; RUNGRUANGKITKRAI, Nattadon. Effect of ferrous sulfate to improve UV-protection property of cotton fabric dyed with natural índigo. **Advanced Materials Research**, v. 1030–1032, p. 418–421, 2014.

MOREIRA, Ana Paula; FANGUEIRO, Raul; LEAL, Nuno Sá. Estratégias de comunicação de produtores de fibras funcionais para artigos têxteis: a corrente de comunicação como estratégia para incentivar novos produtos e ideias na cadeia têxtil. **Estratégia e Negócios**, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 67-87, jan./abr. 2012. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/EeN/index> &t;. Acesso 20 nov. 2017.

MOSES, J. Jeyakodi; VENKATARAMAN, V.K. Study of K/S, Anti-bacterial, UV-protection, Anti-odor and SEM on Chemical Treated Cotton Fabrics. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, Thousand Oaks, v. 12, n. 2, p.39 - 49, 2017.

MUZZAZINAH, Tatik Chikmawati; NUNIK, Sri Ariyanti. Correlation of morphological characteristics with the presence of indicant in *indigofera sp.* dyestuff. **Sains Malaysiana**, v. 45, n. 6, p. 883–890, 2016.

NIEMEYER, Lucy. **Elementos de semiótica aplicados ao design**. 4 tiragem. Rio de Janeiro: 2AB, 2010.

O'HIRE, Tom; GOSWAMI, Parikshit. Fibers and filament. In: CASSIDY, Tom (Ed.); GOSWAMI, Parikshit (Ed.). **Textile and clothing design technology**. Boca Raton: Taylor and Francis Group, 2018. Cap. 2, p. 5 - 26.

ÖKTEM, T; GÜREL, A; AKDEMIR, H. The characteristic attributes and performance of naturally colored cotton. **AATCC Review**, v. 3 n.5, p. 24–27, 2003.

ONU. Organização das Nações Unidas. Agenda 2030. Disponível em <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em 06/07/2019.

PAES, J. T; OLIVEIRA, D. A. J.; NASCIMENTO, J. H. O.; OLIVEIRA, F. R. Influência da cationização da fibra de PLA no processo de tingimento com corante ácido. In: **Congresso Científico Têxtil e de Moda**, 3, 2015, Fortaleza.

PAZMINO, Ana Verónica. Uma reflexão sobre design social, eco design e design sustentável. In: **I Simpósio Brasileiro De Design Sustentável**. 2007, Curitiba. p. 1-10. Disponível em: <<http://naolab.nexodesign.com.br/wp-content/uploads/2012/03/PAZMINO2007-DSocial-EcoD-e-DSustentavel.pdf>> Acesso em: 17 de fevereiro de 2018.

PEDROSA, Israel. **Da cor à cor inexistente**. Rio de Janeiro: Léo Christiano Editorial Ltda., 1982.

REFOSCO, Ereany; MAZZOTTI, Karla; SOTORIVA, Márcia; BROEGA, Ana Cristina. O novo consumidor de moda e a sustentabilidade. In: COLÓQUIO DE MODA, v. 7, 2011, São Paulo. **Anais do VII Colóquio de Moda**. São Paulo: Fapesp, 2011. Disponível em: https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/14946/1/Cbroega_04.pdf. Acesso em 30 nov 2017.

RYM, Mansour; FAROUK, Mhenni; BECHIR, Ezzili M. Dyeing properties of cationized and non cationized cotton fabrics dyed with *vitis vinífera L.* Leaves extract. **Middle-East Journal of Scientific Research**, Pakistão: International Digital Organization for Scientific Information, v. 21, n. 9, p. 1600-1604, 2014.

SAIKHAO, Laksanawadee; SETTHAYANOND, Jantip; KARPKIRD, Thitinun; BECHTOLD, Thomas. Green reducing agents for indigo dyeing on cotton fabrics. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, p. 106-113, 2018.

SAIKHAO, Laksanawadee; SETTHAYANOND, Jantip; KARPKIRD, Thitinun; SUWANRUJI, Potjanart. Comparison fo sodium dithionite and glucose as a reduce agent for natural indigo dyeing on cotton fabrics. **Matec Web of Conferences**, v. 108, n. 03001, 2017.

SAKTHIVEL, V. Traditional Indigo Dyeing. In: **National Workshop And Seminar On Vegetable Dye And Its Application On Textiles**, 2011, Birbhum. National workshop and seminar on vegetable dye and its application on textiles. Book of Abstracts. Birbhum: Department of Silpa--Sadana Visva--Bharati, 2011, p. 74-78.

SALEM, Vidal. **Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias**. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, cap. 1, p. 17 – 29, 2010.

SANTOS, Vera Lucia Vogel Faustino dos; BARCELLOS, Ivonete Oliveira; PICCOLI, Heiderose Herpich. Pre-alvejamento de materiais têxteis com ozônio e avaliação de suas propriedades de superfície, físicas e tintoriais. **Revista Matéria**, v. 22, n. 1, 2017.

SANTOS, Igor Luís F.; GALVÃO, Felipe M. F.; NASCIMENTO, José Heriberto O.; OLIVEIRA, Fernando R.; SILVA, Késia K. de O. S.. Estudo do processo de funcionalização de diferentes materiais têxteis com biopolieletrólito natural. In: Congresso Científico Têxtil E Moda, v. 4, Blumenau, 2016. **Contexmod**, São Paulo: ABTT, 2016.

SAXENA ,S.; RAJA, A.S.M. Natural Dyes: Sources, Chemistry, Application and Sustainability Issues. In: MUTHU, S. (eds). **Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing**. Textile Science and Clothing Technology. Singapore;Springer, 2014.

SHIN, Younsook; CHOI, Min; YOO, Dong Il. Utilization of fruit by-products for organic reducing agent in indigo dyeing. **Fibers and Polymers**, v. 14, n. 12, p. 2027-2031, 2013.

SHUVO, Il. A step-by-step chemical recipe to dye commercial cotton with natural indigo dyes in an open bath for the beginners and artisans. **Journal of Textile Science & Engineering**, v. 8, n. 1, p. 1-7, 2018.

SILVA, Patrícia Muniz dos Santos. Corantes naturais das cascas das árvores *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville e *Croton urucurana* Baill., nativas do Brasil: extração, tingimento, solidez de cor e caracterização do efluente. **Dissertação de mestrado da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo**, USP, São Paulo, 2018.

SILVEIRA, Luciana M. A cor como linguagem: da fisiologia à cultura. **Galáxia**, São Paulo, v. 2, p. 251-253, 2001.

SINHA, Keka; SAHA, Papita Das, Datta Siddhartha. Extraction of natural dye from petals of flame of forest (*Butea monosperma*) flower: process optimization using response surface methodology (RSM). **Dyes and Pigments**, v. 94, n. 2, p. 212–216, 2012.

SLATER, Keith. **Environmental impact of textiles: production, processes and protection**. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd in association with The Textile Institute, 2003.

STAHEL, W. R. Circular economy. **Nature**. v. 531, p. 435-438, 2016.

TEIXEIRA, Marcelo Geraldo; CÉSAR, Sandro Fábio. Ecologia industrial e eco-design: requisitos para a determinação de materiais ecologicamente corretos. **Revista Design em Foco**, Salvador, v. II, n.1, p. 51-60, janeiro-junho, 2005. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66120105>. Acesso 20 novembro de 2017.

TEXTILE WORLD. Disponível em < <https://www.textileworld.com/textile-world/textile-news/2000/10/cationic-pretreatments-of-cotton/>>. Acesso em 10 de agosto de 2019.

THAKUR, Vijay Kumar. **Green composites from natural resources**. Boca Raton: Taylor and Francis Group, LLC, 2010.

TICHA, M. Ben; MESKI, N.; DRIRA, N.; KECHIDA, M.; MHENNI, M. F.. A promising route to dye cotton by indigo with an ecological exhaustion process: a dyeing process optimization based on a response surface methodology. **Industrial Crops and Products**, v. 46, p. 350-358, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669013000897>>. Acesso em: 03 de março de 2018.

TU, Zhihao; LOPES, Helena de Fátima Silva; IGARASHI, Kensuke; YUMOTO, Isao. Characterization of the microbiota in long- and short-term natural indigo fermentation. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 46, n. 12, p. 1657-1667, 2019.

UI-ISLAM, Shahid. **Plant-based natural products: derivatives and applications**. USA: Scrivener, 2017.

UI-ISLAM, Shahid; RATHER, Luqman Jameel; SHAHID, Mohammad; KHAN, Mohd Ali; MOHAMMAD, Faqeer. Study the effect of ammonia post-treatment on color characteristics of annatto-dyed textile substrate using reflectance spectrophotometry. **Industrial Crops and Products**, v. 59, p. 337-342, 2014.

UNIETHOS. **Sustentabilidade e Competitividade na Cadeia da Moda**. São Paulo: Uniethos, 2013. Disponível em <<http://uniethos.b2bnetwork.com.br/dash/uploads/sistema/Estudos-e-Pesquisas/O%20Uniethos%20lan%C3%A7ou%20em%20julho%20de%202013%20o%20estudo%20Sustentabilidade%20e%20Competitividade%20na%20Cadeia%20da%20Moda.pdf>>. Acesso em: 9 out 2017.

VALENTE, Amanda Caroline; OLIVEIRA, Rui de. Poliamida: solidez da cor para o desenvolvimento da indústria. **Revista da Unifebe**, v. 9, p. 1-17, 2011.

VEZZOLI, Carlo. Cenário de design para moda sustentável. Tradução Kathia Castilho. In: PIRES, Baduy Dorotéia (org). **Design de moda: olhares diversos**. 1. ed. São Paulo: Estação das letras, 2008.

WALTER, Yuri. **O conteúdo da forma: subsídios para seleção de materiais e design**. Bauru, SP: dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação Desenho Industrial, da FAAC - UNESP – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2006.

YUSSUF, M.; SHABBIR M.; MOHAMMAD, F. Natural colorants: historical, processing and sustainable prospects. **Natural products and bioprosect**. v. 7, n. 1, p. 123-145, 2017. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28093670>>. Acesso em: 20 jan 2018.

ZARKOGIANNI, Maria; MIKROPOULOU, Eleni; VARELLAB, Evangelia; TSATSARONIA, Eforia. Colour and fastness of natural dyes: revival of traditional dyeing techniques. **Coloration Technology**, v. 127, p. 18-27, 2010.

ZHOU, C.; WU, Q. Recent Development in Application of Cellulose Strategies Nanocrystals for Advanced Polymer-Based Nanocomposites by Novel Fabrication. In: NERALLA, S. **Nanocrystals - Synthesis, Characterization and Applications**. London: Intech Open, 2012. cap. 6, p. 103-120. Disponível em: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/38562/InTech-Recent_development_in_applications_of_cellulose_nanocrystals_for_advanced_polymer_based_nanocomposites_by_novel_fabrication_strategies.pdf>. Acesso em: 25 de junho de 2018.

ZHUANG, Guanzheng; JABER, Maguy; RODRIGUES, Francisco; RIGAUD, Baptiste; WALTER, Philippe; ZHANG, Zepeng. A new durable pigment with hydrophobic surface based on natural nanotubes and indigo: interactions and stability. **Journal of Colloid and Interface Science**, 2019.