



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

AMANDA CASTRO CAMPOLINA

**VIABILIDADE DE UM TINGIMENTO REATIVO SUSTENTÁVEL COM  
REDUÇÃO DE ELETRÓLITO E DE PRODUTO AUXILIARES.**

NATAL/RN

2022

AMANDA CASTRO CAMPOLINA

**VIABILIDADE DE UM TINGIMENTO REATIVO SUSTENTÁVEL COM  
REDUÇÃO DE ELETRÓLITO E DE PRODUTO AUXILIARES.**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Química, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Profa. Andréa Oliveira Nunes.

NATAL/RN

2022

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Campolina, Amanda Castro.

Viabilidade de um tingimento reativo sustentável com redução de eletrólito e de produto auxiliares / Amanda Castro Campolina.  
- Natal, RN, 2022, 2022.  
67 f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de tecnologia, Curso de Engenharia Química.  
Orientadora: Profa. Dra. Andrea Oliveira Nunes.

1. Indústria têxtil - Monografia. 2. Tingimento reativo - Monografia. 3. Produção sustentável - Monografia. I. Nunes, Andrea Oliveira. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 677.027

AMANDA CASTRO CAMPOLINA

**VIABILIDADE DE UM TINGIMENTO REATIVO SUSTENTÁVEL COM  
REDUÇÃO DE ELETRÓLITO E DE PRODUTO AUXILIARES.**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado e aprovado como requisito parcial para obtenção do Título de bacharel em Engenharia Química, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Natal, 13/07/2022

---

Profa. Dra. Andrea Oliveira Nunes

Orientadora - UFRN

---

Prof. Dr. Gilson Gomes de Medeiros

Membro 1- UFRN

---

Profa. Dra. Magna Angelica dos Santos Bezerra Sousa

Membro 2- UFRN

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a toda a minha família, em especial aos meus pais, Patrícia Campolina e Eduardo Campolina, e minha irmã, Anne Campolina, por sempre me incentivarem e me apoiarem nos meus estudos e em qualquer dificuldade que enfrentei.

Agradeço a minha professora orientadora Andrea Oliveira por, primeiramente, ter sido uma professora excelente na minha graduação e, também, por ter aceitado me guiar nessa jornada, sempre disponível a me ajudar e aprimorar meu trabalho. Além disso, também agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e aos professores do Departamento de Engenharia Química em geral, por contribuir com todo o conhecimento para a minha formação acadêmica e profissional.

Um agradecimento importante vai para todos os meus colegas de graduação por estarem ao meu lado durante esses 5 anos de formação, em especial para Beatriz e João.

Por fim, gostaria de agradecer aos meus orientadores de estágio, como Monica, Ivanilson e Robério, por tornarem esse trabalho possível, permitindo que eu usasse todo o conhecimento adquirido como objeto de estudo para o tema desta pesquisa, assim como a minhas amigas e colegas de trabalho, como Raissa e Maria Eduarda.

## RESUMO

A exploração dos recursos naturais sem limites trouxe uma grande preocupação em relação ao futuro. Cada vez mais, os diversos setores estão se adaptando para tentar alcançar uma produção mais sustentável, procurando reduzir impactos ambientais em equilíbrio com a viabilidade econômica. Diante disso, a indústria têxtil é considerada umas das mais poluidoras devido à alta geração de resíduos sólidos, ao grande volume de água e à quantidade de energia utilizados nos processos, assim como a enorme quantidade de efluentes líquidos gerados no beneficiamento têxtil (o qual inclui pré-tratamentos, tingimentos e acabamento de tecidos), os quais são muito contaminados e difíceis de tratar. Tendo em vista o que foi exposto, este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade de um tingimento reativo mais sustentável de uma meio malha 100% algodão, considerando o impacto ambiental e econômico do processo. Para colocar o processo em perspectiva e ter-se uma referência, o processo a ser avaliado foi comparado a um processo de tingimento tradicional, e foram considerados aspectos como quantidade de corantes e produtos auxiliares, água e energia. Além disso, para comprovar a qualidade do tingimento sustentável, foram feitos testes de qualidade para determinar a solidez do substrato têxtil tingido. Os resultados mostraram que, apesar do custo permanecer praticamente o mesmo para ambos os processos comparados, existe uma redução de 46,78% em massa de produtos totais utilizados, redução de 25% de energia térmica utilizada, e uma redução de mais de 2000 litros de água por batelada. Ademais, os resultados dos testes de qualidade dos substratos têxteis tingidos pelo processo mais sustentável foram bem-sucedidos e todos aprovados. Portanto, além de ter se mostrado economicamente viável, esse processo de tingimento alternativo produz peças de boa qualidade e solidez, ao mesmo tempo em que reduz impactos ambientais e possivelmente trará redução de custos para os futuros tratamentos dos efluentes gerados por ele.

Palavras chave: Indústria têxtil, Efluentes, Sustentável, Tingimento reativo, Solidez.

## **ABSTRACT**

The exploitation of natural resources without limits has brought great concern in relation to the future. Many sectors are adapting to achieve more sustainable production, seeking to reduce environmental impacts in balance with economic viability. Based on the considerations above, the textile industry is considered one of the most polluting due to the high generation of solid waste, the large use of water and the amount of energy used in the processes, as well as the huge amount of liquid effluents generated in textile processing (which includes pretreatment, dyeing and finishing of fabrics), which is very difficult to treat. As a result of that, this work aims to study the viability of a sustainable reactive dyeing of a 100% cotton fabric considering the environmental and economic impact of the process. To put the process in perspective and to have a reference, the process to be evaluated was compared to a traditional dyeing process and aspects such as the amount of dyes and auxiliaries products, water and energy were considered. To prove the quality of the sustainable dyeing, quality tests were made to determine the color fastness of the dyed textile substrate. The results showed that although the cost remains practically the same for both processes, there is a reduction of 46.78% in mass of total used products, 25% reduction in thermal energy and a reduction of more than 2000 liters of water per batch. In addition, the results of the quality tests of the textiles dyed by the sustainable process were successful and all approved. Furthermore, this alternative dyeing process has proved to be economically viable, and to produce textiles with good quality and high color fastness, while reducing environmental impacts and will possibly bring cost savings for future treatments of the effluents generated by it.

**Keywords:** Textile industry, Effluents, Sustainable, Reactive Dyeing, Color fastness.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Sustentabilidade e suas dimensões. ....	14
Figura 2-Planta de indústria têxtil .....	17
Figura 3- Estrutura de um tecido plano, malha e não tecido. ....	17
Figura 4- Escala cinza. ....	22
Figura 5-Espaço CIE LAB. ....	23
Figura 6-Classificação das fibras têxteis .....	24
Figura 7- Estrutura da celulose.....	26
Figura 8- Exemplo de cromóforos em molécula de corantes. ....	27
Figura 9- Grupos auxocromos destacados em moléculas de corantes. ....	28
Figura 10- Estrutura de um corante reativo.....	29
Figura 11-Reação de tingimento do algodão com corantes reativos contendo grupos diclorotriazina .....	30
Figura 12-Reação de substituição nucleofílica no tingimento com corante reativo.....	31
Figura 13- Reação de adição nucleofílica no tingimento com corante reativo .....	31
Figura 14- Cortador de gramatura.....	39
Figura 15- Molde DELTA para teste de encolhimento .....	40
Figura 16- Placa para medir a torção do tecido.....	40
Figura 17- Teste de solidez (a direita pode-se uma testemunha já manchada por migração) ....	41
Figura 18-Crockmeter .....	41
Figura 19-Tabela de tolerância de solidez à fricção.....	42
Figura 20- Máquina de tingimento Mini-Soft E da THIES.....	43
Figura 21- Máquina de tingimento IMaster F da THIES. ....	43
Figura 22-Gráfico de Pré-alvejamento do processo de tingimento tradicional. ....	44
Figura 23- Gráfico de Pré-alvejamento do processo de tingimento sustentável. ....	44
Figura 24- Gráfico de tingimento do processo de tingimento tradicional.....	45
Figura 25- Gráfico de tingimento do processo de tingimento sustentável. ....	45
Figura 26- Gráfico de lavagem do processo de tingimento tradicional.....	46
Figura 27- Gráfico de lavagem do processo de tingimento sustentável. ....	46
Figura 28- Máquina de tingimento de bancada da marca Mathis. ....	48
Figura 29-Amostra 1 tingida a esquerda/amostra 2 tingida a direita.....	50
Figura 30- Amostra tingida com concentração de corantes ajustada. ....	51
Figura 31- Fluxograma do processo de tingimento reativo tradicional.....	51
Figura 32- Fluxograma do processo de tingimento reativo sustentável. ....	52
Figura 33- Gráfico comparativo de produtos da fase de pré alvejamento.....	53
Figura 34- Gráfico comparativo de produtos da fase de tingimento .....	54
Figura 35- Gráfico comparativo de produtos da fase de lavagem.....	56
Figura 36- Gráfico do gasto de água no processo de tingimento. ....	57
Figura 37- Gráfico de comparação de energia térmica. ....	59

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	11
2. Revisão bibliográfica.....	13
2.1 Indústria da Moda e sustentabilidade.....	13
2.2 Indústria têxtil.....	15
2.2.1 Processo de produção da indústria têxtil.....	16
2.3 Beneficiamento têxtil secundário: Processo de tingimento.....	18
2.3.1 Teste de qualidade de tingimento.....	21
2.4 Tipos de Fibras.....	24
2.4.1 Fibra natural de celulose: Algodão.....	25
2.5 Corantes.....	26
2.5.1 Corantes reativos e seu processo de tingimento com algodão.....	28
2.6 Impactos ambientais causados pela indústria têxtil.....	32
2.7 Tingimentos com corantes reativos com uso de alternativas sustentáveis.....	35
3. Metodologia.....	38
3.1 coleta de dados.....	38
3.2 Matéria prima utilizada.....	38
3.3 Testes de qualidade.....	38
3.3.1 Teste de gramatura.....	38
3.3.2 Encolhimento.....	39
3.3.3 Torção.....	40
3.3.4 Solidez à lavagem.....	40
3.3.5 Solidez à fricção.....	41
3.3.6 Cor.....	42
3.4 maquinário utilizado.....	42
3.4.1 Maquinário utilizado para reproduções do processo de tingimento em produção.....	42
3.4.2 Maquinário utilizado como referência para quantificação dos produtos auxiliares, corantes e insumos utilizados.....	43
3.5 Processo e produtos de tingimento.....	43
3.5.1 Pré alvejamento.....	43
3.5.2 Tingimento.....	44
3.5.3 Lavagem.....	45
3.5.4 Produtos auxiliares e corantes.....	46
3.5.5 Correção de cor da amostra.....	48

4. Resultados e discussões.....	49
5. Conclusão .....	62
6. Referências .....	63

## 1. INTRODUÇÃO

A humanidade usa mais de 74% de recursos naturais do que os ecossistemas do planeta conseguem regenerar, ou seja, o equivalente a “1,7 planetas Terra”. Ao fim de 209 dias do ano de 2021, a Humanidade já esgotou mais uma vez os recursos biológicos e naturais que o planeta Terra tem capacidade para renovar durante 12 meses (SILVA, 2021). Dessa forma, a busca por produções mais sustentáveis é o alvo principal para tentar amenizar essa situação. Nos termos do Processo de Marrakech, "produção sustentável" pode ser entendida como sendo a incorporação, ao longo de todo o ciclo de vida de bens e serviços, das melhores alternativas possíveis para minimizar impactos ambientais e sociais. Acredita-se que esta abordagem reduz, prevenindo mais do que mitigando, impactos ambientais e minimiza riscos à saúde humana, gerando efeitos econômicos e sociais positivos (MMA, 2022).

Nesse sentido, a indústria têxtil se destaca pela grande capacidade poluidora. Ao longo de todo o processo de produção de matéria prima, fiação, tecelagem, beneficiamento têxtil e transporte de produtos, existe um enorme gasto de água, energia, emissões de carbono e descartes de resíduos sólidos e efluentes. Dentre essas etapas, o beneficiamento têxtil (que engloba preparação, tingimento e acabamento de tecidos) é responsável por uma parcela significativa de efluentes líquidos. Estima-se que cerca de 150 litros de água são necessários para produção de um quilo de tecido, sendo que, desse volume, são descartados 88% como efluentes líquidos e 12% são perdidos por evaporação (LEAO *et al.*, 2002).

Além disso, diversos produtos químicos e corantes são utilizados na fase de tingimento, os quais são incorporados diretamente nos efluentes. Considerando que a remoção deles é difícil porque são muito solúveis, eles modificam as características dos recursos naturais e dos seres vivos que habitam os ecossistemas, pois impedem a passagem da radiação solar, alterando a fotossíntese e sendo absorvidos pelos organismos. Para a saúde humana, como em regra são tóxicos, esses compostos, além do forte odor exalado, se ingeridos ocasionam problemas que podem estar associados ao câncer de bexiga e do fígado (TONIOLLO *et al.*, 2015).

Os corantes reativos são amplamente utilizados na indústria têxtil para a fase de tingimento, e são conhecidos por resultarem em cores brilhantes. Como o nome sugere,

necessitam de uma série de reações para que haja o acoplamento do corante à fibra. Para que ocorram tais reações, são necessários uma série de fatores, reagentes e condições ideais. Esta classe de corantes, geralmente é mais sensível à temperatura, ao pH e até mesmo ao contato com a água. Estes são largamente utilizados para o tingimento de fibras de origem celulósicas, como a viscose, o algodão, o rami, entre outras. Destas, o algodão é a fibra mais utilizada mundialmente no ramo têxtil e cerca de 50% do corante utilizado nos tingimentos são corantes reativos (WALTRICK, 2019).

Devido a todo impacto causado pela fase de tingimento, diversas pesquisas estão sendo conduzidas a fim de alcançar processos mais sustentáveis. É extremamente visada a redução de qualquer impacto ambiental, como diminuição do uso de água, energia, assim como alternativas ao excesso de químicos utilizados, implicando efluentes menos poluidores.

Por fim, o objetivo deste trabalho é trazer uma alternativa sustentável ao processo tradicional de tingimento reativo da fibra de algodão. A viabilidade do novo método proposto é testada através de comparações da quantidade do uso de produtos, insumos, e por meio de testes de qualidade para o substrato têxtil tingido.

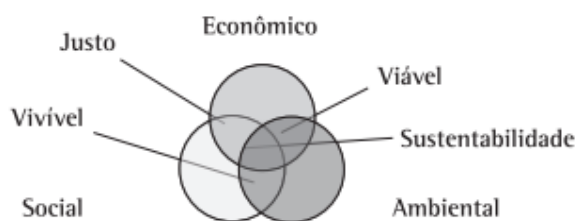
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INDÚSTRIA DA MODA E SUSTENTABILIDADE.

De acordo com Oliveira *et al.* (2012), o termo “Sustentabilidade” foi oficialmente apresentado na Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), em 1987, com o lema de “satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades” (COMISSÃO..., 1988). Posteriormente, esse conceito, juntamente com discussões de termos como “eficiência” e a criação de cúpulas como a ECO 92, trouxe a ideia do Triple Bottom Line - a partir do estudo de Elkington (1994). Esta é conhecida pelos 3P (People, Planet e Profit) que refletem os três pilares do desenvolvimento sustentável (social, ambiental e econômico) e que podem ser analisados separadamente: o pilar econômico, cujo propósito é a criação de empreendimentos viáveis; o pilar ambiental tem objetivo de analisar a interação de processos com o meio ambiente sem lhe causar danos permanentes; e o pilar social, que se preocupa com o estabelecimento de ações justas para trabalhadores, parceiros e sociedade. Vale ressaltar que, recentemente, um quarto pilar chamado de cultural foi incorporado, no entanto, este pilar ainda não foi totalmente adotado pelas organizações como forma de análise para a sustentabilidade.

Como mostrado na Figura 1, pode-se ainda analisar esses fatores em conjunto: eles se comportam de forma que a interseção entre os pilares econômico e ambiental resulta em viável, o econômico e o social em justo e o social e ambiental em um meio vivível, e, por fim, a interseção dos três pilares resultaria no alcance da sustentabilidade. Visto que o avanço da industrialização impactou de forma severa o meio ambiente, diversos acordos ambientais já foram assinados nos últimos anos, como o Protocolo de Kyoto, e mecanismos de gerenciamento de produções foram criados, como o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) e o conceito de Produção Limpa (PL), os quais são implementados com objetivo de reduzir os danos futuros e tentar reparar de alguma forma os danos atuais. Todos esses avanços são muito relevantes pois, como citado por Trevisan *et al.* (2008), a “[...] responsabilidade socioambiental deixou de ser uma opção para as organizações, ela é uma questão de visão, estratégia e, muitas vezes, de sobrevivência”.

Figura 1 - Sustentabilidade e suas dimensões.



Fonte: Oliveira *et al.*, 2012.

Graças ao conjunto de metáforas da unidade da espécie e da inclusão de todos, articuladas no conceito de Desenvolvimento Sustentável, são superadas as fronteiras nacionais e as possíveis barreiras legais que porventura possam existir para implementar os projetos ambientais que se abrigam no referido modelo de desenvolvimento e no mais significativo plano de ação ecológica global, a Agenda Global 21 (FERNANDES, 2006). Dessa forma, é inevitável que empresas e indústrias se tornem adeptos a processos e práticas que impactem menos o meio ambiente, associando esse pilar ao econômico e ao social.

Segundo Guimarães (2014), a indústria têxtil não é apenas considerada como uma das mais impactantes como também uma das mais complexas no sentido de rastreamento de impactos e também de controle destes. Durante toda a cadeia têxtil existe um alto consumo de combustível fóssil, uso intenso de agrotóxicos, alto consumo de água e descarte de efluentes e geração de grande volume de resíduos sólidos.

Pode parecer contraditório associar moda à sustentabilidade já que o consumo exagerado de roupas e acessórios, bem como a lógica de *fast fashion* fazem com que a vida útil desses produtos seja curta e nossas relações com eles superficiais. Na esfera da sustentabilidade, o foco atual das pesquisas dos setores de moda e produção têxtil está no produto e no seu processo de produção, obedecendo a uma tendência mundial, originada nas últimas décadas do século XX, para o desenvolvimento de materiais ecológicos. Mais recentemente, as pesquisas passaram a abranger não apenas o aspecto ambiental dos produtos, mas também suas questões sociais, econômicas, políticas e culturais, analisando desde o processo produtivo até o consumo e descarte desses bens. Outros pontos ora percebidos são a rapidez do descarte (ou seja, o curto período de uso das roupas) e o papel do consumidor, mais precisamente o poder de escolha deste (BERLIM, 2012).

Em busca de reduzir seu impacto no meio ambiente, diversas alternativas surgiram no mundo da moda e no mundo têxtil. Conforme Grose e Fletcher (2019), a reciclagem de fibras na indústria reduz o consumo de energia em até 80% quando se compara com o processo de fabricação da fibra virgem ou, ainda, como o consumidor pode escolher produtos com fibras renováveis de baixo impacto a fibras virgens não renováveis. Outra forma de contribuir positivamente é diminuir o uso de agrotóxicos na cultura de algodão com alternativas em que os agricultores empreguem meios biológicos para controlar pragas e patógenos, e as fibras geneticamente modificadas (GM), que utilizam a biotecnologia para combater as infestações por pragas e simplificar o controle de ervas daninhas. Ainda se podem citar processos inovadores de tingimento para reduzir o desperdício e contaminação das águas.

Com a chegada da quarta revolução industrial, novas portas se abrem. Bruno (2016) traz uma proposta de um protótipo de uma mini fábrica, a qual é uma unidade de instalação fabril verticalizada, modular, flexível e de pequenas dimensões. Esta estrutura automatizada e integrada engloba o processamento de ordens, *design*, modelagem, tingimento dupla face, etiquetagem, corte ótico, manipulação robótica, costura, acabamento e expedição. Ela propõe um método de produção personalizada iniciada diretamente pela compra, eliminando dramaticamente os estoques de produtos acabados. Automação, dimensões reduzidas e baixo impacto ambiental permitem que unidades fabris se localizem em países com maior remuneração pelo trabalho, em terrenos valorizados e urbanos.

## 2.2 INDÚSTRIA TÊXTIL

De acordo com Lopes (2019), a revolução industrial, a qual se iniciou em meados de 1760 na Inglaterra, foi um divisor de águas para a produção manufatureira, que até então era artesanal, pois passa a ser mecanizada, e assim o vapor, originado da queima do carvão, passa a alimentar máquinas de fiar e tecer. Nesse contexto, o Brasil foi se destacando na produção de algodão pelo trabalho escravo, produzindo para alimentar os grandes mercados externos, principalmente a Inglaterra que passava por essa modernização e necessitava de maior demanda. A indústria têxtil no Brasil começou a vigorar devido à abundância de matéria prima e à liberação de fábricas e manufaturas na colônia, dando origem à primeira fábrica de tecido em 1818, inicializando a industrialização no Brasil.

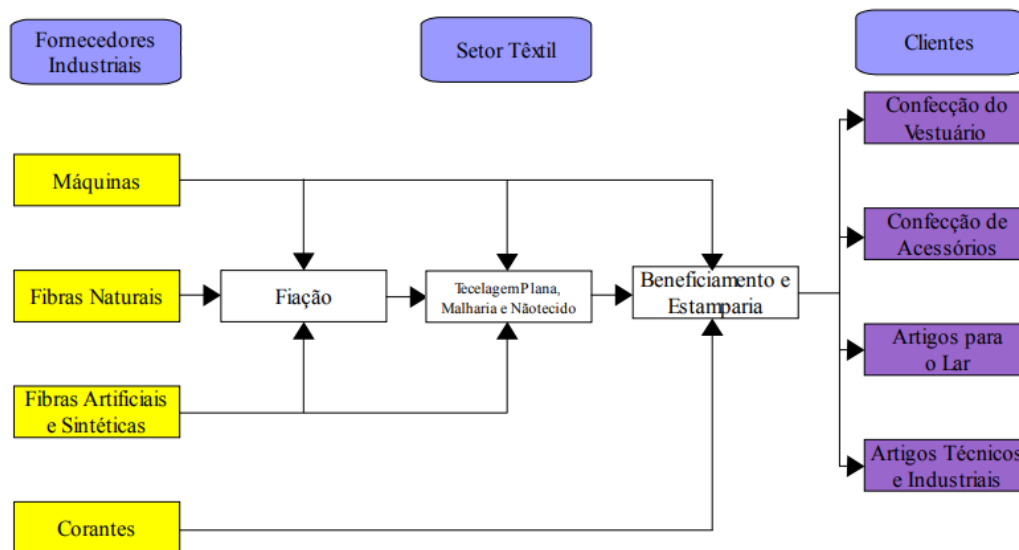
No que se refere ao tingimento natural, é possível fazer uma ligação direta com a história do nosso país, visto que a primeira riqueza massivamente explorada já nos primeiros dois anos pós “descobrimento”, foi o pau-brasil, o qual foi explorado até a quase extinção na natureza (TOMAZELLI,2020). Com o passar do tempo, tanto o setor têxtil quanto as técnicas de tingimento foram aos poucos sendo substituídos pelas novas tecnologias, os corantes utilizados passaram a ser sintetizados e popularizados, melhorando sua qualidade e durabilidade, além de torná-los mais acessíveis, assim como novos tecidos não naturais passaram a ser criados e muito utilizados ao redor do mundo.

O Brasil é um dos poucos países em desenvolvimento que possui todas as etapas de produção têxtil bem desenvolvidas. Ainda concentrada regionalmente, a produção é bastante fragmentada em número de empresas, sendo o segmento de confecção o que reúne o maior número de empresas (SOUZA,2009). Hoje o país é o quinto maior produtor mundial de algodão, terceiro maior exportador e o primeiro em produtividade. Além disso, é apontado como o quarto maior produtor de denim e malhas do mundo, e é considerado referência em *design* de moda praia, *jeanswear* e *homewear*, tendo crescido também nos segmentos de *fitness* e *lingerie*, conforme dados da ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção.

### **2.2.1 Processo de produção da indústria têxtil.**

Para o Sebrae – SP e o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, a indústria têxtil é constituída dos segmentos de fiação, tecelagem e acabamento de fios e tecidos. O segmento de tecelagem se subdivide, por sua vez, em tecelagem plana e malharia (Figura 2). Cada um destes segmentos pode oferecer ao mercado um produto acabado e, na prática, estar desconectado dos demais. Afirmando ainda o Sebrae – SP e o IPT que, “embora os segmentos ou etapas do processo se interliguem pelas características técnicas dos produtos a serem obtidos, essas etapas não precisam necessariamente serem todas internalizadas pelas empresas” (SOUZA, 2009).

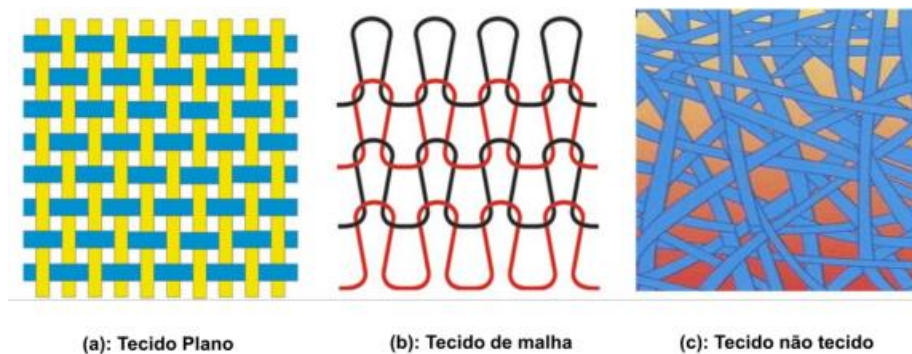
Figura 2 - Planta de indústria têxtil



Fonte: Souza,2009.

Conforme Pereira (2009), a primeira etapa da indústria têxtil é a fiação, em que existe o processamento têxtil que transforma as fibras (sejam elas quimicamente cortadas ou naturais) em fios. Segundo Marroques (2020), a etapa subsequente na cadeia têxtil é a tecelagem, que recebe esse nome por causa dos equipamentos utilizados: os teares; são eles que fabricam o tecido. O seu tipo depende da forma com que ele será fabricado, porque podem ser fabricados tecidos planos, tecidos malhas e até não tecido (Figura 3). Basicamente o que diferencia os tecidos é a estrutura de entrelaçamento; no tecido plano o entrelaçamento é feito em ângulos retos. Por fim, as fibras do não tecido são posicionadas ao acaso, que tem como característica serem flexíveis e porosas (PEREIRA, 2009).

Figura 3- Estrutura de um tecido plano, malha e não tecido.



Fonte: Marroques, 2020.

Por fim, a última etapa se trata do beneficiamento, em que diversos processos constituem esse ramo de produtos têxteis – alvejamento, tinturaria, estamparia etc. – conferindo a esses produtos a cor desejada, determinado aspecto, um toque específico e outras características que estejam em consonância com o mercado a que se destinam (SOUZA,2009).

Essa última etapa pode se dividir em 3 grupos: beneficiamento primário, beneficiamento secundário e beneficiamento terciário. Conforme Simão (2010), o beneficiamento primário é o nome dado ao conjunto de operações realizadas sobre o substrato têxtil visando colocá-lo em condições de receber tintura (parcial ou total) e acabamento final, em conformidade com sua aplicação. Esta fase ainda pode possuir tratamentos de naturezas diferentes como física, química, bioquímica, entre outras. Além disso, podem-se citar como operações dessa fase a chamuscagem, desengomagem, purga, alvejamento, mercerização, aplicação do alvejante óptico e termofixação.

Beneficiamento secundário, segundo OLIVEIRA (2017), consiste basicamente em tingimento e/ou estampagem. Já beneficiamento terciário, constitui uma fase em que podem-se realizar determinados acabamentos nos substratos têxteis, de forma a torná-lo mais adequado para sua aplicação. O acabamento final se divide em: flanelagem, navalhagem, chamuscagem, calandragem, resinagem e aplicação de produtos (SIMÃO,2019).

### 2.3 BENEFICIAMENTO TÊXTIL SECUNDÁRIO: PROCESSO DE TINGIMENTO.

O tingimento é um processo químico que consiste em modificar a cor da fibra têxtil através da aplicação de matérias coradas, por meio de uma solução ou dispersão. Neste processo ocorre uma modificação físico-químico do substrato, de forma que a luz refletida provoque uma percepção de cor. Durante o processo de tingimento são consideradas importantes três etapas: a montagem (adsorção do corante à fibra), a fixação (a qual é realizada através de reações químicas) e o tratamento final, que consiste em uma etapa de lavagem em banhos correntes, para retirada do excesso do corante original ou corantes hidrolisados, não fixados à fibra nas etapas antecedentes (FENIX FABRIL,2022).

Os auxiliares de tingimento desempenham um papel importante na determinação da qualidade de tingimento. A formação de complexos adicionais com corantes e agentes

auxiliares aumenta a exaustão de corantes em substratos têxteis (AWWAD,2020). Para aumentar a eficiência do processo, assim como garantir uniformidade e resistência de cor no produto final, no banho podem ser adicionados os mais variados produtos auxiliares como: detergentes, usados para emulsionar as gorduras ou óleos presentes nos substratos têxteis, assim como remover corante hidrolisado no banho de tingimento; agentes dispersantes usados para boa distribuição dos produtos no banho; álcalis e ácidos usados para controle de pH; Agentes sequestrantes/quelantes, os quais reagem com íons indesejados no banho para controlar a dureza da água, entre outros.

No Quadro 1 podemos ver os grupos e funções em que se encontram alguns produtos:

Quadro 1- Produtos auxiliares de tingimento.

<b>Produto</b>	<b>Descrição</b>	<b>Função</b>	<b>Exemplos</b>
Agentes quelantes	Componente orgânico capaz fazer ligações com íons metálicos.	Remover dureza da água.	ácidos organofosfônicos.
Controladores de pH	Compostos de ácidos fracos e seu respectivo sal.	Manter nível de acidez, controlar o pH com uma tolerância pequena.	Ésteres orgânicos e sulfato de amônia.
Surfactantes	Moléculas com estrutura hidrofílica e hidrofóbica que podem ser classificadas pela estrutura química e carga iônica.	Além de reduzir tensão superficial da água, é usado como emulsificante, detergente, lubrificantes e agente dispersante.	Lanolina etoxilada (não iônico) , Cloreto de didecildimetilamônio (catiônicos), Sulfonato de alquilbenzeno linear (aniônico).
Agentes antiespumantes	Produtos à base de silicone (mais utilizados) ou orgânicos.	Controlar ou reduzir formação de micro e macro espumas.	Fosfato de tributila, ácidos graxos, óleo mineral.

Fonte: Awwad,2020.

Segundo Ingamells (1993), as condições de banho de corante precisam ser ajustadas antes que as forças atrativas dos componentes possam operar eficientemente. Quando as fibras estão imersas na água desenvolvem uma carga negativa. Como essa carga é a mesma que no ânion de corante, a fibra repele o corante, dificultando ou até mesmo prevenindo sua aproximação próxima. Na maioria das vezes, quando se trata de corantes aniônicos solúveis em água, a adição de um eletrólito (como cloreto de sódio), aumenta a atração entre os componentes, mascarando as cargas de superfície negativas da fibra, e a absorção de corante é, portanto, aumentada.

Algumas expressões frequentemente utilizadas no âmbito têxtil, referentes à interação entre fibra e corante, são importantes para entender o comportamento do processo de tingimento e o que o influencia, e podemos defini-las como:

- **Exaustão:** Massa de corante absorvida pelo material (o tecido) dividido pela massa total inicial de corante no banho de volume constante, ou seja, até que ponto o corante desapareceu do banho e foi absorvido pelo tecido em questão. (BROADBENT, 2001)
- **Substantividade:** É a atração entre a fibra e o corante sob determinada condição de tingimento, ou seja, indica a capacidade de um corante passar da fase de solução para a fibra. (TEXTILE,2019)
- **Migração:** A mobilidade das espécies de corantes dentro da fibra é referida como migração. A extensão dessa mobilidade depende principalmente da substantividade do corante pela fibra. Também pode ser influenciado pelo tamanho da molécula do corante e pelo uso de assistentes de tingimento. (KHATRI; WHITE, 2015).

Frequentemente os processos de tingimento acontecem por exaustão (esgotamento). Segundo Gomes (2002), neste método de tingimento, todo o material a ser tingido se encontra acessível a todo o banho. A solução ou dispersão do corante é continuamente redistribuída em todo o material, pelo movimento do material em relação ao banho. Para garantir uma uniformidade da cor, é preciso considerar que existem zonas no material mais acessíveis ao corante do que outras, e a melhor forma de garantir uma igual absorção é controlar a substantividade do corante (por meio de condições operacionais) de modo que na fase inicial essa característica seja baixa e aumente gradualmente.

Conforme Broadbent (2001), muitas vezes, um corante muito substantivo tem uma alta taxa inicial de absorção (ataque), e tanto essa taxa quanto a de exaustão variam com as condições do processo, e de forma geral, um aumento gradual da temperatura de tingimento, auxiliada possivelmente pela adição de produtos químicos como ácidos ou sais, assim como controle de pH, gera um bom controle dessas taxas. Esse ataque rápido do corante à fibra invariavelmente resulta em desnível da cor e deve ser controlado principalmente se o corante não puder posteriormente migrar de áreas fortemente tingidas para áreas fracamente tingidas, a fim de garantir uma uniformidade de cor e ausência de manchas.

No caso de tingimento com corantes reativos, as espécies de corantes quimicamente fixados na fibra não podem migrar durante o processo de tingimento (IMADA ET AL., 1992). Assim, um bom controle do tingimento para minimizar a fixação prematura é importante (KHATRI; WHITE, 2015).

A absorção não uniforme do corante pelo tecido também pode ser causada pela não remoção total de todos os produtos químicos naturais e sintéticos presentes no material, por isso os resíduos devem ser mínimos e uniformemente distribuídos. Além disso, os corantes solúveis em água devem estar completamente em solução, o que de maneira geral é alcançado com a fervura do banho caso haja concentração alta de corantes ou se eles forem de solubilidade limitada (BROADBENT, 2001).

### **2.3.1 Teste de qualidade de tingimento.**

Uma vez que o tecido foi tingido, é essencial que este passe por testes para avaliar os parâmetros de qualidade, como resistência e sua solidez. A solidez da cor é a resistência de um material à mudança em qualquer uma de suas características de cor, incluindo a transferência de seus corantes para materiais adjacentes (PRODUCTIPEDIA, 2021).

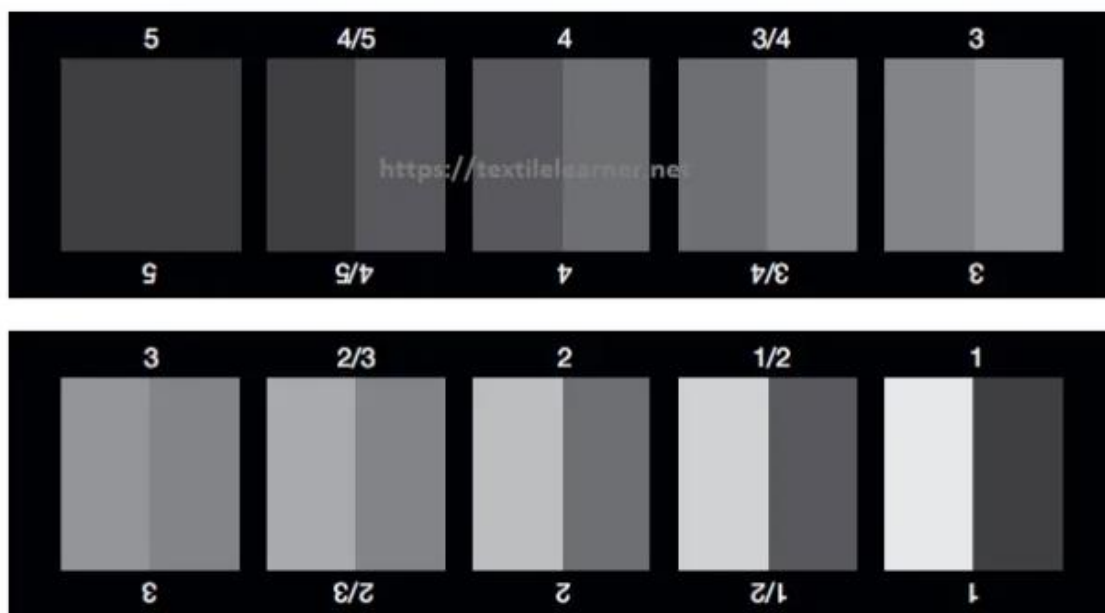
Segundo Eysan Fabrics (2020), vários fatores influenciam a solidez de um tingimento: o tipo de fibra, pois cada uma apresenta uma resistência; a cor, já que tons mais escuros são menos resistentes a cores do que tons mais claros; a estrutura e as características dos corantes de tecido utilizados; pré-tratamentos de tecido que tenham sido usados; assim como o processo de tingimento e se os tecidos foram ensaboados após o tingimento.

Os requisitos de solidez da cor são ditados pelo uso final do material tingido e por qualquer processamento posterior ao qual o material será submetido. Métodos de teste que são amplamente aceitos foram concebidos por organizações como a *British Standards Institution (BSI)*, *the International Organisation for Standardisation (ISO)*, *the American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC)* etc., e alguns varejistas desenvolveram suas próprias variações desses métodos (RICHARDS, 2012). Conforme a NBR ISO 105-A01, existem uma gama de testes de solidez para abranger diferentes tipos de tecidos e suas necessidades, como resistência à água, à transpiração, ao atrito, à lavagem a seco, à água clorada, entre outros.

Propriedades de solidez são expressas em classificações. Essas classificações de solidez são avaliadas por escalas cinza para sangramento (transferência de cor para outro

material) e desbotamento (PRODUCTIPEDIA, 2021). As escalas cinza (Figura 4) são padrões fotográficos com os quais a mudança de cor pode ser avaliada comparando os contrastes entre tecidos de controle e tecidos tratados. As escalas cinza para a avaliação de mudanças de cor, de acordo com a norma DIN EN 20 105-A02, consistem em cinco pares de painéis cinza padronizados, sem brilho, com contraste diferente. Esse número de painel é então o valor para a mudança de cor (KIRON, 2021).

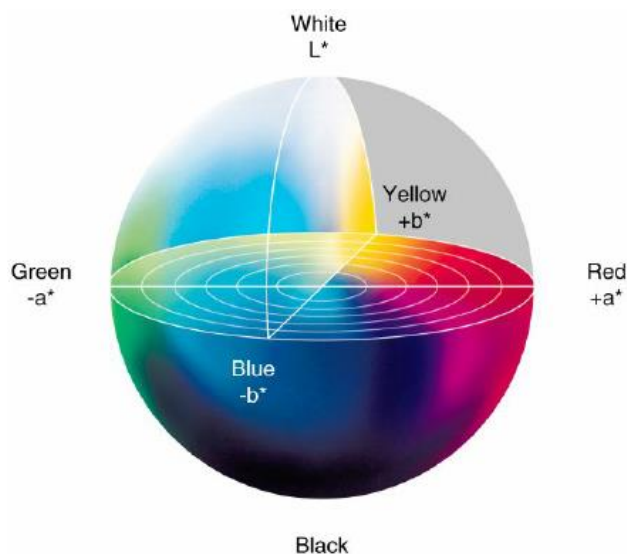
Figura 4 - Escala cinza.



Fonte: Kiron,2021.

Outra forma de analisar as cores é através da utilização de um aparelho chamado espectrofotômetro que serve para comparar uma amostra tingida com seu padrão, e seu funcionamento é explicado pela Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Esta comissão definiu três espaços de cor, CIE XYZ, CIE L\*C\*h e CIE L\*a\*b\* - para a comunicação e expressão das cores. O espaço de cor L\*a\*b\* (Figura 5), também conhecido como espaço de cor CIELAB, é atualmente o mais popular dos espaços de cores uniformes usados para avaliar as cores e pode ser utilizado para identificar, comunicar e avaliar os atributos da cor além das inconsistências ou desvios de uma cor padrão (KONICA MINOLTA,2020).

Figura 5-Espaço CIE LAB.



Fonte: Pardo *et al.*, 2014.

Conforme Fiorotto (2022) quando as cores são ordenadas, elas podem ser expressas em termos de tonalidade, luminosidade e saturação. As diferenças de cor são definidas pela comparação numérica entre a amostra e o padrão. As diferenças absolutas nas coordenadas de cor entre a amostra e o padrão e são conhecidas como Deltas ( $\Delta$ ). Os Deltas para  $L^*$  ( $\Delta L$ ),  $a^*$  ( $\Delta a$ ) e  $b^*$  ( $\Delta b$ ) podem ser negativos (-) ou positivos (+). A diferença total, Delta E ( $\Delta E$ ), todavia, é sempre positiva. Elas são expressas como:

- $\Delta L^*$  = diferença em mais claro e escuro (+ = mais claro, - = mais escuro)
- $\Delta a^*$  = diferença em vermelho e verde (+ = mais vermelho, - = mais verde)
- $\Delta b^*$  = diferença em amarelo e azul (+ = mais amarelo, - = mais azul)
- $\Delta E^*$  = diferença total de cor

Para determinar a diferença total de cor entre as três coordenadas, é utilizada a Equação 1:

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

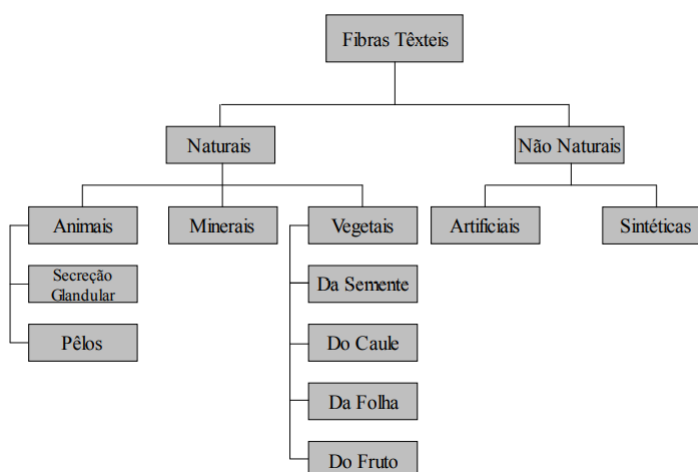
Com estas três coordenadas, pode-se localizar qualquer cor no espaço  $L^*a^*b^*$ . Ao serem realizadas as medições das amostras contra o padrão desejado, o espectrofotômetro retorna os valores das coordenadas, que podem ser positivas ou negativas. Um espectrofotômetro pode detectar diferenças imperceptíveis aos olhos humanos e então mostrá-las instantaneamente em forma numérica ou através de um gráfico de refletância espectral (FIOROTTO, 2022). Após a identificação das diferenças de cor utilizando

$L^*a^*b^*$ , podemos então decidir se a amostra é aceitável ou não, também sendo necessário o confronto visual dentro de cabines especializadas para acompanhar essa decisão.

## 2.4 TIPOS DE FIBRAS

De acordo com Souza (2009), as fibras têxteis são classificadas de acordo com sua composição química e com sua estrutura molecular. Suas estruturas podem ser cristalinas ou amorfas; estas últimas se comparadas com as primeiras possuem baixa resistência à tração, e se as redes cristalinas forem orientadas, a resistência da fibra é aumentada ainda mais. Contudo as áreas amorfas contribuem para a absorção de corantes e da umidade, por terem maiores espaços entre as moléculas. Além disso, fibras amorfas possuem uma maior elasticidade e alongamento se comparadas com fibras cristalinas de cadeias orientadas. Outras características importantes da fibra são tenacidade, hidrofiliidade, ponto de fusão, entre outros. Como mostra a Figura 6, as fibras podem ser classificadas pela sua origem:

Figura 6 - Classificação das fibras têxteis



Fonte: Souza, 2009.

As fibras naturais são todas as fibras extraídas de elementos de origem natural. As fibras naturais de origem animal podem provir da secreção glandular de alguns insetos, como é o caso da seda, ou, então, de bolbos pilosos de alguns animais e apresentar uma estrutura molecular composta de queratina, como é o caso da lã. As fibras vegetais são estruturas alongadas, de seção transversal arredondada, que podem ser classificadas, de acordo com a sua origem, em: fibras da semente, fibras do caule, fibras das folhas e fibras dos frutos. As fibras de origem mineral têm a sua origem em rochas com estrutura fibrosa

e são constituídas, essencialmente, por silicatos. Um exemplo de uma fibra de origem mineral é o amianto (FIBRENAMICS, 2022).

As fibras químicas podem ser divididas em: artificiais, produzidas a partir da celulose (também são conhecidas por fibras celulósicas), existindo neste grupo basicamente o raio viscoso e o raio acetato; e as fibras sintéticas, que são produzidas a partir de resinas derivadas do petróleo. As de maior interesse têxtil são, em ordem de quantidades consumidas, o poliéster, o polipropileno, o náilon e o acrílico (ROMERO et al., 1995).

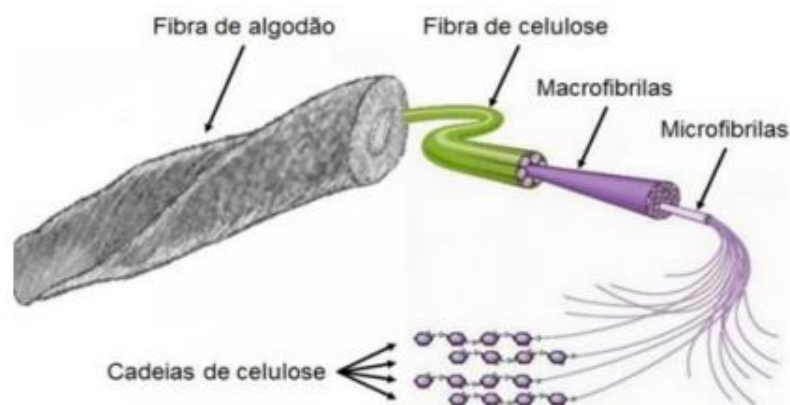
#### **2.4.1 Fibra natural de celulose: Algodão.**

A cultura do algodão é conhecida pela humanidade há pelo menos 6 mil anos. Os incas e outras civilizações antigas utilizavam o vegetal para a fabricação de tecidos. No território que viria a ser o Brasil, os indígenas já dominavam o plantio, sendo capazes de tecer e tingir os fios de suas fibras para fazer redes desde antes do descobrimento (AGROCANAL, 2021). Atualmente o algodão está entre as mais importantes culturas de fibras do mundo. Todos os anos, uma média de 35 milhões de hectares de algodão é plantada em todo o planeta (ABRAPA, 2018).

O Brasil é o quarto maior produtor de algodão do mundo, atrás somente da Índia, da China e dos Estados Unidos. A agricultura do algodão no Brasil é avançada tecnologicamente e 75% da produção possui certificação de origem, comprovando que o cultivo foi realizado com responsabilidade, seguindo normas e padrões de respeito ao meio ambiente, ao trabalhador e à saúde financeira do setor (AGRICHEM, 2022).

Quando se foca no aspecto estrutural, as fibras naturais têm cinco componentes básicos: celulose, hemicelulose, pectina, lignina e extrativos (gorduras, proteínas e sais inorgânicos). A celulose é responsável pela resistência das fibras, devido ao seu alto grau de polimerização e orientação molecular (ALBINANTE et al., 2013). A fibra de algodão possui uma estrutura fibrilar constituída por uma parede primária, parede secundária e por uma parte interna denominada de lúmen. Esta fibra em cru é constituída em média por cerca de 90% de celulose (Figura 7), sendo o restante do conteúdo composto por impurezas naturais como gorduras, ceras, proteínas, pectinas, pigmentos corados (responsáveis pela coloração bege do algodão cru), sais minerais e compostos solúveis em água (COSTA, 2014).

Figura 7 - Estrutura da fibra de algodão



Fonte: AMPA,2018.

O algodão constitui uma das principais fibras têxteis de produção, comercialização e uso em larga escala mundial. No Brasil, é a principal fibra têxtil, tendo suas fontes de produção localizadas nas regiões Nordeste, Sul e Centro-Oeste do país (EEPP,2022). O processo produtivo de têxteis de algodão, no caso brasileiro, envolve sete etapas fundamentais: cotonicultura, algodoeira, fiação, tecelagem, tinturaria e acabamento, indústria de vestuário e distribuição varejista (URBAN,1995).

## 2.5 CORANTES

Todos os corantes foram extraídos da natureza até o final do século XIX. As plantas foram as principais fontes de corantes naturais, mas alguns insetos e outros organismos também foram usados para a produção de corantes naturais (SHARMA, 2021). A tecnologia de tingimento têxtil transformou a indústria desde a descoberta do primeiro corante sintético (a mauveína, por William Henry Perkin, em 1856), o que estabeleceu a indústria de fabricação de corantes sintéticos. Atualmente, mais de 700 mil toneladas de corantes sintéticos são produzidos anualmente na forma de 10.000 cores estruturalmente diferentes (CHEQUER *ET AL.*, 2013).

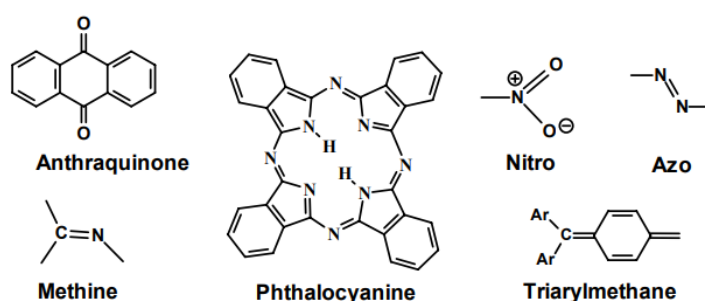
De acordo com a IARC (2010), ao contrário da maioria dos compostos orgânicos, os corantes possuem cor porque:

- absorvem a luz no espectro visível (400-700 nm);
- têm pelo menos um cromóforo, ou seja, um grupo doador de cor que, quando atingido pela luz, tem seus elétrons excitados e fótons são emitidos em uma cor específica;

- têm um sistema conjugado, ou seja, uma estrutura com alternância de duplas e simples ligações covalentes;
- exibem ressonância de elétrons, a qual é uma força estabilizadora em compostos.

Um cromóforo é basicamente a estrutura responsável pela coloração apresentada pelo corante, que possui absorção na região ultravioleta e visível do espectro, especialmente por causa das transições eletrônicas de um sistema conjugado de duplas ligações (ZOLLINGER, 1991). Quanto a esse composto, é importante notar que o cromóforo deve fazer parte de um conjugado sistema, como mostra a Figura 8 (IARC,2010).

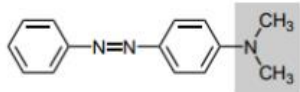
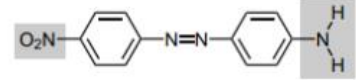
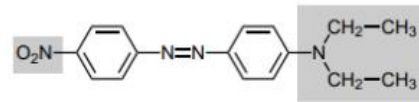
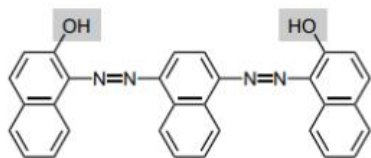
Figura 8 - Exemplo de cromóforos em molécula de corantes.



Fonte: IARC,2010.

Os corantes, entretanto, não se constituem apenas de cromóforos, mas também agregam em suas estruturas grupos auxocromos, que contribuem na diversificação da cor atribuída ao corante. Os grupos auxocromos, ou doadores de elétrons, por sua vez, podem causar deslocamento batocrômico das bandas de absorção do corante (ZANONI, 2016). Na Figura 9, é possível ver sua influência nas cores do corante.

Figura 9 - Grupos auxocromos destacados em moléculas de corantes.

Estrutura	Cor observada
	Amarelo-esverdeado
	Amarelo
	Vermelho
	Azul

■ - Auxocromo

Fonte: Adaptado de Ingamells, 1993.

Segundo Zanoni (2016), a forma de fixação da molécula de corante à fibra pode envolver basicamente 4 tipos de interações: ligações iônicas, de hidrogênio, de Van der Waals e covalentes.

O tipo de interação dependerá do corante a ser utilizado. Conforme Guaratini (1999), corantes diretos caracterizam-se como compostos solúveis em água capazes de tingir fibras de celulose, como algodão e viscose, através de interações de Van der Waals; corantes reativos são corantes que contêm um grupo eletrofílico (reativo) capaz de formar ligação covalente com grupos hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras proteicas e também com grupos amino das poliamidas; e já os corantes dispersivos constituem uma classe de corantes insolúveis em água aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas através de suspensão.

### 2.5.1 Corantes reativos e seu processo de tingimento com algodão.

Corantes reativos são corantes aniônicos solúveis em água e várias formas físicas desses corantes estão disponíveis como grânulos, pós e soluções aquosas altamente concentradas. Estes formam uma ligação covalente com a fibra, ligação esta que é

responsável pela alta resistência à lavagem dos corantes reativos (CHATTOPADHYAY, 2011).

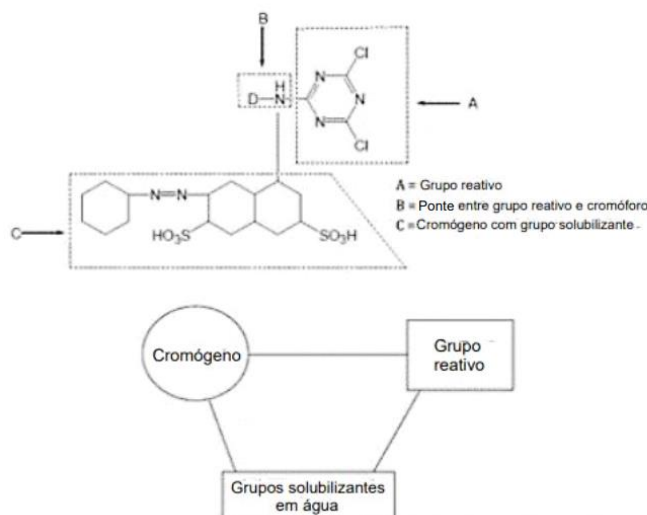
Consoante Ahmed (2014), esses corantes são geralmente usados para tingir fibras celulósicas, como algodão, *rayon* ou linho, mas as fibras de poliamida, lã, seda e acetato também podem ser tingidas com corantes reativos. Se assumirmos que a estrutura geral do corante reativo é S–F–T–X, então isso pode ser descrito como:

- S = Grupos solubilizantes (como SO<sub>3</sub>Na ou COONa ou combinação de ambos)
- F = Grupo cromóforo, geralmente um azo, azo complexo metálico, antraquinona etc.
- T = Grupo ponte que liga o sistema reativo X ao cromógeno F; normalmente, –NH, –O–, –NHCO–, –OCH<sub>3</sub>–, –SO<sub>3</sub>– etc.
- X = Sistema ou grupo reativo, que reage quimicamente com o grupo funcional da fibra.

Pode-se ver essa estrutura representada na:

Figura 10:

Figura 10 - Estrutura de um corante reativo

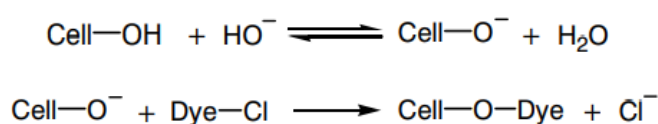


Fonte: Adaptado de Ahmed, 2014.

A ideia de imobilizar uma molécula de corante por formação de ligação covalente com grupos reativos em uma fibra originou-se no início da década de 1900. Em 1955, Rattee e Stephen desenvolveram um procedimento para tingir algodão com corantes

reativos contendo grupos diclorotriazina. Eles estabeleceram que tingir algodão com esses corantes sob condições alcalinas resultou na formação de um composto contendo um átomo de cloro reativo, o qual é substituído posteriormente por um átomo de oxigênio originado de hidróxidos da celulose. Isso é mostrado na Figura 11, onde Cell-OH é a celulose com um grupo hidróxido reativo, Dye-Cl é o corante com seu átomo de cloro reativo, e Cell-O-Dye o corante ligado à celulose por uma ligação covalente com o oxigênio. O papel do álcali é causar dissociação ácida de alguns dos grupos hidroxila ligados à celulose, e é esse íon de celulose (Cell-O<sup>-</sup>) gerado reage com o corante (BROADBENT, 2001).

Figura 11 - Reação de tingimento do algodão com corantes reativos contendo grupos diclorotriazina



Fonte: Broadbent, 2001.

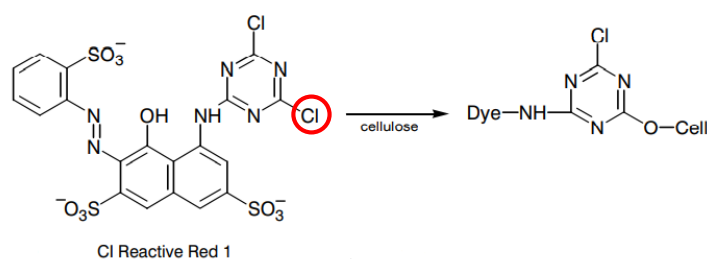
Segundo Ingamells (1993), o princípio geral de tingimento em batelada ou exaustão com corantes reativos é incentivar o máximo de corante possível se mover em direção a fibra durante um período de 30-45 minutos adicionando uma alta concentração de sal ao banho de corante neutro, o qual é caracterizado pela etapa de exaustão. Conseqüentemente, a maior parte do corante está esgotado na fibra antes que o álcali seja adicionado, fornecendo assim as melhores condições possíveis para etapa de fixação antes da reação entre corante e fibra ser iniciada. Uma vez que o processo de nivelamento esteja concluído, o álcali é adicionado e a etapa de fixação continua por mais 30-60 minutos. Por fim, existe a etapa de lavagem para retirar todo corante não fixado na fibra.

Segundo Amin; Blackburn (2015), na primeira etapa, o corante adsorve no substrato celulósico através do ligações de hidrogênio e interações de van der Waals. O algodão, imerso em um banho de tingimento aquoso, adquire um potencial ζ (zeta) negativo. Corantes aniônicos, como corantes reativos, geralmente são sulfonados para fornecer solubilidade aquosa e possuem uma carga negativa no banho de tingimento. Portanto, existe uma barreira eletrostática entre a superfície e o interior da fibra. O método prático de superar essa barreira é usar grandes quantidades de eletrólitos inorgânicos, como sal ou sulfato de sódio. O eletrólito dissocia-se em seus cátions e ânions, por exemplo, íons de sódio (Na<sup>+</sup>) e íons de cloro (Cl<sup>-</sup>) para o sal. A carga negativa na

superfície da fibra é suprimida pelos cátions, permitindo que o ânion do corante entre na fibra mais facilmente (KHATRI; WHITE, 2015).

A etapa de fixação pode ocorrer a partir de duas reações diferentes: substituição e adição. Essas podem ser definidas, segundo Siyavula (2007), respectivamente como uma reação em que há uma troca de elementos entre os reagentes; e uma reação em que dois ou mais reagentes, os quais contêm compostos insaturados, se combinam para formar um único produto. Conforme Broadbent (2001), os grupos reativos reagem com a celulose por substituição nucleofílica de um cloro (destacado de vermelho na Figura 12), flúor, dimetil sulfona ou grupo de saída de nicotina ativado por um grupo adjacente de nitrogênio em um anel heterocíclico.

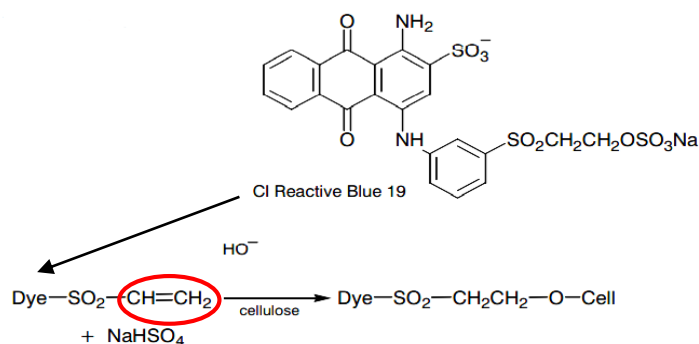
Figura 12 - Reação de substituição nucleofílica no tingimento com corante reativo.



Fonte: Broadbent, 2001.

Ainda existem os grupos reativos que reagem com celulose por adição nucleofílica a carbonos unidos por dupla ligação (destacados em vermelho na Figura 13), geralmente ativada por um grupo sulfona (um composto químico contendo um grupo sulfonil ligado a dois átomos de carbono) adjacente que atrai elétrons ao grupo:

Figura 13 - Reação de adição nucleofílica no tingimento com corante reativo.



Fonte: Broadbent, 2001.

Os corantes reativos também podem reagir com moléculas de água. A reação dos corantes com a água é chamada de hidrólise. Os corantes hidrolisados perdem o poder de reagir com a fibra (CHATTOPADHYAY, 2011). No processo de tingimento, pode haver hidrólise de até 40% do corante, o qual tem alta afinidade pela fibra, através de ligações de hidrogênio, van der Waals e forças íon-dipolo, mas não está ligado covalentemente. Assim, esses tingimentos reativos requerem um processo de lavagem de várias etapas, para que se atinjam boas características de solidez à lavagem (AMIN; BLACKBURN, 2015).

Existem diversos tipos de corantes reativos, assim como diversas classificações para esse produto, como pode ser observado no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 - Classificação de corantes reativos.

<b>Meio de classificação</b>	<b>Categorias</b>
<b>Grupo Reativo</b>	Derivados de halogênio (comumente cloro) de um composto heterocíclico nitrogenado.
	Compostos de vinil ativados.
<b>Constituição química</b>	Corantes monoclorados, dicloro/corantes bifuncionais, corantes triclorados.
	Corantes de vinil sulfona.
	Corantes contendo halogênio heterocíclico.
<b>Reatividade</b>	Corante de baixa reatividade (pH deve ser mantido em 12-12,5).
	Corante de reatividade média (pH deve ser mantido em 11-12).
	Corante altamente reativo (pH deve ser mantido em 10-11).
<b>Temperatura</b>	Corantes processados a frio (33-60 °C).
	Corantes processados a média temperatura (60-71 °C).
	Corantes processados a alta temperatura (72-93 °C).

Fonte: Shila,2021.

## 2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA INDÚSTRIA TÊXTIL.

O material usado na confecção de vestuário está associado a todo tipo de impacto sobre a sustentabilidade: mudanças climáticas; efeitos adversos sobre a água e seus ciclos; poluição química; perda da biodiversidade; uso excessivo ou inadequado de recursos não

renováveis; geração de resíduos; efeitos negativos sobre a saúde humana; e efeitos sociais nocivos para as comunidades produtoras (GROSE; FLETCHER, 2019).

Berlim (2012) traz alguns pontos de como essa indústria afeta o meio ambiente em várias frentes:

- **Produção e uso de energia:** O setor contribui para o aquecimento global com a queima de combustível fóssil primeiramente no setor da agricultura, nos maquinários utilizados, posteriormente na geração de energia para esquentar caldeiras de lavagem e de tingimento em geral. A fabricação de fibras sintéticas, em especial do poliéster, produzidas a partir de fonte não renovável, em geral os derivados de petróleo, introduz no ambiente cargas de CO<sub>2</sub> que não estavam na superfície, contribuindo para a maximização do efeito estufa. Segundo Bruno *et al.* (2009), “[...] vários estudos mostram que, em comparação com outras fibras, principalmente naturais, se considerarmos toda a vida útil de um produto têxtil até o seu descarte final, os sintéticos consomem mais energia na fase inicial de produção da fibra, enquanto as naturais consomem mais na fase de uso e manutenção”.
- **Produção de resíduos sólidos:** A indústria têxtil possui um elevado potencial de geração destes resíduos. Dentre as etapas de maior potencial de geração desses resíduos, estão as etapas de tecelagem e corte do tecido, gerando um montante significativo de pelos. De acordo com Rodrigues *et al.* (2006), em estudo feito na Universidade de Cambridge, na Inglaterra se produz 30 quilos anuais de resíduos têxteis por pessoa.
- **Uso de agrotóxicos e pesticidas:** Utilizados nas monoculturas tradicionais de algodão (organofosforados e carbamatos no caso do Brasil), podem causar doenças nos trabalhadores, e esses produtos ainda atingem o solo e podem afetar a microbiota, provocando mudanças na ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, alterando a fertilidade dos solos e a pureza dos lençóis freáticos.
- **Uso de água:** Este é um dos principais recursos que vêm sendo explorados de maneira imprópria, em se falando do setor têxtil. Em especial, o uso na irrigação de plantações de algodão, mas também nos setores de acabamentos e beneficiamentos têxteis. Sabe-se que a água é um dos elementos básicos para o processo de produção desta indústria, principalmente nas etapas de

beneficiamento dos tecidos planos e das malhas de algodão, onde ocorre o tingimento que provoca modificações na qualidade da água utilizada, devido às substâncias químicas que fazem parte do processo.

Ao se comprar uma camiseta de algodão, Rodrigues *et al.* (2006) estima que o indivíduo está consumindo 1,7 kg de combustível fóssil, gerando 450 g de resíduos sólidos originários da fabricação da camiseta, emitindo 4 kg de CO<sub>2</sub> na atmosfera, e este gasto multiplica-se quando se leva em consideração a energia necessária para se lavar e passar esta camiseta durante sua vida útil.

A indústria têxtil é uma das maiores produtoras de efluentes líquidos poluentes devido à alta quantidade de água usada no processo de tingimento. A tintura de 1 kg de algodão, por exemplo, consome 200 L de água que, na maioria das vezes, não são reutilizáveis. Estima-se que 280 mil toneladas de corantes têxteis são lançadas em efluentes industriais todo ano ao redor do mundo (JIN *et al.*, 2007; SARATALE *et al.*, 2011). As lavagens de tingimento e o tratamento subsequente do efluente para remover a poluição de cor resultante podem chegar a até 50% do custo total do tingimento reativo (AMIN, BLACKBURN, 2015).

De acordo com Allègre *et al.* (2005), a água residual produzida por um tingimento reativo contém fibras têxteis, corantes reativos hidrolisados não fixados no substrato, representando 20-30 % dos corantes reativos aplicados, e essa quantidade residual é responsável pela coloração dos efluentes e não pode ser reciclada. Existe também a presença de produtos auxiliares de tingimento ou substâncias orgânicas, não recicláveis e responsáveis pela alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) do efluentes. Pode-se estimar uma concentração de 60 a 100 gramas por litro de eletrólito, essencialmente cloreto de sódio e carbonato de sódio, que é responsável pelo teor salino muito alto. Além disso, esses efluentes apresentam um pH de 10-11 e uma alta temperatura (50–70 °C).

Devido a conter anéis aromáticos, grupos aminas e azos, grupos sulfônicos e íons metálicos em sua constituição, os corantes acabam sendo moléculas de difícil degradação, permanecendo no ambiente por um longo tempo. Outra problemática dos corantes é que, devido à sua estrutura química, eles muitas vezes são compostos inibidores de microorganismos, diminuindo ainda mais as chances de serem degradados naturalmente no ambiente (RODRIGUES, 2016). A descarga imprópria de efluentes têxteis, além de

esteticamente desagradável, pode levar a uma redução na penetração da luz solar, interferindo nos processos de fotossíntese, diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido, qualidade da água e resultando em efeitos de toxicidade aguda na fauna e flora (SARATALE *et al.*, 2011).

Autoridades da indústria já afirmaram que as empresas não dão conta de remover todo o sal dissolvido das águas residuais; portanto, efluente rico em sódio contamina a água doce, matando peixes e tornando o solo muito alcalino para sustentar as plantações (BLACKBURN; BURKINSHAW, 2002). Conforme Kharat (2015), o uso de sal comum aumenta diretamente o total de sólidos dissolvidos (TDS) nos efluentes. Estes sólidos são difíceis de ser tratados com sistemas convencionais de tratamento, e seu descarte pode levar a um aumento do TDS da água subterrânea e água da superfície. Os sólidos dissolvidos no efluente, se não controlados, podem ser prejudiciais à vegetação e ao solo. O efluente têxtil também não é isento de metais. Eles podem vir como impureza em produtos químicos usados durante processamento do tingimento, como soda cáustica, carbonato de sódio e outros sais.

Diante de todos os problemas apresentados, vários métodos são utilizados para tentar remover os corantes e químicos dos efluentes. Métodos físicos como adsorção, sedimentação, flotação, floculação, coagulação, ultrafiltração, fotoionização e incineração, bem como os métodos químicos (por exemplo, neutralização, redução, oxidação, eletrólise, troca iônica) têm mostrado tendências promissoras, mas a tarefa de remoção completa tem sido formidável devido à diversidade e à complexidade dos corantes, aliadas aos aspectos toxicológicos associados. Os métodos de tratamento biológico, por outro lado, têm sido frequentemente visualizados como uma opção economicamente viável. Os métodos de tratamento biológico utilizam lagoas de estabilização, lagoas aeradas, filtros de gotejamento, lodo ativado, digestão anaeróbica e vários tipos de cepas microbianas (SINGH; ARORA, 2011).

## 2.7 TINGIMENTOS COM CORANTES REATIVOS COM USO DE ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS.

A indústria têxtil consome grande volume de água e produtos químicos durante os estágios de processamento úmido e fornece quantidades consideráveis de corantes junto com outros produtos químicos. Assim, tanto as tecnologias de tingimento quanto os químicos enfrentam o desafio cada vez maior de alcançar níveis máximos de exaustão e fixação modificando as receitas de tingimento e *design* de tintura, respectivamente

(SINGH; ARORA, 2011). Dessa forma, diversos estudos surgiram com a finalidade de trazer alternativas sustentáveis aos processos de tingimento.

A pesquisa de Allègre (2005) propõe tratar e reutilizar efluentes de tingimentos têxteis com banhos contendo os corantes, usando nanofiltração para recuperar e reutilizar o cloreto de sódio (NaCl) e a água. Os resultados apresentados mostraram que, para qualquer combinação de corante reativo e NaCl usada, os corantes hidrolisados e auxiliares de tingimento foram retidos em uma quantidade superior a 98% e a recuperação de sais minerais atingiu um índice de 98%. Ainda no que diz respeito à reutilização de água, tingimentos padrão realizados com água usual obtiveram os mesmos resultados que com a salmoura reciclada após reajuste da quantidade de eletrólito, quando necessário, mostrando que é possível economizar com produtos e água e reduzir o impacto ambiental.

O trabalho de Tutak e Zdemir (2010) traz a ideia de um tingimento reativo com algodão cationizado, utilizando agentes cationizantes conhecidos como sais de amônio quaternário. Os resultados foram promissores e mostraram que o rendimento, exaustão e fixação de corante foram maiores para os tingimentos com o algodão pré-tratado com agentes cationizantes. Além disso, esse tipo de tingimento se mostrou tão bom quanto o tingimento tradicional nos testes de qualidade e solidez. Dessa forma, uma alternativa ao uso excessivo de sal foi proposta e apresentou resultados de qualidade satisfatórios.

Outra opção para a redução de sal se encontra na pesquisa de Blackburn e Burkinshaw (2002), em que foi proposto um polímero que compreende ambas as áreas de carga catiônica (para gerar afinidade ao corante aniônico) e também possui sítios nucleofílicos reativos (para reação com corante-fibra) para poder ser utilizado em tingimentos com corante reativo de forma mais eficiente. Dessa forma, o polímero é adsorvido no algodão e em seguida corantes reativos são introduzidos. As moléculas de corante aniônico são atraídas para os sítios catiônicos do polímero através de associação iônica. Isso permite a adsorção do corante sem a necessidade de adição de sal no pH neutro ou levemente ácido. Foi observada a minimização da hidrólise de corante, portanto, quase todo o corante aplicado foi fixado na fibra, reduzindo potencialmente a quantidade de corante no efluente e o custo de tratamento deste. A solidez teve resultados excelentes e, devido à redução do corante hidrolisado, água também pode ser reduzida da lavagem do tecido.

O estudo de Amin e Blackburn (2015) traz um conceito similar ao mostrar o conceito de polímeros inibidores de transferência de corante (DTI), os quais foram empregados para remover corantes não fixados (hidrolisados). Constatou-se que o uso de DTI na lavagem de corantes reativos permite desenvolver um processo muito mais eficiente, econômico e sustentável, o que reduz tempo de operação, consumo de água e consumo de energia.

Por fim, focando na fonte de cor de tingimento, existem alternativas aos corantes utilizados atualmente, os quais não são biodegradáveis. Dos Santos (2021) estudou um tingimento com corante natural clorofila e com redução significativa de produtos auxiliares quando comparado ao tingimento tradicional reativo. Foi constatado que a inserção de um beneficiamento têxtil sustentável se mostrou viável em escala industrial. Em todos os parâmetros de impactos ecológicos observados, houve uma redução ao aplicar o beneficiamento têxtil sustentável, como um consumo de água reduzido em 44,44%, energia térmica em 6,52%, energia elétrica em 31,98% e quantidade de produtos químicos em 74,72%, implicando em um menor custo nesse processo e redução de impactos ambientais. Apesar de não se alcançar toda a cartela de cores com corantes naturais como se alcança com os corantes sintéticos, os resultados são promissores.

### **3. METODOLOGIA**

Este trabalho teve como finalidade a realização de um estudo com o objetivo de comprovar a viabilidade de um processo de tingimento alternativo sustentável com corantes reativos, através da sua comparação com um processo tradicional de tingimento, levando em consideração seus impactos nos insumos utilizados, tanto nos custos assim como meio ambientais. O estudo teve como foco os processos de beneficiamento têxtil de uma empresa de grande porte localizada em Natal, Rio Grande do Norte.

A classificação da pesquisa quanto aos seus objetivos se classifica como exploratória e os fenômenos foram interpretados através da análise de documentos e pesquisas de campo. Este estudo apresentado conta com a abordagem majoritariamente quantitativa, em que os dados processados foram disponibilizados em infográficos, tabelas e quadros para um melhor entendimento visual dos resultados.

#### **3.1 COLETA DE DADOS**

Os dados coletados e utilizados foram fornecidos por relatórios – de consumo de água e energia, tingimentos e tratamento de efluentes - de diversos setores da empresa em questão, assim como informações do fornecedor relacionado ao processo inovador.

#### **3.2 MATÉRIA PRIMA UTILIZADA.**

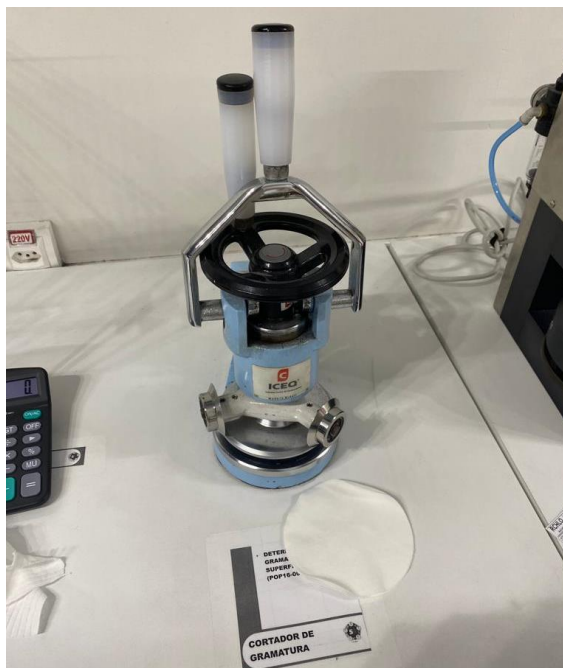
A matéria prima utilizada se trata de meia malha 100% algodão produzida na própria indústria de grande porte em questão.

#### **3.3 TESTES DE QUALIDADE**

##### **3.3.1 Teste de gramatura**

O teste de gramatura é executado de acordo com a norma ABNT NBR 10591. Consiste no corte padronizado de 3 amostras circulares utilizando-se um cortador de gramatura da marca ICEQ (Figura 14). Em seguida, essas amostras são pesadas juntas em uma balança de precisão analítica de marca Marte e modelo AD300. A média do peso das três amostras é calculada e esse peso é comparado com o peso padrão do material específico para aquele tamanho de amostra. O tipo de material em questão se trata de uma meia malha 100% algodão; logo, seu peso padrão é de 1,65 gramas para o tamanho da amostra, podendo variar cerca de 5% para mais ou para menos de acordo com a norma.

Figura 14 - Cortador de gramatura



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### 3.3.2 Encolhimento

Para verificar o encolhimento da malha, inicialmente é utilizado um molde da marca Delta de 18,5 cm por 18,5 cm para cortar uma amostra ( Figura 15). Este molde possui oito orifícios, os quais podem ser marcados na malha com auxílio de marcador ou caneta para servir de referência. Em seguida, a amostra é colocada em uma máquina lavadora e secadora da marca Delta e, após breve resfriamento, a largura e o comprimento são medidos, podendo corresponder a até 6 e 7 cm, respectivamente. Levando em consideração as determinações da norma ABNT NBR 10320, a largura e o comprimento podem ter uma variação de 6% e 10%, respectivamente.

Figura 15 - Molde DELTA para teste de encolhimento

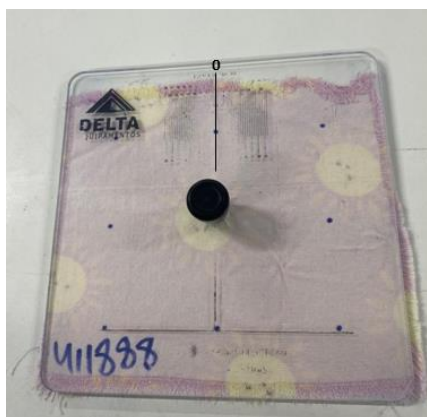


Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### 3.3.3 Torção

O teste de torção é feito também pelos procedimentos da marca Delta. Com auxílio de uma placa transparente de 18,5 x 18,5 cm (Figura 16), uma escala pode ser comparada com a posição do ponto superior central previamente marcado para o teste de encolhimento, o centro da marcação mostra o zero (sem torção) e os números crescem para esquerda ou para direita (mostrando algum tipo de torção). Ainda de acordo com a norma ABNT NBR 12958, a torção tem uma tolerância de 5%.

Figura 16 - Placa para medir a torção do tecido.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### 3.3.4 Solidez à lavagem

O teste de solidez à lavagem é feito de acordo com a norma NBR ABNT ISO 105-A04. Uma amostra do tecido a ser testada, depois de costurada a uma testemunha (tecido branco), como mostra a Figura 17, é colocada em uma solução de sabão em pó

para verificar a migração de cor da amostra para a testemunha. A solidez pode ser classificada de 1 a 5.

Figura 17 - Teste de solidez (à direita, pode-se ver uma testemunha já manchada por migração)



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### 3.3.5 Solidez à fricção

Esse teste é feito de acordo a norma NBR ISSO 105-X12. Com auxílio da máquina Crockmeter (Figura 18), uma testemunha é friccionada contra a amostra de tecido a ser testada, um total de 10 vezes ao rodar a manivela da máquina.

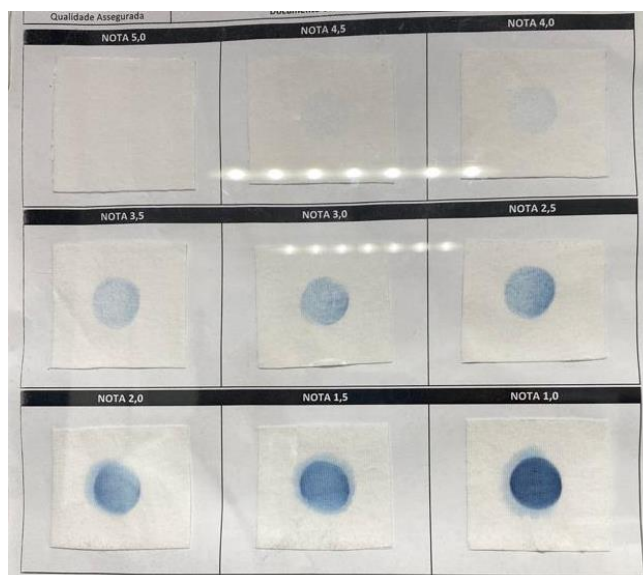
Figura 18 - Crockmeter



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O teste é repetido com as amostras de tecido secas e úmidas com água destilada. De acordo com uma escala, a nota pode variar de 1 a 5 (pior para melhor nota respectivamente), como se observar na Figura 19. A tolerância aceitável é de 4 para amostra secas e de 3 a 4 para amostras úmidas.

Figura 19 -Tabela de tolerância de solidez à fricção.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### 3.3.6 Cor

O teste visual de cor é feito dentro de uma cabine com luz especializada para esse fim, em que são comparados lado a lado a amostra e um padrão de cor do Pantone em questão. É feito também um teste no espectrofotômetro de bancada do modelo Datacolor 550 para avaliar o índice  $\Delta E$  da amostra, não podendo ultrapassar o valor de 1.

## 3.4 MAQUINÁRIO UTILIZADO.

### 3.4.1 Maquinário utilizado para reproduções do processo de tingimento em produção.

As reproduções do processo em escala industrial para testar a qualidade dos tingimentos foram realizadas em máquinas de tingimento da marca THIES modelo mini-soft E (Figura 20) com capacidade de bateladas de até 10 kg de tecido.

Figura 20 - Máquina de tingimento Mini-Soft E da THIES.



Fonte: <https://www.thiestextilmaschinen.com>

### **3.4.2 Maquinário utilizado como referência para quantificação dos produtos auxiliares, corantes e insumos utilizados.**

Para referência de cálculo de quantidades de produtos auxiliares, corantes e insumos, foi utilizado um maquinário de médio a grande porte da marca THIES e modelo iMaster F com 2 bocas e máxima capacidade de 500 kg, mostrado na Figura 21.

Figura 21- Máquina de tingimento iMaster F da THIES.



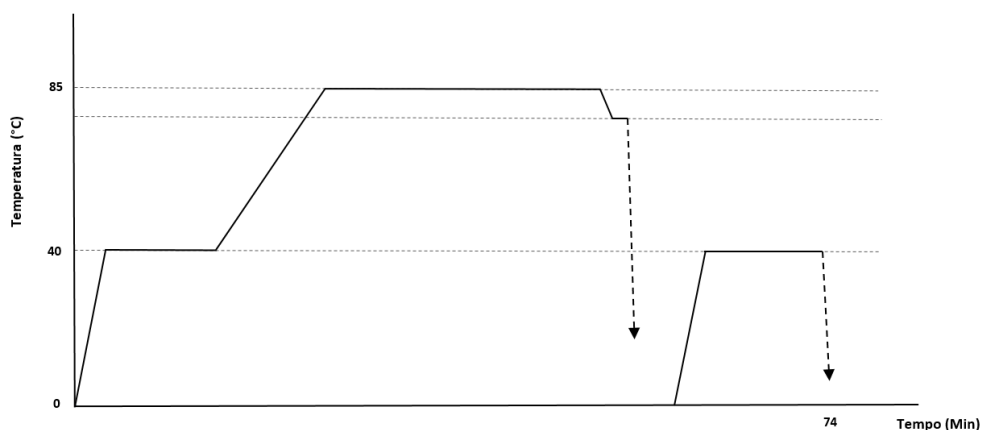
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

## **3.5 PROCESSO E PRODUTOS DE TINGIMENTO**

### **3.5.1 Pré alvejamento**

O pré alvejamento da meia malha 100% algodão se dá por esgotamento. No método tradicional, o processo dura cerca de 74 minutos, com uma variação de temperatura de 40-85 °C, como mostrado pelo gráfico da Figura 22.

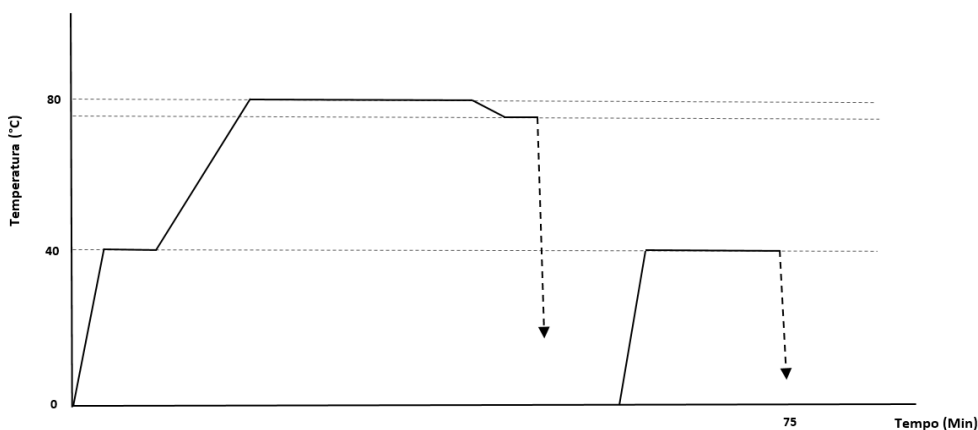
Figura 22 - Gráfico de Pré alveijamento do processo de tingimento tradicional.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Já o método alternativo sustentável ocorre durante cerca de 75 minutos, com variação de temperatura de 40-80 °C, como mostrado pelo gráfico da Figura 23. Os produtos de limpeza e demais auxiliares necessários são colocados progressivamente em temperaturas e períodos específicos para levar a resultados ótimos ao pré alveijamento, como representado nos gráficos pelas rampas de aquecimento e períodos constantes. A presença das setas para baixo nos gráficos indica que a máquina foi esvaziada para ser preenchida novamente para um novo banho da mesma etapa ou etapa posterior.

Figura 23 - Gráfico de Pré alveijamento do processo de tingimento sustentável.

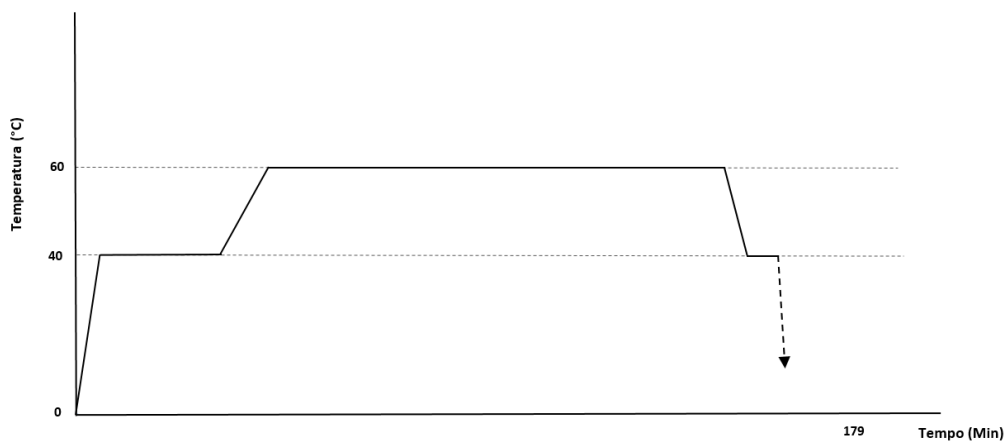


Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### 3.5.2 Tingimento

O tingimento da meia malha 100% algodão se dá por esgotamento. No método tradicional, o processo dura cerca de 179 minutos, com uma variação de temperatura de 40-60 °C, como apresentado na Figura 24.

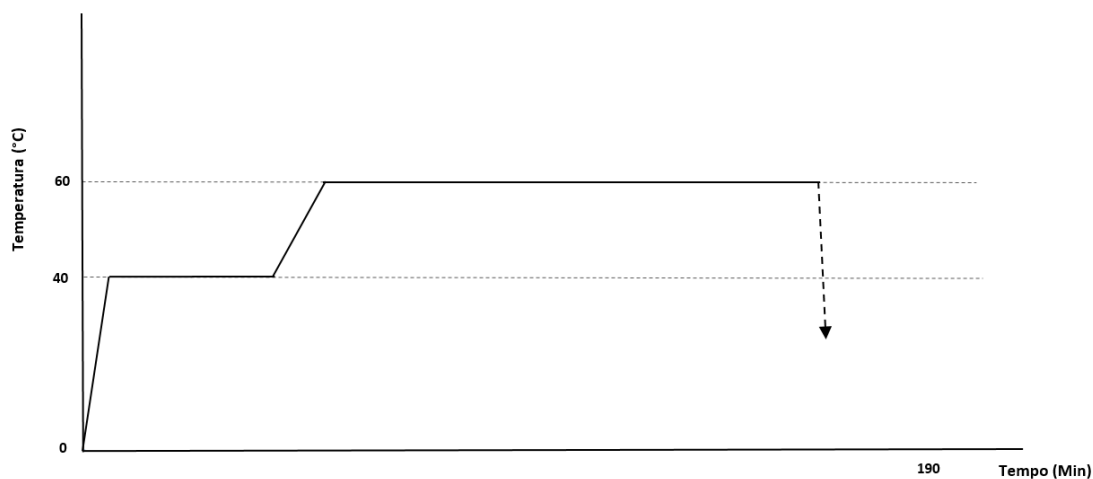
Figura 24 - Gráfico de tingimento do processo de tingimento tradicional.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Já o método alternativo sustentável ocorre em um período de cerca de 190 minutos, com uma variação de temperatura também de 40-60°C (Figura 25). Ademais, a cor a ser tingida se trata de um vermelho identificado pelo Pantone 191557 (Chili pepper). A adição dos corantes e produtos auxiliares é feita em determinados estágios preestabelecidos ao longo do processo, sendo essencial para essa fase o controle da temperatura para ocorrer a fixação do corante na fibra.

Figura 25 - Gráfico de tingimento do processo de tingimento sustentável.

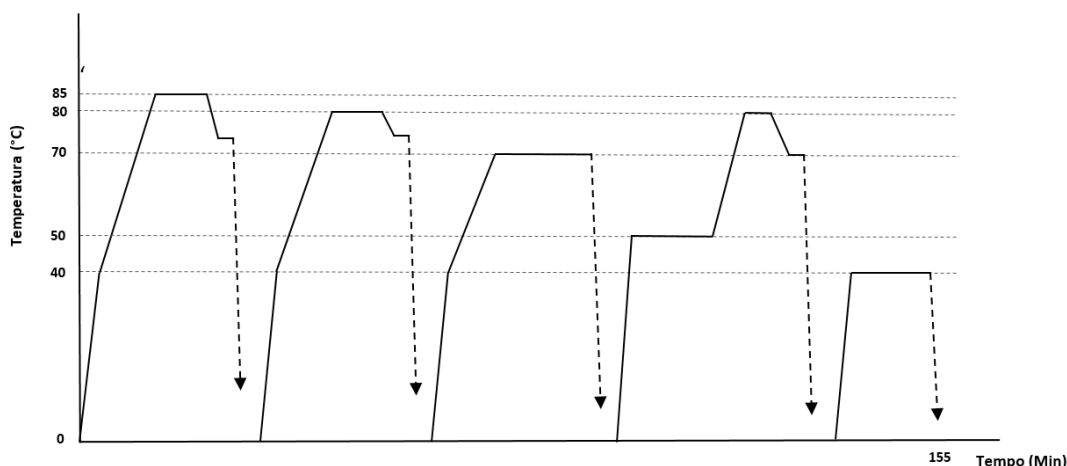


Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

### 3.5.3 Lavagem

A lavagem da meia malha 100% algodão se dá por esgotamento. No método tradicional, o processo dura cerca de 155 minutos, com uma variação de temperatura de 40-85 °C (Figura 26).

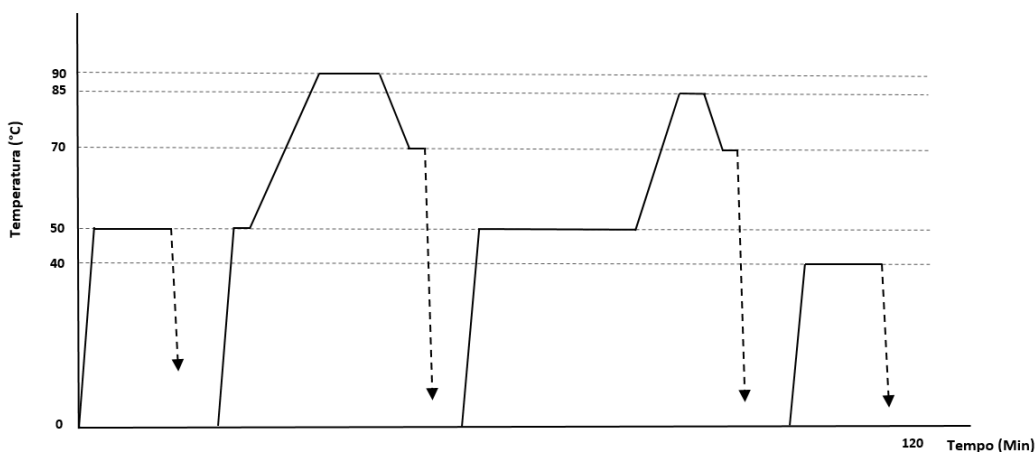
Figura 26 - Gráfico de lavagem do processo de tingimento tradicional.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Já o método alternativo sustentável tem a duração de cerca de 120 minutos, com uma variação de temperatura também de 40-90 °C (Figura 27). Os produtos de lavagem e de acabamento são introduzidos progressivamente no processo. Nesta etapa, são necessários vários banhos (esvaziando e realimentando a máquina) para retirar o excesso de corante aderido à fibra.

Figura 27 - Gráfico de lavagem do processo de tingimento sustentável.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

#### 3.5.4 Produtos auxiliares e corantes

Nas tabelas abaixo, é possível observar a concentração de cada produto utilizado, em gramas de produto por litro de banho (g/l) ou em porcentagem da massa de tecido utilizada (%), para o processo tradicional (Tabela 1) e para processo alternativo saudável (Tabela 2):

Tabela 1 - Concentrações dos produtos para o processo tradicional

<b>Produto</b>	<b>Concentração</b>	<b>Etapa</b>
Detergente	2 g/l	Pré-alveijamento
Ativador da substância alvejante	2 g/l	
Álcali forte	2,5 g/l	
Alvejante	1,8 g/l	
Ácido	0,7 g/l	
Detergente	1 g/l	Tingimento
Antiquebradura	2,5 g/l	
Dispersante e igualizante	1 g/l	
Redutor da substância alvejante	0,50%	
Álcali fraco	0,7 g/l	
Eletrólito tradicional	75 g/l	
Tampão	1,5 g/l	
Álcali fraco	1,5 g/l	
Álcali fraco	3,5 g/l	
Álcali forte	3,1 g/l	
Corante reativo amarelo	1,10%	
Corante reativo vermelho	2,30%	
Corante reativo azul	0,05%	
Agente de lavação	1,5 g/l	Lavagem
Enzima de biopolimento	2,50%	
Tampão	2 g/l	
Dispersante	1,5 g/l	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Tabela 2 -Concentração de produtos para processo sustentável.

<b>Produto</b>	<b>Concentração</b>	<b>Etapa</b>
Agente doador de carga, lubrificante e deslizante	0,6 g/l	Pré-alveijamento
Detergente, umectante, igualizante e lubrificante	1 g/l	
Álcali de origem mineral	2,5 g/l	
Novo eletrólito	0,60%	Tingimento
Novo eletrólito	1,40%	
Álcali de origem mineral	1,5 g/l	
Eletrólito tradicional	22,5 g/l	
Álcali fraco	3 g/l	
Álcali fraco	7 g/l	
Álcali de origem mineral	6 g/l	
Corante reativo amarelo	1,10%	
Corante reativo vermelho	2,30%	
Corante reativo azul	0,05%	
Ácido	2 g/l	Lavagem
Agente de lavação	2 g/l	
Enzima de biopolimento	2,50%	
Dispersante	1,5 g/l	

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Vale ressaltar que os produtos que se encontram repetidos, são inseridos progressivamente em diferentes momentos do processo. No processo sustentável, são utilizados menos produtos em quantidade e em massa, como se observa na Tabela 2, contudo o passo a passo do processo de tingimento se mantém similar.

### 3.5.5 Correção de cor da amostra.

A correção da quantidade de corantes para a receita do processo sustentável foi feita no laboratório de cores com auxílio do espectrofotômetro do modelo Datacolor 500. Os tingimentos foram conduzidos com equipamento de laboratório para tingimento com 12 amostras, por esgotamento até 100 °C, em banho-maria, com aquecimento através de resistências elétricas e resfriamento por serpentinas de água, modelo BMA-I-B da marca Mathis (Figura 28), com as concentrações de produtos auxiliares iguais às mostradas pela Tabela 2. Esta correção deve ser feita devido à origem da receita de corantes: as concentrações inicialmente propostas partiram da receita do processo tradicional de tingimento e, dessa forma, teve que ser reajustada para o processo de tingimento sustentável a fim de atingir a tonalidade do Pantone escolhido.

Figura 28 - Máquina de tingimento de bancada da marca Mathis.



Fonte: Mathis, 2021.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O objetivo principal do estudo é comprovar a viabilidade do tingimento alternativo sustentável. Levando isso em consideração, a primeira questão a ser analisada diz respeito à qualidade e ao rendimento do processo. Quando reproduzidos em escala industrial com bateladas de 5 kg de matéria prima (meia malha 100% algodão) em duplicata, em ambas as tentativas os tingimentos se mostraram satisfatórios com uma boa igualização de corante, sem manchas e com cor uniforme. Para testar a qualidade e resistência do material tingido, este foi submetido a diversos testes, cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados das amostras tingidas pelo processo sustentável

<b>Teste</b>	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>	<b>Situação</b>
<b>Teste de gramatura (g/m<sup>2</sup>)</b>	158	170	Aprovado
<b>Encolhimento de largura (%)</b>	-2,10%	-1,80%	Aprovado
<b>Encolhimento de comprimento (%)</b>	-4,60%	-5,80%	Aprovado
<b>Torção</b>	0%	3%	Aprovado
<b>Solidez (lavagem a mão)</b>	5/5	-	Aprovado
<b>Solidez (fricção- amostra seca)</b>	5/5	4,5/5	Aprovado
<b>Solidez (fricção-amostra úmida)</b>	4/5	4/5	Aprovado

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os resultados dos testes submetidos às amostras do tingimento alternativo sustentável se mostraram tão bons quanto o processo tradicional, resultando em aprovação em todos os testes. Contudo, a cor no espectrofotômetro, para ambas as amostras, foi reprovada por estar mais intensa que a cor do Pantone original, conquanto visualmente as cores se mostrarem muito próximas (Figura 29).

Figura 29 - Amostra 1 tingida pelo processo sustentável (à esquerda) e amostra 2 tingida pelo processo sustentável (à direita).



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Dessa forma, como as quantidades originais de corante utilizadas foram retiradas do processo de tingimento tradicional, em escala de laboratório foi necessário ajustar a receita de corantes para o processo tingimento sustentável.

Tabela 4 - Concentração de corantes.

<b>Corante reativo</b>	<b>Receita original</b>	<b>Receita adaptada</b>
Amarelo	1,10%	1,29%
Vermelho	2,30%	1,89%
Azul	0,05%	0,06%

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Ao analisar a cor das amostras 1 e 2, as correções nas concentrações de corantes são dadas pelo próprio espectrofotômetro, e após algumas tentativas, utilizando as mesmas concentrações de produtos auxiliares da Tabela 2, chegou-se à receita adaptada da Tabela 4, e a um  $\Delta E$  de 0,8 ao analisar essa tentativa de tingimento (Figura 30). Foi observado que as cores dos corantes renderam mais no processo sustentável que no tradicional, visto que há uma redução de 6% em massa de corante.

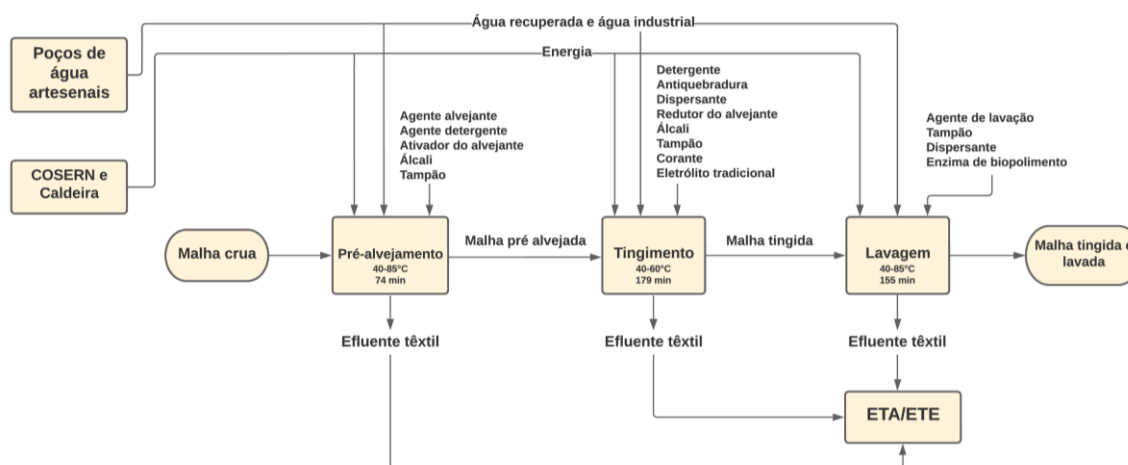
Figura 30 - Amostra tingida com concentração de corantes ajustada.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Para analisar a viabilidade e os impactos dos processos a serem comparados, é importante conhecer as condições operacionais, procedimentos e produtos utilizados em cada um. Na Figura 31, é possível observar o fluxograma da metodologia utilizada no tingimento tradicional com corantes reativos de uma fibra de algodão.

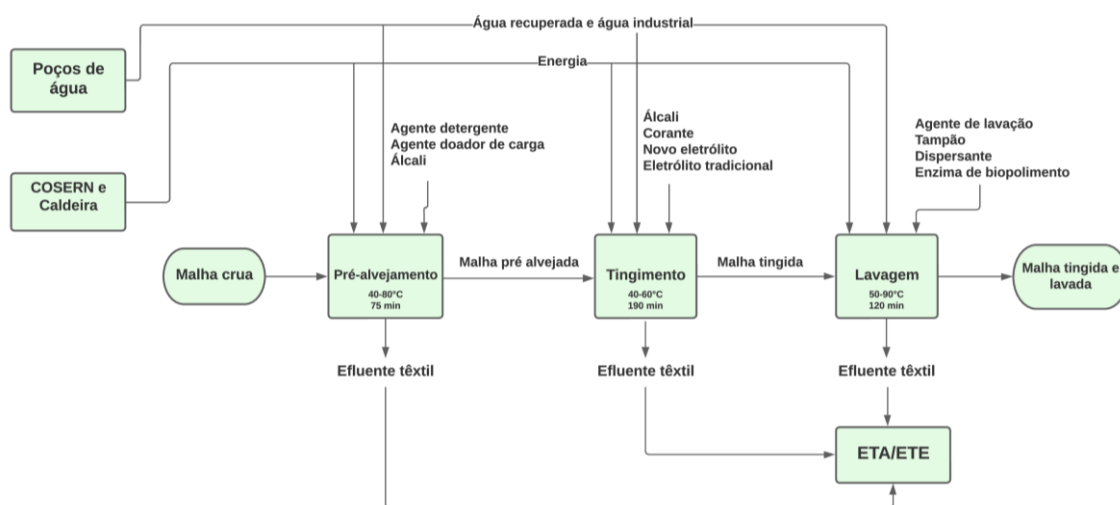
Figura 31 - Fluxograma do processo de tingimento reativo tradicional.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Já na Figura 32, encontra-se o processo com uma alternativa sustentável ao tingimento reativo da fibra de algodão com corantes reativos.

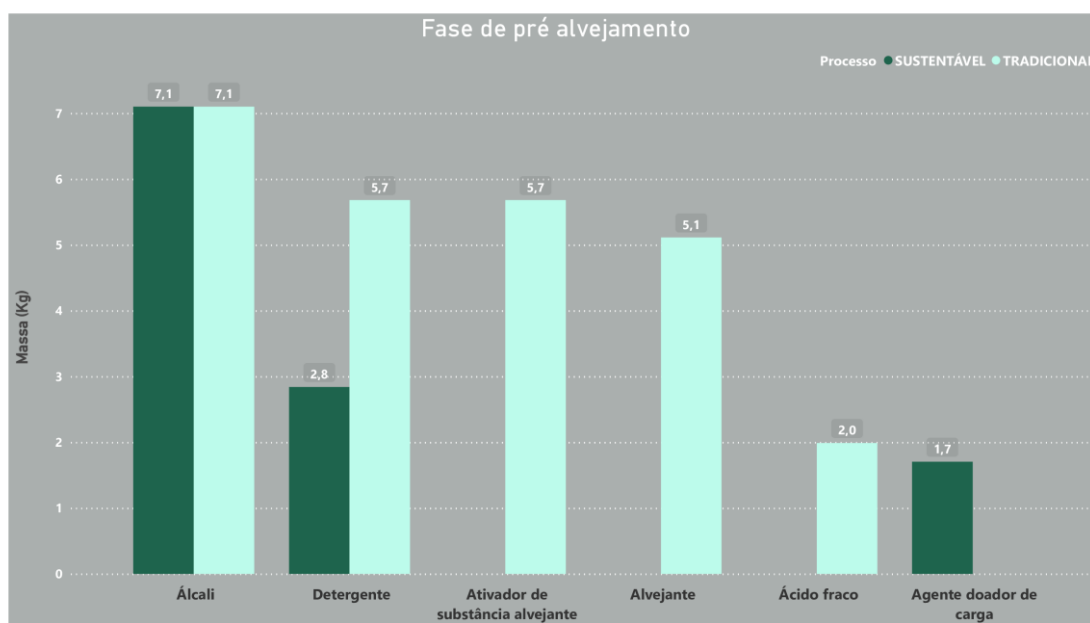
Figura 32 - Fluxograma do processo de tingimento reativo sustentável.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Foi feita uma análise quantitativa da massa de produtos utilizada em cada etapa do processo (pré alveamento, tingimento e lavagem), a partir de um tingimento real feito em produção, com volume de banho de 2839 litros e peso da matéria prima de 354,97 kg (relação de banho 1:8), com intuito de ser realista nos resultados. Todos os produtos listados na Tabela 1 e na Tabela 2, que possuíam a mesma função principal, foram comparados para o processo tradicional e para o sustentável. A Figura 33 mostra esse comparativo para a primeira fase de pré alveamento.

Figura 33 - Gráfico comparativo de produtos da fase de pré alvejamento.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

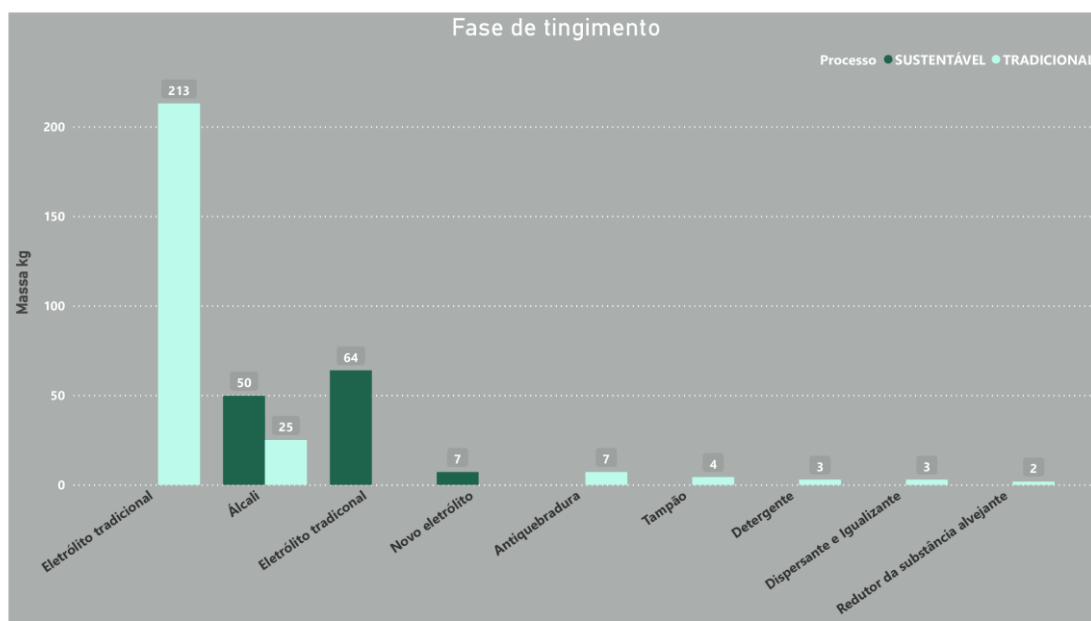
A fase referente ao gráfico acima se trata de um período para preparar a matéria prima e retirar óleos, graxas e outras impurezas da fibra de algodão. A substância em comum de ambos os processos está no detergente e no álcali para fazer a limpeza e manter o pH desejável à situação, contudo para a alternativa sustentável esses produtos são originados do resíduo da casca da laranja e minerais, respectivamente. Então, como o Brasil é líder na exportação mundial de suco de laranja (FAEG, 2021) e, segundo Alexandrino (2007), cerca de 96% da produção de laranja se destina a produção de suco, gerando grandes quantidades de resíduo, a origem desses produtos auxiliares sustentáveis se torna extremamente viável em termos de fabricação, levando-se em consideração sua matéria prima.

Como se pode perceber, no processo tradicional existe o uso de uma substância alvejante e de um conseqüente ativador dessa substância devido à necessidade de utilizar mais produtos ou possivelmente mais água para fazer a sua retirada completa do tecido, já que pode causar defeitos no tingimento, e essas mesmas substâncias não são utilizadas no processo alternativo. Além disso, as reações radicais dos agentes clareadores com as fibras podem levar a uma diminuição do grau de polimerização e danos às fibras (GONÇALVES *et al.*, 2014). A não utilização de um alvejante não altera a qualidade do tingimento sustentável, mostrando um maior rendimento do processo, como pode se constatar nos testes de cor e solidez.

Um diferencial do processo alternativo é utilizar um agente doador de carga nessa fase inicial para neutralizar a carga negativa que o tecido de algodão adquire ao ser molhado, diminuindo a necessidade do uso de sal na fase de tingimento, como vai ser mostrado à frente. Em suma, existe uma redução de 54,44% em massa de produtos utilizados quando se compara o processo tradicional com o mais sustentável, tornando o efluente dessa etapa mais facilmente tratável devido a esse fato e à origem natural e biodegradável dos itens utilizados.

Ao analisar a fase de tingimento, deve-se saber que existem produtos essenciais para a montagem do corante na fibra acontecer, como uso do eletrólito (sal) para neutralizar a carga negativa da fibra de algodão e evitar a repulsão do corante aniônico a ela, além do uso de álcali para iniciar a reação de fixação do corante na fibra. Vale ressaltar que, para ambos os processos, foram utilizados corantes reativos da mesma marca e nas mesmas concentrações para fins de cálculo.

Figura 34 - Gráfico comparativo de produtos da fase de tingimento



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Como é evidente ao se observar o gráfico da Figura 34, existe uma redução significativa de 70% no uso do eletrólito tradicional (cloreto de sódio) ao se comparar os dois processos. Isso é possível devido à presença inicial de um doador de carga no pré-alvejamento, tornando o ambiente já levemente catiônico, como foi citado, assim como o uso de um novo eletrólito inovador feito através da polarização do óleo da casca da

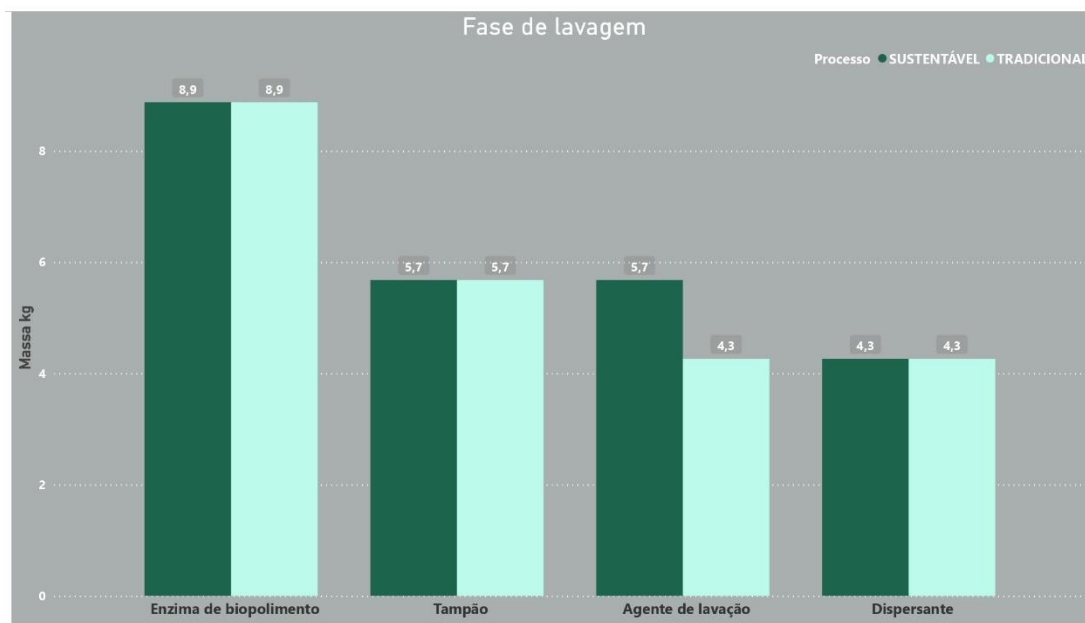
laranja. Devido à forte atração que esse novo eletrólito tem em relação ao corante aniônico, foi feita uma ponderação na sua quantidade e a quantidade do eletrólito tradicional para que existisse um tingimento bem igualizado (feito progressivamente e sem manchas) e com um custo viável.

A redução significativa de sal aumenta a solubilidade do corante em solução e como consequência elimina a possibilidade do uso de diversos produtos que têm o propósito de potencializar essa característica quando existe muito sal no meio, como dispersantes, igualizantes, complexantes, colóides protetores, entre outros. Outro fato importante a ser ressaltado é que os sais muito utilizados na indústria têxtil, como cloreto de sódio e sulfato de sódio, atualmente têm quantidades muito menores de outros sais catiônicos indesejáveis, os quais aumentavam a dureza da água, permitindo a formação de sólidos insolúveis ao reagir com o corante aniônico, os quais, por sua vez, formam manchas no tecido à medida que são filtrados por ele, implicando a necessidade de vários produtos auxiliares aniônicos pra tentar neutralizar esses sais indesejáveis e impedir esse fenômeno.

Devido ao uso de uma substância alvejante no processo tradicional, é necessário adicionar uma substância redutora para eliminar todos os seus resíduos, evitando manchas no tingimento. De maneira geral, houve uma redução de cerca de 50% em massa dos produtos nessa fase de tingimento, dando destaque para grande redução de eletrólito tradicional utilizado, causando uma menor salinização da biota, o que poderá trazer mais eficiência no tratamento de efluentes pela diminuição de resíduos sólidos e inertes que dependem de aterro.

Por fim, ao analisar a lavagem (Figura 35), existe nessa fase um aumento de produto (agente de lavagem) no processo sustentável. Isso se dá, como vai ser mostrado à frente, devido à menor quantidade de água utilizada no processo de lavagem. Dessa forma, o produto responsável pela limpeza necessita estar em uma concentração um pouco mais elevada para trazer bons resultados de solidez.

Figura 35 - Gráfico comparativo de produtos da fase de lavagem.

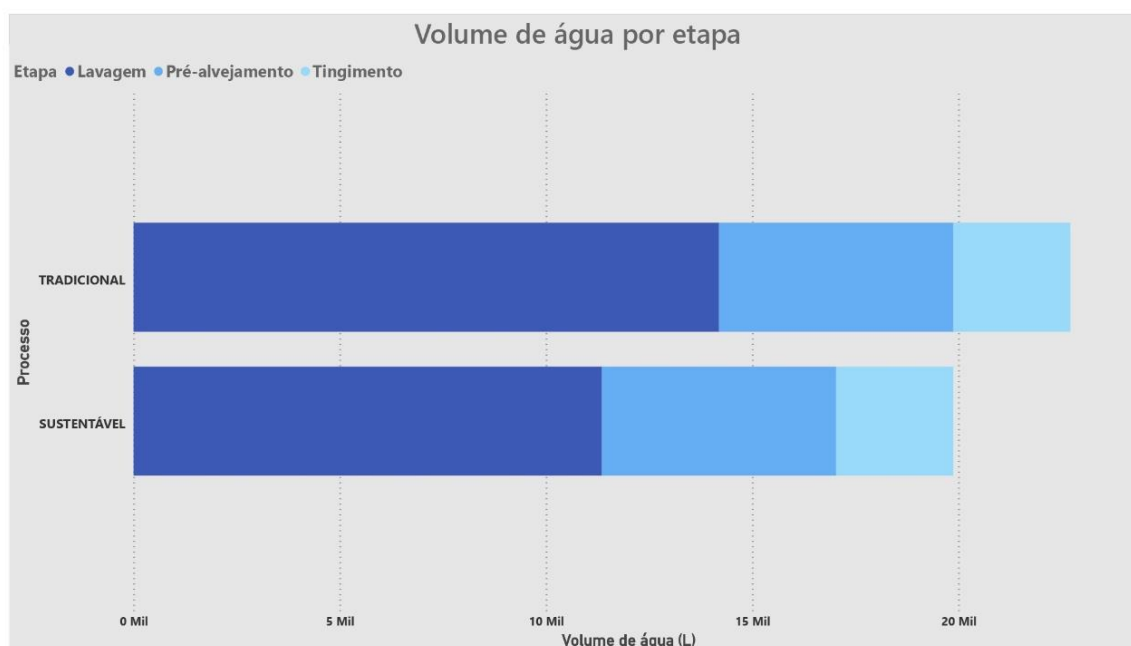


Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os demais produtos – como ácido para neutralização, enzima de biopolimento para retirada de fibrilas, que tornam a superfície do tecido áspera, e dispersante de pelos – se mantêm na mesma quantidade.

Ainda em relação à lavagem, é importante destacar a economia de água que traz o processo sustentável nessa fase. Como se pode ver na Figura 36, a quantidade de água, nas fases anteriores, se mantém a mesma, já que se trata do volume da máquina cheia e existem quantidades iguais de liberação de banho para o pré alvejamento e para o tingimento.

Figura 36 - Gráfico do gasto de água no processo total de tingimento.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A situação muda ao se tratar da lavagem, pois, no processo tradicional, são necessários vários banhos (esvaziando e enchendo a máquina repetidas vezes) para retirar o excesso de corante do tecido e ajustar o pH para aplicar os produtos necessários ao acabamento do tecido. Para o processo sustentável, um banho de lavagem foi retirado sem que afetasse a qualidade do tingimento, como foi mostrado nos resultados dos ensaios de qualidade feitos, trazendo uma considerável economia de água e redução de efluentes: mais de 2000 litros por batelada. Isto é extremamente relevante, já que, segundo Amin e Blackburn (2015), as lavagens de tingimento e o tratamento subsequente do efluente podem representar até 50% do custo total do processo.

Outro aspecto importante a ser analisado é a energia térmica e elétrica gasta em ambos os processos. Para quantificar esses insumos, foram levados em consideração dois aspectos: a potência da máquina em pleno funcionamento e a quantidade calor necessária para aquecer a água quando existiam rampas de aquecimento no processo. No que se refere à potência da máquina de tingimento (25 kW/h), devido aos tempos muito próximos para o processo total (de 385 e 408 minutos, respectivamente, no tingimento sustentável e no tradicional), as potências utilizadas por batelada também se mantiveram próximas: 160,42 kW para a batelada do processo sustentável e 170 kW para o tradicional, diferindo em apenas cerca de 5% em valor.

Contudo, quanto ao calor de aquecimento (Q), observam-se valores que diferem mais consideravelmente devido à ausência de um banho da lavagem no processo sustentável, e conseqüente redução do uso do vapor de aquecimento. A estimativa foi feita a partir da Equação 2, considerando a variação de temperatura ( $\Delta T$ ), a massa a ser aquecida (m) e o calor específico do fluido (c).

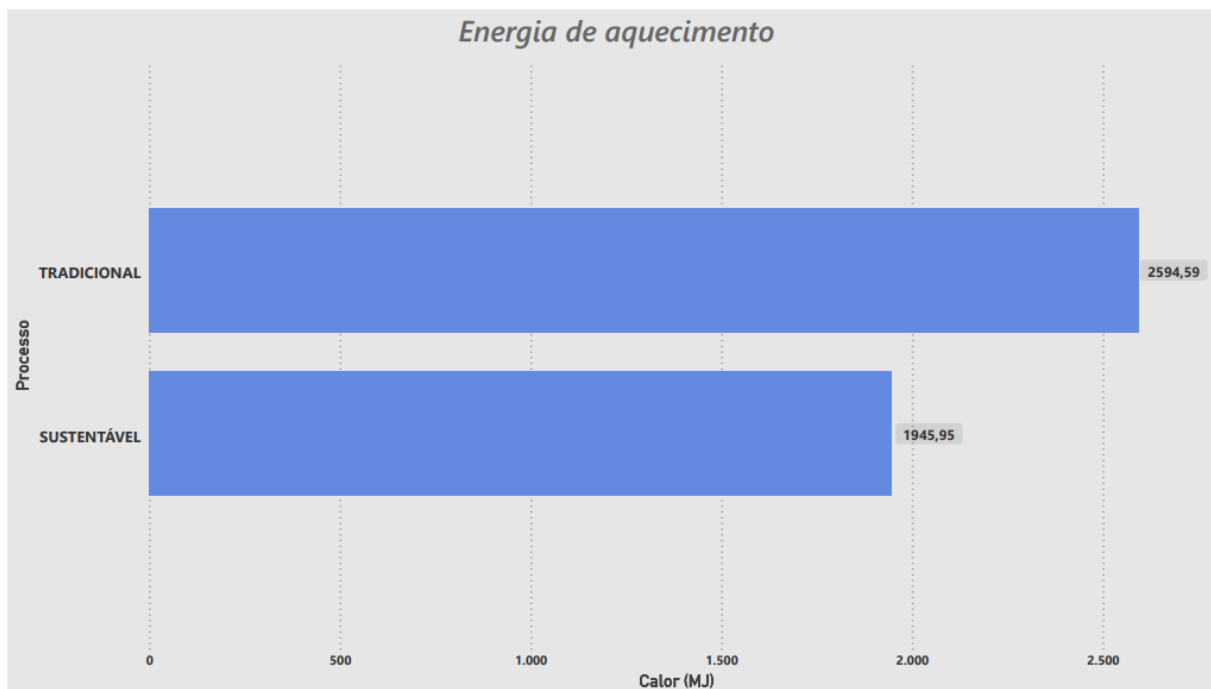
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

A cada vez que a máquina é esvaziada e preenchida novamente, a temperatura de chegada da água industrial é de aproximadamente 40 °C; logo, essa é a temperatura inicial considerada, e a temperatura final varia de acordo com cada rampa de aquecimento presente nas etapas de ambos os processos, como foi apresentado nas Figuras 22 a 27. Já o calor específico foi aproximado para o calor específico da água pura, de 1 cal/g. °C, para fins de cálculo.

A massa de água foi calculada a partir do volume de água de 2839,76 litros, que corresponde à máquina cheia para a partida estudada. Com a densidade da água, à temperatura inicial, de 0,9922 g/cm<sup>3</sup>, foi possível estimar a massa a ser aquecida: 2816,86 kg.

Com todas as informações necessárias, foram determinados os valores da quantidade de calor (em quilojoules) necessária para os processos comparados, como mostra o gráfico da Figura 37. Devido à diferença de quantidade de banhos para aquecer na lavagem, é evidente a redução de 25% na quantidade necessária de calor entre os dois processos.

Figura 37 - Gráfico de comparação de energia térmica



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Tendo em vista a análise quantitativa apresentada sobre os produtos utilizados nos processos, assim como água e energia, é possível executar uma avaliação econômica. A partir de relatórios da empresa, dados de custo de energia elétrica, custo para tratar efluentes e custos das receitas considerando produtos auxiliares e corantes foram coletados, entre outras informações. Contudo, a parte que se refere ao custo do calor de aquecimento utilizado teve que ser calculado considerando sua origem: vapor de água produzido na caldeira da indústria

Como o valor da quantidade de calor necessária é conhecida para ambos os processos, este foi utilizado como referência do que é produzido na caldeira para alimentar o processo. Logo, conhecendo a pressão de operação de 8 kgf/cm<sup>2</sup> da caldeira e utilizando as tabelas de vapor saturado, é possível encontrar a entalpia do vapor produzido de 2772,8 kJ/kg. Em vista do novo dado encontrado, é possível calcular a massa de vapor que é produzida em kg, relacionando a entalpia em kJ/kg, e a quantidade de calor em megajoule já calculado.

Através de dados fornecidos pela empresa, a vazão da queima do gás natural e de vapor produzido na caldeira são conhecidos e aproximadamente iguais a 605 m<sup>3</sup>/h e 8000 kg/h, respectivamente. Dessa forma, ambos os dados são relacionáveis pelo tempo de operação, então a partir da massa de vapor (kg) a ser produzida, já calculada, e da vazão

de vapor (kg/h), é possível se obter o tempo de operação da caldeira para produzir o vapor necessário para alimentar os processos de pré-alvejamento, tingimento e lavagem. Com a última informação calculada, facilmente é possível achar o volume de gás queimado para o intervalo de tempo em questão.

A metodologia descrita foi aplicada para ambos os processos que estão sendo comparados e para todas as suas etapas. Uma vez que se obteve o volume de gás queimado, com o preço disponibilizado por relatórios internos, foi determinado os custos de aquecimento. Já o custo referente apenas a energia elétrica utilizada no processo foi calculada a partir da multiplicação da potência da máquina de tingimento, tempo total de cada processo e tarifa de energia paga pela indústria. Somando-se os custos totais de calor de aquecimento e energia elétrica, existe uma redução de aproximadamente 30% de custos no processo sustentável.

Outro insumo utilizado foi a água. Para o tingimento, é utilizada água industrial que provém de poços artesanais de propriedade da empresa, logo ela não entra nas despesas, assim como a água que é transformada em vapor na caldeira, pois ela se trata de água recuperada de outros processos. Logo, o que influencia em algum custo relacionado à quantidade de água utilizada nos processos é o tratamento de efluentes.

Para determinar a quantidade de água de cada processo, deve-se apenas considerar quantas vezes a máquina foi esvaziada e preenchida em cada etapa do processo e multiplicar pelo volume de 2879,76 litros. Ao quantificar o volume aproximado de efluente para ambos os processos estudados, foi constada uma redução de 12,5% nos custos de tratamento para o processo sustentável.

Por fim, ao se compararem os custos de receita de produtos e corantes por metro de matéria prima, existe um aumento de 8% de custo para os produtos sustentáveis quando comparados aos tradicionais. No geral, ao se ponderar o aumento ou redução nos custos de cada etapa de ambos processos estudados, conforme mostra a Tabela 5, quando foram aplicados os valores reais de cada item notou-se que a economia gerada pelos insumos no processo sustentável praticamente se igualou com a economia gerada pelos produtos e corantes no processo tradicional, logo houve com uma redução de apenas 0,02% de despesas no processo sustentável no geral.

Tabela 5 - Resumo do aumento ou redução de custos

<b>Tipo de custo</b>	<b>Para o processo sustentável houve:</b>
<b>Custo de receita de corante e produtos auxiliares por metro de matéria prima</b>	Aumento de 8%
<b>Custo de tratamento de efluentes</b>	Redução de 12,5%
<b>Custo da energia térmica e elétrica</b>	Redução de 30%
<b>Custo geral</b>	Redução de 0,02%

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os resultados apresentados constataam a viabilidade do processo alternativo sustentável proposto, e alguns pontos devem ser ressaltados. Apesar do mesmo custo dos processos quando analisados a curto prazo, é de se esperar que o processo alternativo traga benefícios e redução de despesas para a estação de tratamento da empresa, já que existe uma redução geral de 46,78% de produtos em massa e origem biodegradável de diversas substâncias, implicando, entre outras coisas, na potencial diminuição na DBO e DQO dos efluentes e sólidos totais dissolvidos no efluente, tendo como consequência direta um menor uso de produtos para tratá-lo.

O impacto ao meio ambiente também é reduzido, uma vez que muitos produtos são originados de resíduos de alimentos e existe uma grande redução de água no processo de lavagem. Além disso, a menor quantidade de produtos impacta diretamente na rotina dos trabalhadores, uma vez que existem menos soluções para serem preparadas e produtos para serem direcionados ao processo, o que também diminui o tempo de *set up* da operação, resultando em maior produtividade e melhora de custos a longo prazo.

## 5. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, foi comprovada a viabilidade do tingimento reativo sustentável. O processo estudado se mostrou tão bom quanto o processo tradicional em termos de qualidade, como foi mostrado pelos testes de solidez executados, todos aprovados com excelentes notas, além de também se manter na mesma faixa de custo do processo tradicional quando se consideram os produtos auxiliares e corantes utilizados, tratamento de efluente e uso de energia térmica e elétrica.

Como característica mais impactante, pode-se destacar a redução de 46,78% da massa total de produtos e, dentro deste parâmetro, uma redução de 70% de eletrólito especificamente, quando se compara o processo de tingimento reativo sustentável com o tradicional. Somado a isso, a redução de água considerável impactará positivamente o custo do tratamento de efluentes. Ainda podem-se citar vantagens como uma redução de 25% de energia térmica, impacto positivo na rotina de trabalhadores e, no geral, toda a redução de impactos ambientais.

## 6. REFERÊNCIAS

- AGRICHEM. **A produção de algodão no brasil**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.agrichem.com.br/blog/a-producao-de-algodao-no-brasil>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- AGROCANAL. **Conheça a história da produção de algodão no Brasil**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/conheca-a-historia-da-producao-de-algodao-no-brasil/>. Acesso em: 24 jun. 2022.
- AHMED, Sabbir. Reactive Dyes: Classification | Properties | Dyeing Method. *In: TEXTILESTUTS. Wet Processing* . [S. l.], 29 set. 2014. Disponível em: <https://textiletuts.com/reactive-dyes/>. Acesso em: 13 abr. 2022.
- ALBINANTE, Sandra Regina *et al.* REVISÃO DOS TRATAMENTOS QUÍMICOS DA FIBRA NATURAL PARA MISTURA COM POLIOLEFINAS. **SciELO**, Rio de Janeiro, 2013.
- ALEXANDRINO, Ana Maria *et al.* Aproveitamento do resíduo de laranja para a produção de enzimas lignocelulolíticas por *Pleurotus ostreatus*. **SciELO**, Maringá, Paraná, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/qNtCfR3rNx8h4WCSKsBgJxp/?lang=pt#:~:text=Em%20m%C3%A9dia%2C%2034%25%20da%20produ%C3%A7%C3%A3o,umidade%20aproximada%20de%2082%255>. Acesso em: 23 jun. 2022.
- AMIN, M. Nabeel; BLACKBURN, Richard S. Sustainable Chemistry Method to Improve the Wash-off Process of Reactive Dyes on Cotton. **Acs sustainable chemistry & engineering**, [s. l.], 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **Algodão no mundo**. [s.l.], 2018.
- AWWAD, Nasser S.; ALGARNI, Hamed Majdooa; SAMANTA, Ashis Kumar. **Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments**. Londres: IntechOpen, 2020. DOI <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.83199>. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=FpYtEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA229&ots=2itCDAZSRi&sig=2OKLSRrgGske2reEJ4Xs6SSt0r0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 25 abr. 2022.
- BERLIM, Lilyan. **Moda e sustentabilidade: Uma reflexão necessária**. São Paulo: [s. n.], 2012. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=1VDYDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&ots=MJOG9IA9rA&sig=PpgdJ4dzzRgrk6J1aGfkIZLxu8o#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 21 jun. 2022.
- BLACKBURN, Richard S.; BURKINSHAW, Stephen M. **Treatment of Cellulose with Cationic, Nucleophilic Polymers to Enable Reactive Dyeing at Neutral pH Without Electrolyte Addition**. **Wiley Periodicals**, Inglaterra, 2002.
- BROADBENT, Arthur. **Basic Principles of Textile Coloration**. Inglaterra: Society of Dyers and Colourists, 2001.
- BRUNO, Flavio S.; PURCIDÔNIO, Paula M.; VILELA, Viviane A.; VIANA, Ingrid D.; VALLE, Rogério A. B. **Aquisição de competências ambientais na indústria têxtil: oportunidades para a diferenciação competitiva a partir do emprego de**

metodologias de avaliação de impactos ambientais. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Anais. Salvador, out. 2009

BRUNO, Paulo da Silveira. **Quarta revolução industrial do setor têxtil e de confecção: A visão de futuro para 2030**. 1. ed. São Paulo: Estação das letras e cores, 2016.

CHATTOPADHYAY, D. P. Chemistry of dyeing. In: HANDBOOK of textile and industrial dyeing. Índia: [s. n.], 2011. cap. 4, p. 150-183.

CHEQUER, F.M.D. *et al.* **Textile dyes: Dyeing process and environmental impact**. Eco-Friend. Text. Dye. Finish, [s,l] 2013.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO - CMMAD. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE (CIE). **COLORIMETRY - PART 4: CIE 1976 L\*A\*B\* COLOUR SPACE**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://cie.co.at/publications/colorimetry-part-4-cie-1976-lab-colour-space-0>. Acesso em: 12 abr. 2022.

COSTA, Ana Luísa Bobião. Avaliação de amaciadores para uso na indústria têxtil. **RepositóriUm**, Minho, Portugal, 2014.

DE OLIVEIRA, Lucas Rebello et al. Sustentabilidade da evolução dos conceitos à implementação como estratégia nas organizações. **Produção**, [s. l.], v. 22, ed. 1, p. 70-82, jan./fev. 2012.

DOS SANTOS, Maria Eduarda K. N. **A inserção de um beneficiamento têxtil sustentável e seus impactos**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, 2021.

ELKINGTON, J. **Triple bottom line revolution: reporting for the third millennium**. Australian CPA, v. 69, p. 75, 1994.

Escola Estadual de Educação Profissional - EEEP. **Fibras têxteis**. Ceará, 2022. Disponível em: <https://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/>. Acesso em: 24 jun. 2022.

EYSAN FABRICS. **Ultimate Guide to Color Fastness of Fabrics**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.eysan.com.tw/ultimate-guide-to-color-fastness-of-fabrics/>. Acesso em: 25 jun. 2022

FAEG (FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DE GOIÁS). **Brasil se destaca como maior produtor mundial de laranja e exportador de suco da fruta**. [S. l.], 9 jun. 2021. Disponível em: <https://sistemafaeg.com.br/faeg/noticias/citrus/brasil-se-destaca-como-maior-produtor-mundial-de-laranja-e-exportador-de-suco-da-fruta>. Acesso em: 23 jun. 2022.

FENIX FABRIL. **Tingimento têxtil**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.fenixfabril.com.br/noticia/10/tinturaria/tingimento-textil#:~:text=O%20tingimento%20%C3%A9%20um%20processo,provoque%20uma%20percep%C3%A7%C3%A3o%20de%20cor>. Acesso em: 19 abr. 2022.

FIBRENAMICS. **As Fibras: O que são e que tipos existem.** [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.fibrenamics.com/intelligence/reports/as-fibras-o-que-sao-e-que-tipos-existem>. Acesso em: 24 jun. 2022.

FIOROTTO, Nilton Roberto. ENTENDENDO O ESPAÇO DE COR L\*A\*B\*. *In*: INSTITUTO SENAI DE TECNOLOGIA TÊXTIL, MODA E CONFECÇÃO. SENAI. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://textil.sp.senai.br/5287/entendendo-o-espaco-de-cor-l-a-b>. Acesso em: 20 jun. 2022.

GOMES, J. I.N. R. **TINGIMENTO.** Universidade do Minho, Portugal., 2002. Disponível em: <http://www.geocities.ws/>. Acesso em: 19 jun. 2022

GROSE, Lynda; FLETCHER, Kate. **Moda e sustentabilidade:** Design para mudança. São Paulo, 2019.

GUARATINI, Cláudia C. I.; ZANONI, Maria Valnice B. **CORANTES TÊXTEIS.** SciELO, São Paulo, 31 mar. 1999. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000100013>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/Hn6J5zNqDxVJwX495d4fnLL/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 abr. 2022.

GUIMARÃES, Lilyan. A Indústria têxtil brasileira e suas adequações na implementação do desenvolvimento sustentável. **Moda periódico**, Santa Catarina, 2014.

IARC (WORLD HEALTH ORGANIZATION INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER). **Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans:** Some Aromatic Amines, Organic Dyes, and Related Exposures. França, 2010. Disponível em: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Some-Aromatic-Amines-Organic-Dyes-And-Related-Exposures-2010>. Acesso em: 20 jun. 2022.

Imada, K., Harada, N., 1992. Recent developments in the optimized dyeing of cellulose using reactive dyes. *J. Soc. Dye. Colour.*

INGAMELLS, Wilfred. **Colour for textiles.** Society of Dyers and Colourists, 1993.

KHARAT, D.S. TREATMENT OF TEXTILE INDUSTRY EFFLUENTS : LIMITATIONS AND SCOPE. **Research gate**, Índia, 8 jun. 2015.

KHATRI, A.; WHITE, M. Sustainable dyeing technologies. *In*: SUSTAINABLE Apparel. [S. l.: s. n.], 2015. cap. 5.

KIRON, Mazharul Islam. What is Color Fastness | How to Improve Colorfastness | Importance of Color Fastness. *In*: **Textile learner.** [S. l.], 16 dez. 2021. Disponível em: <https://textilelearner.net/what-is-color-fastness/>. Acesso em: 25 jun. 2022.

KONICA MINOLTA. **Compreendendo o Espaço de Cor CIE L\*C\*h.** [S. l.], entre 2006 e 2020. Disponível em: <https://sensing.konicaminolta.us/br/blog/compreendendo-o-espaco-de-cor-cie-lch/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

LEÃO, M. M. D. et al. **Controle ambiental da indústria têxtil:** Acabamento de malhas. Belo Horizonte: Segrac, 2002.

LOPES, Valter. História do Brasil. *In*: MEMORIAL DA INDÚSTRIA. **A indústria têxtil no Brasil**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://memorialdaindustriago.com.br/memorial/timeline/a-industria-textil-no-brasil>. Acesso em: 26 abr. 2022

MARROQUES, Julia Cruz. **APLICAÇÃO DE ENZIMAS NA INDÚSTRIA TÊXTIL**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia química) - Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br>. Acesso em: 20 jun. 2022

MMA-MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Produção Sustentável**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/conceitos/producao-sustentavel.html>. Acesso em: 27 jun. 2022.

OLIVEIRA, Robson Moreira de. **O setor de manutenção de uma indústria de beneficiamento têxtil: análise e sugestão de melhorias**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

organic dyes and pigments. 2.ed. Nova York: V.C.H, 1991.

PARDO, Pedro J. *et al.* A Low-Cost Real Color Picker Based on Arduino. **Researchgate**, [s. l.], 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/figure/CIE-LAB-1976-color-space\\_fig2\\_263697963](https://www.researchgate.net/figure/CIE-LAB-1976-color-space_fig2_263697963). Acesso em: 29 jun. 2022.

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

PRODUCTIPEDIA. **Translate Colour fastness of textiles**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.productipedia.com/kb/productipedia/compliance-resources/colour-fastness-of-textiles#:~:text=Colour%20fastness%20is%20the%20resistance,expressed%20as%20soiling%20or%20staining>. Acesso em: 25 jun. 2022.

RICHARDS, P. R. **Dye types and application methods**. *In*: COLOUR Design: Theories and Applications. Inglaterra.: Woodhead Publishing, 2012.

RODRIGUES, Cecilia; LAURSEN, Saren; ALLWOOD, Julian. **Well Dressed?** The present and the future sustainability of clothing and textiles in the United Kingdom. University of Cambridge, Institute for Manufacturing, p. 9-14, 2006.

ROMERO, Luiz Lauro *et al.* FIBRAS ARTIFICIAIS E SINTÉTICAS. **Banco Nacional do desenvolvimento**, Rio de Janeiro, 1995.

SHARMA, Jyotshana *et al.* Classification and impact of synthetic textile dyes on Aquatic Flora: A review. **Elsevier**, Índia, 2021.

SHILA, Salma Hasin. Properties & Classification of Reactive Dyes Properties & Classification of Reactive Dyes. *In*: TEXTILE PROPERTY. **Classification of Reactive**

**dye**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.textileproperty.com/properties-classification-of-reactive-dyes/>. Acesso em: 16 abr. 2022.

SILVA, Bárbara. Recursos naturais da Terra esgotados em 2021. *In*: ECO

SAPO. **Ambiente**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://eco.sapo.pt/2021/07/29/recursos-naturais-da-terra-esgotados-em-2021-a-partir-de-hoje-vivemos-em-defice-ecologico/#:~:text=Ao%20fim%20de%2020%20dias,para%20renovar%20durante%2012%20meses>. Acesso em: 27 jun. 2022.

SIMÃO, Fabiana Quental. **ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DURANTE OS PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO TÊXTEI**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Curso superior de Tecnologia em Têxtil e Moda) - FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/handle/123456789/3837>. Acesso em: 29 abr. 2022

SINGH, KAMALJIT; ARORA, SUCHARITA. Removal of Synthetic Textile Dyes From Wastewaters: A Critical Review on Present Treatment Technologies. **Taylor & Francis Group**, Índia, p. 807-878, 4 abr. 2011.

SIYAVULA. **Addition, elimination and substitution reactions**. [S. l.], 2007. Disponível em: <https://www.siyavula.com/read/science/grade-12/organic-molecules/04-organic-molecules-06>. Acesso em: 16 abr. 2022

SOUZA, Gislaíne. **Materiais e processos têxteis**. 2. ed. Santa Catarina: CEFET/SC, 2009.

TEXCONTROL. **Escala Cinza ISO A03 transferência de cor TC 259-A**. São Paulo, 2016. Disponível em: <https://texcontrol.com.br/produto/escala-cinza-iso-a03-transferencia-de-cor-tc-259-a/>. Acesso em: 12 abr. 2022

TEXTILE Dyeing: Common terms used and Dyes classification. *In*: **Textile Sphere**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.textilesphere.com/2020/10/textile-dyeing-terminologies-classification-of-dyes.html>. Acesso em: 17 jun. 2022

TOMAZELI, Vanessa. **Um Pouco da História do Tingimento Natural**. [S. l.], 8 maio 2020. Disponível em: <https://panodaterra.com/blog/f/um-pouco-da-hist%C3%B3ria>. Acesso em: 26 abr. 2022.

TONIOLLO, Michele *et al.* **INDÚSTRIA TÊXTEL: SUSTENTABILIDADE, IMPACTOS E MINIMIZAÇÃO. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Porto Alegre, RS, 2015.

TREVISAN, M. et al. **Uma ação de responsabilidade socioambiental no rodeio internacional**. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 28., 2008, Rio de Janeiro.

TUTAK, Mustafa; ZDEMIR, Agah Oktay O. Reactive Dyeing of Cationized Cotton: Effects on the Dyeing Yield and the Fastness Properties. **Wiley periodics**, Turquia, 2010.

URBAN, Maria Lucia de Paula. **DESENVOLVIMENTO DA PRODUÇÃO DE TÊXTEIS DE ALGODÃO NO BRASIL**. São Paulo, 1995. Disponível em: <http://www.iaa.agricultura.sp.gov.br/out/index.php>. Acesso em: 25 jun. 2022.

WALTRICK, Ana Carla. Tingimento de Corantes Reativos e suas influências. *In*: LINKEDIN. **Corantes Reativos**. [S. l.], 27 jun. 2019. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/tingimento-de-corante-reativo-e-suas-influ%C3%A2ncias-ana-carla-waltrick>. Acesso em: 27 jun. 2022.

ZANONI, Maria V. *et al.* **Corantes**: Caracterização química, toxicologia, métodos de detecção e tratamento.. São Paulo: Cultura acadêmica, 2016. *E-book* (347 p).

ZOLLINGER, Heinrich. **Color chemistry: syntheses, properties, and applications of organic dyes and pigments**. John Wiley & Sons, 2003.