



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL - PGETEX

Edilson Locks

**TINGIMENTO REATIVO DE FIOS DE ALGODÃO POR ESGOTAMENTO EM MEIO
OLEOSO**

BLUMENAU
2024

Edilson Locks

**TINGIMENTO REATIVO DE FIOS DE ALGODÃO POR ESGOTAMENTO EM MEIO
OLEOSO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Catia Rosana Lange de Aguiar

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de Souza

BLUMENAU

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Locks, Edilson

Tingimento reativo de fios de algodão por esgotamento em meio oleoso / Edilson Locks ; orientador, Catia Rosana Lange de Aguiar, coorientador, Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de Souza, 2024.

100 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Tingimento em meio oleoso. 3. Tingimento convencional. 4. Sustentabilidade. I. Aguiar, Catia Rosana Lange de. II. Souza, Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil. IV. Título.

Edilson Locks

Tingimento reativo de fios de algodão por esgotamento em meio oleoso

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 22 de março de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof^a. Dr^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Miguel Angelo Granato, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Dr. Carlos Rafael Silva de Oliveira, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof^a. Dr^a. Fernanda Steffens

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil

Insira neste espaço a
assinatura digital

Prof^a. Dr^a. Catia Rosana Lange de Aguiar
Orientadora

Blumenau, 2024.

Dedico este trabalho a Deus, à minha esposa, Roseli Correia e a nossos
filhos, Eduardo Adão Locks e Carolina Locks.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil (PGETEX), por proporcionar experiências excepcionais e estrutura necessárias para realização do mestrado.

À minha família, em especial minha esposa e meus filhos, pela paciência e apoio durante todas as fases do mestrado, proporcionando incentivo para conclusão.

Agradeço a minha orientadora Prof^a. Dr^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, por todo tempo dedicado, por incentivar e acreditar sempre no sucesso do trabalho desde o começo até o final. Exemplo de profissional dedicada, sempre será uma referência na área têxtil.

À minha coorientadora Prof^a. Dr^a. Selene Maria Arruda Guelli Ulson de Souza, que contribuiu de forma significativa, com orientação e conhecimento compartilhado durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores Dr. Carlos Rafael Silva de Oliveira e Dr. Miguel Angelo Granato, pelo apoio e compartilhamento de conhecimento na banca de qualificação e defesa de dissertação.

Agradeço a empresa Fiobras LTDA | Fios Tintos, representado por seu Diretor Presidente Landolino Schulz e William Schulz Diretor Administrativo, pelo excepcional suporte oferecido por toda a equipe e pela infraestrutura de ponta do laboratório químico, prezando sempre pelo desenvolvimento em educação e pesquisa.

Agradeço a Profa. Lidiane Meier pelo teste de FTIR. À Sarah Ferreira, Geovani Tenfen de Freitas, Aldo Tenfen Junior, Anderson Dobuchak, Isabela Danieli dos Santos e Franciele Lemes Rosa por contribuir nas atividades de desenvolvimento em laboratório e leituras das amostras.

Ao Jemerson Jung Freitas (TEKA), por contribuir com testes de solidez à fricção a seco e úmido.

Às empresas que contribuíram com materiais para o desenvolvimento dos ensaios em laboratório, como, Ekotex, Bunge, Color Química, Hanier, NS Química.

Ao Laboratório de Ensaio Físicos e Químicos Têxteis (LAFITE) do SENAI de Brusque, pelo teste de solidez à luz, bem como a Fundação Blumenauense de Estudos Têxteis (FBET) do SENAI de Blumenau, pelo teste de resistência.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein.

RESUMO

O atual cenário econômico e ambiental, que busca reduzir potencialmente a poluição das atividades industriais, abrange o setor têxtil em toda a sua cadeia, desde o plantio do algodão até a confecção de artigos para comercialização. A indústria têxtil detém grande parte dos poluentes concentrados no processo de beneficiamento secundário, por meio de tingimentos que são responsáveis pelas descargas de efluentes com altas concentrações de corantes hidrolisados e sais. É considerável, desse modo, a problemática envolvendo a redução ou eliminação da utilização de eletrólito no processo de tingimento, bem como a redução da quantidade de corante reativo, sem, entretanto, reduzir a qualidade do tingimento obtida nos processos convencionais. Estudos internacionais recentes, apresentam a possibilidade de realizar tingimentos de substrato têxtil de 100% algodão com corante reativo, sem utilização de eletrólito, em meio oleoso. O presente estudo, pretende apresentar propostas de processos para tingimento de fios de algodão com corante reativo red 195 em meio oleoso utilizando óleo de soja como solvente, visando comprovar a efetividade de tingimento e igualização de fios tintos em laboratório. Após a realização de ensaios em escala laboratorial envolvendo a testagem de proporções de óleo e água, foi verificada a condição ideal para a igualização na emulsão, compreendendo 75% de óleo de soja bruto e 25% de água. Comparando os processos de tingimento tradicional e em meio oleoso, aqui proposto, a redução do eletrólito de 75,00 g/L no tingimento convencional para 18,75 g/L em meio oleoso representa uma redução real de 75% do eletrólito. Estas condições resultaram para tingimento convencional com 2% spm de corante força colorística igual $100 \pm 4,98$ e para tingimento com óleo de soja bruto força colorística de $112 \pm 6,64$. Como forma de verificar a qualidade do tingimento real, foram realizados ensaios de solidez à lavagem, solidez à fricção e solidez à luz em amostras tintas pelo processo convencional e pelo tingimento com óleo de soja bruto, onde foi possível concluir que o tingimento produzido em meio oleoso apresenta resultados similares ou mesmo superiores ao tingimento convencional. Foram também aplicados os modelos de cinética cuja linearização resultante consolida a afirmativa de que o tingimento em meio oleoso reproduz resultados superiores ao tingimento convencional. Foram também realizados ensaios de FTIR que mostraram a não modificação nos grupos funcionais orgânicos na superfície dos fios tintos quando comparados os dois sistemas de tingimento. Para promover a otimização no uso do solvente para o tingimento em meio oleoso, é proposta a recuperação do óleo em cinco ciclos de tingimento, nos quais este veículo de tingimento mantém a força colorística com resultados superiores ao primeiro ciclo e com média de 85,67% de recuperação do óleo. Os resultados obtidos apontam que os tingimentos em meio oleoso promovem a redução de eletrólito, redução do consumo de água e reaproveitamento do óleo como solvente por vários ciclos, demonstrando que este processo possui potencial para tingimento em escala produtiva.

Palavras-chave: Tingimento convencional. Tingimento em meio oleoso. Algodão. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The current economic and environmental scenario, which seeks to potentially reduce pollution from industrial activities, covers the textile sector throughout its entire chain, from cotton planting to the manufacture of articles for sale. The textile industry contains a large part of the pollutants concentrated in the secondary dyeing process, which is responsible for the discharge of effluents highly concentrated of hydrolyzed dyes and salts. Therefore, the problem involving the reduction or elimination of the use of electrolyte in the dyeing process, as well as the reduction of the amount of reactive dye, is considerable, without, however, reducing the quality of the dyeing obtained in conventional processes. Recent international studies present the possibility of dyeing 100% cotton textile substrates with reactive dye, without using electrolyte, in an oily medium. The present study aims to present proposals for processes of dyeing cotton yarns with reactive dye Red 195 in an oily medium using soybean oil as a solvent, aiming to prove the effectiveness of dyeing and equalization of the dyed yarns in the laboratory. After carrying out tests on a laboratory scale involving testing the proportions of oil and water, the ideal condition for equalization in the emulsion was verified, comprising 75% crude soybean oil and 25% water. Comparing the traditional dyeing processes and those in an oily medium, proposed here, the reduction in electrolyte from 75.00 g/L in conventional dyeing to 18.75 g/L in an oily medium represents a real reduction of 75% of the electrolyte. These conditions resulted in conventional dyeing with 2% spm of dye, having a color strength of 100 ± 4.98 and for dyeing with crude soybean oil a color strength of 112 ± 6.64 . As a way of verifying the quality of the real dyeing, tests of fastness to washing, fastness to friction and fastness to light were carried out on samples dyed by conventional process and by dyeing with crude soybean oil, where it was possible to conclude that the dyeing produced in an oily medium, presents similar and even superior results to conventional dyeing. Kinetic models were also applied, the resulting linearization of which consolidates the statement that dyeing in an oily medium produces better results than conventional dyeing. FTIR tests were also carried out, which showed no change in the organic functional groups on the surface of the dyed yarns when comparing the two dyeing systems. To promote optimization in the use of solvent for dyeing in an oily medium, it is proposed to recover the oil after five dyeing cycles, in which this dyeing vehicle maintains the color strength and K/S with results superior to the first cycle and with an average of 85.67% oil recovery. The results obtained indicate that dyeing in an oily medium promotes electrolyte reduction, the reduction of the water consumption and reuse of oil as a solvent for several cycles, demonstrating that this process has potential for testing on a production scale.

Keywords: Conventional Dyeing. Dyeing in oily medium. Cotton. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da estrutura química da cadeia de celulose	23
Figura 2 – Representação das cadeias de celulose em uma fibra de algodão.....	24
Figura 3 – Estrutura química do Vermelho Reativo (C.I Reactive Red 195).....	27
Figura 4 – Representação esquemática das diferentes classes de surfactantes	30
Figura 5 – Estrutura química dodecil sulfato de sódio.....	31
Figura 6 – Estrutura química do cloreto de dodecilamônio	32
Figura 7 – Estrutura química do N-dodecil-N,N-dimetilbetaína	33
Figura 8 – Estrutura química do ácido graxo etoxilado	34
Figura 9 – Influência da temperatura na cinética e no estado de equilíbrio	39
Figura 10 – Espaço de cor CIE L* a* b*.....	45
Figura 11 – Bobina cruzada de fio 100% algodão para Pré-Alveamento.....	56
Figura 12 – Cilindros flexíveis perfurados.....	57
Figura 13 – Curva do processo de Pré-Alveamento.....	58
Figura 14 – Gráfico do processo de tingimento convencional com corante reativo...	60
Figura 15 – Gráfico de tingimento de fios de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja e eletrólito	63
Figura 16 – Gráfico de tingimento de fios de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja sem eletrólito	64
Figura 17 – Gráfico de lavagem após tingimento convencional ou com emprego de óleo de soja.....	65
Figura 18 – Esquema de remoção de óleo e processo de lavagem de tecidos de algodão após o tingimento	67
Figura 19 – Banho pós tingimento com 75% de óleo e 25% de água.....	68
Figura 20 – Representação gráfica dos valores K/S com redução de eletrólito	77
Figura 21 – Relatório fotográfico dos banhos residuais de tingimento.....	78
Figura 22 – Cinética de tingimento, (a) tingimento convencional, (b) tingimento com óleo e presença de sal, fase óleo, (c) tingimento com óleo e presença de sal, fase água.....	80
Figura 23 – Cinética de pseudo-primeira ordem dos tingimentos, (a) tingimento convencional, (b) tingimento com óleo e presença de sal, fase óleo, (c) tingimento com óleo e presença de sal, fase água	81

Figura 24 – Cinética de pseudo-segunda ordem de tingimento, (a) tingimento convencional, (b) tingimento com óleo e presença de sal, fase óleo, (c) tingimento com óleo e presença de sal, fase água	82
Figura 25 – Isoterma de Langmuir do tingimento, (a) tingimento convencional, (b) tingimento com óleo e presença de sal, fase óleo, (c) tingimento com óleo e presença de sal, fase água	83
Figura 26 – Isoterma de Freundlich do tingimento, (a) tingimento convencional, (b) tingimento com óleo e presença de sal, fase óleo, (c) tingimento com óleo e presença de sal, fase água	84
Figura 27 – Caracterização por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier, (a) óleo cru e óleo comercial, (b) tingimento convencional e tingimento em meio oleoso	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos emulsionantes de acordo com a faixa HBL.....	34
Quadro 2 – Publicações identificadas na literatura utilizando óleos	48
Quadro 3 – Materiais utilizados na pesquisa.....	54
Quadro 4 – Equipamentos e software utilizados	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comprimento de onda do espectro da luz visível.....	43
Tabela 2 – Formulação da solução de Pré-Alvejamento.....	57
Tabela 3 – Formulação de dosagem do processo de Pré-Alvejamento.....	58
Tabela 4 – Formulação tingimento convencional com corante reativo	60
Tabela 5 – Formulação dos testes realizados com emprego de óleo de soja	61
Tabela 6 – Relação dos testes realizados com emprego de óleo de soja com variação na proporção de água e óleo.	62
Tabela 7 – Relação dos testes realizados com emprego de óleo de soja (SO) e variação na quantidade de eletrólito	63
Tabela 8 – Formulação tingimento dos fios de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja e eletrólito	63
Tabela 9 – Formulação tingimento dos fios de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja e sem eletrólito.	64
Tabela 10 – Formulação para lavagem de tingimento convencional ou com emprego de óleo de soja	66
Tabela 11 – Dados de referência da Uster Statistics	71
Tabela 12 – Resultados obtidos das amostras tintas em laboratório.....	75
Tabela 13 – Leitura das amostras com redução de eletrólito.....	76
Tabela 14 – Quantidade de óleo recuperado	78
Tabela 15 – Resultados das amostras tingidas com óleo reaproveitado.....	79
Tabela 16 – Resultados de resistência	87
Tabela 17 – Transferência e cor do fio tingido para tecido-testemunha no teste de solidez à lavagem.....	88
Tabela 18 – Transferência de cor do fio tingido para tecido-testemunha no teste de solidez à fricção a úmido.....	89
Tabela 19 – Transferência de cor do fio tingido para tecido-testemunha no teste de solidez à fricção a seco	90
Tabela 20 – Alteração da cor após o teste de solidez à luz	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABRAPA	Associação Brasileira dos Produtores de Algodão
A/O	Emulsão de água em óleo
Cb	Corante remanescente no banho
Cf	Corante na fibra
CI	Índice Internacional de Cores
CO	Algodão
DFT	Teoria do funcional da densidade
FBET	Fundação Blumenauense de Estudos Têxteis
FCEM	Feiras, Congressos e Empreendimentos Ltda
Fe	Ferro
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier
IHM	Interface Homem Máquina
LABMAM	Laboratório de Meio Ambiente
LABENE	Laboratório de Beneficiamento
LAFITE	Laboratório de Ensaio Físicos e Químicos Têxteis
LEM	Laboratório de Ensaio Mecânicos
LTE	Laboratório de Análises Térmicas
HBL	Balanço Hidrofílico – Lipofílico
ISSO	Organização Internacional de Normalização
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
NBR	Norma Brasileira
Ne	Number English
O/A	Emulsão de óleo em água
OE	Óxido de etileno
pH	Potencial hidrogeniônico
PGETEX	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil
R ²	Coeficiente de determinação
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SO	Óleo de soja

Spm	Sobre o peso do material
SWDS	Sistema de solvente de fase dupla de óleo-água
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
WCO	Óleo de cozinha residual
ΔE	Diferença total de cor

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	OBJETIVO	20
1.1.1	Objetivo geral.....	20
1.1.2	Objetivos específicos.....	20
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1	INDÚSTRIA TÊXTIL	22
2.2	FIBRAS DE ALGODÃO	23
2.3	CORANTES E AUXILIARES TÊXTEIS.....	25
2.3.1	Corantes reativos	25
2.3.2	Auxiliares têxteis	28
2.3.3	Não surfactantes.....	28
2.3.4	Surfactantes	29
2.3.4.1	<i>Surfactantes aniônicos</i>	<i>31</i>
2.3.4.2	<i>Surfactantes catiônicos</i>	<i>31</i>
2.3.4.3	<i>Surfactantes anfóteros</i>	<i>32</i>
2.3.4.4	<i>Surfactantes não-iônicos.....</i>	<i>33</i>
2.3.5	Balço hidrofílico-lipofílico de surfactantes	34
2.3.5.1	<i>Dispersantes.....</i>	<i>35</i>
2.3.5.2	<i>Detergentes.....</i>	<i>35</i>
2.3.5.3	<i>Emulgadores.....</i>	<i>36</i>
2.3.5.4	<i>Umectantes.....</i>	<i>36</i>
2.4	TINGIMENTO TÊXTIL	37
2.4.1	Processo de tingimento de algodão com corantes reativos	37
2.4.2	Cinética de tingimento	38
2.4.3	Isotermas de tingimento	40
2.4.3.1	<i>Isoterma de Langmuir.....</i>	<i>41</i>
2.4.3.2	<i>Isoterma de Freundlich.....</i>	<i>42</i>
2.5	COLORIMETRIA.....	43
2.5.1	Sistema CIE Lab.....	44
2.5.2	Modelo Kubelka-Munk.....	46

2.6	TRABAHLOS RECENTES SOBRE TINGIMENTO DE ALGODÃO COM CORANTE REATIVO EM MEIO OLEOSO.....	47
2.6.1	Tingimento de fibras de algodão com emprego de óleo de soja	49
2.6.2	Tingimento de fibras de algodão com emprego de óleo reciclado.....	50
2.6.3	Tingimento de fibras de algodão com emprego de óleo de silicone	51
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	54
3.1	MATERIAIS.....	54
3.1.1	Equipamentos e software utilizados para a realização dos tingimentos.....	54
3.2	EQUIPAMENTOS DE TINGIMENTO	55
3.2.1	Equipamentos de tingimento em escala de laboratório.....	55
3.2.2	Equipamentos de tingimento em escala de produção	55
3.3	MÉTODOS.....	56
3.3.1	Preparação do substrato a ser tingido.....	56
3.3.2	Preparação da solução dos banhos de tingimento	59
3.3.2.1	<i>Solução de corante reativo com água.....</i>	<i>59</i>
3.3.2.2	<i>Dispersão de corante em óleo.....</i>	<i>59</i>
3.3.3	Processo de tingimento convencional de fio de algodão com corante reativo.....	59
3.3.4	Tingimento de fio de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja.....	61
3.3.5	Lavação após tingimento de fio de algodão com corante reativo	65
3.3.6	Avaliação da redução de eletrólito	66
3.3.7	Avaliação da recuperação do óleo	66
3.3.7.1	<i>Extração do óleo do substrato têxtil.....</i>	<i>67</i>
3.3.7.2	<i>Extração do óleo do banho após tingimento.....</i>	<i>68</i>
3.3.7.3	<i>Ensaio de reutilização do óleo após tingimento.....</i>	<i>68</i>
3.3.8	Avaliação da cor	69
3.3.9	Determinação da cinética de adsorção de tingimento	69
3.3.10	Determinação da isoterma de tingimento	70
3.3.11	Espectroscopia no infravermelho por Transformada de Fourier.....	70
3.3.12	Resistência	71
3.3.13	Testes de solidez	72
3.3.13.1	<i>Ensaio de solidez à lavagem.....</i>	<i>72</i>

3.3.13.2	<i>Ensaio de solidez à fricção a seco</i>	72
3.3.13.3	<i>Ensaio de solidez à fricção a úmido</i>	73
3.3.13.4	<i>Ensaio de solidez à luz</i>	73
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
4.1	AVALIAÇÃO DOS TESTES REALIZADOS.....	74
4.2	AVALIAÇÃO DA COR	75
4.3	AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DE ELETRÓLITO.....	76
4.4	AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DO ÓLEO.....	77
4.5	CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE TINGIMENTO	80
4.6	ISOTERMA DE TINGIMENTO	83
4.7	CARACTERIZAÇÃO POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER.....	85
4.8	RESISTÊNCIA.....	86
4.9	RESULTADOS DE SOLIDEZ.....	87
4.9.1	Solidez à lavagem	87
4.9.2	Solidez à fricção	88
4.9.3	Solidez à luz	91
5	CONCLUSÕES	93
6	SUGESTÕES PARA PUBLICAÇÕES FUTURAS	94
	REFERÊNCIAS	95
	ANEXO A – RESULTADOS DE TINGIMENTOS DE FIOS DE ALGODÃO COM CORANTE REATIVO CONVENCIONAL E COM EMPREGO DE ÓLEO DE SOJA	100

1 INTRODUÇÃO

O aumento da poluição ambiental tem evidenciado a necessidade de se preservar os recursos naturais para a sobrevivência do planeta. Nesse contexto a indústria têxtil tem um papel importante no que tange a redução dos impactos ambientais causados por segmentos industriais. Um dos maiores impactos ambientais causados pelo setor têxtil é o elevado consumo de água e geração de efluentes. Nesse sentido, a remoção de corantes de águas residuais vem ganhando popularidade em estudos mais recentes (MU *et al.*, 2019). No entanto, o custo para tratamentos de efluentes é sempre elevado, respondendo por metade do custo real do processamento a úmido de têxteis (MU *et al.*, 2019). Portanto, as pesquisas para desenvolvimento de processos alternativos, que visam reduzir a geração de resíduos e o consumo de recursos naturais, são necessárias.

Com o custo do tratamento de efluentes representando um percentual considerável do processo, a melhor opção é investir em melhorias, visando reduzir a descarga de efluentes, por exemplo, melhorando o esgotamento dos corantes e sua fixação nos substratos têxteis. De acordo com Liu *et al.*, (2020), é fundamental a busca por alternativas que visem o combate contra a escassez de água no planeta. Uma alternativa interessante seria a substituição da água no tingimento de fibras celulósicas, como o algodão, de forma que não comprometa a qualidade do produto. Os processos convencionais descartam um volume elevado de efluentes contendo um grande teor de corantes hidrolisados, sais e outros aditivos. Nesse contexto, uma das alternativas disponíveis é a de utilizar óleos para substituir a água, com posterior recuperação, para serem usados novamente (PEI, GU e WANG, 2021).

A substituição da água pelo óleo de soja possibilita o tingimento das fibras sem o uso de sal. Além disso, o tingimento com um meio bifásico tipo água-óleo (SWDS) permite o uso de uma pequena quantidade de água para tingir o substrato têxtil, reduzindo o uso de corantes e álcalis (MU *et al.*, 2019).

O óleo de cozinha residual (WCO) vem sendo testado em diversos estudos para substituir grande parte da água utilizada no sistema convencional de tingimento (LIU *et al.*, 2020). Através de notável aumento no potencial químico dos corantes no meio de tingimento, o sistema de solventes de fase dupla de óleo-água aumentou notavelmente a concentração do corante na fase interna do solvente (MU *et al.*, 2019).

Os corantes podem ser rapidamente dissolvidos na fase aquosa e adsorvidos nas fibras de algodão a partir da interface de água e óleo (LIU *et al.*, 2020). O efluente de tingimento com corante reativo convencional pode conter até 100 g/L de eletrólitos e 50% dos corantes inicialmente colocados, enquanto o efluente do tingimento reativo com óleo de cozinha residual (WCO) não contém eletrólitos e uma quantidade mínima de corantes, que pode ser descarregado após tratamento simples, (LIU *et al.*, 2020). A aplicação de corantes reativos, entretanto, causa altos e indesejáveis níveis de sólidos dissolvidos e demanda de oxigênio no efluente (KHATRI *et al.*, 2015).

O grande volume de tingimento de substratos de algodão com corantes reativos que geram grandes volumes de águas residuais são aspectos motivadores deste trabalho, onde o objetivo foi efetuar o tingimento com uma emulsão de água e óleo de soja bruto, onde este óleo possa ser reutilizado por vários ciclos de tingimento. Também a presença do segundo maior polo industrial têxtil, localizado no Vale do Itajaí, no estado de Santa Catarina, é um grande incentivo para estudos voltados a este tema. Esta pesquisa foi realizada no Laboratório de Beneficiamento (LABENE), localizado no campus de Blumenau da Universidade Federal de Santa Catarina, bem como no Laboratório de Beneficiamento da empresa Fibras Ltda / Fios tintos, localizada no município de Indaial-SC.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver e aperfeiçoar sistemas de tingimento de fios de algodão com corantes reativos em meio oleoso promovendo redução de impactos ambientais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Definir as melhores condições de tingimento reativo de fios de algodão em meio oleoso;
- Avaliar a possibilidade de tingimento sem adição de eletrólitos ou reduzir o máximo possível a quantidade utilizada;

- Avaliar o potencial de recuperação de óleo após tingimento;
- Compreender os mecanismos de tingimento por meio da aplicação de modelos de cinética e isoterma do tingimento convencional e tingimento em meio oleoso;
- Avaliar a qualidade do tingimento por meio de ensaios de solidez à lavagem, fricção e luz;
- Caracterizar as amostras tingidas por meio de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e resistência à tração.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica sobre a Indústria Têxtil brasileira e mundial; corantes, químicos auxiliares e suas principais características; isoterma de tingimento; cinética de tingimento; sistemas de avaliação e leitura das cores, e o estado da arte inerente ao tingimento de fibras de algodão com corante reativo em meio oleoso. No capítulo 3 são apresentados os materiais, equipamentos e métodos que foram utilizados nesta pesquisa. O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos neste trabalho. O capítulo 5 apresenta as conclusões referentes à pesquisa desenvolvida.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada uma fundamentação teórica composta por contextualização da indústria têxtil no cenário nacional e mundial, com informações relevantes referentes às matérias-primas e insumos utilizados. Também apresenta os sistemas de Colorimetria, cinética de tingimento, isotermas de tingimento e estado da arte do tingimento de fibras de algodão com corantes reativos em meio oleoso.

2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

De acordo com Feiras, Congressos e Empreendimentos Ltda (FCEM) (2019), a primeira revolução industrial aconteceu na Inglaterra, por volta de 1760. Nesse momento, foi quando iniciou o uso de máquinas para confecção de produtos da área têxtil, que antes era dominada por artesãos.

Na Europa, antes do aparecimento do algodão no século XVIII, as fibras utilizadas eram apenas a lã, o linho e a seda. O aparecimento do algodão e os inventos realizados na Inglaterra neste mesmo período contribuíram para uma evolução e expansão extraordinárias da indústria têxtil, Neves, (1987 apud KUHN, 2019).

Segundo Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confecção (ABIT) (2020), nos últimos 19 anos, entre 2000 e 2019, o comércio internacional de têxteis e vestuário mais que dobrou, com o crescimento um pouco mais acentuado no setor de vestuário (alta de 140%), enquanto no setor têxtil o aumento chegou a 121% no período.

De acordo com ABIT (2020), no Brasil foram gerados pela cadeia têxtil 1,5 milhões de postos de trabalho no ano de 2019, ou o equivalente a 21% do total de trabalhadores alocados na produção industrial nesse ano, quase um quarto da mão de obra empregada na indústria de transformação. Esse número só reforça a importância do setor para a economia em geral, com uma alta parcela no emprego, sendo uma das maiores empregadoras do país.

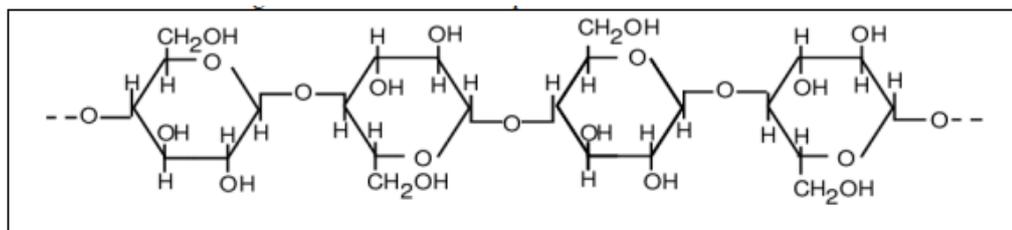
Santa Catarina tem, tradicionalmente, um ritmo de crescimento superior à média nacional em função das características de diversificação da indústria. Acredita-se que, apesar de todos os desafios, 2022 será um ano de desempenho acima da média brasileira (FCEM, 2022).

2.2 FIBRAS DE ALGODÃO

A fibra natural de algodão é abundante e acessível, apresenta requisitos de conforto, renovação, sem irritação à pele, maior relação resistência – peso e maior relação comprimento – diâmetro (KARIMAK *et al.*, 2021).

A sua composição química é dada por celulose (88 a 96,5%), proteínas (1 a 1,9%), ceras (0,4 a 1,2%), pectinas (0,4 a 1,2%), compostos inorgânicos (0,7 a 1,6%) e outras substâncias (0,5 a 8,0%). Não há lignina na composição da fibra de algodão, o que a torna mais macia que as demais fibras vegetais. A variação da composição ocorre em função da variedade, ambiente de crescimento (solo, disponibilidade de água, temperatura, manejo, etc.) e maturidade Hsieh, (2007, apud AGUIAR *et al.*, 2022). A Figura 1 apresenta parte da estrutura química da cadeia de celulose.

Figura 1 – Representação da estrutura química da cadeia de celulose.



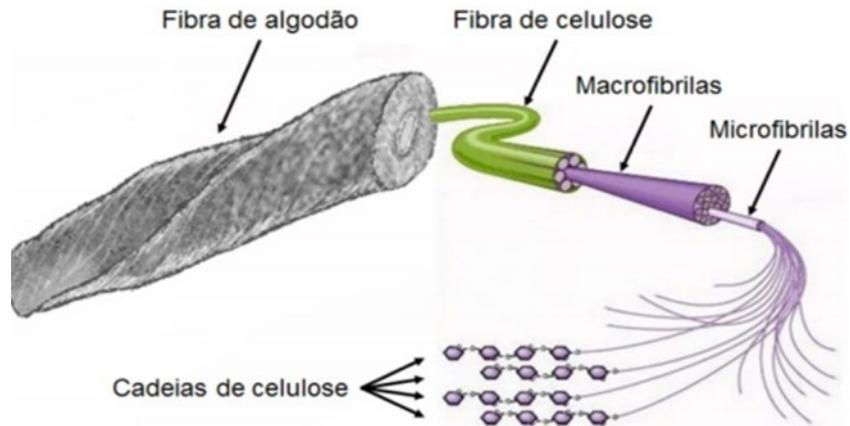
Fonte: Adaptado de Salem (2010).

A classe de fibras naturais consiste em fibras vegetais, minerais e animais. Proteína e celulose, respectivamente, são os principais componentes de fibras animais e vegetais (KARIMAK *et al.*, 2021).

O material têxtil pode apresentar-se de diversas formas, fibra em rama, fio em meada, bobina, tecido, malha ou mesmo artigo confeccionado. Em qualquer dos casos, o tipo de fibra é determinante em todo o processamento. Por outro lado, o tipo de máquina necessita ser adequado de acordo com os artigos têxteis produzidos (ARAÚJO; CASTRO, 1984).

A fibra de algodão (CO) é uma fibra natural de origem vegetal e uma das principais matérias-primas utilizadas no setor têxtil (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996). Na Figura 2 são apresentadas as menores divisões contidas em uma fibra de algodão formada.

Figura 2 – Representação das cadeias de celulose em uma fibra de algodão



Fonte: Bachelier B. Gourlot J. (2018)

Em geral, as fibras naturais apresentam características muito específicas. Portanto, as diferentes fibras exigem condições de processamento diferentes para a sua industrialização. Como explicam Lee *et al.*, (2019), a fibra de algodão nativa é uma fibra altamente cristalina, na qual macromoléculas lineares se mantêm juntas por meio de ligações de hidrogênio intramoleculares e formam uma estrutura de cadeia bem organizada. Mesmo suas regiões amorfas também consistem em estruturas de cadeia rígida ordenada. A partir da teoria do modelo de poros convencional, as moléculas de corante podem apenas adsorver e difundir ou penetrar na rede de poros interconectados em regiões amorfas de tecido de algodão sob intumescimento em água em tingimento aquoso convencional.

De acordo com a Associação Brasileira dos Produtores de Algodão ABRAPA (2020), o Brasil figura entre os principais produtores de algodão do mundo, juntamente com China, Índia, Estados Unidos e Paquistão e está em primeiro lugar na produção em sequeiro. O Brasil também é um dos principais exportadores mundiais de algodão.

O algodão cru é pouco empregado para finalidades comerciais finais devido à quantidade de impurezas e instabilidade do produto. Contudo a indústria têxtil costuma dar cor aos substratos têxteis, com objetivo de conquistar o consumidor e agregar valor ao produto. Para isso, são empregados corantes e auxiliares têxteis, que serão descritos no tópico a seguir.

2.3 CORANTES E AUXILIARES TÊXTEIS

Até a metade do século XIX, todos os corantes eram derivados de folhas, ramos, raízes, frutos ou flores de várias plantas e de substâncias extraídas de animais. Embora a indústria de corantes têxteis tenha se originado na Europa desde o século XVI, os primeiros corantes sintéticos foram descobertos apenas em 1856 na Inglaterra. Com a intensa inovação tecnológica ao redor de 1915, a Alemanha manteve o monopólio sobre a produção de corantes sintéticos até a Segunda Guerra Mundial (GUARATINI, ZANONI, 2000).

Os corantes são compostos químicos orgânicos capazes de dar cor ao substrato, ou seja, substâncias capazes de modificar substratos têxteis ou não têxteis, fazendo com que haja a reflexão de ondas eletromagnéticas de comprimentos entre aproximadamente 400 nm e 720 nm (cor visível). Estas ondas refletidas apresentam relativa resistência à luz e a tratamentos úmidos (ROSA, 2010; SALEM, 2010).

Os corantes podem ser classificados de acordo com sua estrutura química (antraquinona, azo, nitro, entre outros) ou de acordo com o método pelo qual são fixados na fibra têxtil. Dentre os corantes classificados pelo modo de fixação a fibra, destacam-se: os corantes reativos; diretos; ácidos; azoicos; a tina; de enxofre; dispersos, entre outros, sendo que os mais utilizados são os corantes ácidos e reativos (GUARATINI; ZANONI, 2000).

2.3.1 Corantes reativos

Os corantes reativos são a classe mais popular de corantes para fibras celulósicas, onde os corantes reativos bifuncionais são comumente usados devido à sua fácil aplicação e a sua estrutura ser muito simples (PATEL; TANDEL, 2021).

De acordo com Araújo e Castro, (1984) até os anos de 1950, todos os métodos de tingimento de celulose que conferiam muito boa solidez ao tratamento molhado obrigavam à conversão de substâncias insolúveis retidas na fibra, por processos mais longos e complicados do que os corantes diretos. Em 1954, Rattee e Stephen descobriram que um corante que continha um grupo diclorotriazinil podia reagir com a celulose, por ligação covalente, que conduz a uma boa solidez. Em 1956 foram lançados os primeiros corantes reativos.

Nos tingimentos convencionais, os corantes são aplicados em meio aquoso sob condições alcalinas (por exemplo, NaOH, Na₂CO₃), de modo a desprotonar os grupos de hidroxilas celulósicas (Célulose-OH) e gerar os grupos hidroxila ionizados, muito mais fortemente nucleofílicos (BURKINSHAW; SALIHU, 2019). Os corantes reativos são caracterizados por hidrólises indesejáveis em solução, o que impede a fixação eficaz do corante. Os corantes reativos reagem com a molécula de água por meio de ligações de hidrogênio, resultando em baixa solidez da cor na fibra de algodão (LEE *et al.*, 2019).

Uma parte do corante reativo que é utilizado para proporcionar cor ao substrato têxtil é hidrolisado no processo e Burkinshaw e Salihu explicam que, no contexto da tal hidrólise de corante induzida por álcali, o termo corante não fixado é o antônimo de corante fixado e, sem surpresa, descrevem corante reativo que não é covalentemente ligado ao substrato durante o tingimento (BURKINSHAW; SALIHU, 2019). No entanto, em termos de tingimento reativo, existem dois tipos de corante não fixado, ou seja, o corante hidrolisado que não é mais capaz de se ligar covalentemente à fibra, e o corante reativo que, por alguma razão ou outra, não foi covalentemente ligado à fibra durante a aplicação, e que muitas vezes é referido como corante não reagido.

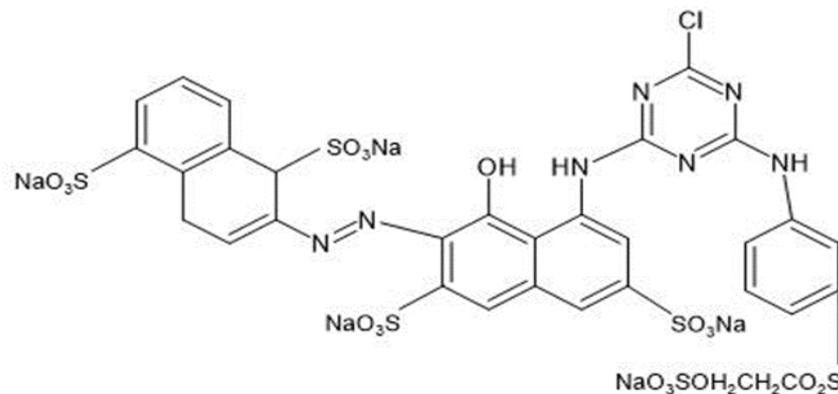
Corantes reativos são corantes contendo um grupo eletrofílico (reativo) capaz de formar ligação covalente com grupo hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras proteicas e também com grupos amino das poliamidas. Existem numerosos tipos de corantes reativos, porém os principais contêm a função azo e antraquinona como grupos cromóforos e os grupos clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila como grupos reativos. Neste tipo de corante, a reação química se processa diretamente através da substituição do grupo nucleofílico pelo grupo hidroxila da celulose (GUARATINI, ZANONI, 2000).

De acordo com Clark, (2011) os corantes reativos consistem em quatro partes. A primeira o cromogênio ou a parte cromófora, que contribui com cores para o corante. A segunda parte, o sistema reativo, que permite que o corante reaja com o substrato, esta parte também pode reagir com as moléculas de água presente no banho de tingimento, um fenômeno denominado hidrólise dos corantes reativos, que é uma reação não desejável durante o tingimento. A terceira é uma unidade ponte que une o sistema reativo à parte cromófora. E por fim, o(s) grupo(s) ligado(s) ao grupamento cromóforo conferem solubilidade em água ao corante.

Em geral, materiais têxteis tingidos com corantes reativos apresentam muito boa resistência à luz. O arranjo eletrônico muito estável desses corantes fornece boa resistência ao efeito degradante da luz solar. Os corantes reativos proporcionam excelente resistência à lavagem; sua classificação de resistência à lavagem geralmente varia entre quatro a cinco na escala de cinza. Essa característica é atribuída à ligação covalente muito estável que existe entre a molécula do corante e a fibra celulósica (CLARK, 2011).

A Figura 3 apresenta a estrutura química de um corante reativo conhecido como “bifuncional”, pois contém dois diferentes grupos reativos (monocloro triazina e vinilsulfona) na molécula (AGUIAR *et. al.*, 2022).

Figura 3 – Estrutura química do Vermelho Reativo (C.I. Reactive Red 195)



Fonte: (SOCIETY OF DYERS END COLOURISTS, 1971)

A estrutura de um corante reativo contém três tipos de grupos funcionais: grupo cromóforo, grupos solubilizantes e grupos reativos. O grupo cromóforo é quem tem responsabilidade pela cor. Além desse, há os grupos auxocromos, cuja função é conferir uma cor específica quando ligado a um cromóforo, mas quando presente sozinho, não produz essa cor. Os grupos solubilizantes, como o nome diz, são responsáveis pela solubilidade, grau de migração, substantividade e lavabilidade. Por fim, os grupos reativos, responsáveis pela reatividade do corante, medida pela velocidade de reação em função da concentração de álcali e da temperatura. Encontram-se hoje numerosos tipos de corantes reativos, porém os principais contêm a função azo e antraquinona como grupos cromóforos e os grupos clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila como grupos reativos (KUHN, 2019).

2.3.2 Auxiliares têxteis

Os auxiliares têxteis diferem quanto ao seu papel no processo de tingimento e quanto à permanência do efeito que se busca com a sua aplicação. Por exemplo, na aplicação de corantes diretos e corantes reativos em fibras celulósicas, eletrólitos inorgânicos como NaCl ou Na₂SO₄ são usados para promover a exaustão do corante e no caso de corantes reativos, para promover a fixação do corante (BURKINSHAW; SALIHU, 2019).

Difícilmente existe um processo de tingimento ou estamparia de importância comercial que possa ser operado adequadamente apenas com o uso de corantes e água. Praticamente todos os corantes e substratos requererem o uso de produtos adicionais, conhecidos como auxiliares, para garantir sua confiabilidade, funcionamento e controle (SHORE, 2002).

Os auxiliares têxteis são divididos em não surfactantes e surfactantes, conforme segue nos próximos itens.

2.3.3 Não surfactantes

De acordo com Shore (2002), não surfactantes incluem eletrólitos simples, ácidos e bases, tanto inorgânicos quanto orgânicos. Alguns exemplos incluem cloreto de sódio, acetato de sódio, ácido sulfúrico, ácido acético e carbonato de sódio, juntamente com sais complexos, como dicromato de sódio, sulfato de cobre, etilenodiaminotetra-acetato de sódio, hexametáfosfato de sódio, agentes oxidantes como clorito de sódio e água oxigenada. Agentes redutores como ditionito de sódio e sulfeto. Polieletrólitos aniônicos, como alginato de sódio ou carboximetilcelulose. Agentes espessantes e inibidores de migração, também se enquadram na classe dos não surfactantes, assim como aceleradores de sorção como o-fenilfenol, butanol e metilnaftaleno.

Os produtos auxiliares não surfactantes são compostos químicos que não apresentam propriedades surfactantes, ou seja, não possuem a capacidade de reduzir a tensão superficial entre duas fases imiscíveis. Eles são amplamente utilizados em diversas aplicações industriais, como solventes, plastificantes, lubrificantes e aditivos (MORAES, MORAES, DE OLIVEIRA, 2019).

2.3.4 Surfactantes

A origem da palavra surfactante vem da contração da expressão “surface active agent”, cujo significado é agente de atividade superficial (BARROS *et al.*, 2007). São compostos que possuem propriedades de redução da tensão superficial e interfacial, devido ao acúmulo na interface de fluídos imiscíveis, aumento da solubilidade e da biodegradabilidade de compostos hidrofóbicos (SILVA *et al.*, 2009). Surfactante é reconhecido pelo poder de alterar as propriedades superficiais e interfaciais de um líquido, por conseguir romper o limite entre duas fases imiscíveis, indicando o estado gasoso de uma dessas fases (BARROS *et al.*, 2007). Também são conhecidos como tensoativos (DE ABREU, 2020).

Os tensoativos são uma classe de compostos que apresentam características especiais. Estas substâncias apresentam uma ou mais partes de suas moléculas que tem característica apolar ligada a outra parte com característica polar (DALTIM, 2011).

Os surfactantes são agentes tensoativos que consistem em cadeias moleculares com uma parte hidrofóbica, contendo de 10 a 20 átomos de carbono, (como alquil benzenos, alquil fenóis, álcool, parafina ou um polioxipropileno), e uma parte hidrofílica que pode conter grupos ionizáveis na água, tais como sulfatos, carboxilatos, sulfonatos ou grupamento quaternário de amônio. No entanto, alguns grupos da estrutura hidrofílica podem não ser ionizáveis em água, tal como o polioxietileno, tornando o surfactante não iônico, Gardingo (2012 apud COLPANI).

Sempre que submetidos a meios aquosos, os substratos têxteis apresentam altas tensões superficiais e isso proporciona características de impermeabilidade ao substrato têxtil. Por esta razão, é necessária a aplicação de um surfactante, que tem a capacidade de minimizar a tensão superficial do solvente e proporcionar uma rápida ação permeável à superfície têxtil. Um surfactante pode ser representado com uma concentração inferior a 0,1% e reduzir aproximadamente cerca de 42% da tensão superficial da água (KARMAKAR, 1999).

A tensão superficial ocorre pelo não balanceamento de atração das moléculas da superfície. Se o volume do líquido é grande o número de moléculas na superfície do líquido é muito pequeno em relação ao total de moléculas. Portanto, para volumes maiores de líquidos (como um litro), A tensão superficial pouco influencia no seu comportamento, pois, nessa proporção, a tensão superficial quase não é sentida como

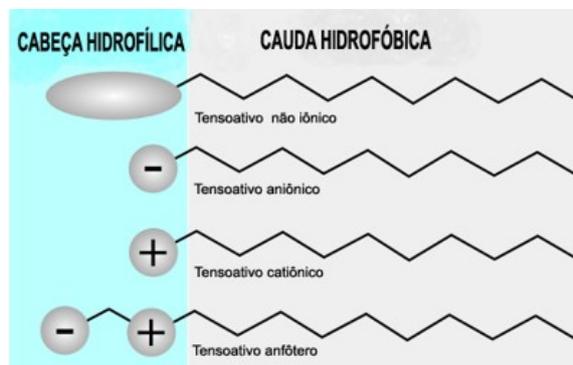
uma propriedade do líquido. Para volumes pequenos, como o de uma gota, a tensão superficial é uma característica físico-química de grande importância (DALTIM, 2011).

A grande maioria dos surfactantes disponíveis no mercado é obtida a partir de derivados do petróleo. Com a crescente preocupação ambiental aliada às novas legislações de controle do meio ambiente, levou a procura de surfactantes naturais, que por serem biodegradáveis, causam menos impacto ambiental (BUENO; SILVA; GARCIA-CRUZ, 2010; NITSCHKE; PASTORE, 2002).

As interações entre os corantes e os surfactantes podem influenciar a hidrólise do corante durante o processo de tingimento (WANG *et al.*, 2018).

De acordo com De Abreu, (2020) as cadeias hidrocarbonadas presentes no grupo hidrofóbico ou “cauda” dos surfactantes podem variar significativamente de tamanho, comprimento e grau de saturação. Geralmente, este grupo contém um número de átomos de carbono variável entre os 6 e os 18, e podem ser alifáticas, aromáticas ou mistas. Contudo, a natureza dos surfactantes está dependendo do grupo hidrofílico, sendo possível distinguir quatro classes principais: iônicos, isto é, catiônicos e aniônicos, não-iônicos e anfotéricos conforme representação na Figura 4.

Figura 4 – Representação esquemática das diferentes classes de surfactantes.



Fonte: Adaptado de Abreu, (2020).

Substâncias tensoativas ou surfactantes são compostos anfífilos com um liofílico, em parte particularmente hidrofílica (grupo polar) e uma parte liofóbica, em particular hidrofóbica (frequentemente cadeia de hidrocarbonetos). A estrutura anfífilica dos surfactantes é responsável por sua tendência concentrar nas interfaces e agregar em soluções em várias estruturas supramoleculares, como micelas e bicamadas. De acordo com a natureza do grupo polar, os surfactantes podem ser

classificados em surfactantes iônicos, catiônicos, anfóteros e não iônicos (PLETNEV, 2001).

De acordo com Trotman, (1970) os compostos tensoativos aniônicos e catiônicos não podem ser utilizados juntos. Os íons carregados negativamente e positivamente se unirão e precipitarão ou destruirão mutuamente sua eficácia.

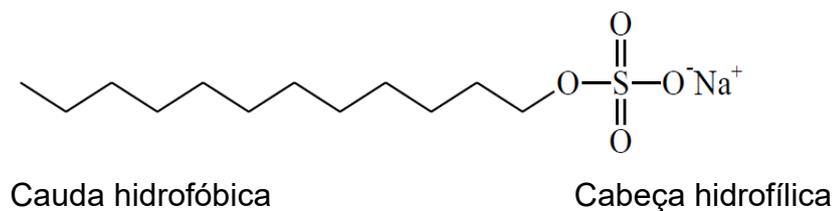
2.3.4.1 *Surfactantes aniônicos.*

Os tensoativos aniônicos estão na classe mais utilizada nas indústrias e podem ser encontrados em larga escala em detergentes, sabões, sabonetes e xampus. Geralmente não são compatíveis com tensoativos catiônicos em virtude da neutralização de cargas. As características físico-químicas dos tensoativos aniônicos são fortemente influenciados pela presença de eletrólitos em solução (sais solubilizados ou extremos pH), (DALVIN, 2011).

Os surfactantes aniônicos são compostos que possuem um ou mais grupos polares que, quando dissolvidos em água, originam íons carregados negativamente (COLPANI, 2012).

A Figura 5 apresenta a estrutura química de Dodecil sulfato de sódio que corresponde a um surfactante aniônico (SANTOS, 2012).

Figura 5 – Estrutura química dodecil sulfato de sódio



Fonte: Adaptado de Silva, (2013).

2.3.4.2 *Surfactantes catiônicos.*

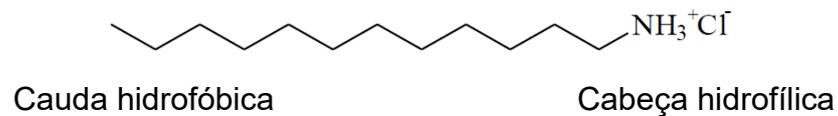
São os tensoativos que apresentam mais alta capacidade de aderirem às superfícies sólidas, mesmo após a retirada da solução do tensoativo, sendo utilizados como aditivos de lubrificantes, amaciantes e anticorrosivos. As características físico-

químicas dos tensoativos catiônicos são fortemente influenciadas pela presença de eletrólitos em solução (sais solubilizados ou extremos de pH), (DALTIM, 2011).

De acordo com Karmakar, (1999) os tensoativos catiônicos são inadequados para utilizar como detergentes ou agentes umectantes.

A Figura 6 apresenta a estrutura química de cloreto de dodecilamônio que representa um surfactante catiônico (SANTOS, 2012).

Figura 6 – Estrutura química do cloreto de dodecilamônio.



Fonte: Adaptado de Silva, (2013).

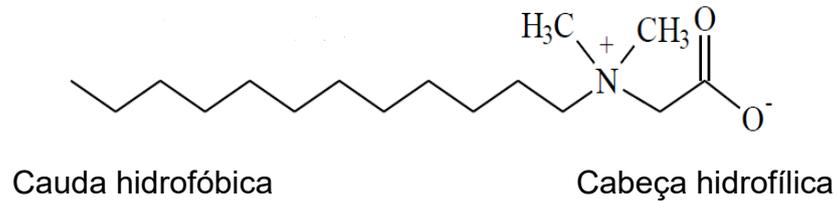
Os surfactantes catiônicos são usados principalmente como amaciantes, agentes de nivelamento, retardantes em tingimentos, repelentes de água, inibidores de crescimento de bactérias e emulsificantes (KARMAKAR, 1999).

2.3.4.3 *Surfactantes anfóteros.*

Os tensoativos anfóteros se comportam como tensoativos aniônicos em meio alcalino, pois a alta concentração de hidroxilas neutraliza a carga positiva. Semelhantemente, os tensoativos anfóteros se comportam como tensoativos catiônicos em meio ácido. Os tensoativos anfóteros são compatíveis com os tensoativos aniônicos e catiônicos, pois não os neutralizam, já que apresentam carga total nula. Possuem duas cargas – negativa e positiva – na molécula, apresentam propriedades de organização com as moléculas de tensoativo aniônico e catiônico que modificam suas propriedades, permitindo a redução, por exemplo, de irritabilidade ocular (DALTIM, 2011).

A Figura 7 apresenta a estrutura química de N-dodecil-N,N-dimetilbetaína que representa um surfactante anfótero (SANTOS, 2012).

Figura 7 – Estrutura química do N-dodecil-N,N-dimetilbetaína.



Fonte: Adaptado de Silva, (2013).

De acordo com Karmakar, (1999) os surfactantes anfóteros oferecem um excelente grau de lubrificação, inibidor de corrosão, ação umectante e fornecem um coloide protetor para o processamento de seda e lã. Os principais modos de utilização dos tensoativos anfóteros são para limpeza e tingimento de fibras proteicas. São comparativamente caros e alguns deles não são estáveis ao calor e, portanto, não podem ser usados em temperaturas elevadas.

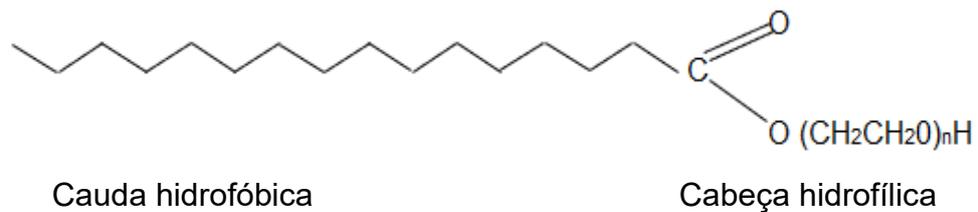
2.3.4.4 *Surfactantes não-iônicos.*

De acordo com Karmakar, (1999) os surfactantes não iônicos são a segunda maior classe de surfactantes utilizados. São normalmente compatíveis com todas as outras classes de tensoativos. Contrariamente aos tensoativos aniônicos e catiônicos, as propriedades físico-químicas dos tensoativos não iônicos não são fortemente influenciadas pela presença de eletrólitos (DALTIM, 2006).

As propriedades físico-químicas dos tensoativos etoxilados são fortemente dependentes da temperatura. De forma diferente dos tensoativos aniônicos ou catiônicos, na maioria dos tensoativos não iônicos a solubilidade decresce com aumento da temperatura (DALTIM, 2011).

A Figura 8 apresenta a estrutura química de ácido graxo etoxilado que representa um surfactante não-iônico (SANTOS, 2012).

Figura 8 – Estrutura química de um ácido graxo etoxilado.



Fonte: Autor, (2024).

De acordo com Daltin (2006), a adição de um tensoativo à solução diminui a sua tensão superficial e proporciona melhor umectação ou molhabilidade. Além desta característica, o fato de reduzir as tensões interfaciais entre os líquidos também é utilizada na aplicação dos tensoativos. A aplicação dos tensoativos dependem dos objetivos, contudo, pode ser utilizado do sistema de seleção do método balanço hidrofílico-lipofílico.

2.3.5 Balanço hidrofílico-lipofílico de surfactantes

Com a finalidade de economizar tempo na seleção de emulsionantes, introduziu-se, no final da década de 40 pela Imperial Chemical Industries, um esquema sistemático de seleção dos poucos emulsionantes adequados à uma aplicação específica. Esse método recebeu o nome de sistema HBL, que significa balanço hidrofílico – lipofílico (Hydrophile-Lypophile Balance), o Quadro 1 apresenta as principais classificações dos emulsionantes de acordo com a faixa HBL (DALTIN, 2011).

Quadro 1 – Classificação dos emulsionantes de acordo com a faixa HBL.

FAIXA DE HBL	APLICAÇÃO
3-6	Emulsionantes A/O
7-11	Umectantes
8-18	Emulsionantes O/A
10-15	Detergentes
10-18	Solubilizantes

Fonte: Adaptado de Pletnev (2001).

O método de classificação mais utilizado é o HBL. O HBL é um índice das propriedades solubilizantes dos emulsificantes e indica o tipo de emulsão (O/A ou A/O)

para a qual o emulsificante é mais adequado. Os valores de HBL podem ser calculados com base na estrutura molecular do emulsificante, ou determinado empiricamente. Os valores variam de 0 a 20. Emulsificantes com valores baixos de HBL são mais solúveis em óleo (lipofílicos), enquanto aqueles com valores mais altos são mais solúveis em água (hidrofílicos) (MILLER, 2016).

2.3.5.1 *Dispersantes*

De acordo com Salem (2010), para conseguir dispersões coloidais ou suspensões de sólidos em líquidos, nas quais estes não são solúveis, fazem-se necessárias adições de outros produtos que impedem a reaglomeração de sólidos. Esses produtos são denominados dispersantes e agem com os emulgadores nas emulsões, colocando-se nas interfaces.

2.3.5.2 *Detergentes*

De acordo com Karmakar, (1999) a função dos detergentes é remover as partículas de poeira e sujeiras contidas no substrato têxtil. O detergente mantém as sujidades dispersas ou suspensas na solução de limpeza e evita depositar novamente na superfície do substrato.

Os surfactantes têm sido usados como detergentes e agentes de limpeza há muito tempo. As características físico-químicas de um detergente possibilitam sua utilização em diversas formas, principalmente na forma de pó e líquido. A principal função de todos os agentes de limpeza é remover a substância gordurosa de qualquer superfície para torná-la limpa e brilhante. Esse processo ocorre devido à presença de um hidrofílico polar cabeça e uma cauda hidrofóbica apolar, que permite a formação de uma ponte entre a água e a gordura. O material gorduroso é retirado pela parte hidrofóbica, enquanto a parte hidrofóbica permanece emergida na água devido a esta dispersão que ocorre, o que resulta na formação de uma emulsão de óleo em água (FATMA *et al.*, 2021).

Segundo Salem (2010), são os tensoativos que têm a propriedade de umectar os substratos têxteis, permitindo que, pela diminuição da tensão superficial da água, a sujeira seja facilmente removida do material para a fase líquida. Os detergentes

mantêm em suspensão as partículas removidas, não permitindo que se reaglomerem e se depositem na superfície do substrato. Os detergentes têm, também, a propriedade de emulsionar as gorduras ou óleos presentes nos substratos têxteis.

O efeito dos tensoativos como detergentes são muito similares ao que ocorre na formação de emulsões. Em um sistema onde se busque a limpeza da superfície, normalmente se usa água como solvente. A grande maioria das substâncias polares são solúveis em água e carregadas por esta, liberando a superfície a ser limpa de sujidades polares. No entanto, existe grande quantidade de sujidades não polares (óleos, gorduras, ceras, etc.) que devem ser limpas. A opção de limpeza apolar é, na maioria das vezes, pouco viável. Portanto deve-se proporcionar a limpeza de compostos apolares em um solvente polar (água). E como os tensoativos podem proporcionar a mistura estável entre óleo e água devido a sua alta afinidade pelas novas superfícies criadas (DALTIM, 2006).

2.3.5.3 *Emulgadores*

O emulgador é um tensoativo que se localiza na interface, entre os dois líquidos, reduzindo a tensão superficial entre esses e, com isso, impede que as gotículas se juntem novamente, (SALEM, 2010).

De acordo com Salem (2010), os emulgadores são divididos em dois grupos:

Emulsões de óleo em água (O/A): nas quais a fase dispersa é o óleo e a externa é a água. Nesse caso, o emulsionante deve ter um caráter mais hidrofílico e, devido a isso, um valor HLB mais alto (8-18).

Emulsões de água em óleo (A/O): nas quais a fase dispersa é a água e a externa, o óleo. Aqui, o emulsionante deve ser lipofílico (HLB: 3-6).

2.3.5.4 *Umectantes*

De acordo com Karmakar, (1999) a tensão interfacial entre a fibra e a solução é alta e, portanto, o molhamento da superfície da fibra não ocorre rapidamente. Isso ocorre com substrato de algodão e fibras hidrofóbicas. Uma das principais funções dos umectantes é reduzir a tensão superficial e, assim, provocar umedecimento da superfície.

2.4 TINGIMENTO TÊXTIL

O mecanismo de tingimento é complexo, e o conhecimento dos fenômenos que ocorrem durante este processo é de fundamental relevância para que possa ser controlado. A montagem do corante é a fase em que é transferido a solução aquosa (banho) para a superfície da fibra. Para cada tipo de maquinário, o substrato sofrerá um contato diferenciado com o banho devido aos movimentos que se diferem de um equipamento para outro (AGUIAR *et al.*, 2022).

Segundo Salem (2010), o tingimento é uma modificação físico-química do substrato de forma que a luz refletida provoque uma percepção de cor. Os produtos que provocam essa modificação são denominados matérias corantes.

O processo de tingimento é um dos fatores fundamentais no sucesso comercial dos produtos têxteis. Além da padronagem e beleza da cor, o consumidor normalmente exige algumas características básicas do produto, e elevado grau de fixação em relação à luz, lavagem e transpiração, tanto inicialmente quanto após uso prolongado. Para garantir alta afinidade, uniformidade na coloração, resistência aos agentes desencadeadores do desbotamento e ainda apresentar-se viável economicamente (GUARATINI, ZANONI, 2000).

2.4.1 Processo de tingimento de algodão com corantes reativos

Os corantes podem ser aplicados aos substratos por processos de esgotamento ou impregnação. No tingimento por esgotamento, a solução do corante consegue ser transferido para a superfície da fibra de três maneiras, seja pela movimentação do substrato, do banho de tingimento ou com ambos em movimento. Assim, o corante é adsorvido na superfície da fibra e difundido em toda sua área. Além disso, dependendo da classe de corante empregada, pode-se obter interações químicas ou físicas durante o processo de tingimento (CLARK, 2011).

De acordo com Salem, (2010), no tingimento de fibra de algodão com corantes reativos devem se estabelecer condições que maximizem o rendimento da reação do corante com a fibra, conseqüentemente, minimiza a reação com a água. O corante que reage com a água é chamado corante hidrolisado e deve ser removido por lavagens e ensaboamentos posteriores. As velocidades dessas reações ocorrem em

função da temperatura de tingimento e concentração do álcali (pH). Variando-se esses parâmetros, ocorre a variação da velocidade de reação e respectivamente, o rendimento (grau de fixação). Para cada gama de corante reativo, deve se estabelecer as melhores condições de pH e temperatura.

A fixação do corante ocorre na presença de um álcali. Após a adição, a migração dos corantes cessa e eles passam a reagir com a fibra ou com as moléculas de água. Após a fixação, o substrato tratado é completamente enxaguado para remover os corantes hidrolisados não fixados (CLARK, 2011).

A estrutura de um corante reativo pode ser expressa de modo geral pela combinação dos grupos solubilizante, cromóforo, ponte e reativo. O grupo reativo, que caracteriza um corante reativo (Cl^- , OSO_3^-), reage quimicamente com o grupo funcional da fibra pela formação da ligação covalente entre a fibra e o corante, além de ser responsável pela velocidade de reação; o grupo cromóforo (azo, ftalocianina, antraquinona em sua maioria) é responsável pela cor; o grupo solubilizante (SO_3Na ou COONa) está ligado a solubilidade, além de ser responsável pela migração, substantividade e lavabilidade; e o grupo ponte liga o grupo reativo ao cromóforo ($-\text{NH}$, $-\text{O}-$, $-\text{NHCO}-$, $-\text{OCH}_3-$, etc.) (SALEM, 2010).

A reação do corante com a celulose ocorre essencialmente em meio alcalino. Nessas condições ocorre igualmente a reação entre o corante e a própria água, formando-se o corante hidrolisado que, tendo perdido o grupo reativo, se comporta como um corante direto, conduzindo a uma fraca solidez. Por isso, o agente alcalino não deve ser introduzido na fase inicial do tingimento, somente após o corante ter penetrado na fibra, como se fosse um corante direto. Com isso, ocorre a reação com a celulose se aplicado de acordo com a Figura 9 (ARAÚJO; CASTRO, 1984).

Sempre há uma certa quantidade de corante hidrolisado, fixado como um corante direto, e que é necessário eliminar, para evitar substrato manchado quando realizar a lavagem doméstica (ARAÚJO; CASTRO, 1984).

2.4.2 Cinética de tingimento

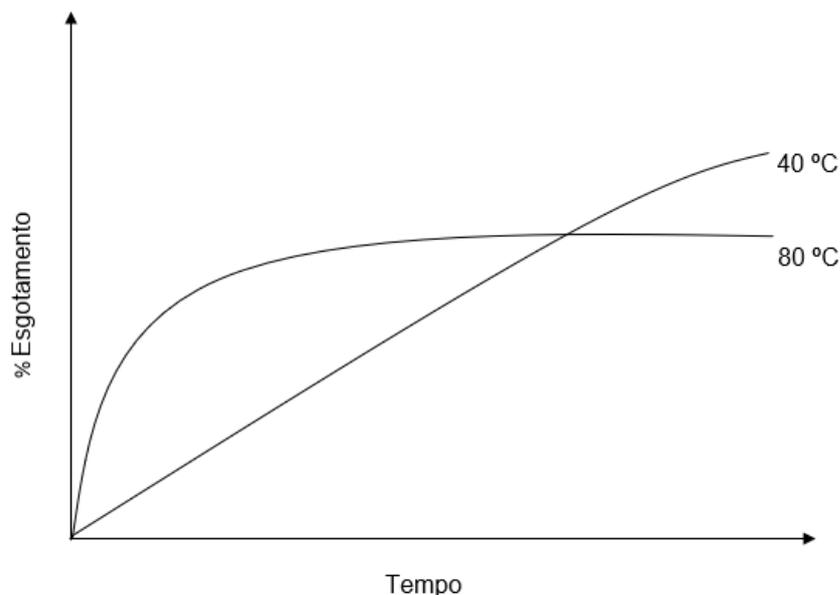
A cinética do tingimento é determinada pela difusão do corante no banho e sobretudo no interior da fibra (ARAÚJO; CASTRO, 1984). Cinética de tingimento é a fase em que se determina a taxa de deslocamento do corante para a superfície da fibra, a sua taxa de adsorção e de difusão dentro dela e as influências de concentração

de corante e eletrólitos, pH, temperatura e relação de banho sobre essas velocidades (SALEM, 2010).

De acordo com Araújo; Castro, (1984), nos processos descontínuos o movimento do corante em direção ao interior da fibra é provocado pela chamada substantividade do corante. Pode-se neste caso distinguir as seguintes etapas, a desagregação dos agregados de corante no banho, difusão de banho, absorção superficial na fibra, difusão na fibra e fixação. Contudo para que estas etapas processem, é essencial que haja agitação mecânica, que a temperatura seja suficiente e que o banho possua produtos auxiliares adequados ao sistema corante/fibra.

A regulação da taxa de tingimento pode ser efetuada de diversas formas, entre as mais influentes pode considerar a temperatura conforme Figura 9 (ARAÚJO, CASTRO, 1984).

Figura 9 – Influência da temperatura na cinética e no estado de equilíbrio.



Fonte: Adaptado de Araújo e Castro, (1984).

A equação cinética de pseudo-primeira ordem foi a primeira a descrever o processo de adsorção em sistemas sólido-líquido. A equação foi proposta por Lagergren em 1898, baseada na capacidade do sólido. Esse modelo considera que a velocidade de ocupação do sólido é proporcional ao número de sítios ativos disponíveis na estrutura do adsorvente (AKSU, 2005; HO, 2006).

O modelo de forma linear da equação de pseudo-primeira ordem representada pela equação 1 (HO & McKAY, 1999; RAMARAJU et al., 2014):

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1}{2,303}\right) t \quad (1)$$

Onde:

q_e e q_t : são as quantidades de adsorbato adsorvido, medidos em (mg.g^{-1}) no equilíbrio e no tempo t , (min)

K_1 : constante de taxa de adsorção, (min^{-1})

O modelo de pseudo-segunda ordem pode representar pela equação 2 (HO & McKAY, 1999; RAMARAJU et al., 2014):

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

Onde:

K : constante de taxa de pseudo-segunda ordem, ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

Q_e e q_t : são as quantidades de corante adsorvido, (mg.g^{-1}) no equilíbrio e no tempo t , (min).

2.4.3 Isoterma de tingimento

De acordo com Clark, (2011) a isoterma de Langmuir pressupõe que existe um número limitado de locais de sorção e que a velocidade de sorção é proporcional ao número de locais desocupados, bem como a concentração das moléculas em contato com a fase sólida.

As curvas isotérmicas naturalmente são afetadas de diferentes formas, como pH, eletrólitos, auxiliares de tingimento e temperatura. Cada curva isotérmica exprime a relação entre corante na fibra (C_f) e corante remanescente no banho (C_b). S_f representa o limite de saturação quando a fibra tem sítios limitados e K , a constante de equilíbrio (SALEM, 2010).

O modelo desta isoterma segue a hipótese de que as moléculas são adsorvidas e aderem na superfície do adsorvente em sítios ativos definidos. Cada um

destes sítios pode acomodar uma monocamada e a energia de adsorção de cada espécie adsorvida é a mesma em todos os sítios da superfície (CIOLA, 1981).

2.4.3.1 *Isoterma de Langmuir*

A isoterma de Langmuir tem sido aplicada em muitos processos de tingimentos, e assume que os adsorventes são estruturalmente homogêneos tendo sítios semelhantes de sorção, que são energeticamente idênticos. O corante e a fibra interagem fortemente por possuírem polaridade oposta e o corante possui afinidade específica, pois possui sítios limitados (CLARK, 2011). Originalmente a isoterma de Langmuir foi derivada para descrever a adsorção de gases em superfícies metálicas (LANGMUIR, 1918), de acordo com a equação 3.

A equação 3 representa um modelo de isoterma de Langmuir:

$$qe = \frac{qm \cdot KL \cdot Ce}{1 + KL \cdot Ce} \quad (3)$$

Onde:

qe: representa a quantidade de soluto na fase sólida no equilíbrio, (mg⁻¹)

Ce: representa a concentração da fase líquida no equilíbrio (mg.L⁻¹)

KL: representa a constante de Langmuir, relacionada com a capacidade e energia de adsorção.

qm: representa a quantidade máxima de soluto adsorvido pra a formação de uma monocamada completa, (mg.g⁻¹).

Descrição da equação 4, em sua forma linear:

$$\frac{1}{qe} = \frac{1}{qm} + \frac{1}{KL \cdot qm \cdot Ce} \quad (4)$$

2.4.3.2 Isoterma de Freundlich

A maioria dos sólidos são muito heterogêneos e por isso a adsorção em superfícies com energia de interação constante na prática é rara, divergindo da homogeneidade proposta no modelo de Langmuir (RAGANATI *et al.*, 2018).

A isoterma de Freundlich foi um dos mais simples e primeiros modelos propostos e relacionado a massa do material adsorvido pela massa do adsorvente com a concentração do material em solução (KUHN, 2019).

A isoterma de Freundlich é a mais utilizada e se aplica à situação em que a adsorção de corantes na fibra não é limitada por sítios específicos de adsorção e a fibra não se torna saturada com corante. A atividade do corante em solução pode ser diminuída em concentrações mais altas devido à agregação ou a superfície da fibra pode ser heterogênea, de modo que as interações corante-fibra em alguns locais de preenchimento inicial são mais fortes do que em outros (CLARK, 2011).

O modelo de isoterma de Freundlich pode ser descrito de acordo com a equação 5:

$$qe = k_F Ce^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

Onde:

q: quantidade de soluto adsorvido por unidade de massa (mg.g^{-1});

Ce: concentração de equilíbrio do soluto na fase fluida (mg.L^{-1});

1/n: parâmetro de heterogeneidade energética da superfície;

k_F: parâmetro da constante de capacidade de adsorção de Freundlich ($\text{mg.g}^{-1} \cdot (\text{mg.L}^{-1})^{-(1/n)}$).

O modelo de isoterma de Freundlich pode ser descrito em sua forma linear de acordo com a equação 6:

$$\ln qe = \ln k_F + n \ln Ce \quad (6)$$

A determinação dos parâmetros K_F e n pode ser realizada a partir de regressão linear, em que o gráfico de $\ln qe$ versus $\ln Ce$ fornecerá uma inclinação de n e um intercepto $\ln k_F$ (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

2.5 COLORIMETRIA

As tentativas de explicar racionalmente o fenômeno “cor”, datam da Grécia antiga, em que filósofos como Aristóteles, Platão e outros tentavam explicar a sua origem. Mas foi a experiência de Newton, com um prisma, realizada em 1730, mostrando que a luz pode ser decomposta em sete feixes principais (púrpura, violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho), que deu origem ao estudo da colorimetria (SCHABBACH, 2004).

De acordo com estudo de Schabbach (2004), a região de luz que os olhos humanos podem ver é chamada de região de luz visível. Somente ondas com comprimentos de ondas específicos situados dentro dessa região estimulam a retina do olho humano. A luz refletida de um objeto e que é reconhecida como cor é uma mistura de luz nos vários comprimentos de onda dentro da região do visível (400 – 700 nm). A Tabela 1 mostra as faixas dos comprimentos de onda para cada cor espectral.

Tabela 1 - Comprimentos de onda do espectro da luz visível.

λ (nm)	Cor Espectral
400-430	Violeta
430-500	Azul
500-570	Verde
570-590	Amarelo
590-610	Laranja
610-700	Vermelho

Fonte: Adaptado de Schabbach, (2004).

Como o olho humano não é capaz de quantificar cores precisamente houve a necessidade de desenvolver equipamentos que reproduzissem a função do olho humano com certa confiabilidade. Os espectrofotômetros e colorímetros são equipamentos que podem expressar a cor graficamente e numericamente segundo normas internacionais de medida (SCHABBACH, 2004). Os espectrofotômetros são equipamentos que medem a cor através das características do espectro de luz refletido pelo objeto e, então, calculam os valores tristímulos baseados nas equações do observador padrão da CIE Lab (SCHABBACH, 2004), que se pode verificar no próximo item.

2.5.1 Sistema CIE Lab

Em 1976 foi definido o espaço de cores $L^* a^* b^*$, também conhecido como CIE Lab, é atualmente um dos espaços de cores mais populares para medir a cor de qualquer objeto e é amplamente utilizado em praticamente todos os campos de trabalho (MINOLTA, 2000).

Os raios refletidos pela superfície colorida vão sensibilizar a retina, onde estão localizados os cones e bastonetes. Há três tipos de cones, respectivamente sensíveis às faixas de radiação amarela, vermelha e verde (SALEM, 2010).

Os substratos têxteis tintos possuem características que definem limites de padrões para comercialização de artigos, uma das principais é a cor / tonalidade. Contudo, esta avaliação pode trazer divergências de um avaliador para outro devido à diferença de percepção do olho humano. Faz-se necessário atribuir um método que possa ser expresso em números que podem ser gerados com equipamentos de leitura como espectrofotômetro, onde atribui valores com base em coordenadas definidas pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE), conhecida como CIE Lab, que é um sistema de coordenadas retangular, definidas nos eixos a^* , b^* e L^* , expressa na Figura 10.

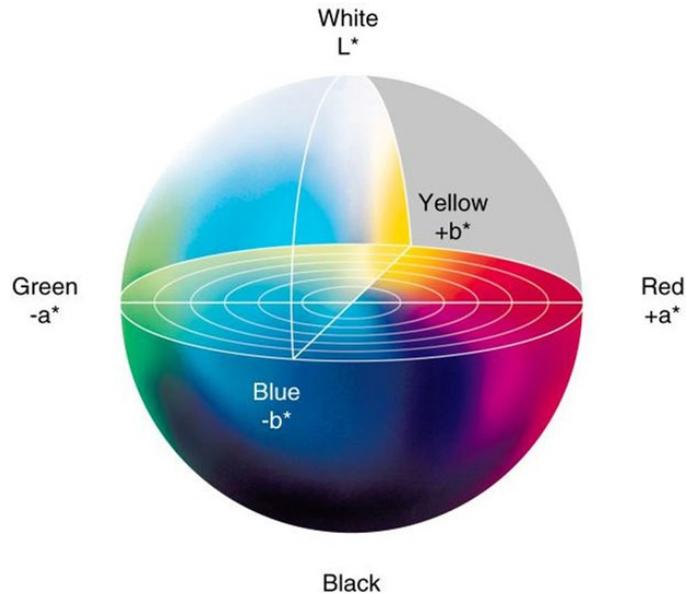
a^* = Eixo vermelho/verde;

b^* = Eixo amarelo/azul;

L^* = Claridade, eixo vertical cuja base é preto e o topo é branco.

Na Figura 10, é representado o espaço de cor $L^* a^* b^*$.

Figura 10 – Espaço de cor CIE L* a* b*.



Fonte: (CIELAB COLOR SYSTEM, 2016)

A comparação entre as leituras das amostras é realizada para determinar o grau de desvio apresentado entre as cores. Este desvio é chamado de ΔE , e pode ser calculado utilizando a equação 7 (GULRAJANI, 2010).

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (7)$$

Onde ΔL representa a diferença entre as coordenadas L^* , Δa é a diferença entre as coordenadas a^* e Δb corresponde à diferença entre as coordenadas b^* .

De acordo com Salem (2010), pode-se dizer que a cor é uma percepção subjetiva causada no cérebro em consequência de uma certa energia radiante transmitida aos olhos. Para esta percepção existe a necessidade de uma fonte de luz, o objeto colorido e o observador. Contudo, existem diferentes técnicas para classificação das cores, além do sistema de coordenadas, podendo aplicar fórmulas matemáticas como a desenvolvida por Kubelka-Munk, onde se pode verificar no próximo item.

2.5.2 Modelo Kubelka-Munk

Em 1931, Kubelka e Munk desenvolveram um sistema de equações essenciais de um modelo simplificado de propagação de luz em uma camada de tinta fosca espalhada sobre uma superfície. As hipóteses de Kubelka-Munk são as seguintes: (a) dois diferentes fluxos de fusíveis se propagando perpendicularmente à camada (uma para cima, outro para baixo). (b) dispersão idêntica subindo e descendo. No caso de uma camada suficientemente espessa a equação básica de Kubelka-Munk ligando a cor força (K/S) para a refletância (R^∞) em uma onda específica-comprimento é representado por:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R^\infty)^2}{2R^\infty} \quad (8)$$

Onde K e S são, respectivamente, a absorção e coeficientes de dispersão, e R^∞ é o reflexo da camada para uma espessura.

Para uma amostra de mistura de três primários, a teoria de duas constantes Kubelka-Munk pode ser expressa como equação. Esta formula ajuda a construir uma ponte entre a refletância de uma mistura de fibras e a proporção de mistura de cada fibra usando as duas constantes K e S (ZHANG, 2020).

$$\frac{K}{S} = \frac{C_1K_1+C_2K_2+C_3K_3}{C_1S_1+C_2S_2+C_3S_3} \quad (9)$$

De acordo com estudo de Joaneli, Osterman e Golab (2000), a teoria original foi desenvolvida para camadas pigmentadas e assumiu largura infinita do substrato, iluminação difusa e refletância e distribuição homogênea de corantes. Essas condições raramente são atendidas em têxteis. A superfície têxtil é composta por camadas heterogêneas e na maioria dos espectrofotômetros modernos, a iluminação é colimada e a refletância é difusa. Em caso têxteis, não apenas a cor do material em si é crucial, mas também as características de cor do substrato não tingido e as propriedades ópticas de sua mistura podem ser difíceis de prever.

2.6 TRABALHOS RECENTES SOBRE TINGIMENTO DE ALGODÃO COM CORANTE REATIVO EM MEIO OLEOSO

O estado da arte apresentado é de base teórica e qualitativa, realizada por meio de consulta a periódicos, como, Science Direct, Scopus, Elsevier, Springer e periódicos da Capes. A busca foi realizada empregando-se as palavras “tingimento de fibras de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja e óleo de silicone”, tendo sido encontrados sete trabalhos com estudos inerentes ao assunto.

O uso de óleo de soja pode fazer com que o tingimento ocorra sem uso de sal. Além disso, o tingimento SWDS também permite o uso de uma pequena quantidade de água para tingir substrato têxtil, portanto, reduz o uso de corantes e álcalis (MU *et al.*, 2019). O emprego de óleo de soja para tingimento de fibras de algodão com corantes reativos aumenta aproximadamente 30% a fixação do corante.

O emprego de óleo de cozinha residual (WCO), vem sendo testado em diversos estudos para substituir grande parte da água utilizada no sistema convencional de tingimento. Possui a finalidade de minimizar as quantidades de descargas de efluentes com grandes concentrações de sais e corantes hidrolisados (LIU *et al.*, 2020). Através de um aumento notável no potencial químico dos corantes no meio de tingimento o sistema de solvente de fase dupla de água-óleo aumentou notavelmente a concentração do corante na fase interna do solvente (MU *et al.*, 2019). Os corantes podem ser rapidamente dissolvidos na fase aquosa e adsorvidos nas fibras de algodão a partir da interface de água e óleo (LIU *et al.*, 2020).

Em relação ao tingimento com óleo de silicone Pei, Gu e Wang, (2021), pesquisaram a hidrólise de corante reativo com emprego de óleo de silicone, comparando com sistema convencional de tingimento reativo com a expectativa de melhorar a fixação dos corantes e diminuir a quantidade de água utilizada no processo. Na comparação entre os processos de tingimento convencional e com sistema em meio aquoso de silicone, os resultados chegam a melhorar a fixação do corante em 45% e minimizam as descargas de corantes hidrolisados em 93% quando a concentração inicial de corante é na ordem de 2% sobre o peso do material (spm) (PEI *et al.*, 2020).

A literatura consultada apresenta um número reduzido de pesquisas relacionadas ao tingimento de algodão com corantes reativos empregando óleo de

soja e óleo de silicone. Porém, são empregados outros tipos de óleo também estudados, como por exemplo, óleo de semente de algodão (MU *et al.*, 2019).

Quadro 2 – Publicações identificadas na literatura utilizando óleos.

TIPO	TÍTULO ARTIGO	AUTORES	ANO	PAIS
ÓLEO DE SILICONE	Influence of Ethylene Oxide Content in Nonionic Surfactant to the Hydrolysis of Reactive Dye in Silicone Non-Aqueous Dyeing System	Jiping Wang, Yongbo Zhang, Huashu Dou, LiuJun Pei	2018	China
ÓLEO DE SILICONE	Sustainable pilot scale reactive dyeing based on silicone oil for improving dye fixation and reducing discharges	LiuJun Pei, Yuni Luo, Muhammad Asad Saleem, Jiping Wang	2020	China
ÓLEO DE SILICONE	Sustainable dyeing of cotton fabric with reactive dye in silicone oil emulsion for improving dye uptake and reducing wastewater	LiuJun Pei, Xiaomin Gu, Jiping Wang	2021	China
ÓLEO DE SOJA	High sorption of reactive dyes onto cotton controlled by chemical potential gradient for reduction of dyeing effluents.	Bingnan Mu, Linyun Liu, Wei Li, Yiqi Yang	2019	China USA
ÓLEO DE COZINHA USADO	Cost-effective reactive dyeing using spent cooking oil for minimal discharge of dyes and salts	Linyun Liu, Bingnan Mu, Wei Li, Yiqi Yang	2019a	China USA
ÓLEO DE COZINHA USADO	Semistable Emulsion System Based on Spent Cooking Oil for Pilot Scale Reactive Dyeing with Minimal Discharges	Linyun Liu, Bingnan Mu, Wei Li, Yiqi Yang	2019b	China USA
ÓLEO DE COZINHA USADO	Clean cotton dyeing in circulated dyebath of waste cooking oil: A feasible industrialization strategy for pollution minimization	Linyun Liu, Bingnan Mu, Wei Li, Helan Xu, Jing Yang, Yiqi Yang	2020	China USA

Fonte: O Autor (2023).

2.6.1 Tingimento de fibras de algodão com emprego de óleo de soja

O tingimento de fibras de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja, apresentado no estudo de Mu *et al.*, (2019), foi desenvolvido em função da preocupação dos autores com os recursos naturais devido às altas concentrações de sais e corantes hidrolisados no processo de tingimento convencional. Mu *et al.*, (2019) utilizam o sistema de solvente de fase dupla de água-óleo (SWDS), que fixa 92% dos corantes reativos, bem como proporciona a redução de 85% das descargas de efluentes residuais.

As emulsões de água e óleo de soja (MU *et al.*, 2019), definem que o sistema SWDS precisa de menos corante, nenhum sal e quantidades limitadas de álcalis para obter a mesma qualidade de tingimento do sistema aquoso. Além disso, mais de 99% do óleo poderia ser reutilizado para tingimentos posteriores. Assim, o consumo de materiais e o custo do sistema de tingimento são baixos. Contudo, o óleo de soja tem alta produção, é menos utilizado e tem preço inferior a outros óleos vegetais comestíveis, como óleo de canola, óleo de amendoim, etc.

De acordo com os estudos de Mu *et al.*, (2019), houve melhora relação a profundidade na cor do substrato têxtil na ordem de 90%, quando considerado o valor K/S, bem como apresentou reprodutibilidade nos testes de solidez à lavagem, fricção e luz. Na avaliação dos resultados os autores citam que é possível afirmar que os testes podem ser funcionais em escala industrial, podendo inclusive replicar nos equipamentos existentes, apenas com pequenas adequações para melhor reprodutibilidade do processo.

Mu *et al.*, (2019), explicam que utilizam uma emulsão de fase dupla de óleo de soja com água melhoram 92% a fixação dos corantes reativos e por consequência diminuir o consumo de água no processo de beneficiamento terciário. Este sistema é capaz de melhorar 100% o potencial químico dos corantes no processo de tingimento.

Os principais resultados encontrados por Mu *et al.*, (2019) foram a redução de 30 a 40% no consumo de corante reativo para tingir na mesma intensidade de cor. Para isso, o autor observou um mecanismo da taxa de hidrólise mais lento no sistema de microemulsão. O resultado econômico pode chegar a U\$ 0,26 por kg de substrato têxtil, este valor pode variar em função da quantidade de ciclos do óleo de soja reciclado.

2.6.2 Tingimento de fibras de algodão com emprego de óleo reciclado

O tingimento de fibra de algodão com corante reativo com emprego de óleo reciclado ou óleo de cozinha residual, que utiliza óleos de cozinha provenientes de preparo de alimentos e que seriam descartados no meio ambiente, foi identificado em três pesquisas relacionadas.

A pesquisa dos autores Liu *et al.*, (2019a), busca sustentabilidade minimizando os custos inerentes ao tingimento convencional de algodão com corantes reativos, buscando um processo menos poluente ao meio ambiente. O principal apelo do trabalho é a utilização de óleo de cozinha usado, ou seja, fazer o reaproveitamento de um material que seria descartado no meio ambiente sem o devido tratamento.

Acerca de tingimento de baixo custo utilizando óleo de cozinha usado para diminuir descargas de efluentes têxteis Liu *et al.*, (2019a) concluem que projetaram com sucesso um sistema de tingimento reativo de fase líquida dupla de óleo de cozinha/água usado para diminuir descargas de poluentes. Tal sistema tem sua qualidade de tingimento comparável e custos de tingimento inferior ao do tingimento aquoso convencional. O óleo de cozinha serve como fase externa para dispersar os corantes, enquanto a água serve como fase interna para inchar o algodão e fixar os corantes com álcali. 100% dos corantes reativos passam para a fase interna. Os seguintes aspectos foram tratados para demonstrar a viabilidade industrial do sistema de fase líquida: (1) Segurança do óleo de cozinha usado durante o processo de tingimento; (2) Efeito dos componentes do óleo na qualidade do tingimento; (3) Diferença no mecanismo de tingimento entre o sistema de fase dupla e o sistema aquoso convencional; (4) Reutilização do óleo de cozinha usado como meio de tingimento; (5) Eficiência de remoção de óleo de cozinha usado em tecidos tingidos; (6) Impactos nos efluentes de tingimento no meio ambiente; (7) Viabilidade econômica do sistema de dupla fase líquida.

Nas melhorias apontadas por Liu *et al.*, (2019a), a fixação do corante obteve melhora de 33%. Não foi utilizado sal no processo que, por consequência não descartado no efluente. O estudo obteve a mesma qualidade do sistema convencional de tingimento, menor consumo de materiais e energia e empregou óleo de cozinha usado no tingimento.

Os autores Liu *et al.*, (2019b) trabalham para estabelecer uma emulsão estável de água e óleo de cozinha usado para tingimento de algodão com corantes

reativos. Segundo Liu *et al.*, (2019b), na formação de sistema de emulsão, grande parte da água limpa serve apenas como solvente para dissolver os corantes, na sequência, com a mistura de água e óleo, forma-se uma emulsão que será a solução de tingimento. Esta mistura tem como objetivo melhorar a fixação e diminuir consideravelmente a quantidade de água utilizada no banho.

Conforme conclusão de Liu *et al.*, (2019b), foi projetado um novo sistema de tingimento reativo com base na estabilidade de emulsão controlável para alcançar alta qualidade (intensidade da cor) de tingimento para todos os tipos de tingimento com corantes reativos. Os resultados alcançados por estes autores é uma emulsão semiestável, sem utilização de sais e dispersantes, bem como uma redução das descargas de corantes residuais em 96%. Ao final do processo, há possibilidade de remover 100% do óleo dos tecidos.

Os autores Liu *et al.*, (2020) geram uma forma econômica de tingimento utilizado fase dupla, substituindo o máximo da quantidade de água por óleo de cozinha usado, garantindo a qualidade do tingimento e fomentando o negócio de óleo de cozinha reutilizado.

Após pesquisas para melhorar a estabilidade a cada reaproveitamento do óleo, Liu *et al.*, (2020), concluem que, em um tingimento de fase dupla, água e óleo foram usados para dispersar as partículas de corantes e dilatar as fibras de algodão. Os corantes podem ser rapidamente dissolvidos na fase aquosa e adsorvidos nas fibras de algodão a partir da interface de água e óleo. Embora o WCO não comestível pudesse ser usado como meio para tingimento reativo sem sal, o WCO degradava-se durante o tingimento e apresentava qualidade de tingimento gradualmente deteriorada se usado repetidamente.

2.6.3 Tingimento de fibras de algodão com emprego de óleo de silicone

O tingimento de fibra de algodão com corante reativo com emprego de óleo de silicone foi estudado em três pesquisas relacionadas.

No trabalho de Wang *et al.*, (2018), foi avaliado a possibilidade de tecnologia de tingimento reverso com expectativa de minimizar os efeitos da hidrólise do corante em função da interferência dos surfactantes utilizados no processo.

Com objetivo de obter melhor eficiência, Wang *et al.*, (2018) estudaram o efeito do teor de óxido de etileno no surfactante não iônico na reação hidrolítica do

corante reativo primeiramente em um sistema de tingimento de emulsão reversa de siloxano. Em comparação com a ausência de surfactantes, a reação hidrolítica do corante reativo de vinil sulfona foi uma desaceleração quando alguns surfactantes não iônicos foram usados durante o tingimento. Normalmente, os grupos hidrofóbicos presentes em surfactantes não iônicos eram cadeias de dodecil, mas seus grupos de cabeça polar eram diferentes. A reação hidrolítica do corante vinil sulfona mostrou que quando mais longa as cadeias de óxido de etileno (OE), mais rápida é a reação hidrolítica do corante vinil sulfona. A partir do espectro de absorção de corante, pode-se concluir que mais corantes seriam solubilizados nas micelas formadas e os complexos corante-surfactante tivessem cadeias de OE mais curtas.

A pesquisa dos autores Pei *et al.*, (2020) demonstrou preocupação com o crescimento da indústria, o que gera pressões por medidas ambientais relevantes de controle e melhoria nos processos, como diminuir quantidade de efluentes, além de melhor viabilidade econômica. Para investigar a razão para a maior fixação e baixa hidrólise de corantes reativos no sistema de tingimento de meio não aquoso de silicone, a teoria do funcional da densidade (DFT) foi usada para calcular a energia de reação da hidrólise (PEI *et al.*, 2020), concluíram que os níveis de energia dos corantes, os modos de interação dessas moléculas de tingimento afetam a taxa de hidrólise de um corante reativo. Comparando com o sistema de tingimento à base de água tradicional, o sistema de tingimento de meio não aquoso de silicone aumenta a fixação do corante em 45% e reduz a descarga de corante em 93% para a mesma intensidade de cor após tingimento, quando a concentração inicial de corante é 2% spm (PEI *et al.*, 2020).

Na pesquisa efetuada por Pei, Gu e Wang, (2021), foi investigado um sistema de tingimento sustentável, extremamente necessário para indústria têxtil que, além dos benefícios de obtenção de processos mais eficientes, proporciona minimização no consumo de água, que é uma ação necessária para a sobrevivência dos seres humanos. É sabido que a hidrólise do corante pode influenciar na fixação do corante, resultando em maior necessidade de água para lavar corante hidrolisado que irá soltar durante o processo de ensaboamento e lavagem (Pei, Gu e Wang, 2021).

No trabalho de Pei, Gu e Wang, (2021) é verificado que a profundidade de tingimento da amostra tingida e a fixação do corante no sistema de tingimento em emulsão reversa de silicone foram significativamente maiores do que o sistema tradicional de tingimento em banho de água. Por exemplo, o valor K/S do tecido de

algodão tingido e a taxa de fixação de corante foram 13,82 e 87,76% respectivamente, a 80 °C no sistema de tingimento de emulsão reversa de silicone, mas foram apenas 9,31 e 56,63%, respectivamente, no sistema tradicional à base de água. Com base nas fixações de corante e na profundidade de tingimento da amostra tingida, os corantes descarregados do sistema de tingimento de emulsão reversa de silicone e do sistema de tingimento à base de água convencional são 0,24% spm e 0,87% spm, respectivamente. Em resumo, em comparação com o sistema de tingimento à base de água convencional, a tecnologia de tingimento de emulsão reversa de silicone não consome sais, mas pode melhorar a fixação do corante em 31,13% e diminuir a descarga do corante em 72,41%.

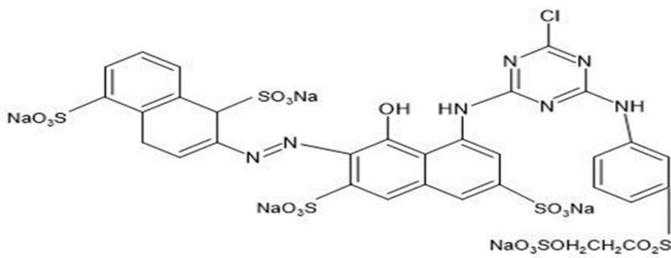
No processo de tingimento em sistema de emulsão reversa de silicone, o corante reativo bifuncional pode manter uma longa reatividade à fibra e reduzir efetivamente o número de lavagens, o que reduz muito a descarga de água residual do tingimento (PEI; GU; WANG, 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento da presente pesquisa, foram utilizados os materiais descritos no Quadro 3:

Quadro 3 - Materiais utilizados na pesquisa

Material	Descrição	Fornecedor
Corante Reativo Red - 195		Hanier
Fio 100% CO	Fio penteado, Ne 30/1, certificado BCI número 1001503	Fiasul
Óleo de soja Bruto	Óleo extraído da semente de soja	Bunge
Emulgador	Álcool Laurílico Etoxilado 7 EO	Color Química
Detergente	Detergente umectante para pré-alveamento CO	Hanier
Sequestrante	Sequestrante de ferro (Fe) para pré-alveamento CO	Hanier
H ₂ O ₂ (50%)	Peróxido de hidrogênio – concentração 50%	BSC Química
NaOH (50%)	Hidróxido de sódio – concentração 50%	BSC Química
Sulfato de sódio anidro	Eletrólito	Manuchar
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sódio (álcali)	Manuchar
C ₆ H ₈ O ₇	Ácido cítrico (50%)	BSC Química
Detergente	Tensoativo não iônico e aniônico para lavagem do tingimento	NS Química

Fonte: Autor (2024)

3.1.1 Equipamentos e software utilizados para a realização dos tingimentos

Para realizar os tingimentos e avaliação dos resultados foram utilizados os equipamentos e software descritos no Quadro 4:

Quadro 4 – Equipamentos e software utilizados

Equipamento	Marca	Modelo
Aparelho de tingimento de meada	Kimak	AT1RP
Aparelho de tingir fio multitubos	Bomval	Multitubos horizontal
Bobinadeira de fio	Schlafhorst	X5
Estufa	Brasdonto	Mod. 2
Software	Multitherm	Gestum
Pipeta eletrônica	Rainin	E4 XLS+
Espectrofotômetro	Datacolor	Spectrum 500
Espectrofotômetro	UV-M51	BEL Photonics
Medidor de pH	Gehaka	PG 1800
Meadeira	Marte	2300
Dinamômetro para fio individual	Premier	Tensomaxx 7000
Balança	Marte	AL 500C

Fonte: Autor (2024)

3.2 EQUIPAMENTOS DE TINGIMENTO

3.2.1 Equipamento de tingimento em escala de laboratório

Para tingimento em laboratório, foi utilizado uma máquina da marca Kimak, com capacidade de tingir 5 g em cada um dos 12 canecos com capacidade volumétrica de 100 mL. O equipamento é operado por meio de um controlador, pelo qual é possível inserir os parâmetros desejáveis de tingimento. O sistema de aquecimento e resfriamento utiliza serpentina com resistência elétrica para controle de temperatura do fluido onde os canecos ficam sob agitação durante todo o processo de tingimento.

3.2.2 Equipamento de tingimento em escala de produção

Os equipamentos de tingimento de fio em bobinas cruzadas são do tipo multitubos horizontal, da marca Bomval, com capacidade produtiva de 280 kg por lote. As bobinas são preparadas de acordo com a Figura 11, e então inseridas no interior do equipamento agrupadas de 10 em 10, em cada porta material. O funcionamento do equipamento ocorre com auxílio de duas bombas. A bomba principal realiza a circulação do banho de tingimento entre o tanque de circulação e o interior da máquina, já a bomba de pressão é responsável por manter a pressão estática no

interior do equipamento em aproximadamente $4,0 \text{ kgf/cm}^3$. Durante os processos todas as operações são controladas por uma Interface Homem Máquina (IHM) e um servidor de produção, onde previamente, são cadastradas as receitas e as etapas dos processos de tingimento.

3.3 MÉTODOS

Para a realização dos processos de pré-alveamento e tingimento em fios de 100% algodão, em bobinas cruzadas, é necessário realizar uma sequência de processos. Iniciando com a preparação do substrato têxtil, que é acondicionado em cilindros flexíveis, pré-alveamento do fio em máquina de tingimento em escala de produção e secagem do fio para a obtenção de meadas de 5 g cada para posterior tingimento em escala piloto com relação de banho de 1:20.

3.3.1 Preparação do substrato a ser tingido

O substrato 100% algodão foi pré-alveado na forma de fio penteado, acondicionado em bobina cruzada com 1,80 kg, diâmetro de 200 mm e altura de 170 mm. A Figura 11 mostra a bobina formada no cilindro flexível para pré-alveamento.

Figura 11 – Bobina cruzada de fio 100% algodão para Pré-Alveamento.



Fonte: Autor (2024)

O acondicionamento do fio em cilindro flexível perfurados é necessário para garantir o fluxo do banho de tingimento e para melhor igualização possível durante o

processo. Os cilindros da Figura 12 possuem características específicas para suportar pressão de trabalho de 4,0 kgf/cm³ e temperaturas até 135 °C.

Figura 12 – Cilindro flexíveis perfurados.



Fonte: Autor (2024)

O substrato fio 100% algodão penteado foi pré-alvejado com formulação conforme descrição na Tabela 2.

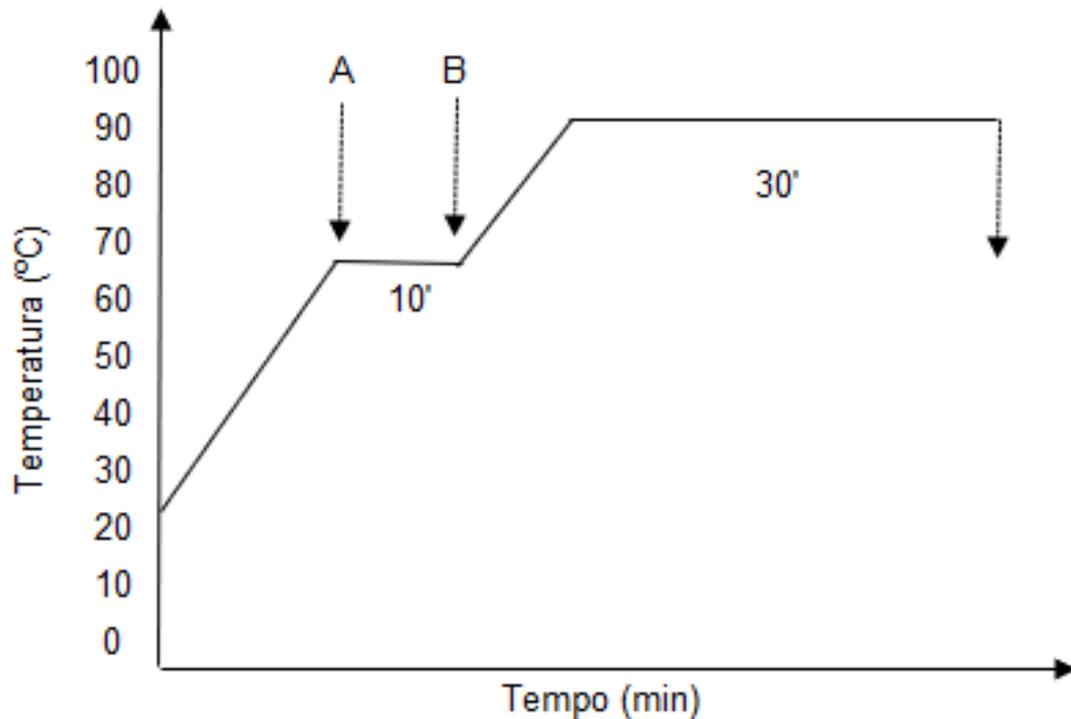
Tabela 2 – Formulação da solução de Pré-Alvejamento

CONCENTRAÇÃO	DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS
2,00%	Detergente umectante
0,50%	Sequestrante de Fe
2,50%	Peróxido de hidrogênio (50%)
3,00%	Hidróxido de sódio (50%)

Fonte: Autor (2024)

De acordo com Karmakar, (1999) o processo de pré-alvejamento consiste em combinar os produtos químicos auxiliares com emprego de temperatura e tempo com objetivo de fazer a remoção de materiais não celulósicos como gorduras, ceras, açúcares e cinzas contidas nas fibras do substrato têxtil, conforme Figura 13.

Figura 13 – Curva do processo de Pré-Alvejamento



Fonte: Autor (2024)

Tabela 3 – Formulação de dosagem do processo de Pré-Alvejamento

ADIÇÃO	PRODUTO AUXILIAR
A	Detergente umectante
A	Peróxido de hidrogênio (50%)
A	Sequestrante de Fe
B	Hidróxido de sódio (50%)

Fonte: Autor (2024)

A curva de pré-alvejamento apresentada na Figura 13, juntamente com a formulação da Tabela 3 foi aplicada em escala de produção na máquina multitubos horizontal, da marca Bomval, na qual foram pré-alvejados 280 kg. Destes, foi retirada uma bobina (1,74 kg) para realizar todos os testes de tingimento em escala de laboratório.

Com o pré-alvejamento concluído, será necessário fazer a preparação das meadas para realizar os tingimentos em escala de laboratório. A forma mais utilizada para preparação de meadas em pequena escala é em meadeira de bancada.

Na sequência, será necessário utilizar uma balança de precisão para realizar a conferência das meadas para que estejam todas com a massa igual a 5 g, garantindo a reprodutibilidade do processo de tingimento.

3.3.2 Preparação da solução dos banhos de tingimento

O processo de preparação dos corantes ocorre de acordo com o processo de tingimento a ser realizado, considerando que foram realizados tingimentos com óleo de soja bruto, bem como o tingimento convencional com água para efeito de comparação de resultados.

3.3.2.1 *Solução de corante reativo com água.*

O preparo da solução do corante reativo Red 195 com água foi realizado em um béquer, sob agitação manual por 5 minutos onde foi adicionado 1 g de corante reativo Red 195 em 100 mL de água, com emprego de um balão volumétrico de 100 mL.

3.3.2.2 *Dispersão de corante em óleo.*

O preparo para a dispersão do corante reativo Red 195 com óleo foi realizado em um béquer, sob agitação manual por 30 minutos até a completa dispersão de acordo com a relação a seguir:

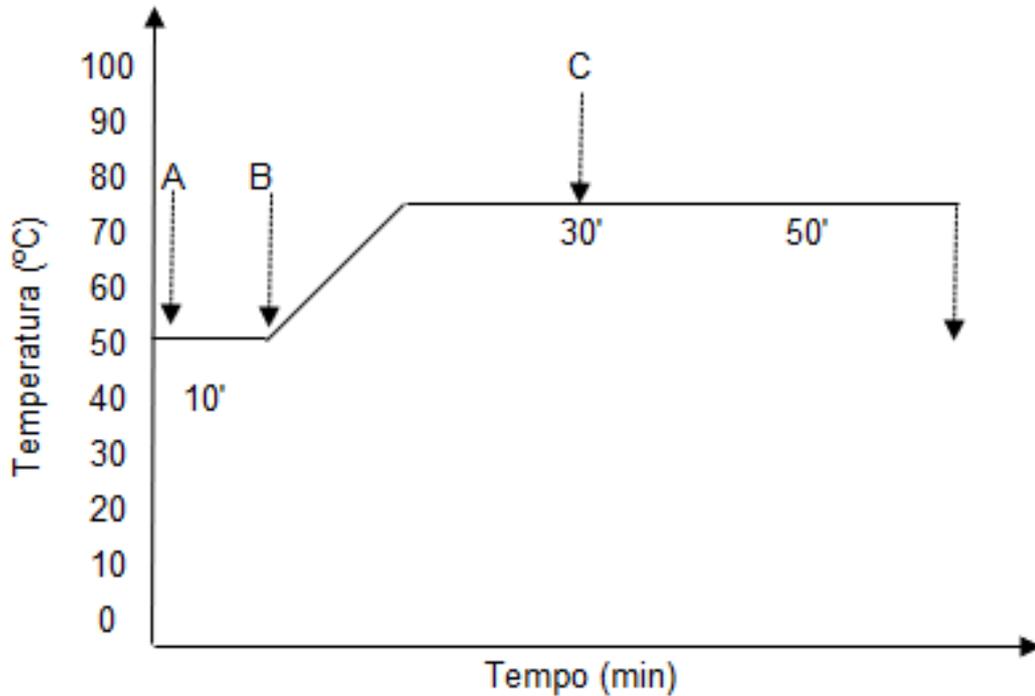
Pipetar 10 mL da solução de corante e adicionar junto ao óleo de soja bruto utilizado no processo de tingimento. Adicionar 0,1 mL de ácido cítrico na mistura e agitar por 30 minutos.

3.3.3 Processo de tingimento convencional de fio de algodão com corante reativo

O processo de tingimento convencional de fios de algodão com corante reativo ocorre juntamente com a utilização de auxiliares, adicionados de forma controlada, com controle de tempo, temperatura e pH, conforme Figura 14, onde as

letras A, B e C correspondem aos corantes e auxiliares adicionados ao banho de tingimento, descrito na Tabela 4.

Figura 14 – Gráfico do processo de tingimento convencional com corante reativo



Fonte: Autor (2024)

Para a realização do tingimento serão adicionados os auxiliares e o corante de acordo com a formulação apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Formulação tingimento convencional com corante reativo

ADIÇÃO	CONCENTRAÇÃO	DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS
A	1,00 %	Dispersante
A	2,00 %	Corante Red 195
B	75,00 g/L	Sulfato de sódio
C	15,00 g/L	Barrilha

Fonte: Autor (2024)

Para realizar o tingimento convencional, no início foram adicionados no caneco 89,5 mL de água, 0,5 mL de dispersante, 10 mL da solução de corante reativo Red 195, e uma meada de fio com 5 g. Esta mistura ficou sob agitação na máquina de tingimento durante 10 minutos. Após este tempo foram adicionados 7,5 g de sulfato de sódio. Em seguida aquecer o banho de tingimento até 80 °C e manteve em agitação

nesta temperatura por mais 30 minutos. Adicionar 1,5 g de barrilha e manteve em agitação por mais 50 minutos.

Os corantes reativos possuem boas propriedades para formar uma ligação covalente com a fibra de algodão em meio alcalino. Contudo, a operação final envolve uma etapa de lavagem para retirada do excesso de corante original ou corante hidrolisado não fixado à fibra (GUARATINI; ZANONI, 2000), conforme item 3.3.5.

3.3.4 Tingimento de fio de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja

A relação de banho empregada em todos os tingimentos foi de 1:20, onde o banho foi composto de 50% do volume sendo água e 50% do volume de óleo de soja bruto (SO). Em todas as amostras foram empregados 2% spm do corante reativo Red 195, mesma quantidade da amostra padrão. O eletrólito utilizado foi o sulfato de sódio anidro em todas as amostras tingidas.

Foram realizados tingimentos dos fios de algodão com emprego de 50% de óleo de soja e 50% de água, com diferentes variações de auxiliares para definições prévias como, melhor forma de emulsionar o corante, quantidade a ser utilizada de emulgador e patamar de agitação durante o tingimento, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Formulação dos testes realizados com emprego de óleo de soja

Amostras	Emulgador (%)	Dispersante (%)	Barrilha (g/L)	Sulfato de Sódio (g/L)
Amostra 1 SO	6	-	15	-
Amostra 2 SO	6	-	15	-
Amostra 3 SO	6	-	15	-
Amostra 4 SO	3	-	15	18,75
Amostra 5 SO	3	-	15	37,50
Amostra 6 SO	3	-	15	75,00
Amostra 7 SO	3	-	15	18,75
Amostra 8 SO	3	-	15	37,50
Amostra 9 SO	3	1	20	37,50
Amostra 10 SO	3	1	25	37,50
Amostra 11 SO	3	1	30	37,50
Amostra 12 SO	3	1	35	37,50

Fonte: Autor (2024)

Os tingimentos seguintes foram processados com emulsão de óleo bruto e água utilizando 3% de emulgador Álcool Laurílico 7 EO e 1% de dispersante.

Os tingimentos de fios de algodão com corante reativo Red 195 com emprego de óleo de soja foram divididos em três principais processos distintos, com diferentes proporções de óleo, água e eletrólito, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Relação dos testes realizados com emprego de óleo de soja com variação na proporção de água e óleo.

Amostras	Água (%)	Óleo de soja (%)	Eletrólito (g/L) (Sulfato de sódio)
Amostra 13 SO	50	50	75,00
Amostra 14 SO	50	50	-
Amostra 15 SO	50	50	37,50
Amostra 16 SO	25	75	75,00
Amostra 17 SO	25	75	-
Amostra 18 SO	25	75	37,50
Amostra 19 SO	20	80	75,00
Amostra 20 SO	20	80	-
Amostra 21 SO	20	80	37,50
Amostra 22 SO	10	90	75,00
Amostra 23 SO	10	90	-
Amostra 24 SO	10	90	37,50
Amostra 25 SO	-	100	75,00
Amostra 26 SO	-	100	-
Amostra 27 SO	-	100	37,50

Fonte: Autor (2024)

Com o objetivo de determinar qual a melhor relação entre óleo de soja e água, foram realizados tingimentos de fio de acordo com a Tabela 6, onde além da variação da concentração de óleo, foram avaliadas também diferentes concentrações de eletrólito. Todos os tingimentos foram realizados de acordo com o processo apresentado na Figura 15, onde as letras A, B e C correspondem aos auxiliares e corantes adicionados ao banho, descritos na Tabela 7.

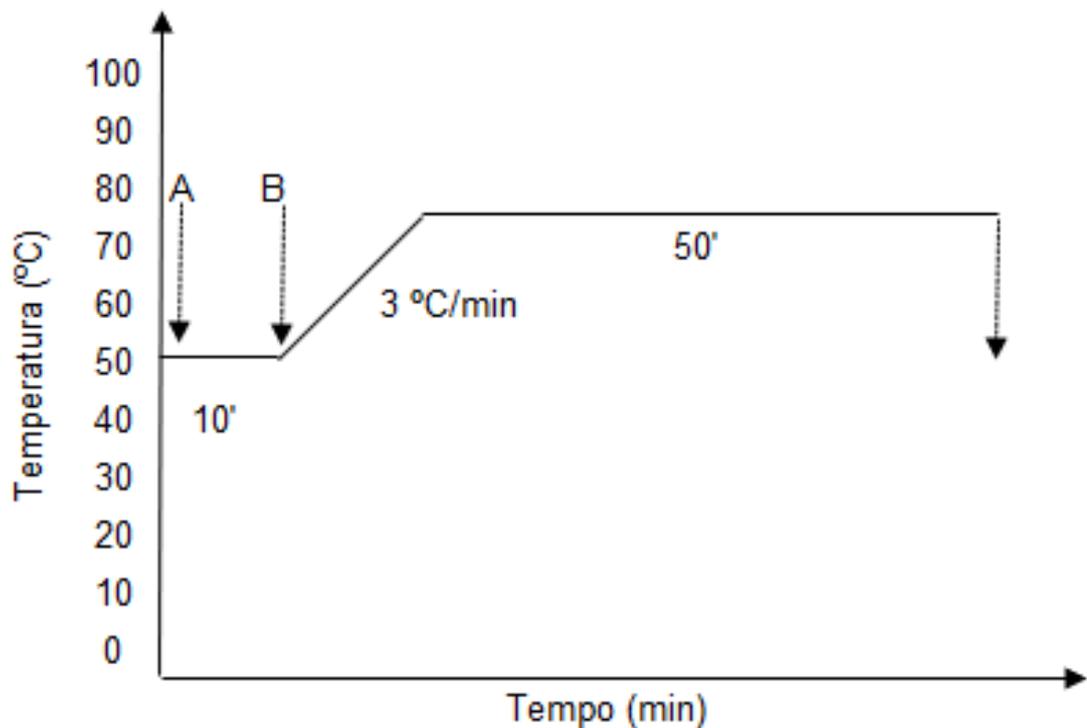
Os tingimentos de fios de algodão com corante reativo Red 195 com emprego de óleo de soja foram definidos na proporção de 75% óleo / 25% água. Alterando as quantidades de eletrólitos com objetivo de trabalhar com menor quantidade possível de eletrólito, conforme tabela 7.

Tabela 7 – Relação dos testes realizados com emprego de óleo de soja (SO) e variação na quantidade de eletrólito.

Amostras	Água (%)	Óleo de soja (%)	Eletrólito (g/L) (Sulfato de sódio)
Amostra 28 SO	25	75	75,00
Amostra 29 SO	25	75	37,50
Amostra 30 SO	25	75	18,75
Amostra 31 SO	25	75	8,00
Amostra 32 SO	25	75	0,00

Fonte: Autor (2024)

Figura 15 – Gráfico de tingimento de fios de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja e eletrólito.



Fonte: Autor (2024)

Tabela 8 – Formulação de tingimento dos fios de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja e eletrólito

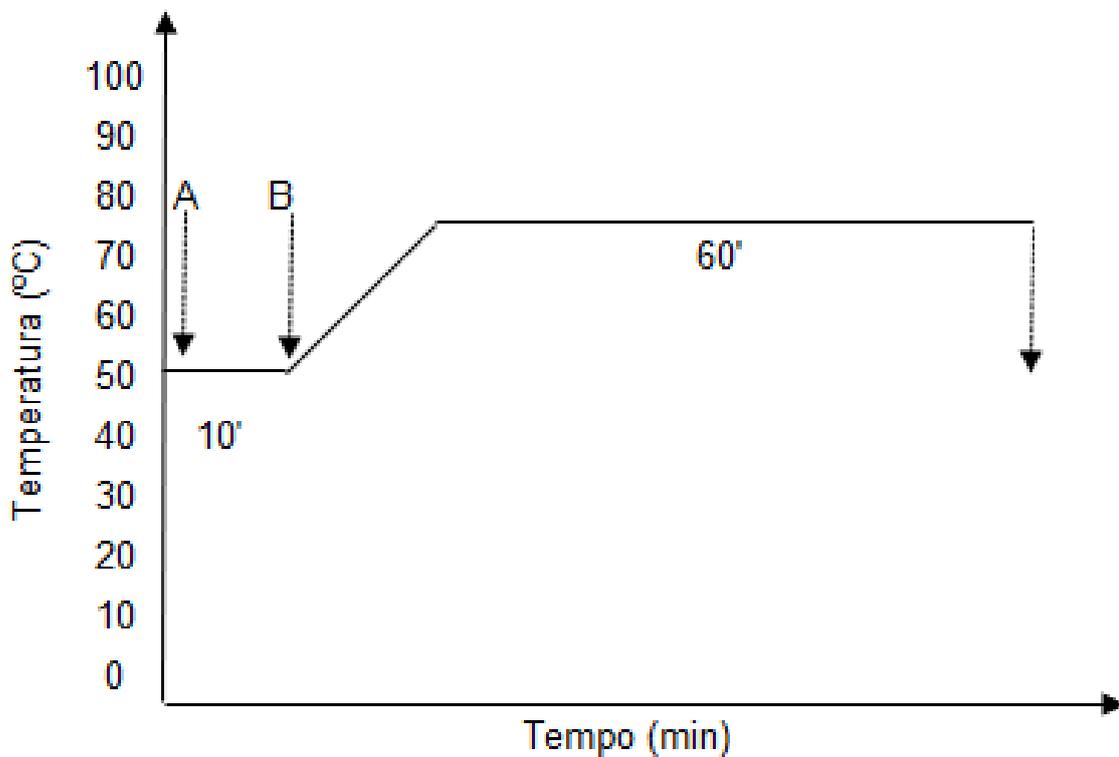
ADICIONAR	CONCENTRAÇÃO	DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS
A	2,00 %	Dispersante
A	3,00 %	Emulgador
A	75,00 g/L	Sulfato de sódio
B	2,00 %	Corante reativo Red 195

Fonte: Autor (2024)

Toda a formulação de tingimento foi calculada para a relação de banho 1:20. Para melhorar a dispersão do corante no óleo, 0,1 g de corante foi adicionado em 100 mL de óleo e agitado por 30 minutos antes de iniciar o tingimento.

Os processos de tingimento com emprego de óleo de soja e sem utilização de eletrólito, (MU *et al.*, 2019) foram realizados conforme Figura 16, onde as letras A e B correspondem aos auxiliares adicionados no banho de tingimento, descrito na tabela 8.

Figura 16 – Gráfico de tingimento de fios de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja sem eletrólito.



Fonte: Autor (2024)

Tabela 9 – Formulação tingimento dos fios de algodão com corante reativo com emprego de óleo de soja e sem eletrólito

ADICIONAR	CONCENTRAÇÃO	DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS
A	2,00 %	Dispersante
A	3,00 %	Emulgador
A	15,00 g/L	Barrilha
B	2,00 %	Solução de corante com óleo

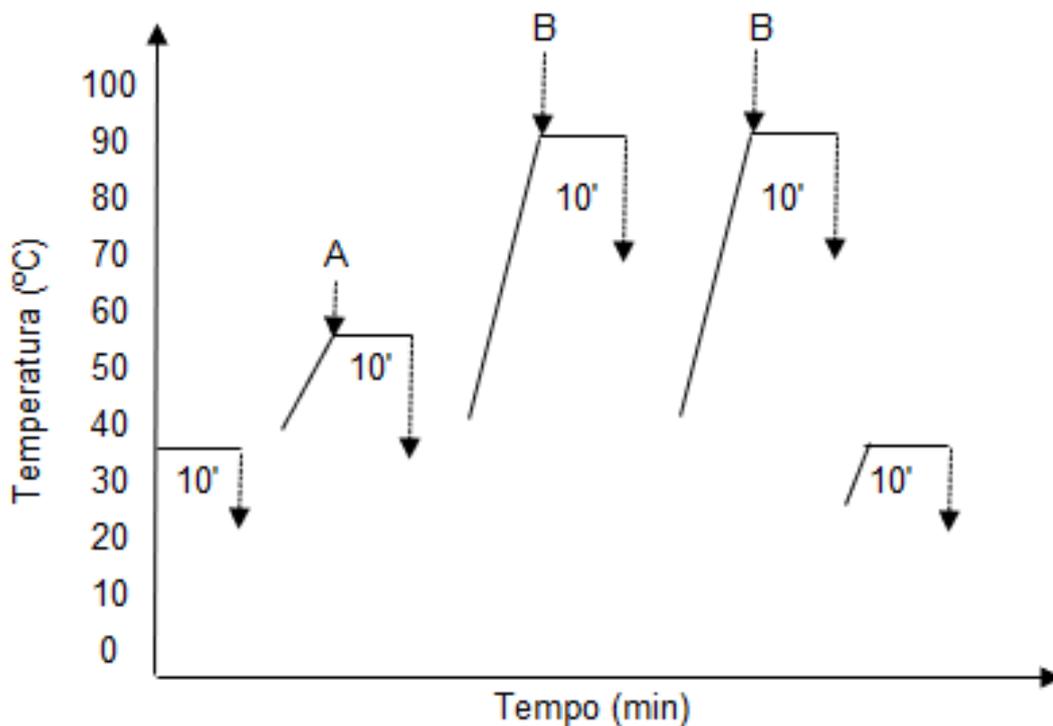
Fonte: Autor (2024)

Para a realização do tingimento dos fios de CO com corante reativo Red 195 com emprego de óleo de soja bruto, inicialmente foram adicionados no caneco de tingimento o volume necessário de água, o emulgador e dispersante, a solução de corante reativo Red 195 com óleo de soja, a barrilha e por fim uma meada de fio 30/1 100% algodão com 5 g, esta mistura ficou sob agitação na máquina de tingimento durante 10 minutos. Após este tempo, toda a mistura foi aquecida até 80 °C e mantida sob agitação por 60 minutos.

3.3.5 Lavação após tingimento de fio de algodão com corante reativo

De acordo com Liu *et al.*, (2019b) após os processos de tingimento convencional ou com emprego de óleos, é necessário efetuar o processo de lavação do substrato tinto para a remoção dos corantes hidrolisados que estão na superfície das fibras e suspensas no fluido de banho. Para a remoção do corante hidrolisado após o processo de tingimento convencional e tingimento com emprego de óleo de soja, será efetuada a lavação conforme a Figura 17.

Figura 17 – Gráfico de lavação após tingimento convencional ou com emprego de óleo de soja.



Fonte: Autor (2024)

Para a realização da lavagem, é necessário a adição dos auxiliares de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 – Formulação para lavagem de tingimento convencional ou com emprego de óleo de soja

ADICIONAR	CONCENTRAÇÃO	DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS
A	0,80 %	Ácido cítrico
B	2,00 %	Detergente de lavagem

Fonte: Autor (2024)

O processo de lavagem inicia-se com enxague somente com água para remoção do excesso do corante hidrolisado, sais, álcalis e óleos utilizados no processo de tingimento. No segundo banho de lavagem ocorre aplicação de ácido cítrico para neutralização dos residuais de álcalis que não foram eliminados do substrato têxtil. No terceiro e quarto banho, aplica-se o detergente de lavagem para remover os corantes hidrolisados que permaneceram na superfície das fibras. No quinto banho é um enxague para limpeza de eventuais resíduos dos processos anteriores.

3.3.6 Avaliação da redução de eletrólito

Todos os tingimentos realizados para a recuperação de óleo foram com 2% spm de corante Red 195 e com relação de 75% óleo com 25% água. Houve a variação do sulfato de sódio anidro, onde foi iniciado com 75,00 g/L, que equivale a 100% da necessidade do emprego deste auxiliar, e então a adição foi sendo reduzida para 37,50 g/L (50%), 18,75 g/L (25%), 8 g/L (10,66%) e por fim 0,00 g/L de sulfato de sódio. A comparação foi realizada com processo de tingimento convencional utilizando com base o fator K/S mais próximo do fator K/S do tingimento convencional para sequência dos ensaios.

3.3.7 Avaliação da recuperação do óleo

Todos os ensaios de tingimentos realizados para a recuperação de óleo foram com 3% spm de corante Red 195 e com relação de 75% óleo bruto com 25% água e

emprego de 18,50 g/L de sulfato de sódio. A comparação foi realizada com processo de tingimento convencional com 3% spm de corante Red 195.

De acordo com Liu *et al.*, (2019a) após o primeiro ciclo de tingimento com emprego de óleo de soja, o óleo utilizado remanescente no substrato têxtil pode ser coletado do tecido tingido por vácuo, este óleo é coletado com a finalidade de ser reutilizado por três ciclos de tingimento adicionais.

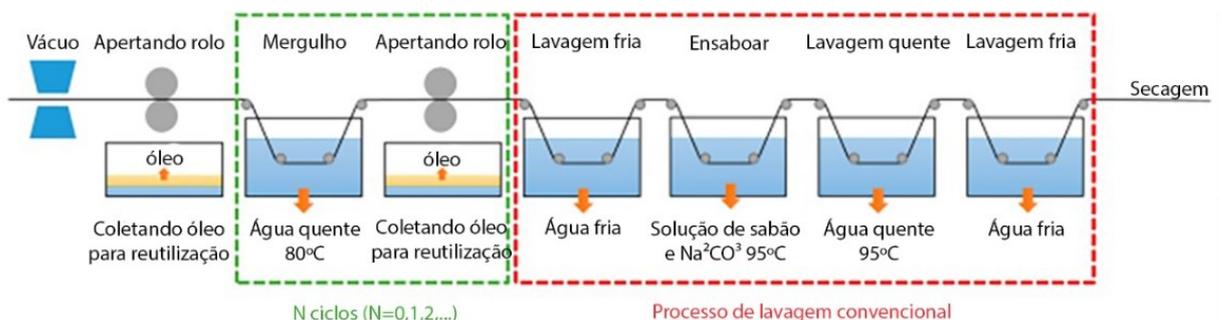
3.3.7.1 Extração do óleo do substrato têxtil

De acordo com Liu *et al.*, (2019a) após o primeiro ciclo de tingimento com emprego de óleo de soja, o óleo utilizado remanescente no substrato têxtil pode ser coletado do tecido tingido por vácuo, este óleo é coletado com a finalidade de ser reutilizado por três ciclos de tingimento adicionais.

De acordo com estudo de Mu *et al.*, (2019) o processo para remover o óleo do substrato de algodão, pode ser realizado por meio de centrifugação em alta velocidade.

Após o processo de tingimento, o óleo em tecido tingido pode ser coletado por vácuo, imersão em água quente e compressão de alta pressão (LIU *et al.*, 2019b), conforme Figura 18.

Figura 18 – Esquema de remoção de óleo e processo de lavagem de tecidos de algodão após o tingimento



Fonte: Adaptado de Liu *et al.*, (2019b).

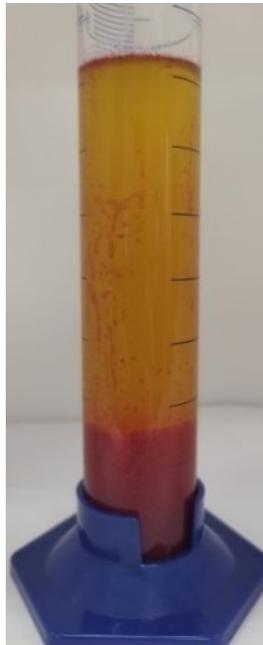
De acordo com Liu *et al.*, (2019b) o processo de lavagem para tecidos de algodão tinto foi lavado a frio por 10 minutos, ensaboado a 95 °C por 10 minutos,

lavagem a quente por 10 minutos e lavagem a frio por 10 minutos com uma relação de banho de 1:30.

3.3.7.2 *Extração do óleo do banho após tingimento.*

Após o tingimento da amostra, foi necessário efetuar a separação do óleo do banho de tingimento para posterior reutilização nos tingimentos seguintes. O banho recuperado da centrifugação ficou em repouso para posterior coleta com pipeta do óleo que se localiza na parte superior do recipiente em função da sua densidade, conforme Figura 19.

Figura 19 – Banho pós tingimento com 75% de óleo e 25% de água.



Fonte: Autor (2024)

3.3.7.3 *Ensaio de reutilização do óleo após tingimento.*

Após os tingimentos e separação dos óleos, foram realizados 5 tingimentos adicionais com o óleo bruto recuperado. A cada tingimento foi necessário efetuar a medição da quantidade de óleo recuperado e completar com óleo bruto para manter o volume necessário para o próximo tingimento. Posteriormente a cada tingimento, submeteu-se as amostras a novas leituras de cor para determinar a força colorística, ΔE e valor K/S encontrado a cada ciclo de reaproveitamento do óleo de soja bruto.

De acordo com os estudos de Liu *et al.*, (2020) foi realizado os testes de reaproveitamento em vários ciclos de tingimento e utilizou a taxa de fixação do corante e o valor K/S para determinar a qualidade do tingimento no sistema de emulsão WCO.

3.3.8 Avaliação da cor

Para avaliação da cor após o tingimento e secagem das amostras de fio, foi efetuado avaliação em espectrofotômetro para determinar a cor de cada amostra tinta. Foram utilizados os parâmetros de intensidade de cor para definir a quantidade de 18,50 g/L de sulfato de sódio anidro para todos os testes de tingimento em meio oleoso restantes.

Para verificar a modificação colorística dos substratos têxteis ao longo das etapas de preparação e tingimento, aplicou-se a técnica de espectroscopia de refletância em espectrofotômetro Datacolor® 500. Para tal, foram realizadas medições das coordenadas L*, a* e b* do espectro de cor CIE Lab, medições de K/S para determinação da força colorística para os diferentes tingimentos e preparações, bem como determinação de desvio de cor ΔE , onde a amostra padrão foi aquela obtida por meio do tingimento convencional com água e eletrólito conforme indicação do corante com base no spm da amostra de fio.

3.3.9 Determinação da cinética de adsorção de tingimento

Com objetivo para determinar a cinética de adsorção de tingimento e entender a forma de deslocamento dos compostos tintoriais do banho para os fios de algodão, foram realizados 11 tingimentos simultâneos com mesma composição na formulação. Todas as amostras foram tintas com 2% spm de corante reativo Red 195 em equipamento de escala laboratorial, onde as coletas dos residuais de banhos de tingimento foram efetuadas considerando tempo e temperatura.

As amostras de banhos de tingimento foram coletadas antes de iniciar o processo de tingimento, com temperatura de 50 °C, após agitação de 10 minutos na temperatura de 50 °C, bem como nos instantes seguintes de tempo 12,5 minutos aos 58 °C, 15 minutos aos 65 °C, 17,5 minutos aos 73 °C, 20 minutos aos 80 °C. Após

alcançar 80 °C, foram coletadas amostras a cada 10 minutos no período de 50 minutos em agitação.

Após coletar os residuais de banho do tingimento, foram submetidas à leitura da absorbância em espectrofotômetro UV/Vis, onde a concentração de corante residual determinou as curvas de absorbância para confecção gráfica e analisar o comportamento da fase cinética.

3.3.10 Determinação da isoterma de tingimento

Para a obtenção da isoterma que melhor se ajusta aos tingimentos em meio oleoso, foram realizados tingimentos com 75% óleo e 25% água de relação O/A com emprego de 18,75 g/L de sulfato de sódio e o tingimento convencional para comparação. Os tingimentos ocorreram em ambos processos com 0,5%, 1,0%, 2,0%, 3,0% e 4,0% spm de corante reativo, totalizando cinco diferentes concentrações. Os banhos foram coletados no início do tingimento e final do tingimento de cada concentração.

A avaliação da determinação da isoterma de tingimento foi realizada com base nos dados de adsorção do material corante ao substrato têxtil. O esgotamento e a força colorística do tingimento indicaram o equilíbrio de adsorção e a capacidade do corante permanecer na fibra de algodão (SALEM, 2010).

Os banhos de tingimentos foram submetidos as leituras por espectrofotometria UV/Vis. Com os dados das leituras foi possível fazer avaliação da isoterma de tingimento baseado nos modelos de Langmuir e Freundlich.

3.3.11 Espectroscopia no infravermelho por Transformada de Fourier

A espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) é utilizado para evidenciar a presença de grupos funcionais na superfície da estrutura do algodão. Foram realizados no laboratório de Análises Térmicas e Espectroscopia (LTE) da UFSC Blumenau.

As amostras tingidas foram submetidas a análise por meio de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier para investigar alterações em características relevantes ocorridas no processo de tingimento de fios de algodão com

corante reativo Red 195 em meio oleoso, em comparação com processo de tingimento convencional. Buscou-se compreender possíveis alterações estruturais que tenha relação a grupos funcionais e de ligações, ocasionadas pelo tingimento em meio oleoso na superfície das fibras.

3.3.12 Resistência

Foram testadas amostras de tingimento do processo convencional e amostras com processo de tingimento em meio oleoso com presença de 18,75 g/L de sulfato de sódio e submetidas ao teste de resistência a ruptura e alongamento.

A análise de resistência a ruptura e alongamento, tem a finalidade de identificar possíveis alterações na resistência do fio em decorrência dos tingimentos em meios oleosos. Estes ensaios foram realizados no laboratório da Fundação Blumenauense de Estudos Têxteis (FBET) Blumenau, no aparelho dinamômetro para fio individual da marca Premier, que determinou a força necessária para romper o fio, indicando perda ou ganho de resistência após o processo de tingimento em meio oleoso. Além da tenacidade, foi possível avaliar o coeficiente de variação, o percentual de alongamento e o coeficiente de alongamento até o momento do rompimento no decorrer do teste.

A Tabela 11 apresenta valores de referências de qualidade da Uster Statistics (2018), com referência em fio 100% algodão cru.

Tabela 11 – Dados de referência da Uster Statistics

PARÂMETRO	25%	50%	75%
Tenacidade	18,8	16,8	15,2
CV%	6,9	7,7	8,6
Alongamento %	5,6	5,2	4,8
CV%	6,2	7	8

Fonte: Adaptado Uster Statistics (2018)

Os parâmetros de qualidade do fio de algodão são classificados em três grupos, no parâmetro de 25% da Uster Statistics indica que o resultado ocorre em ¼ das amostras e o fio apresenta excepcional qualidade. Com parâmetro em 50% da Uster Statistics indica que metade o fio apresenta boa qualidade. No parâmetro de

75% o fio é usual no mercado e atende a demanda produtiva com qualidade necessária.

3.3.13 Testes de solidez

As amostras de fio tinto em laboratório com processo convencional e em meio oleoso foram submetidas aos os ensaios de solidez à lavagem, solidez à luz e solidez à fricção a seco e úmido, com o objetivo de avaliar a resistência da cor quando exposto a agentes químicos, físicos e luminosidade.

3.3.13.1 *Ensaio de solidez à lavagem*

A determinação da solidez de cor à ação de lavagem tem objetivo de determinar a resistência de cor de substratos têxteis em soluções de sabão padrão alcalinizado com carbonato de sódio anidro conforme descrito na ABNT NBR 13062. Os testes foram realizados no Laboratório Têxtil da empresa Fiobras LTDA.

O corpo-de-prova é composto por dois tecidos-testemunha em conformidade com a ABNT NBR 10187 e com dimensões de 100 mm x 40 mm, onde amostra tinta é costurada no meio dos dois tecidos-testemunha.

O ensaio de solidez à lavagem foi efetuado na máquina de laboratório Kimak AT1RP, em uma solução de banho de 1:50 contendo 5 g/L de sabão-padrão e 2 g/L de carbonato de sódio anidro. A amostra foi mantida sob agitação por 30 minutos a temperatura de 60 °C. Na sequência amostra foi enxaguada em água corrente e seca na estufa com temperatura a 60 °C.

A avaliação do teste foi realizada com auxílio de espectrofotômetro Datacolor para leitura do ΔE e nota da escala cinza.

3.3.13.2 *Ensaio de solidez à fricção a seco*

Os ensaios de solidez à fricção a seco foram realizados em conformidade com a norma NBR ISO 105-X12. Os testes foram realizados em equipamento Crockmeter da marca Atlas semi automático. As amostras foram submetidas a 10 ciclos de fricção, ou seja, 10 passadas para frente e 10 passadas para trás. Na sequência os tecidos-

testemunha foram submetidos a leitura em espectrofotômetro Datacolor para determinar nota de solidez na escala cinza e ΔE .

3.3.13.3 *Ensaio de solidez à fricção a úmido*

Os ensaios de solidez à fricção a úmido foram realizados em conformidade com a norma NBR ISO 105-X12. Os testes foram realizados em equipamento Crockmeter da marca Atlas semi automático. As amostras foram submetidas a 10 ciclos de fricção, ou seja, 10 passadas para frente e 10 passadas para trás. Na sequência os tecidos-testemunha foram submetidos a leitura em espectrofotômetro Datacolor para definir o ΔE e nota da escala cinza.

3.3.13.4 *Ensaio de solidez à luz*

Os ensaios de solidez à luz foram realizados em conformidade com a norma NBR ISO 105-B02. O ensaio ocorre por exposição luminosa por 25 horas em um equipamento Q-SUN Xe-2 da marca Q-LAB. A avaliação foi realizada com auxílio da escala de azul, com classificação de 1 a 8, onde nota 1 é muito baixa e nota 8 é excelente. Os ensaios foram efetuados no Laboratório de Ensaio Físicos e Químicos Têxteis (LAFITE) do SENAI de Brusque (SC).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões referente aos testes propostos no capítulo anterior comparando tingimento em meio oleoso e convencional. Foram avaliados testes inerentes a intensidade de cor, solidez à lavagem, fricção a seco e úmido, solidez à luz e resistência. Foram caracterizados os melhores ajustes gráficos de cinética, isoterma e FTIR.

4.1 AVALIAÇÃO DOS TESTES REALIZADOS

No estudo de Liu *et al.*, (2019b) o sistema de fase líquida dupla melhora a fixação do corante em 33% e elimina a utilização total de eletrólito durante o processo de tingimento.

No tingimento das amostras 1 SO até amostra 5 SO, mais amostra 7 SO, pode se observar grande formação de espuma no banho residual de tingimento, que são as mesmas amostras que obtiveram menor rendimento na força colorística e maior incidência de manchas.

Entre a amostra 1 SO, amostra 2 SO e amostra 3 SO, foram tintas sem eletrólito e utilizou-se 6% de emulgador em cada amostra, porém emulgadores distintos para cada amostra, com os resultados idênticos, foi definido o emulgador pelos aspectos visuais de precipitados no banho de tingimento. Houve grande formação de espuma, o que prejudicou a igualização dos fios tintos.

De acordo com Liu *et al.*, (2020) algumas condições envolvendo água e álcali mais temperatura no sistema de fase dupla, podem ocorrer saponificações e a degradação do óleo residual durante o processo de tingimento pode ser a causa.

Os resultados dos testes de tingimento dos fios de algodão com emprego de óleo de soja bruta (SO) podem ser observados, no Anexo A, onde constam as fotografias das amostras de fios tintos, residuais dos banhos de tingimento e pH do banho residual do final do processo de tingimento.

4.2 AVALIAÇÃO DA COR

A amostra padrão utilizada como referência para efeito de comparação com as demais amostras, foi tinta com processo de tingimento convencional de fio de algodão com corante reativo. Os resultados de cor obtidos após os tingimentos podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados obtidos das amostras tintas em laboratório

Amostras	Força	K/S	ΔE
Padrão	100,00	114,61	-
Amostra 1 SO	42,33	48,82	11,94
Amostra 2 SO	34,14	39,37	14,82
Amostra 3 SO	37,93	43,74	13,48
Amostra 4 SO	62,49	71,71	6,80
Amostra 5 SO	76,58	87,74	4,32
Amostra 6 SO	83,80	95,91	3,57
Amostra 7 SO	43,25	49,65	11,90
Amostra 8 SO	68,80	78,81	5,75
Amostra 9 SO	81,34	92,52	3,42
Amostra 10 SO	86,37	97,70	2,72
Amostra 11 SO	78,22	89,29	3,83
Amostra 12 SO	89,40	101,83	2,82

Legenda: SO – Óleo de soja.

Fonte: Autor (2024)

A força colorística ou força tintorial do corante reativo Red 195 aplicado nas amostras, obteve melhora gradativa conforme foram sendo realizados os ajustes nos gráficos do processo de tingimento e alterações nas quantidades de eletrólito, álcali e demais auxiliares químicos.

A amostra 12 SO obteve melhor resultado entre os testes realizados, principalmente na força colorística. Também obteve segunda melhor média no ΔE . Devido a utilização da formulação composta por 35 g/L de barrilha, 3% de emulgador, 1% dispersante e 37,50 g/L de sulfato de sódio, o pH final de tingimento ficou superior se comparado com as amostras 9 SO até amostra 11 SO.

Conforme foram realizados os ajustes de processo e auxiliares o grau de absorção e coeficiente de dispersão (K/S), os resultados seguiram a tendência de aproximação com a amostra padrão.

No tingimento da amostra 4 SO, amostra 5 SO e amostra 6 SO, foram empregados 25%, 50% e 100% respectivamente de eletrólito, onde apresentou melhora gradativa com aumento do percentual de eletrólito e redução da quantidade de espuma no banho de tingimento. Com isso houve melhora na igualização das amostras que tiveram maior quantidade de eletrólito empregados no tingimento.

Da amostra 9 SO até amostra 12 SO, aplicou-se 0,1% de ácido cítrico na preparação da emulsão de 50% de água e 50% de óleo com corante, isso proporcionou melhor solubilidade do corante Red 195 na emulsão, que resultou na melhor igualização e fixação do corante na fibra de algodão. Entre estas amostras foram acrescentados 5 g/L de barrilha acima da anterior, isso resultou em maior fixação a cada amostra.

4.3 AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DE ELETRÓLITO

Para determinação da quantidade de eletrólito utilizada, foram tingidas amostras com processo convencional e com emprego de 75% de óleo de soja bruto mais 25% de água com as devidas reduções de eletrólitos apresentadas na Tabela 13.

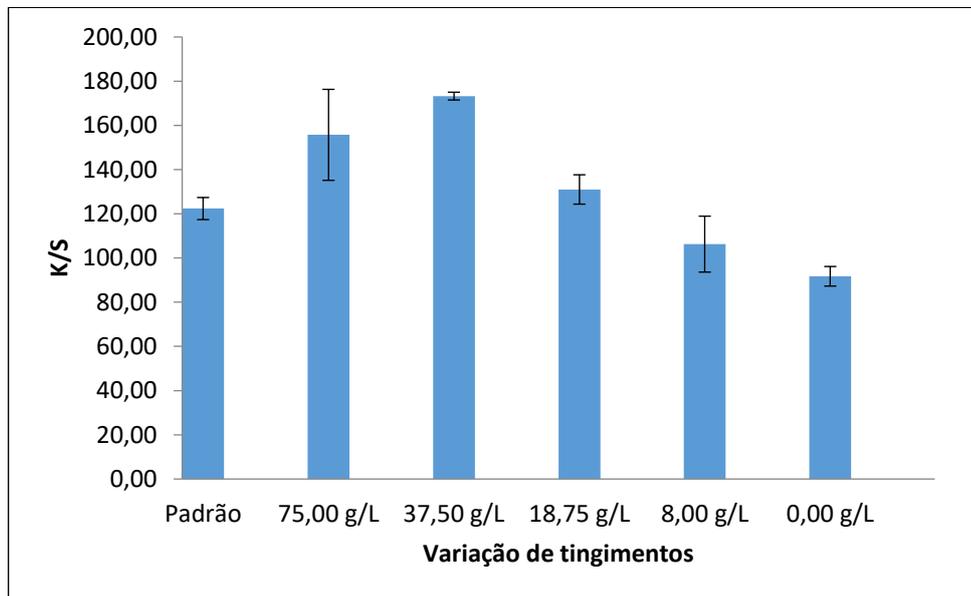
Tabela 13 – Leituras das amostras com redução de eletrólito

Amostra	Força	ΔE	Desvio Padrão	K/S	Desvio Padrão
Padrão	100,00	-	-	122,37	4,98
75,00 g/L O/A	132,99	3,08	1,26	155,71	20,58
37,50 g/L O/A	147,87	4,52	0,21	173,25	1,76
18,75 g/L O/A	112,00	2,03	0,32	131,00	6,64
8,00 g/L O/A	90,46	2,27	1,34	106,27	12,65
0,00 g/L O/A	78,06	3,88	0,61	91,73	4,44

Fonte: Autor (2024)

Na representação do gráfico foram considerados os valores de K/S mais próximo ao do tingimento convencional, observando o desvio padrão de cada amostra conforme Figura 20.

Figura 20 – Representação gráfica dos valores K/S com redução de eletrólito



Fonte: Autor (2024)

A partir da avaliação dos valores encontrados definiu-se toda a sequência do trabalho com utilização de 18,75 g/L de sulfato de sódio, que corresponde a 25% do total de eletrólito definido para 2% spm de corante reativo Red 195.

Em comparação com o processo de tingimento convencional com o sistema de emulsão reduz a zero a quantidade de eletrólitos para chegar na mesma profundidade de tonalidade com 2% spm, desta forma, gera efluente sem eletrólito (LIU *et al.*, 2019b; MU *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2020).

4.4 AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DO ÓLEO

Foram realizados cinco ciclos de tingimento reaproveitando o óleo recuperado do tingimento anterior utilizando proveta e uma pipeta.

A Tabela 14 apresenta a relação de tingimento com as quantidades de óleo recuperado e as quantidades de óleo virgem adicionado após cada ensaio de tingimento.

Tabela 14 – Quantidade de óleo recuperado

TINGIMENTO	RECUPERADO (mL)	ÓLEO VIRGEM (mL)	% RECUPERADO
1º	-	100	-
2º	66	9	88,00
3º	65	10	86,67
4º	63	12	84,00
5º	63	12	84,00

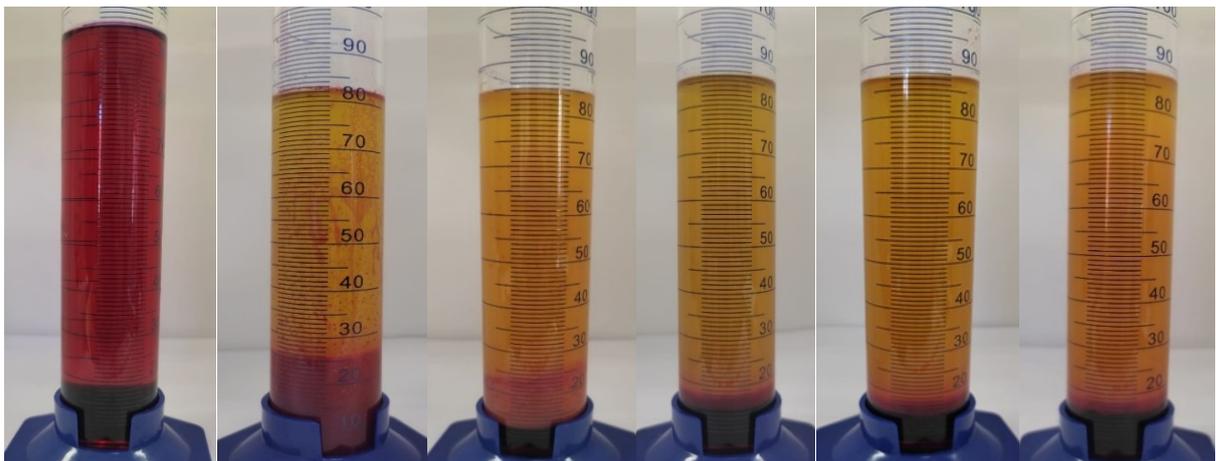
Fonte: Autor (2024).

Com a técnica de recuperação do óleo utilizando uma proveta para decantação e uma pipeta para separação do óleo da água com residual de corantes e auxiliares, foi possível extrair em média 85,67% em cinco ciclos de tingimento reaproveitando óleo.

Após o processo, o banho residual do tingimento em meio oleoso foi adicionado em uma proveta e acondicionado em repouso por 24 horas. Com isso ocorreu a separação bem distinta do óleo da água com residual de corante hidrolisado, conforme apresentado no Figura 21.

Figura 21 – Relatório fotográfico dos banhos residuais de tingimento

Convencional 1º 2º 3º 4º 5º



Fonte: Autor (2024)

A cada ciclo de tingimento com reaproveitamento de óleo, é possível identificar no relatório fotográfico que ocorre a separação do óleo da água com corantes hidrolisados de forma mais definida, recuperando em média 85,67% do óleo.

De acordo com estudos de Mu *et al.*, (2019) após cinco ciclos de tingimento no sistema de fase dupla de água-óleo, teve boa reciclabilidade e o valor K/S diminuiu ligeiramente, mas significativamente.

As amostras submetidas aos ensaios de tingimento com objetivo de fazer a recuperação do óleo em cinco ciclos consecutivos, apresentou resultado com 29,90% maior força colorística de cor no 2º ciclo, posteriormente ocorreu a estabilização e manteve os resultados com regularidade em 16,02% de força colorística nos demais ciclos de tingimento, conforme apresenta Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados das amostras tingidas com óleo reaproveitado

AMOSTRA	L*	a*	b*	FORÇA	K/S	ΔE	COR
Convencional	41,86	59,57	4,63	100,00	156,147	-	
1º	-0,423	0,693	0,913	108,903	170,449	1,35	
2º	-2,130	0,630	2,433	129,897	203,465	3,30	
3º	-1,243	0,320	1,123	115,903	180,945	1,78	
4º	-1,140	0,310	1,297	117,477	183,615	1,97	
5º	-1,340	0,043	0,867	114,683	179,132	1,63	

Fonte: Autor (2024)

Os resultados expressos na tabela 15 demonstram que o reaproveitamento do óleo é satisfatório. No segundo ciclo obteve-se aumento da força colorística e do valor K/S. A partir do terceiro ciclo de reaproveitamento do óleo, obteve-se estabilidade na força colorística e no valor K/S. Diferentemente das literaturas encontradas, onde cita que os valores de K/S tem diminuição notável.

Devido a hidrólise do óleo de cozinha empregado, a fixação do corante e o valor K/S dos tecidos de CO diminuíram notavelmente nos três primeiros ciclos de tingimento adicionais (LIU *et al.*, 2019a).

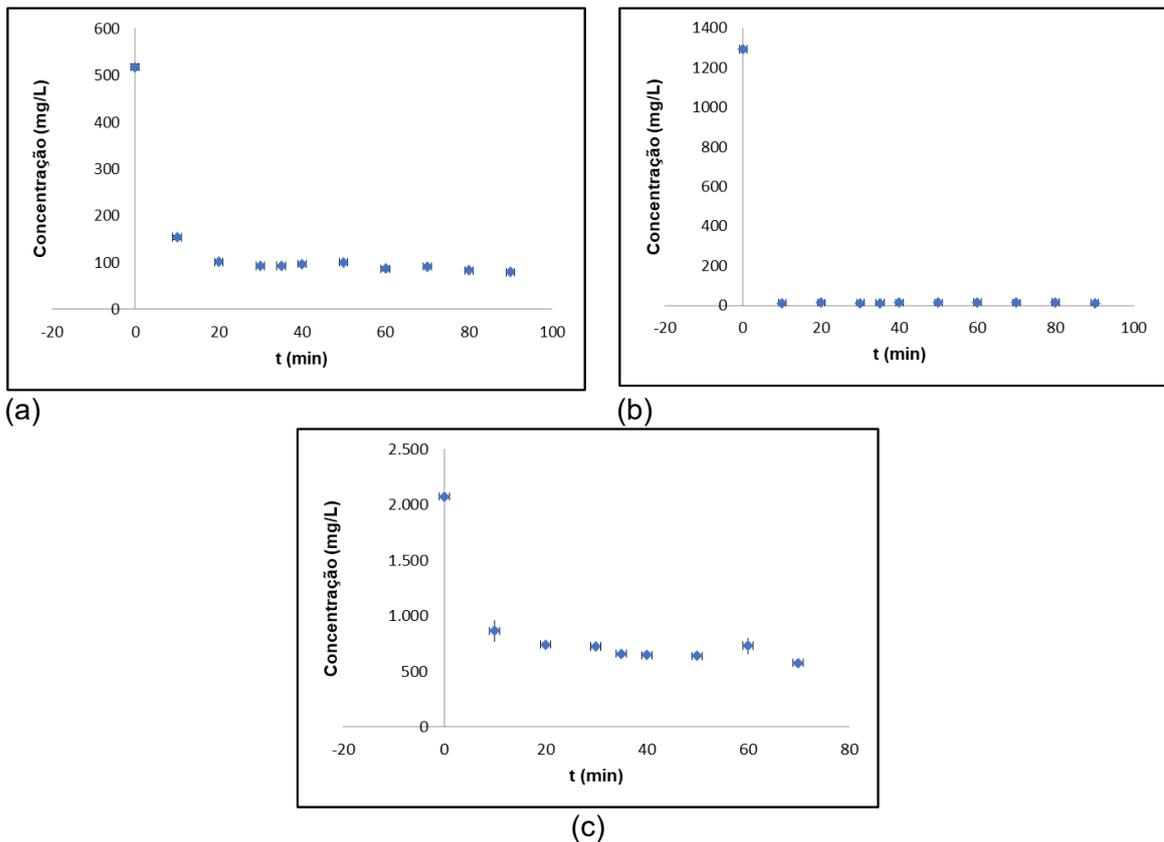
De acordo com os estudos de Liu *et al.*, (2020) foi concluído que a taxa de fixação do corante e o valor K/S diminuíram drasticamente à medida que o sistema água e óleo foi repetidamente usado para o tingimento de algodão.

4.5 CINÉTICA DE ADSORÇÃO DE TINGIMENTO

A cinética de adsorção de tingimento foi aplicada no processo de tingimento convencional e no processo de tingimento em meio oleoso com a proporção de banho de 25% água com 75% óleo de soja com 18,75 g/L de sulfato de sódio.

Na Figura 22 é possível avaliar o efeito do tempo na adsorção do corante na fase água do processo convencional e no processo em meio oleoso com presença de sal em ambas as fases do sistema.

Figura 22 – Cinética de tingimento, (a) tingimento convencional, (b) tingimento com óleo e presença de sal, fase óleo, (c) tingimento com óleo e presença de sal, fase água.



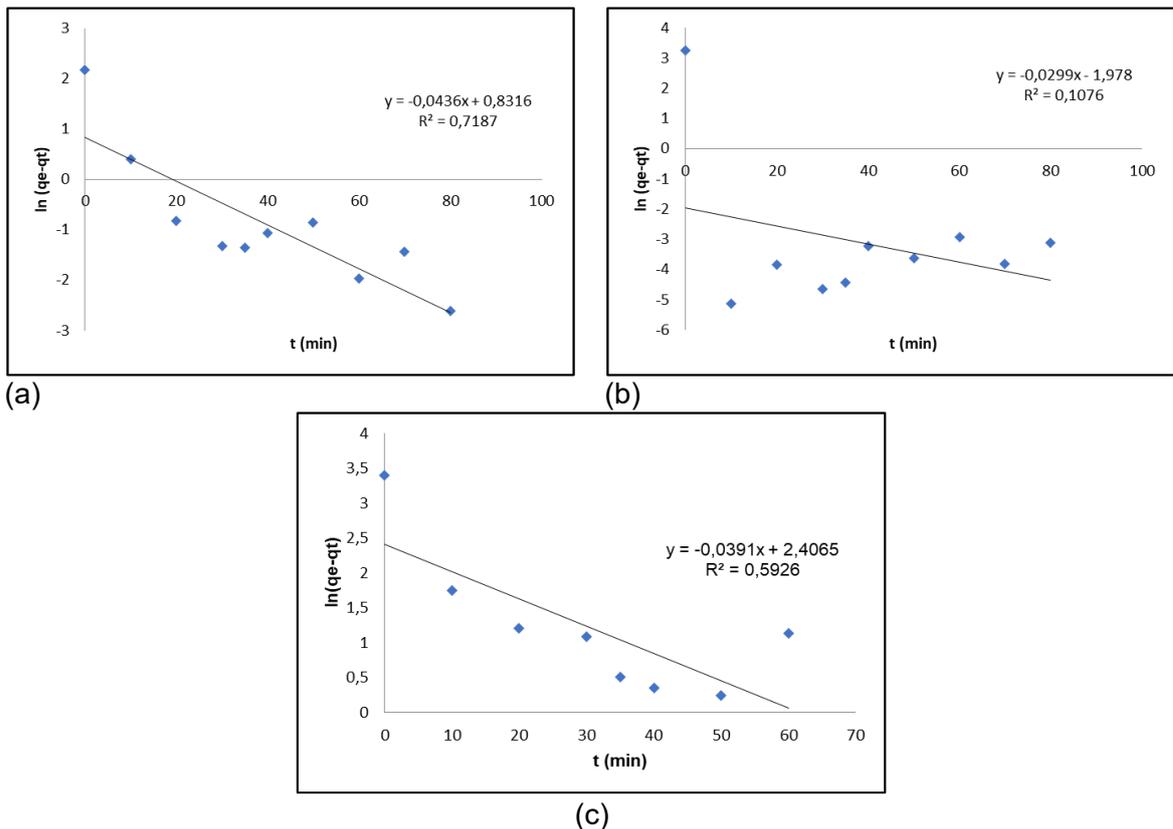
Fonte: Autor (2024).

Com a taxa de conversão de equilíbrio aumentada, as moléculas de corante se movem rapidamente para fase interna (água) do sistema de tingimento de fase dupla e com isso ocorre alta concentração de corante na fase interna e sorção de corante aumenta substancialmente, (LIU *et al.*, 2019a).

Mesmo comportamento é observado nos tingimentos efetuados com sistema oleoso na fase externa (óleo), baixa adsorção de corante decorre do baixo potencial químico, enquanto na fase interna (água), ocorre substancial aumento do potencial químico do corante. No tingimento convencional não é possível visualizar o aumento do potencial químico devido a sua distribuição homogênea no banho.

A Figura 23 apresenta a linearização do modelo cinético de pseudo-primeira ordem para a fase água do processo de tingimento convencional e para o tingimento em meio oleoso para as fases água e óleo.

Figura 23 – Cinética de pseudo-primeira ordem dos tingimentos, (a) tingimento convencional, (b) tingimento com óleo e presença de sal, fase óleo, (c) tingimento com óleo e presença de sal, fase água.

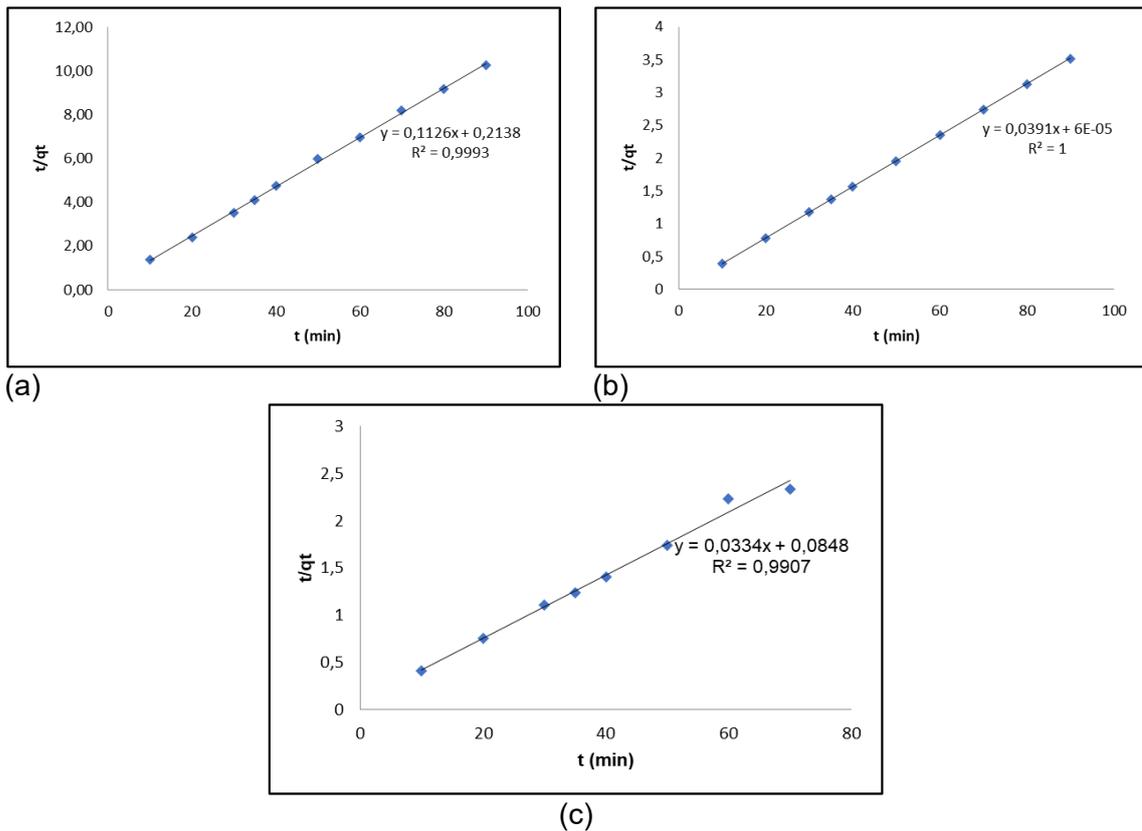


Fonte: Autor (2024).

Os resultados não apresentam ajustes lineares ao modelo apresentado, sendo assim obtidos valores equivalentes a 71,87%, 10,76% e 59,26% para os tingimentos com óleo e presença de sal, fase óleo e fase água, respectivamente.

A linearização do modelo cinético de pseudo-segunda ordem também foi aplicada para tingimento convencional e para o tingimento em meio oleoso, para a fase água e fase óleo, conforme apresentado na Figura 24.

Figura 24 – Cinética de pseudo-segunda ordem de tingimento, (a) tingimento convencional, (b) tingimento com óleo e presença de sal, fase óleo, (c) tingimento com óleo e presença de sal, fase água.



Fonte: Autor (2024).

Os resultados encontrados apresentam bons ajustes lineares ao modelo cinética de pseudo-primeira ordem, onde o ajuste linear para o tingimento convencional foi de 99,93%, bem como 100,00% e 99,07% para os tingimentos em meio oleoso e presença de sal, fase óleo e fase água, respectivamente.

De acordo com os estudos de Mu *et al.*, (2019) a cinética de fixação para o sistema de tingimento convencional e tingimento de fase dupla, demonstram que a cinética de pseudo-segunda ordem descreve melhor a taxa de fixação. O modelo cinético de pseudo-segunda ordem conforme descrito por Liu *et al.*, (2019), se apresenta como o modelo mais adequado para descrever ambos os sistemas de

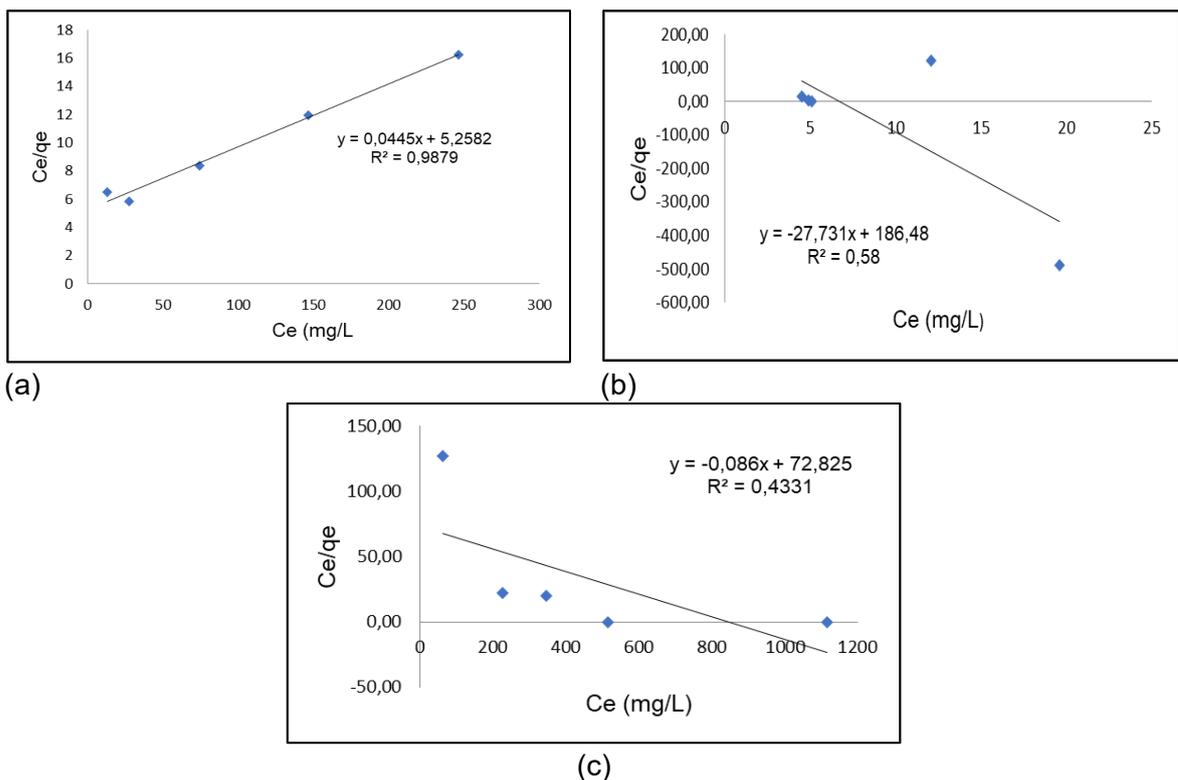
tingimento, demonstrado por R^2 de 0,9999 para sistema convencional e 0,9934 para sistema de emulsão.

Na comparação com os artigos de Mu *et al.*, (2019) e Liu *et al.*, (2019b), os resultados encontrados possuem linearidade com boa compatibilidade ao modelo de pseudo-segunda ordem, onde o ajuste linear obtido foi de 99,93% para o tingimento convencional, 100,00% para o tingimento com óleo e presença de sal na fase óleo e 99,07% para o tingimento com óleo e presença de sal na fase água.

4.6 ISOTERMA DE TINGIMENTO

A isoterma de Langmuir foi aplicada no processo de tingimento convencional e no processo de tingimento em meio oleoso com a proporção de banho de 25% água com 75% óleo de soja com 18,75 g/L de sulfato de sódio. Conforme Figura 25, a comparação é entre tingimento convencional com tingimento em meio oleoso.

Figura 25 – Isoterma de Langmuir do tingimento, (a) tingimento convencional, (b) tingimento com óleo e presença de sal, fase óleo, (c) tingimento com óleo e presença de sal, fase água.



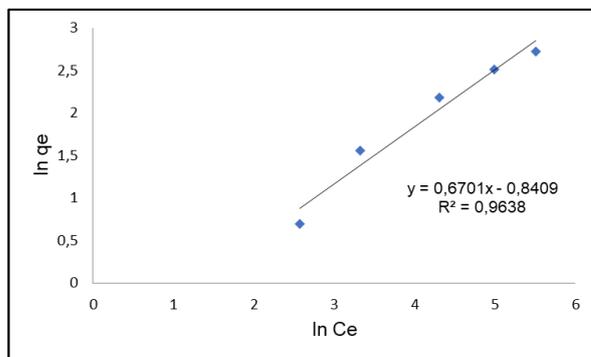
Fonte: Autor (2024).

Os resultados encontrados apresentam divergências da literatura para isoterma de Langmuir, cujo R^2 de 0,58 e 0,4331 para os tingimentos em meio oleoso e presença de sal, fase óleo e fase água, respectivamente. O tingimento convencional apresenta R^2 de 0,9879, idêntico aos resultados da literatura encontrada.

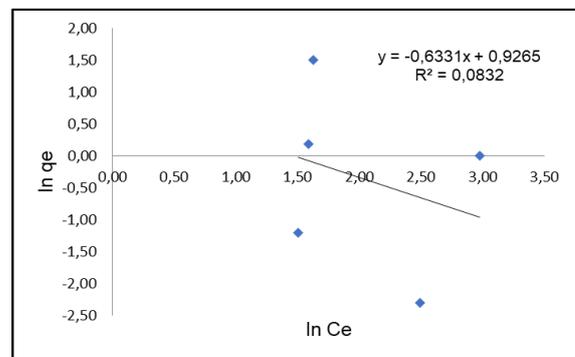
O estudo de Mu *et al.*, (2019) utilizou a isoterma de Langmuir como funcional para o sistema de tingimento convencional e sistema de tingimento SWDS, não houve diferença significativa entre os dois sistemas.

De acordo com estudo de Liu *et al.*, (2019a) o modelo de Langmuir possui melhor ajuste aos dados do que o modelo de Freundlich, e, portanto, descreve melhor o comportamento da fixação do corante nos dois sistemas de tingimento. Com R^2 de 0,9748 para tingimento convencional e R^2 de 0,9806 para tingimento em meio oleoso.

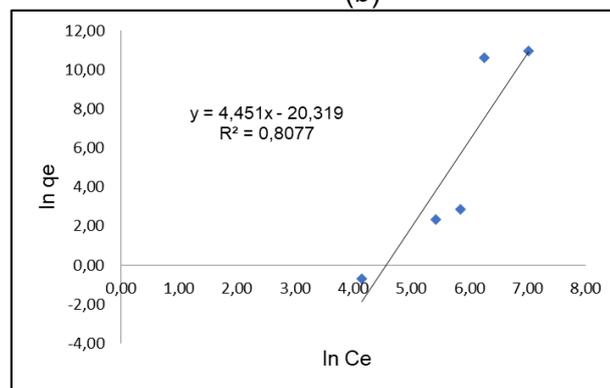
A isoterma de Freundlich aplicada no processo de tingimento convencional e no processo de tingimento em meio oleoso com a proporção de banho de 25% água com 75% óleo de soja com 18,50 g/L de sulfato de sódio. A Figura 26 faz comparação entre tingimento convencional com tingimento em meio oleoso nas fases água e óleo. Figura 26 – Isoterma de Freundlich do tingimento, (a) tingimento convencional, (b) tingimento com óleo e presença de sal, fase óleo, (c) tingimento com óleo e presença de sal, fase água.



(a)



(b)



(c)

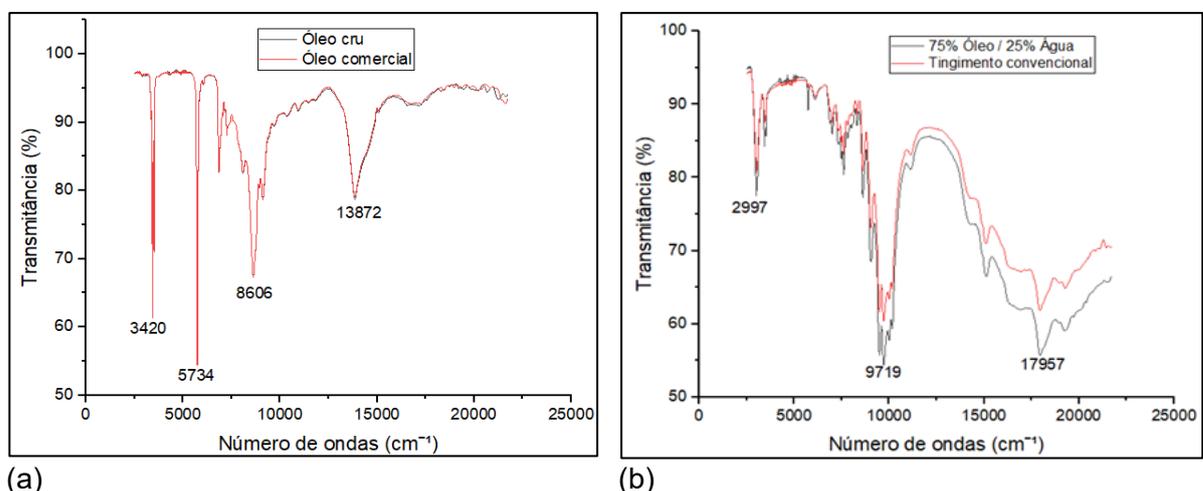
Fonte: Autor (2024).

A isoterma do tingimento oleoso na fase óleo apresentou R^2 0,0832 na isoterma de Freundlich e R^2 0,5800 para isoterma de Langmuir. Enquanto na fase água do tingimento em meio oleoso apresentou R^2 igual 0,8077 na isoterma de Freundlich e R^2 0,4331 para isoterma de Langmuir. Comparando os resultados em ambas isotermas é possível verificar a consistência nos processos, uma vez que para ser considerado um ensaio padronizado é obrigatório garantir a passividade de reprodução. Os resultados similares garantem que os processos, ao serem examinados por dois modelos separadamente, foram reproduzidos de conforme coerente. Contudo, a isoterma de Freundlich não apresenta equilíbrio de fixação adequado para tingimento em meio oleoso. Isso pode estar relacionado a dificuldade de efetuar as leituras em espectrofotômetro dos residuais de banho oleoso.

4.7 CARACTERIZAÇÃO POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER

Os resultados de FTIR das amostras de tingimento convencional comparada com o tingimento de 75% óleo de soja com 25% água, com emprego de 18,75 g/L de sulfato de sódio anidro, correspondente a uma redução de 75% na quantidade de eletrólito utilizada no tingimento convencional, são apresentados na Figura 27.

Figura 27 – Caracterização por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier, (a) óleo cru e óleo comercial, (b) tingimento convencional e tingimento em meio oleoso.



Fonte: Autor (2024).

As regiões com bandas entre 3150 e 3500 cm^{-1} correspondem a (NH), e as bandas entre 3000 e 3350 cm^{-1} correspondem a (OH). Bandas próximas de 3000 cm^{-1} indicam carbono-hidrogênio (CH), representados por anéis aromáticos (PEI *et al.*, 2020). Nas análises de FTIR, o pico amplo na posição de 3368 cm^{-1} pode ser atribuído ao estiramento O-H de grupos de hidroxila livre (ZHENG *et al.*, 2022). De acordo com Wang *et al.*, (2023) os picos em torno de 3432 cm^{-1} podem ser atribuídos as vibrações de estiramento O-H de grupos carboxilas livres ou grupos hidroxilas em moléculas de água.

O pico observado em 2997 cm^{-1} na banda de adsorção está relacionado à vibração de estiramento C-H (carbono-hidrogênio), ligações características das moléculas de celulose. Os resultados apresentados nos números de ondas em 3420 cm^{-1} estão atribuídos à vibração de estiramento oxigênio-hidrogênio (O-H). Na região de 5734 cm^{-1} estão relacionados a vibrações específicas de ligações químicas como carbono-hidrogênio (C-H). Os picos dos números de ondas em 9719 cm^{-1} estão relacionados as ligações C-H em anéis aromático proveniente do corante. Com os picos em 13872 e 17957 cm^{-1} correspondem a uma região de alta frequência com grupos funcionais específicos, como carbonila (C=O), relacionado aos corantes.

Na avaliação dos resultados apresentados, foi identificado que existe similaridade no comportamento de ambas amostras e não foi possível detectar alterações expressivas nos grupos funcionais orgânicos na superfície dos fios tingidos, indicando que não há interação entre os óleos e a fibra de algodão.

4.8 RESISTÊNCIA

Os testes de resistência à tração foram efetuados nas amostras de fio cru, tingimento convencional e nas amostras de tingimento em meio oleoso com 75% de óleo e 25% água com 18,75 g/L de sulfato de sódio para avaliação dos resultados de força, percentual de alongamento, tenacidade e percentual do coeficiente de variação (CV%) do fio tinto conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 – Resultados de resistência

Amostra	Força (cN)	CV%	Along. (%)	CV%	Tenacidade (cN/Tex)
Cru	312,80	9,39	5,42	7,85	15,88
Convencional	303,85	9,85	6,12	8,91	15,42
75%/25% O/A	280,96	8,33	6,06	8,28	14,26

Fonte: Autor (2024).

No processo de tingimento oleoso a análise de resistência à ruptura apresentou redução na força e tenacidade de 7,53% e 7,52% respectivamente. Enquanto o percentual de alongamento que é a capacidade do fio esticar se manteve estável para ambos os processos.

De acordo com Uster Statistics (2018), os resultados de tenacidade se encontram entre 75% dos testes, que são resultados com alta frequência. O percentual de alongamento se encontra entre 25% dos testes realizados nesta estatística, e pode-se afirmar que é satisfatório.

4.9 RESULTADOS DE SOLIDEZ

As amostras de fios tingidos no sistema convencional e em meio oleoso na proporção de 75% óleo com 25% água foram submetidas aos ensaios de solidez. Os ensaios de solidez à lavagem, solidez à fricção a seco e úmido, solidez à luz, foram realizados em conformidade com as normas da ABNT.

4.9.1 Solidez à lavagem

Posteriormente aos testes de solidez à lavagem, avaliou-se a transferência de cor do fio tingido para o tecido-testemunha da cor em uma comparação do tingimento convencional com tingimento em meio oleoso na proporção de 75% de óleo de soja e 25% de água reduzindo gradativamente a quantidade de sulfato de sódio anidro. A Tabela 17 apresenta coluna com etapa anterior ao teste de solidez e posterior ao teste de solidez, enquanto a coluna de cor representa a leitura de espectro do tecido-testemunha antes do teste e posterior a realização do teste de solidez à lavagem.

Tabela 17 – Transferência da cor do fio tingido para tecido-testemunha no teste de solidez à lavagem.

AMOSTRA	ETAPA	COR	ΔE	ESCALA CINZA
Tingimento convencional	Anterior		3,03	4/5
	Posterior			
75%/25% com 75 g/L de sal	Anterior		2,81	4/5
	Posterior			
75%/25% com 37,5 g/L de sal	Anterior		2,90	4/5
	Posterior			
75%/25% com 18,75 g/L de sal	Anterior		2,71	4/5
	Posterior			
75%/25% com 8,0 g/L de sal	Anterior		2,58	4/5
	Posterior			
75%/25% sem sal	Anterior		2,48	4/5
	Posterior			

Fonte: Autor (2024).

Na avaliação de transferência de cor para o tecido-testemunha durante o ensaio de solidez à lavagem exposta na Tabela 17, constatou-se que o ΔE obteve melhora a medida em que reduz gradativamente a quantidade de sulfato de sódio anidro no processo de tingimento. Avaliando com referência na escala cinza o resultado não apresentou diferença na nota mesmo sem utilização de sulfato de sódio.

Os resultados encontrados de solidez à lavagem na escala cinza de 4/5, são idênticos ao trabalho sobre Tingimento reativo de baixo custo usando óleo de cozinha gasto para descarga mínima de corantes e sais dos autores Liu *et al.*, (2019a).

4.9.2 Solidez à fricção

Os testes de solidez à fricção a seco e úmido apresentam avaliação de transferência de cor do fio tinto para tecido-testemunha.

A Tabela 18 apresenta resultados da cor do fio tingido para o tecido-testemunha no ensaio de solidez à lavagem a úmido. A coluna da tabela com etapa anterior ao teste de solidez e posterior ao teste de solidez, enquanto a coluna de cor

representa a leitura de espectro do tecido-testemunha antes do teste e posterior a realização do teste de solidez à fricção a úmido.

Tabela 18 – Transferência da cor do fio tingido para tecido-testemunha no teste de solidez à fricção a úmido.

AMOSTRA	ETAPA	COR	ΔE	ESCALA CINZA
Tingimento convencional	Anterior		9.47	3/4
	Posterior			
75%/25% com 75 g/L de sal	Anterior		9.07	3/4
	Posterior			
75%/25% com 37,5 g/L de sal	Anterior		4.55	4/5
	Posterior			
75%/25% com 18,75 g/L de sal	Anterior		6.03	4
	Posterior			
75%/25% com 8,0 g/L de sal	Anterior		4.43	4/5
	Posterior			
75%/25% sem sal	Anterior		2.23	4/5
	Posterior			

Fonte: Autor (2024).

Os resultados dos ensaios de solidez à lavagem a úmido apresentam melhora gradativa à medida que diminui a quantidade de sulfato de sódio utilizada no ΔE quanto na escala cinza.

No trabalho de Liu *et al.*, (2019a) e nos estudos de Mu *et al.*, (2019) apresentam resultados idênticos na avaliação da escala cinza de nota 3/4. No entanto, avaliando os resultados supracitados, obteve-se melhora no resultado de solidez à fricção a úmido, à medida que reduz a quantidade de eletrólito empregada no tingimento.

A Tabela 19 apresenta resultados da cor do fio tingido para o tecido-testemunha no ensaio de solidez à lavagem a seco. Na comparação com trabalho sobre Tingimento reativo de baixo custo usando óleo de cozinha gasto para descarga mínima de corantes e sais dos autores Liu *et al.*, (2019a), obteve-se nota o mesmo resultado “5” na avaliação com referência na escala cinza.

Tabela 19 – Transferência da cor do fio tingido para tecido-testemunha no teste de solidez à fricção a seco.

AMOSTRA	ETAPA	COR	ΔE	ESCALA CINZA
Tingimento convencional	Anterior		1.53	5
	Posterior			
75%/25% com 75 g/L de sal	Anterior		0.79	5
	Posterior			
75%/25% com 37,5 g/L de sal	Anterior		0.72	5
	Posterior			
75%/25% com 18,75 g/L de sal	Anterior		0.71	5
	Posterior			
75%/25% com 8,0 g/L de sal	Anterior		0.81	5
	Posterior			
75%/25% sem sal	Anterior		0.50	5
	Posterior			

Fonte: Autor (2024).

A tabela apresenta coluna com etapa anterior ao teste de solidez e posterior ao teste de solidez, enquanto a coluna de cor representa a leitura de espectro do tecido-testemunha antes do teste e posterior a realização do teste de solidez à fricção a seco.

Os resultados dos ensaios de solidez à lavagem a seco apresentam melhora gradativa à medida que diminui a quantidade de sulfato de sódio utilizada no ΔE . Enquanto utilizando os resultados com referência escala cinza os resultados se mantiveram sem alteração nenhuma.

Em comparação com os estudos de Mu *et al.*, (2019), encontrou-se resultados idênticos empregando escala cinza na avaliação de transferência de cor do fio tingido para o tecido-testemunha no teste de solidez à fricção a seco.

4.9.3 Solidez à luz

As amostras submetidas aos ensaios de solidez à luz onde foram expostas a luz durante 25:00 horas em um equipamento Q-SUN Xe-2 da marca Q-LAB e os resultados estão apresentados na Tabela 20, onde a coluna com etapa apresenta o fio tinto anterior ao teste de solidez à luz e posterior ao teste de solidez à luz, enquanto a coluna de cor representa a leitura de espectro dos fios anterior ao teste e posterior a realização do teste de solidez à luz.

Tabela 20 – Alteração da cor após o teste de solidez à luz.

AMOSTRA	ETAPA	COR	ΔE	ESCALA AZUL
Tingimento convencional	Anterior		3.4	6
	Posterior			
75%/25% com 75 g/L de sal	Anterior		2.24	7
	Posterior			
75%/25% com 37,5 g/L de sal	Anterior		2.32	6
	Posterior			
75%/25% com 18,75 g/L de sal	Anterior		3.58	6
	Posterior			
75%/25% com 8,0 g/L de sal	Anterior		3.84	5
	Posterior			
75%/25% sem sal	Anterior		5.13	5
	Posterior			

Fonte: Autor (2024).

Na avaliação é possível identificar que nos ensaios de solidez à luz, comparando o tingimento convencional com tingimento em meio oleoso com 18,50 g/L de sulfato de sódio apresentam ΔE 3,4 e 3,58 respectivamente e nota 6 na escala de azul.

De acordo com os estudos de Liu *et al.*, (2019b) apresentou resultado com nota 6 na escala de azul para tingimento convencional e tingimento em meio oleoso.

Em comparação com os estudos de Mu *et al.*, (2019) encontrou-se resultados com nota 5 na escala de azul para tingimento convencional e tingimento em meio oleoso.

Os tecidos tintos com sistema SWDS apresentam estabilidade de cor a solidez à lavagem, fricção a seco / úmido e luz idênticos aos tingimentos convencionais (MU *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2019a; LIU *et al.*, 2019b).

5 CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou a possibilidade da redução do consumo de recursos naturais como água e insumos com potencial poluidor como sais, comparando o processo de tingimento convencional com o processo em fase dupla de óleo e água, através de ensaios em laboratório.

Foi realizada uma série de ensaios em laboratório com diferentes proporções de água e óleo de soja bruto. A proporção de 75% óleo de soja bruto com 25% de água, forneceu resultados com desempenho equivalente ao processo de tingimento convencional, considerando força colorística e valor K/S. A utilização de uma pequena parcela de água se faz necessária para que o tingimento do fio de algodão seja efetivado.

Após a definição da melhor proporção de óleo/água para o tingimento de fio de algodão em meio oleoso, avaliou-se a redução da concentração de eletrólito com execução de diversos ensaios de laboratório, variando de 75,00 g/L de eletrólito, 37,50 g/L, 18,75 g/L, 8,00 g/L e por fim sem eletrólito. Para manter o padrão de qualidade idêntico ao convencional, a quantidade de eletrólito de 18,75 g/L apresentou resultados satisfatórios nos testes de solidez à lavagem, solidez à fricção seco / úmido e solidez à luz.

Com as proporções de óleo de soja bruto, água e eletrólitos determinados, foram realizados ensaios para o reaproveitamento do óleo usado no tingimento. Por cinco ciclos foram separados os residuais de óleo e água com corantes hidrolisados, onde, foi possível recuperar em média 85,67% a cada ciclo. Os resultados de força colorística e valor K/S se mantiveram superiores aos resultados do processo convencional do primeiro ao quinto ciclo de tingimento.

Os resultados da análise de FTIR mostraram que não ocorrem modificações significativas nos grupos funcionais orgânicos na superfície dos fios de algodão tingidos com processo convencional e no processo de tingimento em meio oleoso.

O conjunto de resultados obtidos indicam que os tingimentos em meio oleoso possuem potencial para produção em escala produtiva. Alcançou resultados satisfatórios com a redução de sais e principalmente com o reaproveitamento de óleo por cinco ciclos em sequência.

6 SUGESTÕES PARA PUBLICAÇÕES FUTURAS

Com análise dos resultados obtidos com tingimento reativo de fios de algodão por esgotamento em meio oleoso, segue sugestões para melhor desenvolvimento de futuros trabalhos:

- Avaliar a viabilidade do emprego de óleo de silicone para o tingimento reativo por esgotamento de fios de algodão.
- Estudar a possibilidade de eliminar a utilização de eletrólitos no tingimento reativo em meio oleoso.
- Avaliar a capacidade tintorial do óleo de soja para tingimento por esgotamento de outras fibras como acrílico, poliéster e viscose.
- Definir a quantidade de ciclos de tingimento com reaproveitamento de óleo é possível realizar sem perder qualidade do tingimento.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO ABIT. **Perfil do setor**. 2020. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>> Acesso em: 16 jun. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 105 B-02**: Têxteis - Ensaio de solidez da cor - Parte B02: Solidez da cor à luz artificial: Ensaio da lâmpada de desbotamento de arco de xenônio. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 38 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 105 X-12**: Têxteis - Ensaio de solidez da cor - Parte X12: Solidez da cor à fricção. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 5 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO ABRAPA. **Algodão no Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-brasil.aspx>> Acesso em: 16 jun. 2023.
- AGUIAR C. R. L. *et. al.*, **Uma Abordagem Simplificada**: Engenharia Têxtil. Florianópolis: Editora da UFSC, 2022.
- AKSU, Zümriye.; TEZER, Sevilay. **Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris***. Process Biochem, Ancara, v. 40, p. 1347-1361, mar. 2005.
- BACHELIER B. GOURLOT J. **Manual da Qualidade da Fibra**. AMPA A fibra de algodão: origem, estrutura, composição e caracterização. Parte 2. p. 37, França, 2018.
- ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia Têxtil**. v. 2. Gulbenkian, Lisboa, 1984.
- ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. **A química do processamento têxtil**. Química nova. São Paulo, v. 19, p. 320-330, 1996.
- BARROS; Francisco Fabio Cavalcante; QUADROS, Cedenir Pereira, JUNIOR, Mario Roberto Maróstica, PASTORE, Glauca Maria. **Surfactina, Propriedades químicas, tecnológicas e funcionais para aplicação em alimentos**. Química nova, v. 30, nº.2, p. 409-414, 2007.
- CORTEZ Regina. *et. al.*, **Natural Pigments: Stabilization Methods of Anthocyanins for Food Applications**. CIELAB COLOR SYSTEM, 2016.
- SOCIETY OF DYERS END COLOURISTS. **Basic Principles of Textile Coloration**. Londres, 1971.
- BUENO, Silvia; SILVA, Adriana; GARCIA-CRUZ, Crispim. **Estudo da produção de biossurfactantes em caldo de fermentação**. Química nova, v.33, nº.7, p. 1572-1577, 2010.
- BURKINSHAW Stephen M. SALIHU George. **The role of auxiliaries in the immersion dyeing of textile fibres**: Part 6 analysis of conventional models that

describe the manner by which inorganic electrolytes promote reactive dye uptake on cellulosic fibres. Elsevier. v. 161, p. 595-604, 2019.

CIOLA, R. **Fundamentos de catálise**. São Paulo: Edusp, 1981.

CLARK, M. **Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, processes and types of dyes**. Cambridge: Woodhead Publishing, v. 1, 2011.

COLPANI Gustavo Lopes. **Preparação e caracterização de adsorventes aniônicos em águas residuárias**. Dissertação de Pós-graduação Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

DE ABREU, Gonçalo Fernandes. **Efeito de Corantes nas Propriedades de Micelização de Surfactantes Iônicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra, 2020.

DALTIN, D. **Como Funciona os Tensoativos no Processamento Têxtil**. Química Têxtil, v. 84, p. 46-62, 2006.

DALTIN, D. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

FATMA Ishrat, SHARMA Vivek, THAKUR Ramesh Chand, KUMAR Ashish. **Current trends in protein-surfactant interaction: A review**. Elsevier. v. 341, p. 1-16, 2021.

FEIRAS, CONGRESSOS E EMPREENDIMENTOS LTDA FCEM. 2019. **Como se deu a evolução da indústria têxtil desde o princípio**. Publicado em 13 de outubro de 2019. Disponível em: <<https://fcem.com.br/noticias/como-se-deu-a-evolucao-da-industria-textil-desde-o-principio/>> Acesso em: 16 jun. 2023.

FEIRAS, CONGRESSOS E EMPREENDIMENTOS LTDA FCEM. 2022. **Indústria têxtil e de confecção faturou R\$ 194 bilhões em 2021**. Publicado em 22 de março de 2022. Disponível em: <<https://fcem.com.br/noticias/industria-textil-e-de-confeccao-faturou-r-194-bilhoes-em-2021-2/>> Acesso em: 16 jun. 2023.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. **Corantes têxteis**. Química Nova, São Paulo, v. 23, p. 71-78, 2000.

GULRAJANI, M. L. **Colour Measurement: Principles, Advances and Industrial Applications**. 1ª ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2010. 433 p. (Woodhead Publishing Series in Textiles).

HAOZE Wang. JIEFENG Meng. FENG Li. TAOHAI Li: **Graphitic carbon nitride/metal-organic framework composite functionalized cotton for efficient oil-water separation and dye degradation**. Journal of Cleaner Production. v. 385. p. 1-10, set. 2022.

HO, Y. S.; McKay, G. **Pseudo-second order model for sorption processes**. Process Biochemistry, v. 34, n. 5, p. 451-465, jul. 1999.

HO, Yuh-Shan. **Review of second-order models for adsorption systems.** Journal of Hazardous Materials, v. 136, n. 3, p. 681-689, ago. 2006.

JOANELI Martinia Ira, OSTERMAN Djurdjica Parac, GOLOB Darko. **Textile surface structure importance and Kubelka-Munk.** Faculty of textile technology of Zagreb, Croatia. Faculty of mechanical engineering, Institute of textiles, University of Maribor, Slovenia. p. 1-10, 2000.

KARIMAK Azizatul. RIDHO Muhammad Rasyidur. MUNAWAR Sasa Sofyam. ADI Danang Sudarwoko. ISMADI. DAMAYANTI Ratih. SUBIYANTO Bambang. FATRIASARI Widya. FUDHOLIC Ahmad: **A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: characteristics, and utilizations.** Elsevier v. 13, p. 2442–2458, 2021.

KARMAKAR, S. R. **Chemical Technology in the Pre-treatment Processes of Textiles:** Textile Science and technology, India, Elsevier v. 12, 1999.

KHATRI Awais. PEERZADA Mazhar Hussain. MOHOSIN Muhammad. WHITE Max: **A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution.** Elsevier. v. 87, p. 50–57, 2015.

KUHN, D. **Tingimento de algodão com corante reativo sem uso de sal por meio de cationização e aplicação de óleo de soja.** Trabalho de conclusão de curso submetido ao curso de Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

LANGMUIR, I. **The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum.** Journal of the American Chemical Society, v. 40, p. 1361-1382, 1918.

LEE Cheng Hao. TAHG Alan Yiu Lun. WANG Yanming. KAN Chi Wai: **Effect of reverse micelle-encapsulated reactive dyes agglomeration in dyeing properties of cotton.** Elsevier. v. 161, p. 51–57, 2019.

LIU Linyun. MU Bingnan. LI Wei. YANG Yiqi: **Cost-effective reactive dyeing using spent cooking oil for minimal discharge of dyes and salts.** Elsevier. v. 227, p. 1023–1034, 2019a.

LIU Linyun. MU Bingnan. LI Wei. YANG Yiqi: **Semistable emulsion system based on spent cooking oil for pilot scale reactive dyeing with minimal discharges.** ACS Sustainable Chem. Eng. v. 7, p. 13698–13707, 2019b.

LIU Linyun. MU Bingnan. LI Wei. XU Helan. YANG Jing. YANG Yiqi: **Clean cotton dyeing in circulated dye bath of waste cooking oil: A feasible industrialization strategy for pollution minimization.** Elsevier. v. 278, p. 1–9, 2020.

MILLER R: **Enciclopédia de alimentos e saúde.** Emulsificantes: tipos e uso. 2016.

MINOLTA, **Precise Color Communication,** Manual Editado por Minolta Corporation, 2000.

MORAES I. F., MORAES C. M., de Oliveira W. P.: **Não surfactantes: uma alternativa sustentável aos surfactantes convencionais.** Revista Virtual de Química, v. 11(2), p. 335-348, 2019.

MU Bingnan. LIU Linyun. LI Wei. YANG Yiqi: **High sorption of reactive dyes onto cotton controlled by Chemical potential gradient for reduction of dyeing effluents**. Elsevier. v. 239, p. 271–278, 2019.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* **Adsorção**: Aspectos Teóricos e Aplicações Ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária, p. 256, 2014.

NITSCHKE, Marcia; PASTORE Glaucia Maria. **Biossurfactante propriedades e aplicações**. Química nova, v.25, nº. 5, p. 772-776, março de 2002.

PATEL Manoj J. TANDEL R. C; **Dyeing and printing study of synthesized reactive dyes using phenyl urea bifunctional reactive dyes on cotton fabric**. Elsevier. v. 51, p. 770–778, 2021.

PEI Liujun. GU Xiaomin. WANG Jiping: **Sustainable dyeing of cotton fabric with reactive dye in silicone oil emulsion for improving dye uptake and reducing wastewater**. Springer. v. 28, p. 2537–2550, 2021.

PEI Liujun. LUO Yuni. SALEEM Muhammad Asad. WANG Jiping: **Sustainable pilot scale reactive dyeing based on silicone oil for improving dye fixation and reducing discharges**. Elsevier. v. 279, p. 1–10, 2020.

PLETNEV Michael Y. **Chemistry of surfactants**. Chair of Organic Chemistry. Belgorod State Universit, Russia. p. 1-97, 2001.

RAGANATI, F. CHIRONE, R. AMMENDOLA, P. **Gas-solid Fluidization of Cohesive Powders**. Chemical Engineering Research and Design. V. 133, p. 347-387, 2018.

RAMARAJU, Bendi et al. **Low cost adsorbents from agricultural waste for removal of dyes**. Environmental Progress & Sustainable Energy, v. 33, n. 1, p. 38- 46, abr. 2014.

ROSA, Jorge Marcos et al. **Sustentabilidade no beneficiamento têxtil**: produção de tingimentos com reuso de efluente tratado por fotocatálise via UV/H₂O₂. 2010.

SANTOS Leonardo Alves. **Propriedades e Aplicações de Biossurfactantes**. FEMA Assim, 2012.

SALEM, Vidal. **Tingimento Têxtil**: Fibras, Conceitos e Tecnologias. São Paulo: Blücher: Golden Tecnologia, 2010.

SCHABBACH, Luciana Maccarini. **Utilização da espectrofotometria na caracterização e predição de cores de esmaltes cerâmicos monocromáticos opacos**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SHORE, John. **Colorants and auxiliaries**: Organic chemistry and application Properties. Volume 2 – Auxiliares. Londres, 2002.

SILVA, M. G. **Tingimento de seda e lã com corante natural eucalipto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, 2013.

SILVA, Thayse Alves de Lima; ARAÚJO, Hélvia Walewska Casulla; TAMBOURGI, Elias; SILVA, Carlos Alberto Alves; TAKAKI, Galba Maria de Campos. **Potencial Tecnológico de uma nova Linhagem de Pseudomonas fluorescens na produção**

de biossurfactante utilizando petróleo como substrato. *Exacta*, v.7, nº. 1, p. 31-37, 2009.

TROTMAN, E. R. **Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres.** 4.ed. Londres: Charles Griffin & Company, 1970.

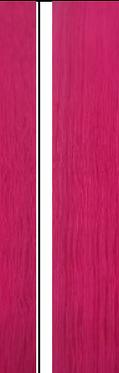
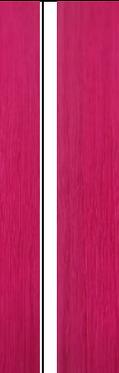
WANG Jiping. ZHANG Yongbo. DOU Huashu. PEI Liujun: **Influence of ethylene oxide content in nonionic surfactant to the hydrolysis of reactive dye in silicone non-aqueous dyeing system.** *Journals Polymers*. v. 10, p. 1– 11, 2018.

USTER® STATISTICS. **Parâmetro de Qualidade.** Suíça, 2018.

ZHANG Ge. ZHOU Jian. PAN Ruru. WANG Lei e GAO Weidong. **Color Prediction for Pre-Colored Cotton Fiber Blends Based on Improved.** Kubelka-Munk Double-Constant Theory. Key Laboratory of Eco-textiles, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China, 2020.

HONGAI Zheng. YAO Zhou. DERUI Wang. MEILIN Zhu. XIN Sun. SHUANGYAN Jiang. YANKUN Fan. DAQUAN Zhang. LIZHI Zhang: **Surface-functionalized PVDF membranes by facile synthetic Cu-MOF-74 for enhanced contaminant degradation and antifouling performance.** *Elsevier*. v. 651, p. 1-12, 2022.

ANEXO A – RESULTADOS DE TINGIMENTOS DE FIOS DE ALGODÃO COM CORANTE REATIVO CONVENCIONAL E COM EMPREGO DE ÓLEO DE SOJA.

	Padrão	1SO	2SO	3SO	4SO	5SO	6SO	7SO	8SO	9 SO	10SO	11SO	12SO
Fio													
Banho													
pH	10,88	10,72	10,73	10,66	10,81	10,77	10,80	10,94	10,72	9,45	9,66	9,78	9,90

Fonte: Autor (2024)