

Daniele Kuhn

**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 para
a obtenção do Grau de bacharel em
Engenharia Têxtil.
Orientadora: Profa. Dra. Catia Rosana Lange
de Aguiar

Blumenau

2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Kuhn, Daniele

TINGIMENTO DE ALGODÃO COM CORANTE REATIVO SEM USO DE
SAL POR MEIO DE CATIONIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE ÓLEO DE SOJA
/

Daniele Kuhn ; orientador, Catia Rosana Lange de Aguiar,
2019.

68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2019.

Inclui referências.

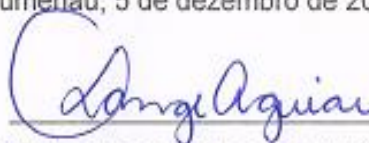
1. Engenharia Têxtil. 2. Tingimento. 3. Cationização.
4. Sal. I. Rosana Lange de Aguiar, Catia . II.
Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
Têxtil.
III. Título.

Daniele Kuhn .

**Tingimento de algodão com corante reativo sem uso de sal por meio de
cationização e aplicação de óleo de soja**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Têxtil, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil.

Blumenau, 5 de dezembro de 2019.

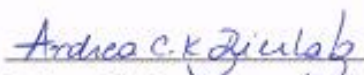


Prof^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



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



Prof^a. Andrea Cristiane Krause Bierhalz, Dr^a.
UFSC - DET



Prof. Fernando Ribeiro Oliveira, Dr.
UFSC - DET

Este trabalho é dedicado aos meus pais Darci e Rosa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e por nunca me deixar sozinha. Sem Ele, nada é possível.

Agradeço também à minha família, meu pai Darci, mãe Rosa e irmã Daiane pelo amor e apoio incondicionais não apenas durante a graduação, mas ao longo de todos os anos da minha vida. Essa conquista é de vocês.

Ao meu namorado Enrique, pela paciência e companheirismo durante essa fase importante, obrigada por sempre me incentivar.

À minha orientadora Catia, pelos seus ensinamentos, pela orientação e pela grande amizade que construímos desde o meu primeiro semestre. Minha inspiração para a área de beneficiamento têxtil, minha conselheira.

A todos os meus amigos e colegas, que sempre estiveram presentes e tornaram o período da faculdade uma fonte de experiências positivas e fundamentais para o meu amadurecimento. Levarei cada amizade sempre comigo.

À UFSC Blumenau, pela disponibilidade de estrutura e apoio durante todos os semestres, todo o meu respeito e admiração pelo campus, professores, técnicos e funcionários.

Quem nós somos não pode ser separado de onde viemos (Malcolm Gladwell).

RESUMO

Sabendo da necessidade da indústria têxtil em atender as suas demandas com menor índice de impactos ambientais, sem comprometer as propriedades de seus produtos, entende-se a importância da pesquisa acerca de métodos alternativos de tingimento de algodão sem uso de sal. Desta forma, o estudo buscou analisar a viabilidade do tingimento de algodão com corante reativo por meio do método de cationização com cloreto de benzalcônio e/ou tingimento com emulsão de corante em óleo de soja. Com a finalidade de análise da viabilidade dos métodos adotados, foram estudadas as propriedades do material tingido por meio de testes de solidez a fricção, a luz e a lavagem. Além disso, foram realizadas análises de isotermas (Langmuir e Freundlich) e cinética de tingimento, bem como a comparação entre os diferentes processos: convencional, cationizado/não cationizado e com óleo em espectrofotômetro de reflectância, com adoção do tingimento convencional como o padrão. Para análise residual de corante no processo foram realizadas coletas de alíquotas nas etapas inicial e final de tingimento, bem como a cada lavagem, e as soluções foram avaliadas por meio de espectrofotômetro de absorvância. O comprimento de onda encontrado foi de 542 nanômetros. Os resultados apresentaram valores aceitáveis de solidez e capacidade colorística das amostras, apesar de também ressaltar a vantagem sobre o tingimento convencional que ainda se mostra o mais efetivo, tendo apresentado cinética de pseudo-segunda ordem, indicando que o controle do mecanismo de velocidade é a adsorção química, além de isoterma adequada ao modelo de Langmuir, ou seja, fibra e corante interagem fortemente. Em sequência, os resultados foram positivos para o substrato tingido com óleo, revelando que o método tem futuro e fomenta a continuidade de estudos acerca do mesmo.

Palavras-chave: Tingimento. Sal. Cationização. Óleo. Algodão.

ABSTRACT

Knowing the need of the textile industry to meet its demands with lower environmental impact index, without compromising the properties of its products, we understand the importance of research on alternative methods of dyeing cotton without salt. Thus, the study sought to analyze the viability of reactive dye cotton dyeing using the benzalkonium chloride cationization method and / or dye emulsion dyeing in soybean oil. In order to analyze the viability of the adopted methods, the properties of the dyed material were studied by means of friction, light and transfer fastness tests. In addition, analyzes of isotherms (Langmuir and Freundlich) and dyeing kinetics were performed, as well as the comparison between the different processes: conventional, cationized / non-cationized and oil in a colorimetry spectrophotometer, with the adoption of conventional dyeing as the standard. For residual dye analysis in the process, aliquots were collected at the initial and final dyeing stages, as well as at each wash, and the solutions were evaluated by scanning spectrophotometer. The wavelength found was 542 nanometers. The results presented acceptable values of color fastness and color ability of the samples, although also highlighting the advantage over conventional dyeing that still proves to be the most effective, having presented pseudo-second order kinetics, indicating that the speed mechanism control is the chemical adsorption, in addition to isotherm suitable for Langmuir model, ie fiber and dye interact strongly. As a result, the results were positive for the oil-stained substrate, revealing that the method has a future and promotes further studies on it.

Keywords: Dyeing. Salt. Cationization. Oil. Cotton.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo industrial de fibras e alimentos no Brasil	18
Figura 2 - Representação esquemática da organização das cadeias de celulose em uma fibra de algodão.....	19
Figura 3 - Caroço maduro de algodoeiro.....	20
Figura 4 - Reatividade do corante Reativo.....	29
Figura 5 - Exemplo da interação covalente entre um corante contendo grupos reativos (triazina) e grupos hidroxila presentes na celulose da fibra de algodão.....	30
Figura 6 - Espaço tridimensional de cores CIELAB.....	31
Figura 7 - Processo de Pré-Alveamento	34
Figura 8- Processo de Cationização	35
Figura 9 - Processo de Tingimento.....	37
Figura 10 - Processo de lavagem.....	38
Figura 11 - Comparação entre resultados de tingimento das amostras A, B, C e D	43
Figura 12 - Amostra Padrão (A) ao lado das amostras A, B, C e D.....	45
Figura 13 - Absorbância, residual de corante e amostras tingidas	46
Figura 14 - Figura 14 - Modelos de cinética da amostra A.....	48
Figura 15 - Cinética de tingimento da amostra A.....	49
Figura 16 - Modelos de cinética da amostra B	49
Figura 17 - Cinética de tingimento da amostra B.....	50
Figura 18 - Modelos de cinética da amostra C	50
Figura 19 - Cinética de tingimento da amostra C.....	51
Figura 20- Modelos de cinética da amostra D.....	52
Figura 21- Cinética de tingimento da amostra D.....	52
Figura 22 - Isotermas de tingimento da amostra A	53
Figura 23 - Isotermas de tingimento da amostra B.....	54
Figura 24 - Isotermas de tingimento da amostra C.....	55
Figura 25 - Isotermas de tingimento da amostra D	55
Figura 26 - Curva de Calibração Corante Red 195	65
Figura 27 - Gráfico de K/S da Amostra B.....	66
Figura 28 - Gráfico de K/S da Amostra C.....	67
Figura 29 - Gráfico de K/S da Amostra D.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fibras têxteis e seus respectivos corantes	28
Quadro 2 - Materiais utilizados	32
Quadro 3 - Processos de Tingimento.....	36
Quadro 4 - Processo de lavagem	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formulação do Pré-Alvejamento.....	33
Tabela 2 - Receita de Cationização	34
Tabela 3 - Etapas e tempos de coleta de alíquotas	40
Tabela 4 - Resultados de a, b, L e ΔE	44
Tabela 5 - Força Colorística	44
Tabela 6 - Transferência de cor	56
Tabela 7 - Comparação de cor entre amostra com e sem lavação.....	56
Tabela 8 - Resultados de solidez a fricção a seco e úmido.....	57
Tabela 9 - Resultados da análise solidez a alteração de cor por escala azul do teste de solidez à luz.	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CIELab – Espaço de cor da CIE (International Commission on Illumination)

pH – Potencial hidrogeniônico

s. p. m. – Sobre o peso do material

VBP – Valor Bruto da Produção

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVO.....	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1	MERCADO TÊXTIL.....	18
2.2	FIBRA DE ALGODÃO.....	19
2.2.1	Produção de algodão no Brasil.....	20
2.3	BENEFICIAMENTO TÊXTIL.....	21
2.3.1	Tingimento Têxtil.....	21
2.3.2	Cationização.....	22
2.3.3	Tingimento com óleo.....	23
2.3.4	Tingimento por Esgotamento.....	23
2.3.5	Pré-Alvejamento.....	24
2.3.6	Cinética de Tingimento.....	24
2.3.7	Isoterma de Tingimento.....	25
2.4	CORANTES.....	27
2.4.1	Corantes Reativos.....	28
2.4.2	Colorimetria.....	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1	MATERIAIS.....	33
3.2	MÉTODOS.....	33
3.2.1	Dispersão de Corante.....	33
3.2.2	Pré-alvejamento.....	33
3.2.3	Cationização.....	34
3.2.4	Tingimento.....	35
3.2.4.1	Lavagem pós-tingimento.....	37
3.2.5	Avaliação do residual de corante no banho de tingimento e lavagem.....	38
3.2.6	Colorimetria.....	38
3.2.7	Determinação das Isotermas de Tingimento.....	39
3.2.8	Determinação da Cinética de Tingimento.....	39
3.2.9	Ensaio de Solidez.....	40

3.2.9.1 Solidez à lavagem.....	40
3.2.9.2 Solidez à Fricção.....	41
3.2.9.3 Solidez à Luz.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
4.1 Tingimento.....	43
4.1.1 Espectrofotômetro de reflectância.....	43
4.2 Avaliação do residual de corante no banho de tingimento e lavagem.....	45
4.3 Cinética de Tingimento.....	48
4.3.1 Tingimento A.....	48
4.3.2 Tingimento B.....	49
4.3.3 Tingimento C.....	50
4.3.4 Tingimento D.....	51
4.4 Isotermas de Tingimento.....	52
4.4.1 Tingimento A.....	52
4.4.2 Tingimento B.....	54
4.4.3 Tingimento C.....	55
4.4.4 Tingimento D.....	56
4.5 Ensaio de Solidez.....	56
4.5.1 Solidez da cor à lavagem.....	56
4.5.2 Solidez da cor à fricção.....	57
4.5.3 Solidez à luz.....	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICE A – Curva de Calibração	65
APÊNDICE B – Gráfico de K/S Amostra B.....	66
APÊNDICE C – Gráfico de K/S Amostra C.....	67
APÊNDICE D– Gráfico de K/S Amostra D.....	68

1 INTRODUÇÃO

O tingimento de substratos têxteis é uma arte antiga e por muitos séculos foram empregados corantes naturais, por métodos totalmente empíricos (SALEM, 2010). Um grande marco na química dos corantes foi a descoberta do primeiro corante sintético, em 1856, e, após essa descoberta, sucederam-se inúmeras outras, que resultaram na vasta gama de corantes conhecidos atualmente.

Dentro deste contexto, existem os corantes reativos, utilizados no tingimento de fibras celulósicas, naturais, como algodão e regeneradas, como a viscose. A estrutura de um corante reativo contém três grupos funcionais: cromóforo, solubilizante e reativo, responsável pela sua reatividade. Em um processo de tingimento com corante reativo, há duas fases principais que devem ser conhecidas: adição de eletrólito e adição de álcali. Por meio da primeira, ocorre a montagem do corante na fibra, pelos fenômenos de adsorção e difusão. Já a segunda garante o esgotamento adicional e a fixação entre corante e fibra.

A adição de eletrólito, comumente sulfato ou cloreto de sódio é fundamental para quebrar a repelência entre a fibra e corantes aniônicos e garantir uma maior exaustão do corante. Entretanto, a quantidade de sal pode ser prejudicial em termos de tratamento de efluentes gerados após os processos de tingimento.

Reduzir o consumo de sal tem efeitos positivos na salinidade dos efluentes e no bom funcionamento das estações de tratamento de águas residuais. Os corantes reativos com baixo teor de sal são corantes de alta afinidade, o que os torna menos fáceis de lavar do que os tipos de baixa a média afinidade (CLARK, 2011).

Desta maneira, buscam-se alternativas de tingimento de fibras celulósicas com corante reativo com diminuição ou eliminação do uso de sal, sem prejudicar a qualidade de intensidade de cor e solidez. Uma alternativa é a cationização, que se refere a incorporação de grupos catiônicos na celulose, com papel similar ao eletrólito, porém de modo a reduzir os resíduos de corantes nos efluentes.

Outra opção, ainda pouco conhecida, é o emprego de óleo em processos de tingimento. Além de ser um método mais econômico, o óleo pode garantir a redução de corante nos efluentes. Sabendo disso, o estudo propõe um sistema de tingimento de fase dupla de óleo e água para a descarga mínima de corantes e sais, com qualidade de tingimento comparável ao convencional.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade técnica de tingimento de algodão com corante reativo sem uso de sal, empregando o método de cationização com cloreto de benzalcônio e/ou tingimento com emulsão de corante em óleo de soja

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar o tingimento de algodão com corante reativo convencional e compará-lo aos tingimentos sem uso de sal.
- Realizar o processo de cationização, com emprego de cloreto de benzalcônio, em substrato de algodão.
- Realizar tingimento com corante reativo, sem uso de sal, sobre as amostras cationizadas.
- Realizar tingimento com emulsão de corante reativo em óleo de soja, sobre substrato convencional e cationizado com cloreto de benzalcônio.
- Avaliar as características colorimétricas das amostras.
- Comparar e avaliar os resultados dos tingimentos.
- Efetuar testes de solidez à luz, lavagem e fricção das amostras tingidas.
- Determinar o modelo cinético e isotérmico dos tingimentos realizados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MERCADO TÊXTIL

No que tange o desenvolvimento humano, a indústria têxtil é uma das mais antigas. Durante muitos anos, foram utilizadas fibras naturais e vegetais para suprir as necessidades de sua época e foi com o avanço da tecnologia que novas formas foram desenvolvidas, desde fibras naturais melhoradas como também o desenvolvimento de fibras sintéticas.

Com o passar do tempo, o consumo das fibras apresentou decréscimo, que pode ser justificado pelo crescente consumo de fibras importadas no setor de vestuário, mas também de têxteis-lar e técnicos.

A Figura 01 apresenta o consumo industrial de fibras e filamentos no Brasil, do período de 1999 até 2018.

Figura 1 - Consumo industrial de fibras e filamentos no Brasil

BRASIL: CONSUMO INDUSTRIAL DE FIBRAS E FILAMENTOS - 1970 A 2018

Brazil: Industrial Consumption of Fibers and Filaments - 1970 to 2018

(em 1.000 toneladas)

ANO	NATURAIS						ARTIFICIAIS			SINTÉTICAS				TOTAL GERAL	
	Algodão	Lã lavada	Linho/Rami	Seda (fio)	Juta	TOTAL	Viscose	Acetato	TOTAL	Poliâmida	Poliéster	Acrílico	Polipropileno		TOTAL
1999	806,5	2,3	5,7	0,07	13,0	827,6	30,8	1,9	32,7	100,5	277,5	38,6	114,3	530,9	1.391,2
2000	885,0	8,3	2,4	0,11	19,0	914,8	30,1	1,5	31,6	101,5	314,6	53,3	122,1	591,5	1.537,9
2001	865,0	6,4	1,6	0,11	18,5	891,6	24,3	1,0	25,3	83,3	304,9	47,7	123,7	559,6	1.476,4
2002	805,0	5,0	1,6	0,16	19,0	830,6	23,90	9,85 ²	33,8	73,14	314,64	43,0	144,0	574,8	1.439,3
2003	800,0	5,5	1,4	0,16	22,0	829,1	27,18	10,02 ²	37,2	75,13	342,90	37,5	150,0	605,6	1.473,4
2004	930,0	5,0	1,20	0,18	22,0	958,4	29,21	10,06 ²	39,3	80,49	400,56	48,1	161,0	690,2	1.687,8
2005	900,0	4,5	1,92	0,21	20,0	926,6	28,25	10,35 ²	38,6	68,34	361,8	40,77	102,5	573,4	1.538,6
2006	890,0	5,0	2,31	0,15	18,2	915,7	37,44	10,79 ²	48,2	70,85	374,97	35,03	95,8	576,7	1.540,5
2007	1.005,8	5,8	1,30	0,16	19,0	1.032,1	47,39	9,6 ²	57,0	87,25	378,52	37,91	116,9	620,5	1.709,6
2008	1.050,0	6,0	0,90	0,11	21,0	1.078,0	19,71	9,3 ²	29,0	80,98	446,4	41,4	110,0	678,8	1.785,8
2009	948,6	4,7	0,80	0,15	15,5	969,8	41,55	8,5 ²	50,1	71,04	404,45	34,8	102,0	612,3	1.632,1
2010	1.015,0	5,5	1,60	0,09	19,0	1.041,2	23,84	8,4 ²	32,2	96,7	455,97	31,9	126,0	710,6	1.784,0
2011	910,0	6,2	1,36	0,07	18,0	935,6	24,79	8,71 ²	24,8	88,12	443,18	35,13	152,0	718,4	1.678,9
2012	865,0	5,5	1,30*	0,03	15,0	887,2	26,24	9,43 ²	35,7	91,41	433,88	23,23	152,5	701,0	1.623,9
2013	887,0	5,8	1,33*	0,04	14,0	908,0	16,25	9,41 ²	25,7	93,05	465,71	13,51	159,4	731,7	1.665,3
2014	850,0	5,2	1,25*	0,04	13,0	869,5	10,64	8,8 ²	19,4	106,5	479,4	11,09	170,0	767,0	1.655,9
2015	820,0	4,5	0,60	0,04	12,0	837,1	12,17	7,6 ²	19,8	74,1	406,7	12,6	156,0 ³	649,4	1.506,3
2016	660,0	3,9	0,6	0,04	11,0	675,5	14,00	6,3 ²	20,3	72,9	465,7	10,9	156,3 ³	705,8	1.401,6
2017	700,0	2,9	0,6	0,03	11,5	715,0	11,9	13,6 ²	25,5	94,8	501,4	13,3	135,9	745,5	1.486,0
2018	720,0	3,5	0,7	0,6	12,0	736,8	14,0	7,0 ²	21,0	80,0	547,0	9,0	137,2	773,2	1.531,0

Fonte: Adaptado de Abit (2018)

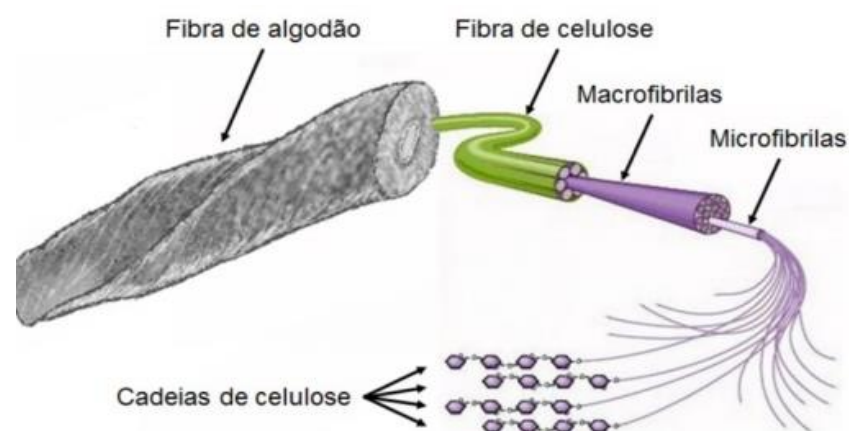
As fibras têxteis podem ser divididas em duas principais classes: naturais e não naturais. As fibras sintéticas foram desenvolvidas com objetivo de substituir as fibras naturais e muitas vezes apresentam propriedades superiores (como resistência, solidez, pigmentação), ainda assim, a fibra de algodão, possui propriedades únicas que não foram atingidas por nenhuma outra fibra sintética, tornando-a um material exclusivo e único.

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).

2.2 FIBRA DE ALGODÃO

O algodão é um material encontrado em abundância no planeta, possui propriedades únicas de conforto, toque, regain, permeabilidade e hidrofiliidade, requeridas nas diversas aplicações da indústria têxtil. Em sua composição, apresenta cerca de 88% a 96% de celulose, além de ceras, proteínas, cinzas e açúcares. A molécula de celulose é um polímero longo de fórmula bruta, constituído unicamente de celobiose, proveniente da ligação de duas moléculas de glicose. Até hoje, mais de cinquenta espécies de algodoeiro foram registradas (Altman, 1995)

Figura 2 - Representação esquemática da organização das cadeias de celulose em uma fibra de algodão.



Fonte: (AMPA, 2018)

2.2.1 Produção de algodão no Brasil

O algodão tornou-se a mais importante fibra cultivada do mundo todo, plantado em 100 países de cinco continentes, envolvendo mais de 350 milhões de pessoas em sua produção, desde as fazendas até a logística, descaroçamento, processamento e embalagem. A média de plantio, nos últimos anos, foi de cerca de 35 milhões de hectares. Desde a década de 1950, a demanda mundial tem aumentado gradativamente. O comércio mundial do produto movimentava, anualmente, cerca de US\$ 12 bilhões (ABRAPA, 2018).

Figura 3 - Caroço maduro de algodoeiro.



Fonte: (BACHELIER, 2017)

No Brasil, o algodão possui extrema importância socioeconômica. O país é o quinto maior produtor de algodão do mundo, segundo maior exportador e o nono maior consumidor. O Valor Bruto da Produção (VBP) em 2018 foi de R\$ 34,95 bilhões, correspondendo assim à quarta cultura mais importante da agricultura brasileira, depois da soja, cana de açúcar e milho. Representa 9,10% em relação ao VBP das culturas e 6,10% em relação ao VBP da produção agrícola como um todo. O cultivo de algodão teve um desempenho considerável nos últimos anos, crescendo em valor de 131% entre os anos de 2015 e 2018. O VBP em 2009 era de apenas R\$ 5,14 bilhões. Já em termos regionais, a produção concentra-se no Mato Grosso, com 63,6% do VBP e 25% no Oeste da Bahia, perfazendo estes dois estados 88,6% do valor recebido pelos produtores (GASQUES, 2018).

2.3 BENEFICIAMENTO TÊXTIL

O contexto atual acerca dos processos industriais têxteis envolve uma gama de importantes análises. Inicialmente, tendo como foco principal o beneficiamento, é fundamental ter claras as definições de todas as suas etapas. O beneficiamento têxtil divide-se em primário, secundário e terciário. O primeiro refere-se aos processos de preparação de substratos têxteis, tais como purga e pré-alveamento, de maneira a preparar as fibras para receberem cores. O segundo, refere-se ao conjunto de operações de tingimento e abre um leque de corantes e possibilidades. Por último, o beneficiamento terciário, responsável por processos de acabamento ou aplicações específicas.

2.3.1 Tingimento têxtil

Um processo de tingimento é a interação entre um corante e uma fibra, bem como o movimento do corante na parte interna da fibra. Geralmente, um processo de tingimento envolve adsorção e difusão (SHANG, 2013).

Tratando-se de parte exclusiva do beneficiamento secundário, o tingimento têxtil aborda toda a cadeia de corantes e suas respectivas fibras, maquinário, variáveis como tempo, temperatura, velocidade e outros. Este processo é uma modificação físico-química do substrato, de forma que a luz refletida provoque uma percepção de cor.

Para que se obtenha qualidade do tingimento, todas as condições que possam influenciar o processo devem ser devidamente controladas. Nos materiais têxteis os tingimentos precisam apresentar algumas propriedades para apresentarem qualidade. São elas: afinidade entre corante e fibra, uniformidade ou igualização que corresponde ao substrato tingido apresentar a mesma cor em toda a sua extensão, resistência/solidez que é a propriedade em que a cor não desbota com facilidade devido a lavagens, luz, suor ou qualquer outro fator. Além disso, em ambientes industriais é necessário sempre pensar no fator economia, e realizar o processo com a menor quantidade de insumos e custos possíveis (ALCÂNTARA; DALCIN; DECIO, 1996).

Os processos de tingimento têxtil são divididos em duas categorias, contínuos e por esgotamento. No processo contínuo o banho de impregnação permanece estacionado

enquanto o substrato a ser tingido passa continuamente por ele, então é espremido de forma mecânica e fixo por calor, vapor ou repouso prolongado. Já no processo por esgotamento, escolhido para o desenvolvimento deste trabalho, ocorre o deslocamento do corante do banho para a fibra e há um contato frequente entre eles.

O tingimento possui etapas de adsorção e difusão, que explicam o comportamento de fibra e corante durante sua interação. É necessário fazer uma distinção entre a adsorção do corante pela fibra, e a difusão deste para o interior da fibra. Este segundo é o fator que determina as propriedades de tingimento (TROTMAN, 1970). A adsorção diz respeito a forma como os átomos e moléculas podem se aderir na superfície de um adsorvente, e a difusão é o processo seguinte, quando a fibra já adsorveu o corante e ele é difundido para o seu interior.

A principal análise a ser feita tem relação com a fibra a ser tingida, visto que se deve atingir a maior afinidade possível entre substrato e corante. A fibra tingida no presente estudo é de algodão e, sendo assim, o corante utilizado foi o corante reativo.

2.3.2 Cationização

Em um processo de tingimento, quando as fibras celulósicas entram em contato com a água, produzem uma carga ligeiramente negativa devido à ionização dos grupos hidroxila, sendo que para a maioria dos corantes adequados para o algodão a carga é aniônica em solução. A carga levemente negativa na fibra resulta em repulsão de corantes aniônicos e, portanto, o esgotamento do banho é limitado. No entanto, adicionando um eletrólito, o fator de repulsão de carga pode ser compensado e, assim, é atingida uma maior exaustão do corante. Os corantes reativos exigem grandes quantidades de eletrólito para sua aplicação, levando a problemas ambientais e maior custo, já que a remoção de sal do efluente aumenta significativamente o custo dos produtos tingidos. Além disso, a exaustão inadequada do banho de corante e a fixação do corante representam problemas nos efluentes. Portanto, um procedimento de tingimento que leve a alta fixação do corante pode ser de grande benefício para minimizar os problemas ambientais. Diferentes abordagens, como por exemplo a cationização da celulose durante a reação química com compostos contendo grupos catiônicos, podem controlar o problema acima mencionado (CHATTOPADHYAY, 2001).

A incorporação de grupos catiônicos na celulose tem por finalidade não apenas eliminar a repulsão entre corante e fibra, porém a criação de uma atração iônica, de maneira a reduzir os resíduos de corantes nos efluentes e a necessidade de eletrólitos.

No estudo de Brizido (2018), o agente cationizador utilizado foi o quaternário de amônio. No processo com esse composto com corantes reativos, a presença de eletrólitos se torna menos necessária e aumenta progressivamente a intensidade da cor com o aumento da concentração do agente catiônico, devido à atração iônica entre corante e fibra.

Além do quaternário de amônio, outros agentes cationizadores vêm sendo estudados, pode ser citado por exemplo a reação de triaquilamidas e epicloroidrina para os pré tratamentos da celulose. Muitos desses produtos, além de facilitarem os tingimentos de algodão, podem promover ainda ação antimicrobiana.

A utilização do sal em tingimento de algodão é uma prática comum, e promover técnicas que o substituam, exige a eficiência que o mesmo proporciona, pois por se tratar de um produto de baixo custo e de fácil dosagem, entende-se que a sua substituição ocorrerá apenas caso outro método de valor menor ou equivalente possa ser empregado, sem afetar a sua qualidade.

2.3.3 Tingimento com óleo

Além dos tingimentos convencionais, uma alternativa que vem sendo estudada e utilizada em processos recentes é o emprego de óleo de soja na receita de tingimento. Esta interação ocorre devido a presença de ácidos graxos no óleo, que se prendem nas fibras e desta forma promovem a fixação de corante sobre a mesma, que pode também minimizar a necessidade do uso de sal. É um processo de dupla fase, em que a água corresponde a fase interna e o óleo, a fase externa.

O óleo é servido como fase externa para dispersar os corantes reativos, enquanto a água é servida como fase interna para inchar o algodão e fixar os corantes com álcalis. 100% dos corantes reativos entram na fase interna sem a ajuda de sais devido ao alto potencial químico dos corantes na fase externa (LIU, Linyun, et al, 2019).

2.3.4 Tingimento por Esgotamento

Os processos de tingimento por esgotamento ocorrem de forma em que inicialmente há a passagem do corante presente no banho para a superfície das fibras. Em sequência

ocorre a adsorção do corante através das regiões amorfas das estruturas das fibras, a difusão do corante para o interior da fibra e, finalmente, a fixação do corante no substrato (SALEM, 2010).

Neste processo, o banho de tingimento é formulado por meio de uma receita que relaciona porcentagem por peso de material, diferente dos processos contínuos, onde a indicação é feita em gramas por litro. Para que haja acessibilidade uniforme em todo o material, o banho de tingimento exige suficiente agitação, porém equilibrada, para não gerar danos ao substrato. Além disso, o sistema de aquecimento precisa garantir uma uniforme distribuição de calor para não causar diferenças na interação entre corante e fibra. De maneira geral, os principais fatores que influenciam para resultados de boa igualização são o contato entre banho e substrato, velocidade de montagem e a migração do corante.

2.3.5 Pré-Alveamento

Os materiais têxteis possuem muitas impurezas em seu estado original ou até mesmo imediatamente após a sua fabricação, principalmente quando se trata de fibras naturais. Todas essas impurezas ou matérias estranhas devem ser removidas dos materiais têxteis para melhor coloração e absorção de corantes no processo subsequente de tingimento.

Como parte principal do processo de beneficiamento primário, perfaz-se o pré-alveamento. O pré-alveamento é um processo que, além de remover os contaminantes, como óleo, gorduras ou graxas, utiliza um oxidante para branquear o tecido. O pré-alveamento resultará em nível de branqueamento maior do tecido, quando comparado a processos de purga, obtendo uma cor de fundo adequada ao tingimento de cores claras e/ou limpas. (KARMAKAR, 1999).

2.3.6 Cinética de Tingimento

O mecanismo de tingimento é bastante complexo e, para conseguir resultados positivos é importante ter o conhecimento teórico dos fenômenos que ocorrem durante o processo. A cinética de tingimento é a fase em que se determina a velocidade de deslocamento do corante para a superfície da fibra, a sua velocidade de adsorção e de

difusão dentro dela e as influências de concentração de corantes e eletrólitos, pH, temperatura e relação de banho sobre essas velocidades (SALEM, 2010).

De acordo com CLARK (2011), existe uma sequência de etapas para o mecanismo de adsorção em sólidos porosos, que inicia com o transporte das moléculas do fluido para a superfície externa do sólido, continua com o movimento destas moléculas através da interface e adsorção nos sítios superficiais externos, migração das moléculas nos poros e a interação das moléculas do fluido com os sítios disponíveis na superfície interna, de maneira a ligar os poros e espaços capilares do sólido.

Geralmente, as cinéticas de adsorção são descritas por modelos de pseudo-primeira-ordem e pseudo-segunda-ordem. De acordo com HO & McKAY (1999), a forma linear da equação de pseudo-primeira-ordem é dada pela Equação 1:

$$\log_{10}(q_e - q_t) = \log_{10}q_e - k_1 t / 2,303 \quad (1)$$

Onde:

q_e e q_t : são as quantidades de adsorbato adsorvidos, medidos em $mg\ g^{-1}$ no equilíbrio e no tempo t , medido em minutos.

K_1 : constante de velocidade de adsorção, medida em min^{-1}

Já o modelo de pseudo-segunda-ordem pode ser representado pela Equação 2:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2)$$

Onde:

k_2 : constante de velocidade de pseudo-segunda-ordem, medida em $g\ mg^{-1}min^{-1}$.

Q_e e q_t : são as quantidades de corante adsorvidas, medidos em $mg\ g^{-1}$ no equilíbrio e no tempo t , medido em minutos.

2.3.7 Isotermas de Tingimento

A partir da quantidade de soluto adsorvido em função da concentração do mesmo, é possível obter as curvas de isothermas de absorção. Em 1916 foi desenvolvida a isoterma de Langmuir, que tem como objetivo demonstrar o equilíbrio entre a concentração de um determinado composto na fase fluida e a concentração nas partículas adsorventes a uma dada temperatura. A isoterma de Langmuir foi originalmente derivada para descrever a adsorção de gases em superfícies metálicas. Ela assume que existe um número limitado de locais de sorção e que a velocidade de sorção é proporcional ao número de locais desocupados, bem como à concentração das moléculas em contato com a fase sólida. (CLARK, 2011).

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

O modelo de isoterma de Langmuir pode ser descrito de acordo com a equação 3:

$$qe = \frac{qmK_LCe}{1+K_LCe} \quad (3)$$

Onde:

qe : representa a quantidade de soluto na fase sólida no equilíbrio, medido em $mg\ g^{-1}$.

Ce : representa a concentração da fase líquida no equilíbrio, medido em $mg\ L^{-1}$.

K_L : 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, também medido em $mg\ g^{-1}$.

Tendo sua forma linear descrita pela equação 4:

$$\frac{Ce}{qe} = \frac{1}{K_L} + qmCe \quad (4)$$

A isoterma de Freundlich foi um dos mais simples e primeiros modelos propostos e relaciona a massa do material adsorvido pela massa do adsorvente com a concentração do material em solução.

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

$$qe = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

Onde K_F e n são as constantes de Freundlich. Esta isoterma pode descrever sistemas heterogêneos. Tem sua forma linear descrita pela equação 6:

$$\ln qe = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (6)$$

Onde C_e e q_e , são a concentração na fase sólida do adsorbato no equilíbrio, medidos em $mg L^{-1}$ e $mg g^{-1}$, respectivamente.

2.4 CORANTES

O uso de corantes está na cultura humana desde os primórdios da civilização (ZOLLINGER, 1987). Até o século XIX os corantes eram em sua totalidade de origem natural, derivados de moluscos, insetos, vegetais e outros tipos de matéria orgânica. Porém, em 1856 o primeiro corante sintético (malveína) foi descoberto pelo químico inglês William H. Perkin, permitindo sintetizar uma grande quantidade de corantes, com diferentes tonalidades e fórmulas em escala industrial, revolucionando a formulação e fabricação de corantes, (ZOLLINGER, 1987).

Os corantes são compostos químicos orgânicos capazes de colorir um material, isto é, 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 (SALEM, 2010; ROSA, 2010). Atualmente, muitos são os corantes

disponíveis, cada qual dividido em diferentes classes, de acordo com a maneira que interagem com diferentes fibras. No Quadro 1 estão dispostos na primeira coluna os corantes, e à sua direita as fibras cuja afinidade permite interação química entre eles.

Quadro 1 – Fibras têxteis e seus respectivos corantes

Corantes	Fibras
Ácidos	Poliamida
À Cuba e Azóicos	Celulósicas
Básicos	Acrílicas
Complexos Metálicos	Lã, Poliamida
Diretos	Algodão, Lã, Seda, Poliamida
Dispersos	Poliéster
Enxofre	Algodão
Reativos	Celulósicas

Fonte: A autora (2019)

2.4.1 Corantes Reativos

Para a aplicação sobre fibras celulósicas, são usualmente utilizados corantes diretos, sulfurosos, azoicos, a tina e reativos (SALEM, 2010), sendo que os reativos são líderes nos processos de beneficiamento no Brasil.

O tingimento reativo convencional é a tecnologia mais comumente usada para tecidos de algodão. Durante a interação entre corante e fibra no tingimento, os corantes reativos reagem com os grupos hidroxílicos da celulose e para que a reação ocorra, existe a necessidade de ionização, que aumenta com a alcalinidade do banho. A reatividade é medida pela velocidade da reação em função da concentração de álcali e da temperatura, ou seja, quanto maior a concentração alcalina ou a temperatura que o corante necessita para reagir, menor será a sua reatividade. A reatividade do corante reativo pode ser visualizada graficamente na Figura 4.

Figura 4 - Reatividade do corante Reativo.

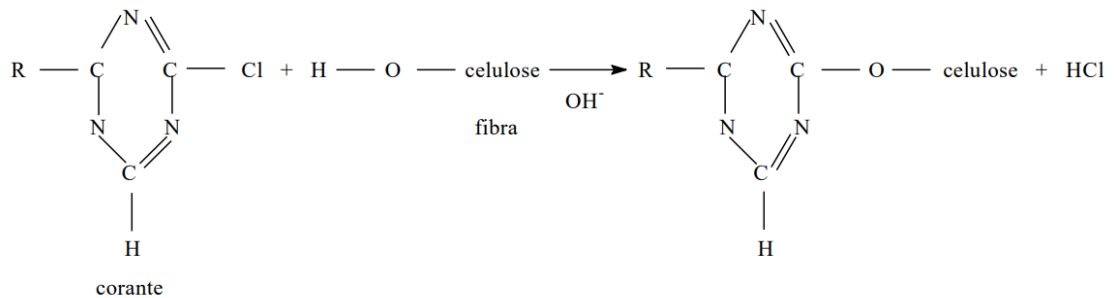


Fonte: SALEM (2010)

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 fornecem uma excelente resistência à lavagem; sua classificação de resistência à lavagem gira em torno de quatro e cinco. Essa característica é atribuída à ligação covalente muito estável que existe entre a molécula do corante e a fibra celulósica (CLARK, 2011). Tal classe de corante tornou-se uma das classes mais utilizadas pela satisfatória característica de tingimento e estabilidade química e fotolítica (MOSCOFIAN, 2009).

De acordo com GUARATINI e ZANONI, as interações covalentes entre corantes e fibras representam a formação de uma ligação covalente entre a molécula do corante contendo o grupo eletrofílico e resíduos nucleofílicos da fibra. Essas interações ocorrem tipicamente no tingimento de fibras de algodão. A Figura 5 mostra um exemplo desta interação.

Figura 5 - Exemplo da interação covalente entre um corante contendo grupos reativos (triazina) e grupos hidroxila presentes na celulose da fibra de algodão.



Fonte: (GUARATINI e ZANONI, 2000)

A estrutura de um corante reativo contém três tipos de grupos funcionais: grupo cromóforo, grupos solubilizantes e grupo(s) reativo(s). O grupo cromóforo é quem tem responsabilidade pela cor. Os grupos solubilizantes, como o nome diz, são responsáveis pela solubilidade, grau de migração, substantividade e lavabilidade. Por último, 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 sulfatoestilsulfonila como grupos reativos.

2.4.2 Colorimetria

Definido como o estudo das cores, com o objetivo de determinar e especificá-las, a colorimetria possui importante papel na análise de substratos tingidos. Para esta análise, é fundamental a compreensão da definição de cor, que apresenta diversas definições. 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.

Dentro do beneficiamento têxtil, existe constante contato com as cores, desde a formulação de receitas até a análise de qualidade do produto final. Dessa forma, para que não haja confusões ou mal-entendidos no momento de avaliação de cor, atribui-se números a elas. Através do equipamento espectrofotômetro colorímetro, é possível atribuir seus valores, mediante coordenadas definidas pelo sistema de Comissão Internacional de

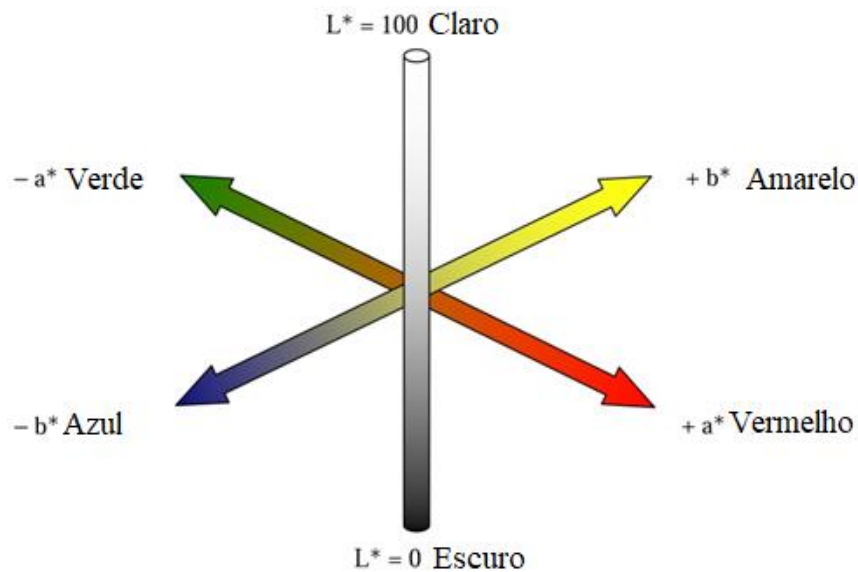
Iluminação (CIE), denominadas CIELab. Trata-se de um sistema de coordenadas retangular, cujos eixos são designados por a^* , b^* e L^* , conforme mostra a Figura 6.

a^* = Eixo vermelho/verde

b^* = Eixo amarelo/azul

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

Figura 6 - Espaço tridimensional de cores CIELAB



Fonte: Signature Optical Cues (adaptado Li et al.2005) (LIEW, Oi et al., 2008)

Quando são conhecidos os valores de amostras, pode-se compará-las através de cálculos matemáticos através da fórmula de diferença de cor ΔE , que relaciona a diferença de cor em todos os eixos, como pode ser visto na equação 7:

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

Através da apresentação do embasamento teórico, torna-se possível a compreensão de todos os aspectos estudados, bem como o aprofundamento de suas análises. Assim, nos próximos tópicos são apresentados todos os métodos, ensaios e resultados do estudo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Para a realização dos experimentos descritos neste trabalho, foram utilizados os materiais apresentados no Quadro 02:

Quadro 2 - Materiais utilizados

Material	Descrição
Corante Reativo Red 195	<p>Estrutura molecular:</p>
Malha 100% algodão	Estrutura: Meia malha
Óleo de Soja	Óleo extraído da semente de soja
Peróxido de Hidrogênio (50%)	H ₂ O ₂ – utilizado para o pré-alvejamento de algodão.
Soda Cáustica (50%)	NaOH – base utilizada no pré-alvejamento de algodão.
Agente Cationizador	<p>Cloreto de Benzalcônio</p> <p>n = 8, 10, 12, 14, 16, 18</p>
Carbonato de Sódio	Na ₂ CO ₃ – álcali para tingimento.
Cloreto de Sódio	Eletrólito
Colorswet DTU-M	Detergente emulgador
WK Complex Fe2	Sequestrante de Ferro
WK Allesol AC 868	Agente de lavagem de tintos e estampados com corante reativo
Ácido Acético	CH ₃ COOH - ácido carboxílico (especificamente, um ácido monocarboxílico), saturado e de cadeia aberta.
Dispersante Não Iônico	Agente dispersante de corantes e compatibilizador de cargas.

3.2 MÉTODOS

Com objetivo de avaliar a viabilidade de tingimento de algodão com corante reativo sem uso de sal, empregando o método de cationização com cloreto de benzalcônio e/ou tingimento com emulsão de corante em óleo, após alguns testes preliminares, foram realizados diferentes experimentos que são descritos a seguir.

Para a realização do pré-alveamento e tingimentos, foi utilizada a máquina de tingimento por esgotamento TexControl, de modelo TC 2200, com aquecimento por Infravermelho. Os substratos utilizados continham massa de 2 gramas e os processos de beneficiamento foram realizados em relação de banho 1:20 em água.

3.2.1 Dispersão de corante

O processo inicial foi de preparação da dispersão de corante (corante+óleo), realizado conforme segue:

- 1 grama de corante reativo Red 195
- 9 ml de óleo de soja

A solução composta por corante e óleo foi misturada em Béquer e agitada por 30 minutos (manualmente), até completa dispersão.

3.2.2 Pré- Alveamento

Os substratos de 100% algodão foram pré-alvejados conforme a formulação descrita na Tabela 1.

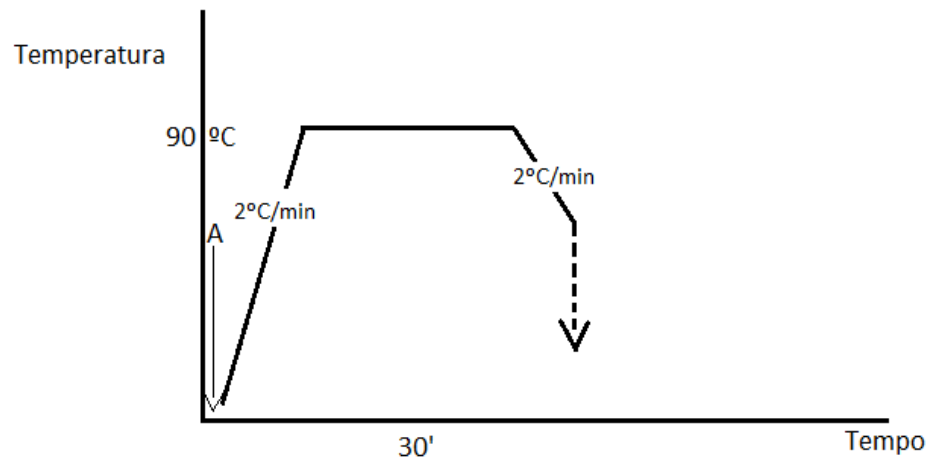
Tabela 1 - Formulação do Pré-Alveamento

Concentração	Descrição
2 g/L	Detergente Emulgador
3 g/L	Hidróxido de sódio (50%)
3 g/L	Peróxido de Hidrogênio (50%)
1 g/L	Sequestrante de Ferro

Fonte: A autora (2019)

O processo de pré-alvejamento consistiu em um processo de aquecimento que pode ser visualizado na Figura 7. Após a finalização do processo com resfriamento, as amostras foram lavadas em água corrente.

Figura 7 - Processo de Pré-Alvejamento



Fonte: A autora (2019)

3.2.3 Cationização

O processo de cationização foi realizado para dois processos diferentes subsequentes. Relação de banho 1:20 com amostras de 2 gramas. A receita de cationização foi desenvolvida como segue na Tabela 2.

Tabela 2 - Receita de Cationização

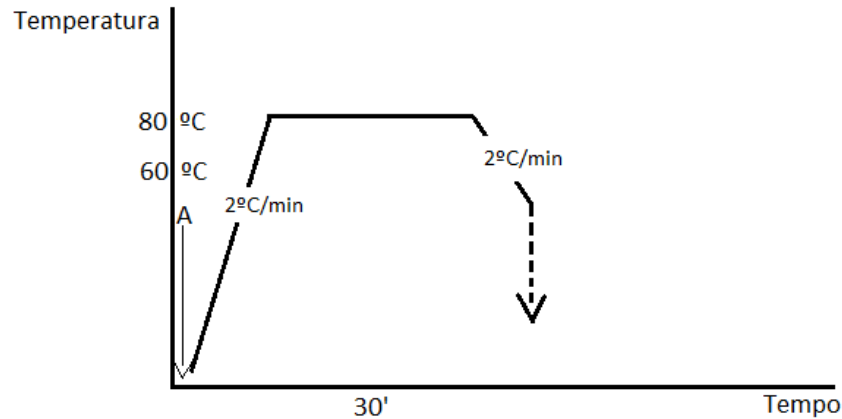
Concentração	Descrição
4g/L	Cloreto de benzalcônio
2g/L	Soda Cáustica

Fonte: A autora (2019)

O processo de cationização foi realizado em máquina de canecos por esgotamento em temperatura de 80°C, sob rotação de 40 rpm, durante 30 minutos. Após a finalização do processo com resfriamento, as amostras foram retiradas do banho e lavadas (realizou-se também o processo sem lavagem após cationização, porém o método resultou em manchas

nas amostras então continuou-se o processo com a lavagem). O método pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8- Processo de Cationização



Fonte: A autora (2019)

A lavação das amostras cationizadas, em máquina de canecos com rotação de 40 rpm, consistiu em 4 passos:

- Lavação em água fria, durante 5 minutos.
- Lavação em água fria com 1g/L de ácido acético, durante 5 minutos.
- Lavação em água quente a 60° C, durante 5 minutos.
- Lavação em água fria, durante 5 minutos.

3.2.4 Tingimento

Os processos de tingimento serão denominados de acordo com as respectivas amostras: A, B, C e D. Ao longo do trabalho, serão tratadas de acordo com esta legenda:

- A – Tingimento convencional com corante reativo, sem cationização.
- B – Tingimento convencional com corante reativo, com cationização.
- C – Tingimento com corante em óleo, sem cationização.
- D – Tingimento com corante em óleo, com cationização.

As receitas para cada amostra estão descritas no Quadro 3.

Quadro 3 - Processos de Tingimento

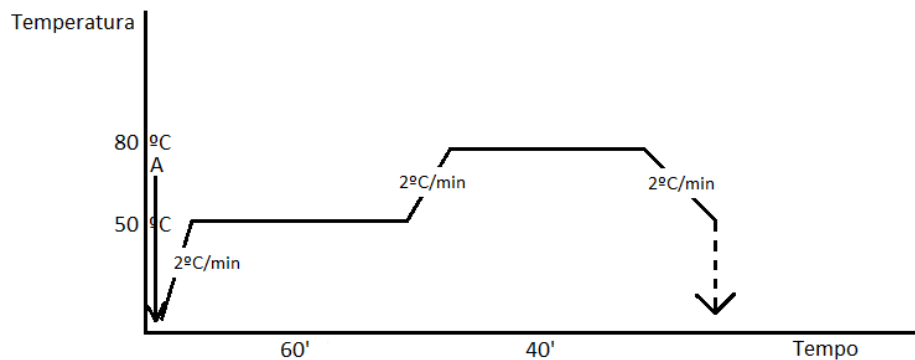
Amostra de Tingimento	Dispersante	Corante reativo Red 195	Barrilha	Dispersão de Óleo + corante Red 195	Sal
A Convencional Não Cationizada	2 g/L	3% s.p.m.	16 g/L	--	65 g/L
B Convencional Cationizada	2 g/L	3% s.p.m.	20 g/L	--	--
C Emulsão de óleo Não Cationizada	2 g/L	--	20 g/L	3% s.p.m.	--
D Emulsão de óleo Cationizada	2 g/L	--	20 g/L	3% s.p.m.	--

Fonte: A autora (2019)

É importante ressaltar que nos tingimentos em que se usou a dispersão com óleo, a barrilha foi empregada nos primeiros 10 minutos de banho, a solução dos canecos continha apenas 20g/L de barrilha (em água) e a amostra. Após os 10 minutos a 50°C, foi adicionada a emulsão de corante. Este procedimento foi realizado para garantir maior fixação do corante na fibra, já que em testes preliminares a ausência da barrilha no tingimento com óleo ocasionou baixa tingibilidade.

Todas as formulações de tingimento, conforme explanado no Quadro 2, dizem respeito ao processo exposto na Figura 9, sendo A o local de inserção da receita.

Figura 9 - Processo de Tingimento



Fonte: A autora (2019)

3.2.4.1 Lavagem pós tingimento

Após o tingimento, as amostras devem ser lavadas para a retirada do excesso de banho que ainda contém corante. O processo de lavagem foi realizado com relação de banho 1:20 e seguiu uma sequência de 04 processos descritos no Quadro 4:

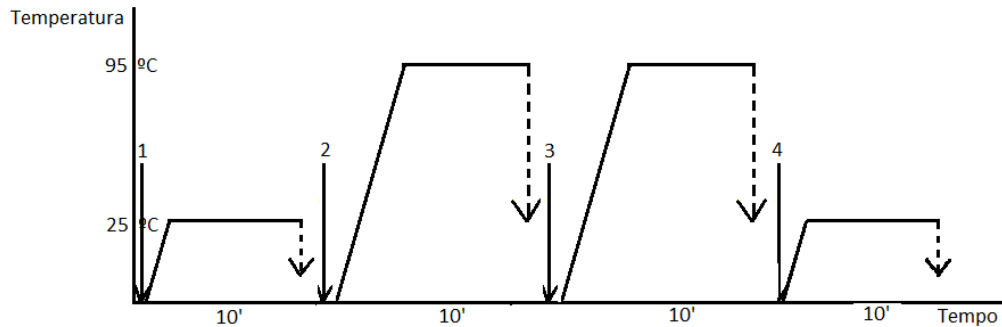
Quadro 4 - Processo de lavagem

Lavagem	Processo	Receita	Tempo
01	Lavagem a frio	1 g/L de ácido acético	10 min
02	Lavagem a 95°C	1 g/L de WK Alessol AC 868	10 min
03	Lavagem a 95°C	1 g/L de WK Alessol AC 868	10 min
04	Lavagem a frio	Água	10 min

Fonte: A autora (2019)

O processo de lavagem é representado na Figura 10, sendo que o gradiente de temperatura foi de 2°C por minuto.

Figura 10 - Processo de lavagem



Fonte: A autora (2019)

3.2.5 Avaliação do residual de corante no banho de tingimento e lavagem

Após determinar o comprimento de onda do corante reativo Red 195 em espectrofotômetro eletrônico de absorvância (Apêndice A), seguiu-se uma série de análises. À medida que foram realizados o tingimento e as lavagens, foram colhidas alíquotas antes e após o tingimento, bem como após cada lavagem. Por meio destas, pode-se medir a absorvância de cada método de tingimento, e descobrir o quanto a fibra absorveu o corante. Também foram registradas imagens dos tubos de ensaio com as alíquotas dos banhos já descritos, com objetivo de comparação visual.

3.2.6 Colorimetria

Após o tingimento e secagem em temperatura ambiente das amostras, foi feita análise em espectrofotômetro de reflectância Datacolor 500 para determinação da cor obtida em cada amostra. Esta análise tem o objetivo de atribuir valores às cores das amostras, de modo a compará-los com uma cor padrão definida. As amostras A, B, C e D foram avaliadas e, por corresponder ao tingimento convencional, o padrão foi definido pela amostra A, e todas as outras tiveram seus resultados comparados com este padrão. A análise permitiu resultados das variáveis a^* , correspondente ao eixo vermelho e verde, b^* , correspondente ao eixo amarelo e azul, L^* , correspondente a luminosidade e ΔE , que relaciona a diferença entre todos eles. Além das coordenadas Cielab, foram encontrados os valores de K/S de cada amostra. O K/S é definido como a força colorística, e relaciona as

constantes de Kubelka e Munk, conforme Equação 8: o coeficiente de absorção (K) e o coeficiente de dispersão (S).

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

3.2.7 Determinação das Isotermas de tingimento

Para a determinação do modelo isotérmico que melhor se ajusta aos processos, foi realizada uma sequência de tingimentos para cada amostra, com concentrações iniciais de corante de 1, 2, 3 e 6% de corante Red 195, para o processo convencional e 0,2, 0,4, 0,6 e 1 grama de emulsão de óleo com corante, para o processo com óleo. Do banho de tingimento preparado, foram retiradas alíquotas no tempo zero e no tempo final do processo. Os modelos de isotermas aplicados foram de Langmuir e Freundlich, ambas conforme as equações (9) e (10), respectivamente:

Isoterma de Langmuir:

$$qe = \frac{qmKLCe}{1+KLCe} \quad (9)$$

Isoterma de Freundlich:

$$qe = K_F C e^{\frac{1}{n}} \quad (10)$$

3.2.8 Determinação da Cinética de tingimento

Com a finalidade de determinar o modelo cinético dos tingimentos, foi realizada uma sequência dos quatro tingimentos com registros de tempo de processo. Ou seja, foram coletadas alíquotas dos canecos contendo as soluções e amostras durante o processo de tingimento, de modo a verificar a influência da temperatura em todos eles.

Para isto, foi realizado o tingimento das 04 amostras em duplicata, de maneira que a cada retirada das alíquotas, o volume de banho não fosse afetado. Foram retiradas alíquotas

em diferentes etapas e temperaturas. Com o auxílio de um cronômetro, pode-se registrar qual o tempo de cada uma das etapas. As retiradas ocorreram nos tempos de 14, 43, 82, 101, 121 e 145 minutos, correspondentes a diferentes etapas do processo de tingimento. A relação de momento de processo e tempo pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 - Etapas e tempos de coleta de alíquotas

Etapa	Tempo (minutos)
Início	0
50 °C	14
30 minutos em 50 °C	43
80 °C	82
20 minutos em 80 °C	101
40 minutos em 80 °C	121
Final	145

Fonte: A autora (2019)

Uma observação importante é o caso da amostra C (tingimento de algodão sem cationização, com óleo), pois, como a dispersão de corante só é inserida com 10 minutos de banho em 50°C, já que no período anterior o banho é de apenas amostra + água + barrilha, a aquisição das alíquotas iniciou no tempo de 30 minutos após 50°C.

Os modelos de cinética empregados foram de pseudo-primeira-ordem e pseudo-segunda-ordem. Para encontrar o ajuste, foram utilizadas as respectivas equações, dadas por (11) e (12):

Modelo de pseudo-primeira ordem:

$$\log_{10}(q_e - q_t) = \log_{10}q_e - k_1 t / 2,303 \quad (11)$$

Modelo de pseudo-segunda-ordem:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (12)$$

3.2.9 ENSAIOS DE SOLIDEZ

3.2.9.1 Solidez à lavagem

Após o processo de tingimento foram efetuados os ensaios de solidez à lavagem a 40°C nas amostras tingidas, tendo como objetivo a avaliação da migração do corante para o tecido testemunha e também avaliação da alteração de cor após a lavagem.

Para a realização do teste, o procedimento empregado foi uma adaptação da norma ABNT NBR ISO 105-C06 – Solidez da cor à lavagem doméstica comercial. Neste ensaio, as amostras tingidas foram costuradas entre duas amostras de tecidos testemunhos, correspondentes a malhas de algodão branco, todos com a mesma medida de 10cm x 4cm. A solução para a realização do teste constituiu de 4g/L de detergente em pó comercial aquecido a 40 °C e agitação mantida por 30 minutos em chapa aquecedora. Com o banho preparado, os conjuntos foram imersos em 150 ml da solução e após foram inseridos na máquina de tingimento por 30 minutos a 40 °C. Além da solução, foram utilizadas esferas metálicas, que possuem objetivo de gerar atrito entre as amostras.

Após o processo, as amostras foram analisadas quanto a alteração de cor em escala de cinza e quanto a transferência de cor em escala de branco. Para esta avaliação, é feita uma classificação em notas que variam de 1 a 5 (1 representa alta alteração ou transferência de cor e 5 nenhuma alteração ou transferência).

3.2.9.2 Solidez à Fricção

A metodologia utilizada para o a realização do teste de solidez à fricção foi baseada na norma ABNT NBR ISO 105-X12. As amostras foram testadas no equipamento Crockmeter de marca Kimak de modelo CA-11, com tecido testemunha de algodão branco.

Os testes foram realizados a seco e a úmido, com programação de 20 ciclos e velocidade de um ciclo por segundo, conforme rege a norma. Após o processo, as amostras foram analisadas quanto a alteração e transferência de cor em escala de cinza. Para esta avaliação, é feita uma classificação em notas que variam de 1 a 5 (1 representa alta alteração ou transferência de cor e 5 nenhuma alteração ou transferência).

3.2.9.3 Solidez à luz

A metodologia utilizada para realização do teste de solidez à luz foi baseada na norma ABNT NBR ISO 105- B02:2007, que se refere a solidez da cor quando submetida à luz artificial. As análises para este teste foram atenciosamente realizadas pelo laboratório do SENAI, em Brusque.

Foram analisadas as 4 amostras: A, B, C e D. Este teste consiste na incidência de luz artificial sobre um lado da amostra, enquanto a outra fica coberta. Desta forma, ao retirar a luz, é possível comparar os dois lados na mesma superfície e compará-los. Posteriormente, atribui-se notas à esta alteração, caso exista.

As amostras foram avaliadas através da escala de azul, para solidez a luz. Para esta avaliação, é feita uma classificação em notas que variam de 1 a 8 (1 representa alta alteração ou transferência de cor e 8 nenhuma alteração ou transferência).

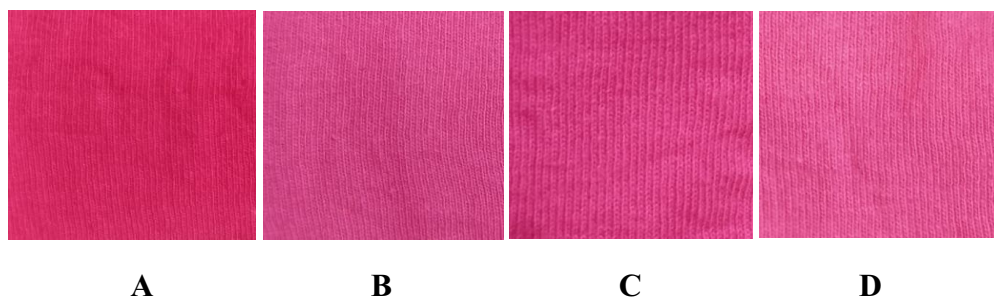
Após a realização de todos os processos descritos, é possível realizar a análise das técnicas escolhidas, bem como compreender os seus significados baseados nos conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Tingimento

Após a realização do tingimento e lavagem das amostras, estas foram secas em temperatura ambiente. O resultado de tonalidade pode ser visualizado na Figura 11.

Figura 11 - Comparação entre resultados de tingimento das amostras A, B, C e D



Fonte: A autora (2019)

Por meio dos resultados de tingimento, pode-se observar a tonalidade padrão obtida com o processo convencional de tingimento, com o emprego de sal. Analisando as amostras B, C e D, é possível concluir que todas estão com intensidade menor de cor, bem como com desvio de tonalidade, onde a amostra C, correspondente ao tingimento com dispersão de óleo e sem cationização, é a mais próxima do padrão. Os resultados numéricos obtidos por meio da colorimetria são apresentados a seguir.

4.1.1 Espectrofotômetro de reflectância

Após o processo de tingimento, foi realizada a análise em espectrofotômetro de reflectância com objetivo de medir variáveis das coordenadas de luminosidade, tonalidade, a, b e ΔE . Para meios de comparação, a amostra padrão adotada foi correspondente ao tingimento convencional, ou seja, a amostra A. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados de a, b, L e ΔE

Amostra	a	b	L	ΔE
A	59,38	2,31	40,22	--
B	55,93	-3,49	48,22	10,8
C	56,51	-3,96	48,09	10,78
D	52,68	-5,78	52,93	16,77

Fonte: A autora (2019)

Como pode ser visualizado na Tabela 4, todas as amostras apresentaram valor de coordenada “a” positivo, que corresponde a cor vermelho. Entretanto, com relação a coordenada “b”, com exceção da amostra A que apresentou tom levemente amarelado, todas obtiveram valor negativo (correspondente a cor azul). Em referência ao “L”, de luminosidade, a amostra A obteve menor valor, ou seja, era a mais escura, e a amostra D, a mais clara. O ΔE obteve valor maior que 1, o que indica reprovação em todos os casos. Todas as amostras seriam reprovadas em um teste de análise de cor, devido a sua diferença em comparação com a amostra padrão. Este resultado indica que o tingimento convencional difere bastante das demais amostras, o que é esperado já que é o único que utiliza sal. Porém, sabendo que o objetivo do estudo é o não emprego de sal sem interferir nas propriedades, entende-se que outras alternativas devem ser empregadas neste caso, como por exemplo uma maior porcentagem de corante no banho.

Além das coordenadas Cielab, foi feita análise de força colorística das amostras. Para isso, foram coletados os valores de K/S. A Tabela 05 apresenta os valores obtidos.

Tabela 5 - Força Colorística

Amostra	K/S
A	205,5
B	92,8
C	93,3
D	59,1

Fonte: A autora (2019)

Como pode ser observado na tabela, o valor de K/S da amostra A, que corresponde ao tingimento convencional, superou todos os outros. Esse resultado faz sentido quando se compara as amostras visualmente, já que a amostra A atingiu tonalidade mais escura. Entre as demais amostras, a maior força colorística foi da amostra C, correspondente ao

tingimento sem cationização, com óleo, similar ao que ocorreu com a amostra B. Por último, a amostra D, que se refere ao tingimento com óleo e com cationização, que apresentou resultado inferior. Para confirmar veementemente alguma teoria são necessários diversos testes que a comprovem, porém, ainda assim, analisando os resultados, é possível presumir que a cationização em consonância da emulsão de corante com óleo não gera resultados muito válidos, visto que entre todos foi o menos efetivo. Uma das possíveis justificativas, é a de que o óleo pode dificultar a atração iônica entre corante e fibra no tingimento, sendo que é esta a finalidade da cationização.

Com relação a alteração de cor, todas as amostras foram medidas com base num tingimento padrão, sendo este correspondente ao tingimento convencional (Amostra A). Assim sendo, os resultados de alteração de cor podem ser vistos da Figura 12.

Figura 12 - Amostra Padrão (A) ao lado das amostras A, B, C e D

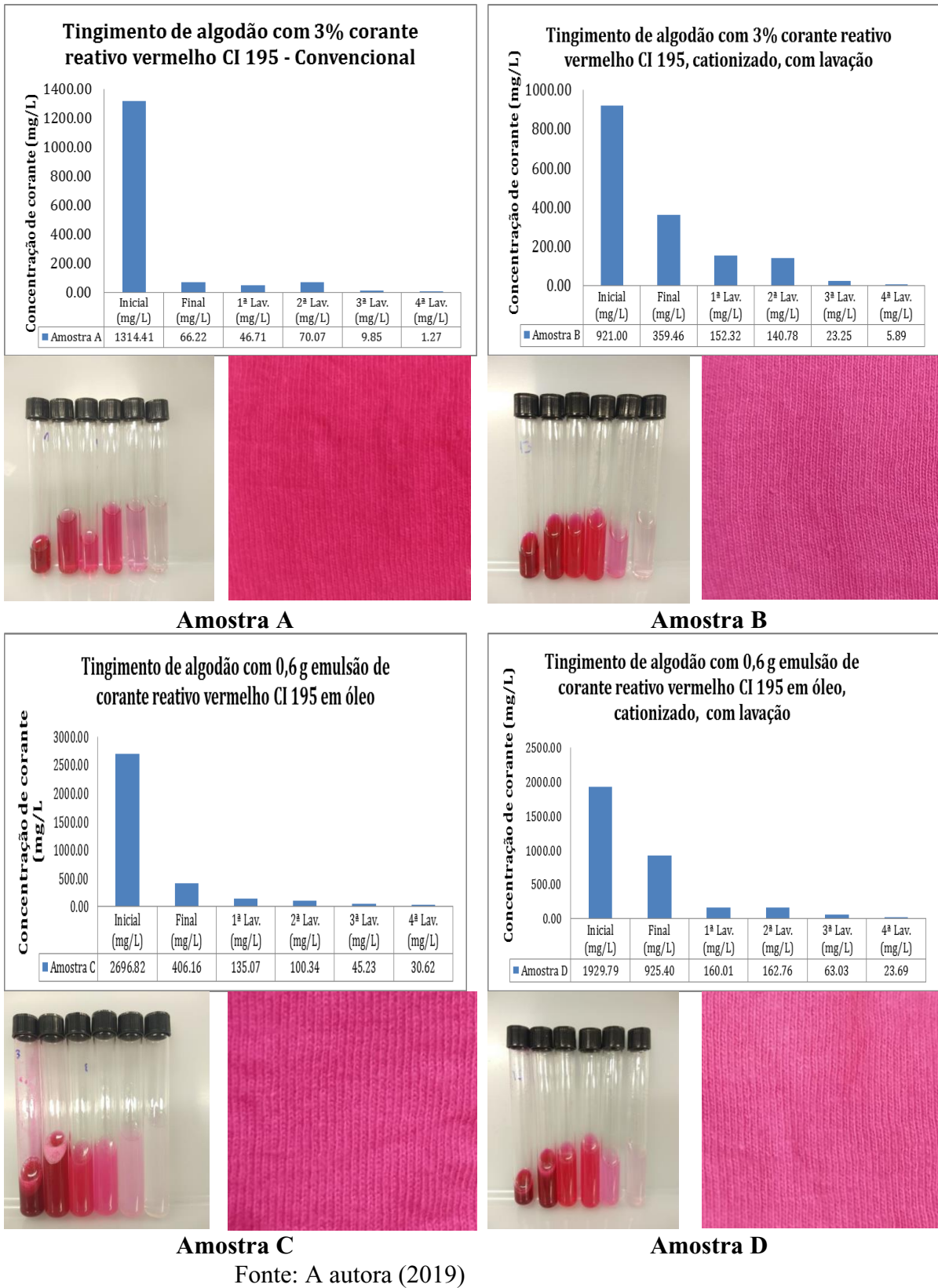


Fonte: A autora (2019)

4.2 Avaliação do residual de corante no banho de tingimento e lavagem

Foram recolhidas alíquotas antes e após tingimento, e após cada lavagem. Através dos valores de absorbância encontrados no espectrofotômetro, pode-se plotar os gráficos das curvas de tingimento, que representam a concentração de corante em mg/L.

Figura 13 - Absorbância, residual de corante e amostras tingidas



Na amostra A, como esperado, o primeiro tubo de ensaio é o que apresenta maior quantidade de corante, pois a alíquota é recolhida no momento que antecede o contato com a fibra. Após o tingimento, entretanto, visualmente ainda há considerável presença de corante na solução pois o corante reativo reage com a fibra e uma parcela reage também com a água, hidrólise, porém, o esgotamento foi de 94,96%. A presença de corante residual diminui à medida em que são realizadas as lavagens, até que, após o último processo, resta apenas 0,096% de corante na solução.

Apesar de apresentar um comportamento similar quando comparada com a amostra A, é perceptível uma mudança no que ocorre com a amostra B, que corresponde ao processo de tingimento com substrato cationizado, sem adição de sal. A solução final apresenta-se com tonalidade mais intensa, indicando maior presença do corante, o que é comprovado com a análise de corante residual de 359,46 mg/L, o que representou um esgotamento de 60% de corante. Após a última lavagem, vê-se uma pequena quantidade de corante, que é confirmada no gráfico, com 5,89 mg/L de corante, onde observa-se que houve 0,64% de corante residual.

Ao analisar os resultados da amostra C, percebe-se grande diferença com relação aos números de concentração de corante, ainda que de acordo com a imagem a solução esteja bastante clara. Isso pode ser justificado pela turbidez da solução causada pela presença de óleo, que, mesmo sem coloração é bastante turva, o que interfere na análise de absorvância no espectro, que foi determinada utilizando a mesma curva de calibração da solução sem óleo. Para este tingimento, apesar da intensidade de cor observada visualmente, o esgotamento de corante foi de 84,94% e o residual de corante após a última lavagem foi de 1,13%, em substrato não cationizado.

Por último, tem-se a amostra D, onde o tingimento foi realizado com óleo sobre substrato cationizado. Observando as amostras visualmente, percebe-se pouca diferença para o tingimento C, mas ao analisar a quantidade de corante residual, é possível determinar que houve apenas 52% de esgotamento de corante no processo de tingimento e o residual de corante no banho após as lavagens foi de 1,23%.

Ao analisar estes resultados, pode-se afirmar que a cationização com cloreto de benzalcônio permite a tingibilidade da fibra de algodão com corante reativo sem o emprego de sal, porém, ainda com eficiência inferior a esperada, o que indica que a continuidade

deste estudo é viável e importante. O uso de óleo de soja no processo de tingimento permitiu um esgotamento alto de corante, embora não tenha apresentado a tonalidade esperada, porém, é também um indicativo de que o estudo é viável. Uma explicação para esta interação é a presença de hidroxilas no ácido graxo presente no óleo, que podem ter proporcionado a ligação entre corante e fibra, já que os grupos terminais que recebem o corante reativo nas fibras celulósicas são justamente as hidroxilas.

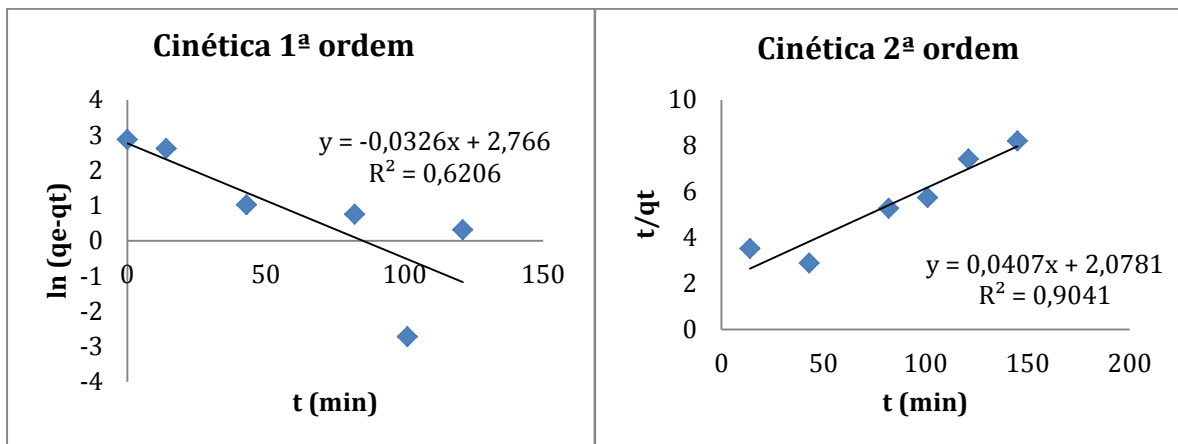
O emprego de corante reativo em emulsão oleosa não é viável para tingimento de substrato cationizado com cloreto de benzalcônio. É possível que a interação das hidroxilas, presentes nos ácidos graxos não tenha interagido com os grupos catiônicos pois estes já haviam ligado-se às hidroxilas da celulose, não permitindo mais uma terceira ligação, porém, estas hipóteses ainda devem ser confirmadas em trabalhos futuros.

4.3 Cinética de Tingimento

4.3.1 Tingimento A

Os resultados de cinética de tingimento foram avaliados de acordo com os modelos de cinéticos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem. A equação que rege o tingimento A é apresentada na figura 14. Analisando os dados, sabe-se que o modelo cujo R^2 mais se aproxima de 1 diz respeito ao modelo com o qual o tingimento melhor se adequa.

Figura 14 - Figura 14 - Modelos de cinética da amostra A.

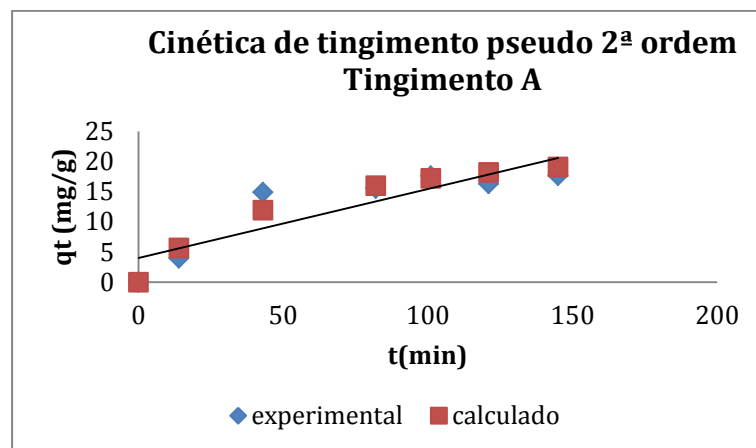


Fonte: A autora (2019)

A amostra A revelou que a equação de pseudo-segunda-ordem forneceu os melhores ajustes aos dados experimentais, tendo seu coeficiente de correlação igual a

0,9041. Pode-se dizer então que o controle do mecanismo de velocidade é a adsorção química. Este modelo considera que a etapa limitante do processo é a adsorção no sólido, envolvendo atrações eletrostáticas a partir da troca ou compartilhamento de elétrons entre o adsorvente e adsorvato. A curva cinética do tingimento da amostra A pode ser visualizada na Figura 15. Como pode ser visto, a curva obedece à curva experimental.

Figura 15 - Cinética de tingimento da amostra A

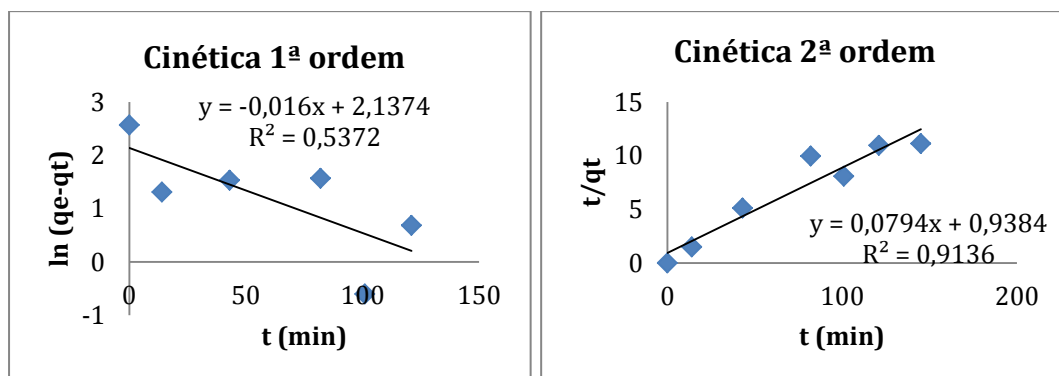


Fonte: A autora (2019)

4.3.2 Tingimento B

Os modelos das equações que regem o tingimento B são apresentados na figura 16.

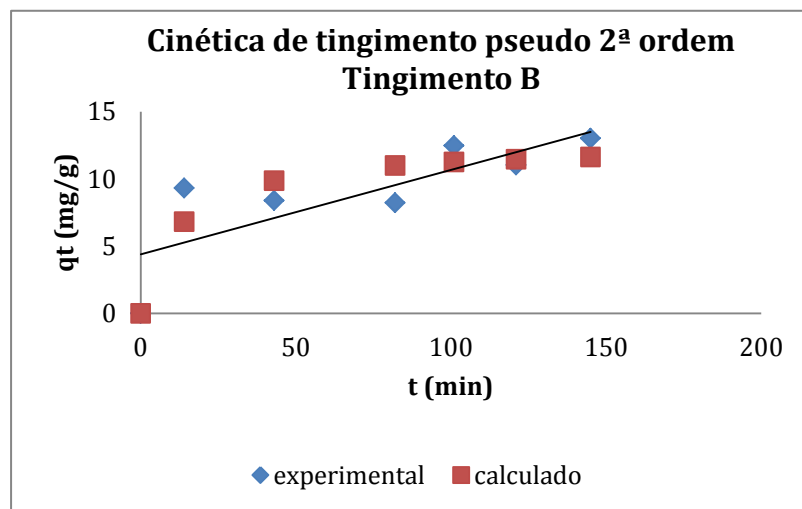
Figura 16 - Modelos de cinética da amostra B



Fonte: A autora (2019)

O mesmo ocorre com a amostra B, que revelou que a equação de pseudo-segunda ordem forneceu os melhores ajustes dos dados experimentais, com seu coeficiente de correlação igual a 0,9136. Pode-se dizer então que o controle do mecanismo de velocidade é a adsorção química. Este modelo considera que a etapa limitante do processo é a adsorção no sólido, envolvendo atrações eletrostáticas a partir da troca ou compartilhamento de elétrons entre o adsorvente e adsorvato. A curva cinética do tingimento da amostra B pode ser visualizada na Figura 17. Como pode ser visto, a curva obedece à curva experimental.

Figura 17 - Cinética de tingimento da amostra B

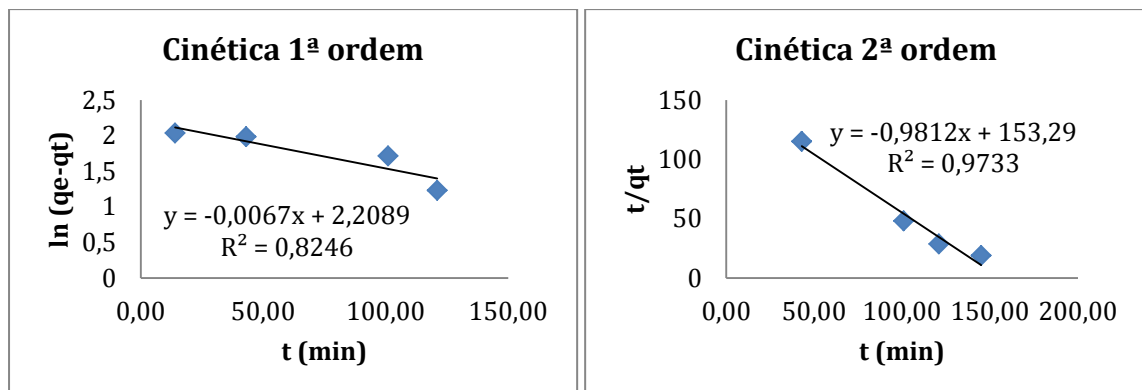


Fonte: A autora (2019)

4.3.3 Tingimento C

Os modelos e valores das equações que regem o tingimento C são apresentados na figura 18.

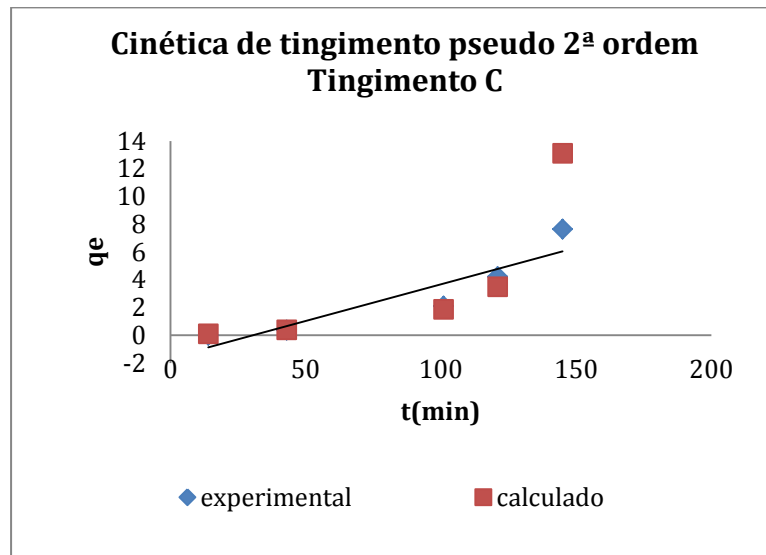
Figura 18 - Modelos de cinética da amostra C



Fonte: A autora (2019)

De modo similar, tem-se a amostra C, que revelou que a equação de pseudo segunda-ordem forneceu os melhores ajustes dos dados experimentais e, em comparação às demais amostras, obteve o segundo coeficiente de correlação mais próximo de 1, sendo ele 0,9733. Pode-se dizer então que o controle do mecanismo de velocidade é a adsorção química. Este modelo considera que a etapa limitante do processo é a adsorção no sólido, envolvendo atrações eletrostáticas a partir da troca ou compartilhamento de elétrons entre o adsorvente e adsorvato. Porém, ao observar a curva cinética de tingimento da amostra C, percebe-se que o comportamento difere das demais amostras, o que é esperado, considerando que o processo envolveu óleo no tingimento.

Figura 19 - Cinética de tingimento da amostra C

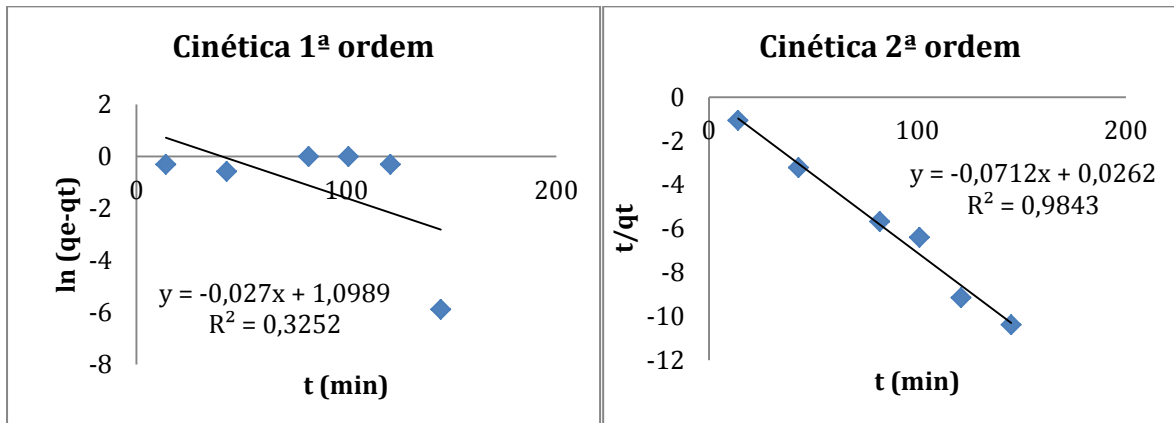


Fonte: A autora (2019)

4.3.4 Tingimento D

Os modelos e valores das equações que regem o tingimento D são apresentados na figura 20

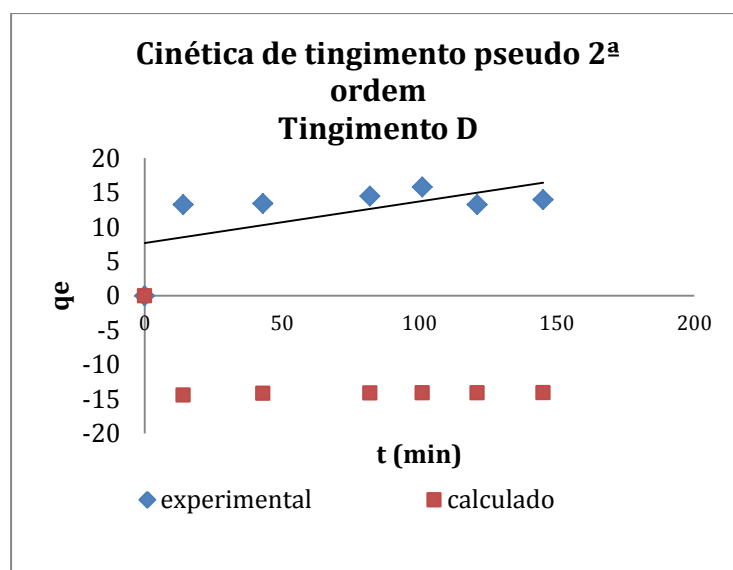
Figura 20- Modelos de cinética da amostra D



Fonte: A autora (2019)

Por último, pode-se visualizar os resultados de cinética da amostra D, que também revelou que a equação de pseudo-segunda ordem forneceu os melhores ajustes dos dados experimentais, seu coeficiente de correlação teve maior proximidade de 1 em relação às demais amostras, alcançando 0,9843. Pode-se dizer então que o controle do mecanismo de velocidade é a adsorção química. Este modelo considera que a etapa limitante do processo é a adsorção no sólido, envolvendo atrações eletrostáticas a partir da troca ou compartilhamento de elétrons entre o adsorvente e adsorvato. A curva cinética do tingimento da amostra D pode ser visualizada na Figura 21. Como pode ser visto, a curva apresenta comportamento oposto ao experimental.

Figura 21- Cinética de tingimento da amostra D



Fonte: A autora (2019)

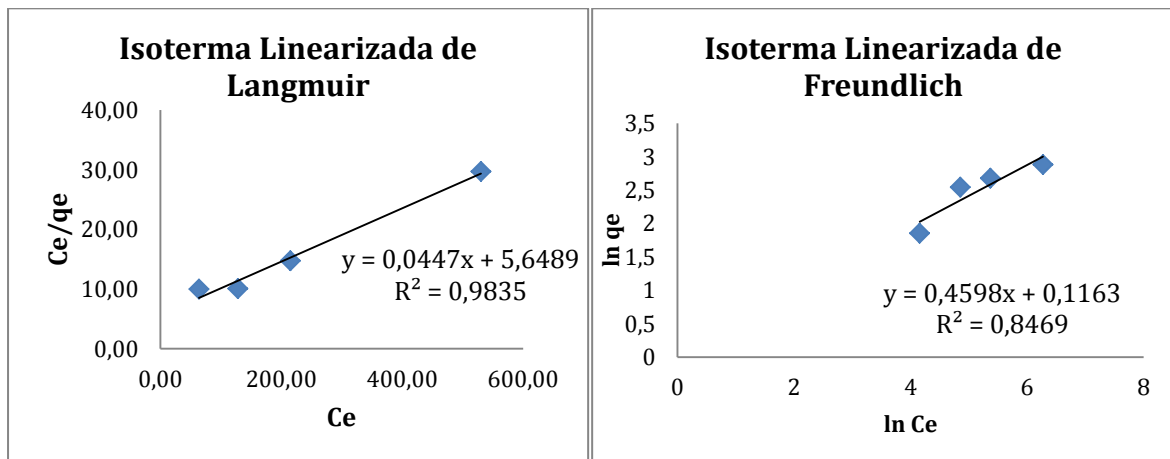
4.4 Isotermas de Tingimento

Os modelos de isotermas avaliados foram de Langmuir e Freundlich. O modelo de isoterma de Langmuir baseia-se na hipótese de que as forças de interação entre as moléculas adsorvidas são desprezíveis e que cada sítio pode ser ocupado por apenas uma molécula. Todas as moléculas são adsorvidas sobre um número fixo e definido de sítios (KUMAR e SIVANESAN, 2006, apud VASQUES, 2008). Já a isoterma de Freundlich descreve o equilíbrio em superfícies heterogêneas, consequentemente não assume a capacidade de monocamada (CARVALHO et al. 2010).

4.4.1 Tingimento A

Os modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich da amostra A podem ser visualizados na Figura 22.

Figura 22 - Isotermas de tingimento da amostra A



Fonte: A autora (2019)

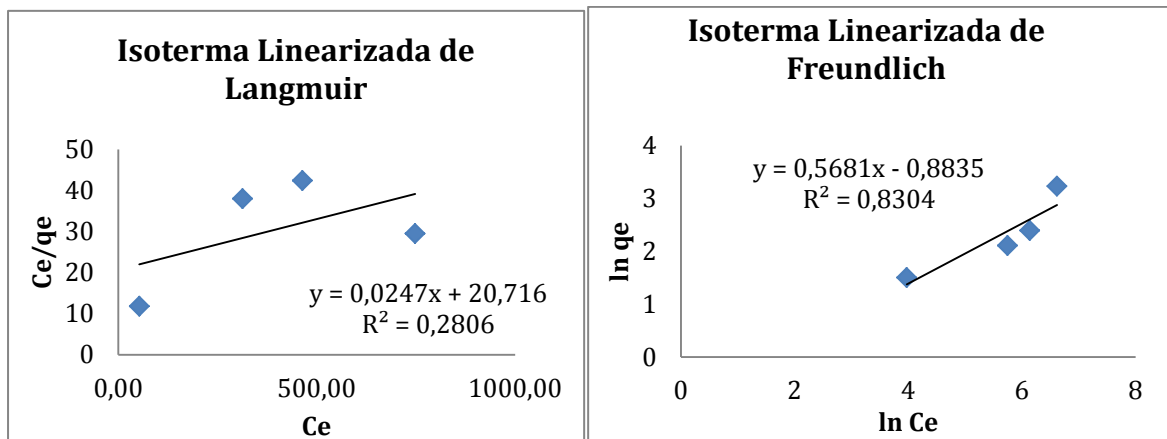
Para descobrir o modelo que melhor se adequa ao processo estudado, é necessário encontrar o valor de R^2 , e, aquele que tiver valor mais próximo de 1, indica o modelo correspondente. Como pode ser visto, o modelo ao qual o tingimento A se adequa, é o de modelo de Langmuir, que indica que corante e fibra interagem fortemente devido a polaridade oposta entre eles (SALEM, 2010). Corante tem afinidade específica e a fibra tem sítios limitados. Esta é uma isoterma normalmente adequada para tingimentos entre poliamida com corantes ácidos, por exemplo. No caso do corante reativo com fibra de

algodão, ambos possuem a mesma polaridade, porém, a isoterma de Langmuir se justifica pela adição de sal ao processo.

4.4.2 Tingimento B

Os modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich da amostra B podem ser visualizados na Figura 23.

Figura 23 - Isotermas de tingimento da amostra B



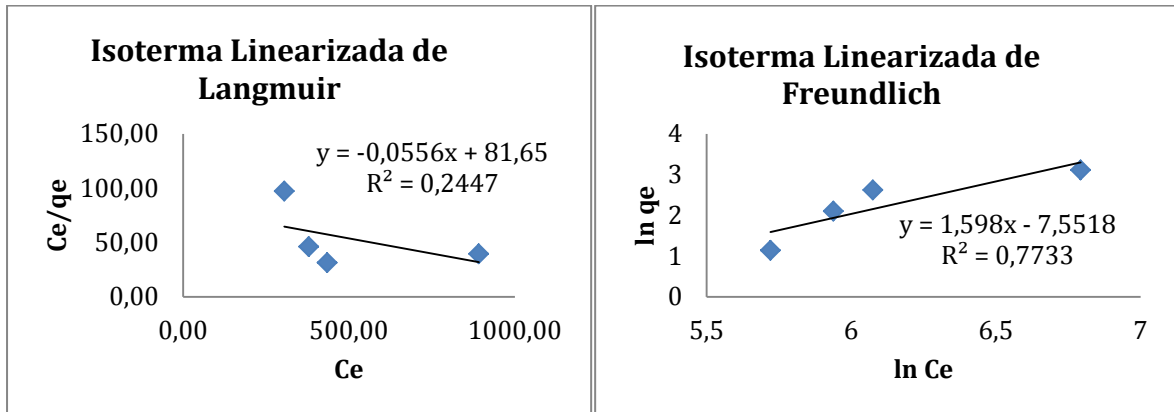
Fonte: A autora (2019)

O tingimento da amostra B, por sua vez, indica o modelo de isoterma de Freundlich, indicando que a interação entre corante e fibra é fraca, ou seja, ambos possuem mesma polaridade. As ligações entre eles são por pontes de hidrogênio e forças de Van der Waals, o que pode ter sido obtido pela cationização do substrato com cloreto de benzalcônio promover uma cationização fraca, o que corrobora com os resultados obtidos até o momento.

4.4.3 Tingimento C

Os modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich da amostra C podem ser visualizados na Figura 24.

Figura 24 - Isotermas de tingimento da amostra C



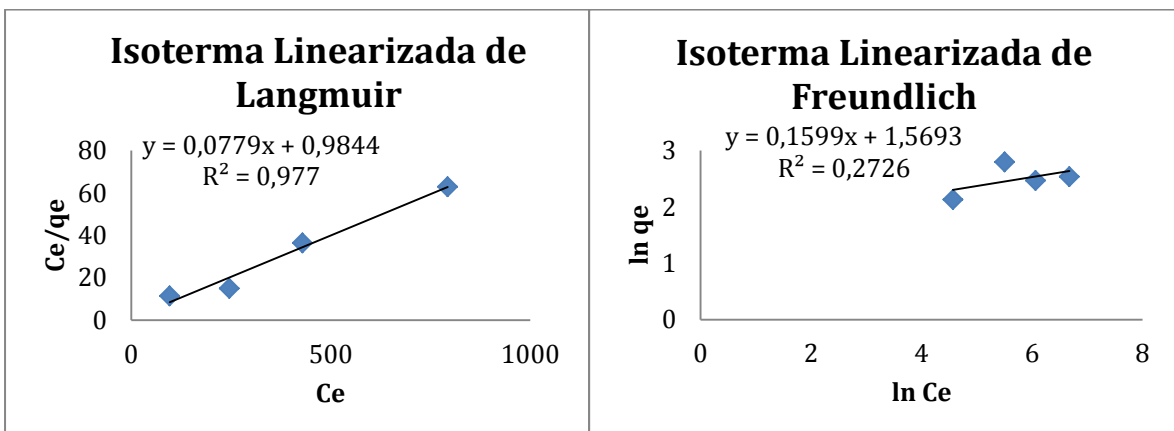
Fonte: A autora (2019)

De modo similar, o tingimento da amostra C indica o modelo de isoterma de Freundlich como o modelo mais favorável, embora com R2 indicando apenas 77% de correlação ao modelo, indicando que a interação entre corante e fibra é fraca, ou seja, ambos possuem mesma polaridade. As ligações entre eles são por pontes de hidrogênio e forças de Van der Waals, ou seja, corante e fibra apresentam caráter aniônico e não houve a adição de sal ao sistema

4.4.4 Tingimento D

Os modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich da amostra D podem ser visualizados na Figura 25.

Figura 25 - Isotermas de tingimento da amostra D



Fonte: A autora (2019)

Por último a amostra D, que, de acordo com os gráficos, se adequa ao de modelo de Langmuir, indicando que corante e fibra interagem fortemente devido a polaridade oposta entre eles. Corante tem afinidade específica e a fibra tem sítios limitados, indicando que houve a cationização da fibra de algodão

4.5 Ensaio de Solidez

4.5.1 Solidez da cor à lavagem

Após avaliação das amostras na escala de cinza e a aquisição de suas notas, nota-se que o resultado em todos os casos foi bastante positivo. Na indústria, notas acima de 4 indicam que o processo pode ser reproduzido para comercialização. A Tabela 6 mostra as notas de solidez a lavagem para o tecido de algodão branco testemunho lavado comparado com tecido de algodão branco de cada amostra, ou seja, indica o quanto a amostra de algodão branco recebeu de corante após ser lavado com a sua respectiva amostra tingida.

Tabela 6 - Transferência de cor

Amostra	Nota
A	5
B	4/5
C	5
D	4/5

Fonte: A autora (2019)

Assim sendo, além do tingimento convencional, os processos sem uso de sal, com e sem cationização, bem como com e sem óleo apresentaram resultados excelentes de solidez à transferência após lavagem. Estes resultados estão de acordo com a quantidade de corante residual obtida nos banhos após as lavações. Também foi avaliada a solidez à alteração de cor, ou seja, o quanto as amostras perderam de coloração após serem submetidas à lavagem, os resultados podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7 - Comparação de cor entre amostra com e sem lavagem

Amostra	Nota
A	5
B	4/5
C	5
D	4/5

Fonte: A autora (2019)

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que a alteração de cor foi mínima ou nula, indicando que todos os processos condizem com excelente solidez à alteração de cor.

4.5.2 Solidez a fricção

Dando continuidade aos testes de solidez, foi realizada a análise de notas das amostras após teste de solidez a fricção a seco e úmido, que consiste no contato direto entre a fibra e o tecido testemunha, com e sem umectação. Os resultados podem ser observados na Tabela 08.

Tabela 8 - Resultados de solidez a fricção a seco e úmido

Amostra	Fricção a seco	Fricção a úmido
A	5	5
B	5	4/5
C	5	5
D	5	4/5



Fonte: A autora (2019)

O teste de solidez a fricção a seco obteve nota máxima em todas as amostras. Este resultado indica que apesar da abrasão as amostras não perdem cor. O teste de solidez a fricção a úmido apresenta algumas alterações de cor, porém, ainda assim, se encaixa dentro dos valores aceitáveis, visto que a nota mais baixa é de 4/5, corresponde as amostras B e D.

4.5.3 Solidez à luz

As amostras avaliadas quanto à solidez à luz apresentaram resultados de média solidez de alteração, de acordo com a escala de azul que varia de 0 a 8. As amostras ficaram expostas à luz durante o período de 25 horas, as notas indicam se houve ou não algum impacto da exposição em sua cor. Além dos valores numéricos, é possível visualizar as diferenças do teste nas imagens inseridas na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados da análise solidez a alteração de cor por escala azul do teste de solidez à luz.

Amostra	Nota	Resultado
A	5	
B	3	
C	5/6	
D	2/3	

Fonte: A autora (2019)

De acordo com os resultados apresentados, vê-se que nem mesmo a amostra A, correspondente ao tingimento convencional, atinge nota máxima de solidez à luz, que é 8. Esse resultado indica que o corante utilizado nesse processo apresenta baixa solidez a luz, característica intrínseca ao corante, normalmente indicada nas fichas técnicas. Ao comparar as amostras, a amostra C atinge melhor resultado, com nota de 5/6, onde há a presença do óleo no tingimento. Também é possível concluir que o processo de cationização interfere nos resultados de solidez a luz, o que indica que a continuidade do estudo com outros elementos corantes é importante para determinar se esta é uma característica única do corante, do processo de cationização ou de ambos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo apresentou o processo de tingimento de algodão com corante reativo e teve como objetivo compará-lo com outras propostas que eliminassem o uso de sal, como o processo de cationização e também a aplicação de emulsão de óleo no tingimento. Os resultados indicaram que os métodos apresentam resultados positivos, porém ainda não podem substituir o método convencional.

Foi possível obter excelentes valores de solidez a transferência, lavagem e fricção, com notas altas entre 4/5 e 5, indicando que os métodos são promissores com relação à qualidade do tingimento. Com relação à solidez a luz, o tingimento convencional e o tingimento com emulsão de óleo, sem cationização, foram os que atingiram os melhores resultados, ainda que não sejam excelentes. Desta forma, entende-se que o processo de cationização interfere nos resultados de solidez a luz.

Quando foram avaliados os residuais de corante ao longo dos processos de tingimento, percebeu-se que o tingimento da amostra C continha pouca coloração, entretanto, os valores do espectro indicam o contrário, o que pode ser justificado pela turbidez promovida pela diferença de polaridade entre óleo e água, interferindo nos valores numéricos obtidos na análise. Por este motivo, obteve 84,94% de esgotamento, enquanto o tingimento convencional apresentou 94,96. Sugere-se então que para uma nova análise, inicialmente seja feita a leitura do comprimento de onda do corante com emulsão de óleo, para que todas as análises dos tingimentos envolvendo óleo pudessem se basear em um padrão, e para o tingimento sem óleo fosse utilizado o comprimento de onda do corante também sem óleo.

Com relação à cinética, todas as amostras adequaram-se aos modelos de pseudo-segunda ordem, reforçando que o fenômeno que ocorre nos processos é a interação química, o que é afirmado pois o corante empregado foi o corante reativo. Já as isotermas apresentaram modelos variados nos 4 casos, as duas amostras cationizadas tiveram comportamentos diferentes, indicando a influência do óleo no mecanismo de tingimento. Além disso, demonstrou que o óleo e a cationização não necessariamente promovem a atração iônica entre fibra e corante, como o sal, visto que a isoterma de Freundlich indica interação fraca entre eles.

Por fim, o estudo atingiu resultados que incentivam a continuidade de pesquisa e análise de diferentes métodos de tingimento, para que se torne possível encontrar um meio sem sal com igual ou superior qualidade em relação ao convencional. Para isso, sugerem-se alguns estudos futuros de tingimento com dispersão de óleo e maior concentração de corante, também a extração do óleo residual utilizando por exemplo o vácuo, realização de novos testes com amostras cationizadas e tingidas com dispersão oleosa, entre outras possibilidades.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Avaliar os substratos por meio de análises MEV e FTIR para avaliar a cationização.
2. Estudos de tingimento com emulsão de óleo em substratos como poliamida e poliéster.
3. Testes de tingimento com emulsão de óleo com maiores concentrações de corante.
4. Efetuar curva de calibração com solução contendo óleo de soja.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, M. R.; DALCIN; DECIO. **A Química do Processamento Têxtil**. Química nova, 1996.

ALTMAN, Arie. **Characterization of BspA, a major boiling-stable, water-stress-responsive protein in aspen (*Populus tremula*)** V. 15, p. 673–678, 1995.

ASSOCIALÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL. Sindicato. **ABIT Produção do Setor Têxtil**. Têxtil, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 105-B02:2019**: Solidez da cor à luz artificial: Ensaio da lâmpada de desbotamento de arco de xenônio. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 44 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 105-C06:2010**: Solidez da cor à lavagem doméstica e comercial. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 105-X12:2019**: Solidez da cor à fricção. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 5 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**: Informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito: apresentação. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **Algodão no mundo**. 2018.

ASSOCIAÇÃO MATOGROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **História do Algodão**. 2018

BACHELIER, Bruno. **French Agricultural Research Centre for International Development**. Cirad, 2017.

BRIZIDO, VITOR ZAMBON. **Tingimentos de malhas de algodão cationizadas com 3-cloro-2-hidroxipropiltrimetilamônio (CHTAC)**. 2018.

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

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

CHATTOPADHYAY D P. **Cationization of cotton for low-salt or salt-free dyeing**, Indian Journal of Fibre and Textile Research, 2001.

CRINI, G. **Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature**. V. 33, p. 399-447, 2008.

GASQUES, J. G.; SILVA e SOUZA, G de; BASTOS, E.T. BRASIL: **Tendências do Agronegócio 2017-2030. Pano de Estado – Brasil 2030**. (Livro no prelo a ser publicado pela (Cátedra Luiz de Queiros, ESALQ, 2018).

GUARATINI, Cláudia CI; ZANONI, Maria Valnice Boldrin. **Corantes têxteis**. Química nova, p. 71-78, 2000.

HO, YS, McKAY, G. **The kinetics of sorption of basic dyes from aqueous solution by sphagnum moss peat**. v. 76, p. 822-827, 1998.

KARKAMAR, S. R.; **Chemical Technology in the Pre-Treatment Processes of Textiles**, V. 12. 1ª Edição. 1999.

LIEW, Oi Wah et al. **Signature optical cues: emerging technologies for monitoring plant health.** *Sensors*, v. 8, n. 5, p. 3205-3239, 2008.

LIU, Linyun et al. Cost-effective reactive dyeing using spent cooking oil for minimal discharge of dyes and salts. **Journal of cleaner production**, v. 227, p. 1023-1034, 2019.

MOSCOFIAN, A. S. de O. **Filossilicatos de Magnésio e Sílicas Mesoporosas Organofuncionalizados para o Uso na Remoção de Corantes Industriais**, Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, 2009.

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

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

SHANG, S. M. Process control in dyeing of textiles. In: **Process Control in Textile Manufacturing.** Woodhead Publishing, 2013. p. 300-338.

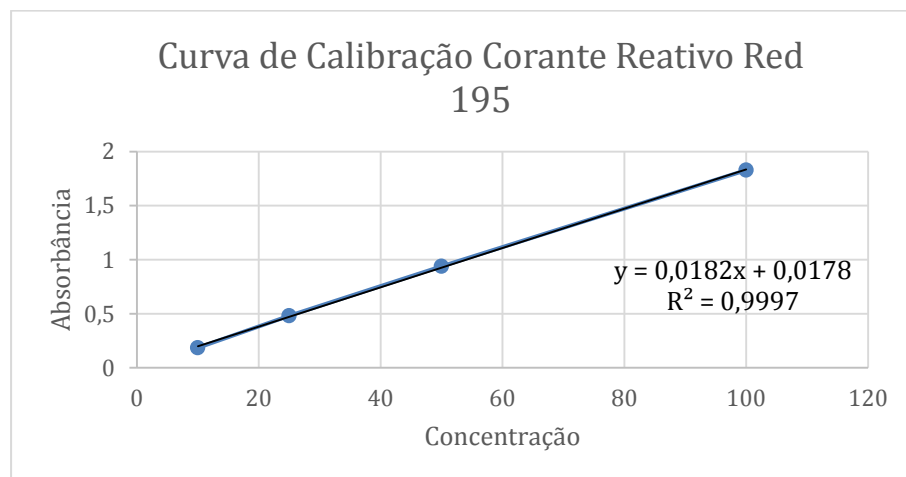
TROTMAN, Edward Russell. **Dyeing and Chemical Technology of Textile Fibres.** 4. ed. Londres: Charles Griffin & Company, 1970.

Zollinger, H. **Colour Chemistry-Synthesis, Properties of Organic Dyes and Pigments.** VCH Publishers, New York, 92-100. 1987

APÊNDICE A – Descrição

3.2.5.1 Curva de Calibração

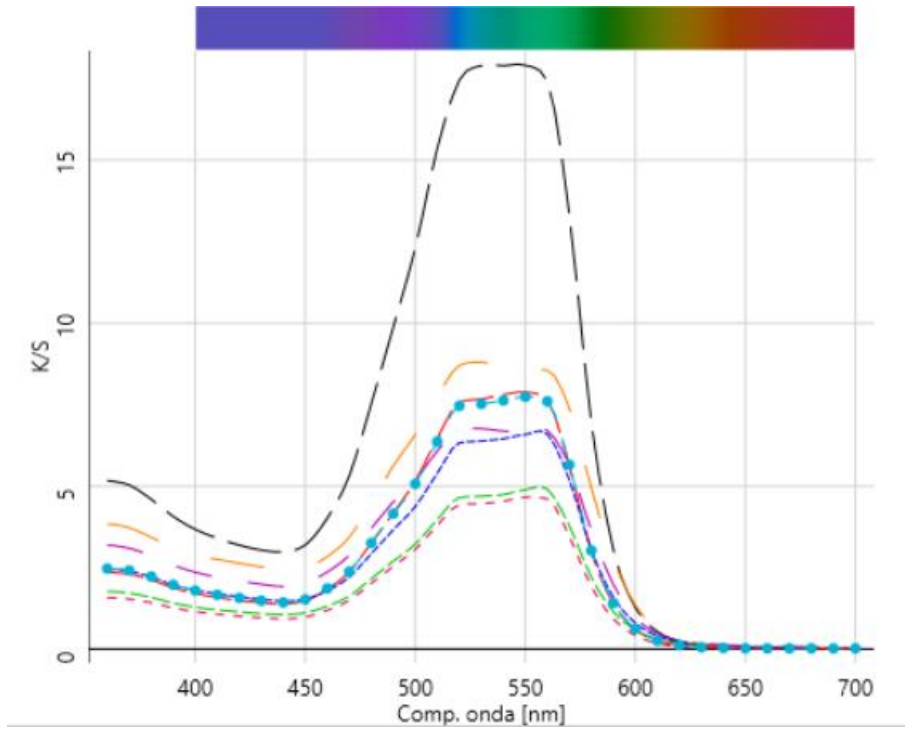
Para realizar a análise de concentração de corante na fibra e na solução de tingimento, primeiramente é necessário encontrar o comprimento de onda correspondente ao corante utilizado, que foi identificado como sendo 545 nm. Após a determinação do comprimento de onda, a curva de calibração foi construída realizando a diluição do corante em diferentes concentrações e através dos respectivos valores de absorbância, foi possível encontrar a equação de absorbância versus concentração. As concentrações de corante foram de 10, 25, 50 e 100 mg/L.



Fonte: A autora (2019)

APÊNDICE B – Gráfico de K/S da Amostra B

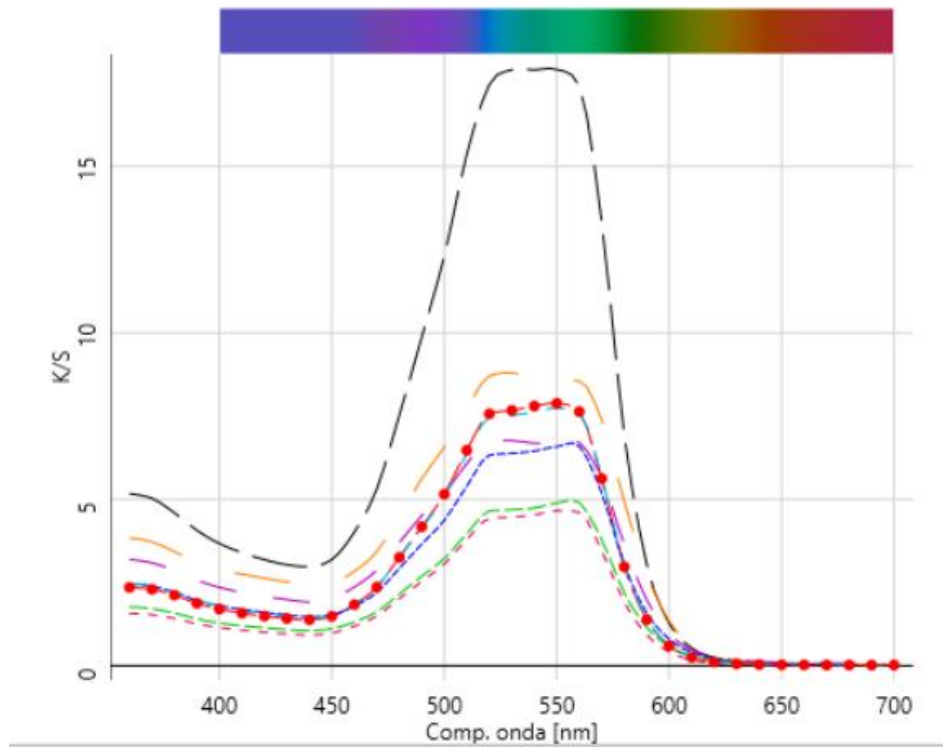
Figura 26 - Gráfico de K/S da Amostra B



Fonte: A autora (2019)

APÊNDICE C – Gráfico de K/S da Amostra C

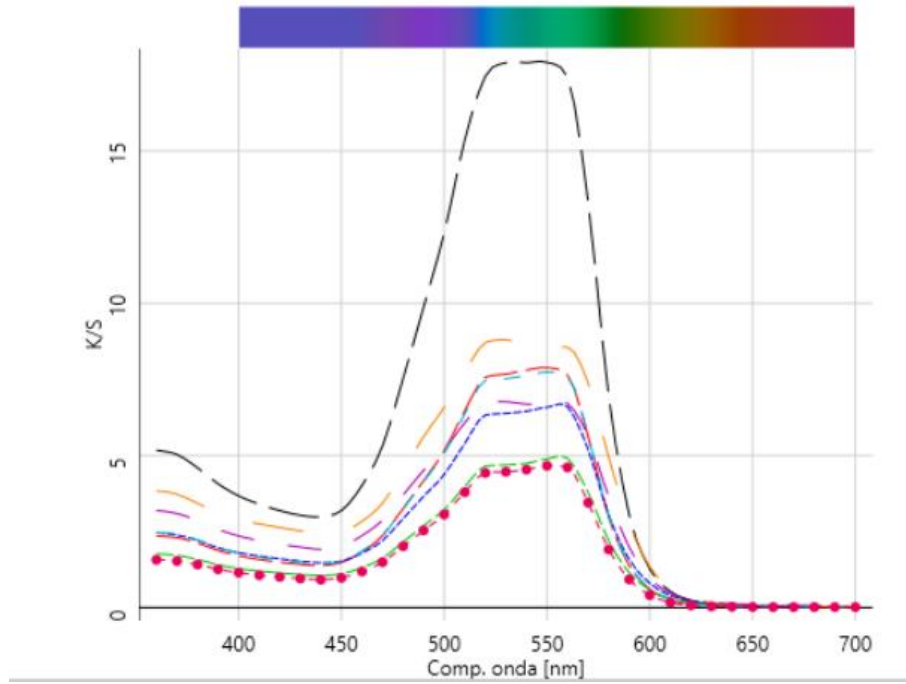
Figura 27 - Gráfico de K/S da Amostra C



Fonte: A autora (2019)

APÊNDICE D – Gráfico de K/S da Amostra D

Figura 28 - Gráfico de K/S da Amostra D



Fonte: A autora (2019)