

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS BLUMENAU

Fabiane Gomes de Oliveira

**TINGIMENTO DE POLIÉSTER COM CORANTE DISPERSO UTILIZANDO
CARVACROL COMO CARRIER**

Blumenau
2022

Fabiane Gomes de Oliveira

**TINGIMENTO DE POLIÉSTER COM CORANTE DISPERSO UTILIZANDO
CARVACROL COMO CARRIER**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Departamento de Engenharia Têxtil Campus
Blumenau da Universidade Federal de Santa
Catarina como requisito para a obtenção do
Título de Bacharelado em Engenharia Têxtil
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Cátia Rosana Lange de
Aguiar
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Patrícia B. Brondani

Blumenau

2022

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

Oliveira, Fabiane

Tingimento de poliéster com corante disperso utilizando carvacrol como carrier / Fabiane Oliveira ; orientadora, Catia Aguiar, coorientadora, Patrícia Brondani, 2022.
86 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Carrier. 3. Carvacrol. 4. Poliéster. 5. Tingimento. I. Aguiar, Catia. II. Brondani, Patrícia. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. IV. Título.

Fabiane Gomes de Oliveira

Tingimento de poliéster com corante disperso utilizando carvacrol como carrier

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, 25 de maio de 2022.



Documento assinado digitalmente
Catia Rosana Lange
Data: 24/06/2022 12:49:30-0300
CPF: 757.845.219-34
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

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

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Catia Rosana Lange
Data: 24/06/2022 12:49:55-0300
CPF: 757.845.219-34
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

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



Documento assinado digitalmente
Andrea Cristiane Krause Bierhalz
Data: 26/06/2022 07:56:52-0300
CPF: 989.346.940-68
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^a Andrea Cristiane Krause Bierhalz, Dr^a.
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Miguel Angelo Granato
Data: 24/06/2022 13:00:26-0300
CPF: 469.641.507-49
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof.(a) Miguel Angelo Granato, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, as minhas irmãs e ao meu avô.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Roberto e Maria Aparecida, que me incentivaram e apoiaram durante toda a graduação. Sem o incentivo a realização desse sonho não seria possível, serei eternamente grata.

Agradeço também a minha irmã, Flávia, que nunca me negou apoio, conselhos e incentivo durante esta etapa. Você foi fundamental para minha formação, tanto no requisito familiar quanto financeiro.

Ao meu namorado, Paulo, por todo amor, carinho e paciência. Obrigada, amor, por aguentar meus momentos de estresse.

À minha orientadora Profa. Catia pelo apoio, incentivo, paciência e confiança depositada. Obrigada pelas oportunidades e pelo acolhimento durante os momentos difíceis.

À minha co-orientadora Profa. Patrícia por ter me apresentado ao mundo da química, por sua orientação e entusiasmo durante este trabalho.

Ao Prof. Aldo que contribuiu com a doação de carvacrol para o desenvolvimento desse trabalho e também pelos ensinamentos que me possibilitaram uma melhor performance ao longo do curso.

À UFSC por todos os ambientes que me proporcionaram esta jornada de conhecimento.

Aos Laboratórios de Cuidados Têxteis (LABCT), de Beneficiamento (LABENE), de Fenômenos de Transporte (LAFET), Integrado Têxtil (LINTEX) e Central de Microscopia Eletrônica (LCME), pelo fornecimento de equipamentos e produtos que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À empresa Karsten, pelo fornecimento dos equipamentos necessários para realização dos testes de solidez à fricção e à luz.

RESUMO

As operações do beneficiamento secundário, mais especificamente a etapa de tingimento, exigem em seus processos grandes quantidades de energia e elevados volumes de água. Resultado do elevado consumo desses dois recursos, a indústria têxtil proporciona problemas ambientais ocasionados pela geração de efluentes com grandes cargas de produtos químicos e pelas emissões de CO₂. Tendo em vista os problemas gerados pelo tingimento de substratos têxteis, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma nova metodologia de tingimento de poliéster com corante disperso aplicando carvacrol como *carrier* alternativo. O carvacrol é um composto aromático e um dos principais componentes dos óleos essenciais derivados das plantas *Lamiaceae*, como o orégano. O estudo iniciou com a determinação das condições ideais de tingimento utilizando análise de espectrofotometria de UV-VIS e refletância. Após, foram realizadas análises de cinética de tingimento e isotermas (Nernst) com o objetivo de estudar as propriedades do material tingido. Quando comparados os tingimentos com a mesma temperatura, faixa de 80 – 100 °C, a concentração de 4% de carvacrol aumentou o rendimento tintorial de até 18,97%. Quanto à caracterização, foram realizadas análises de solidez à lavagem, à fricção e à luz, análise de FTIR e MEV e, em todos os casos os resultados foram comparados ao método convencional de tingimento. Quanto ao teste de solidez à lavagem e à luz, as amostras que continham carvacrol não apresentaram resultados satisfatórios, no entanto, as amostras não foram submetidas a lavagem reductiva e, o corante residual sobre a fibra pode ter comprometido os resultados. Para o teste de solidez a fricção, os processos com e sem carvacrol apresentaram o mesmo resultado, desta forma, indicando que a variação de temperatura e a presença de carvacrol não possuem efeitos significativos sobre este teste. Os resultados mostraram que o tingimento obtido através das condições ótimas (4% de carvacrol), apesar de ter apresentado rendimento tintorial menor (89,3%) que do tingimento convencional (90,7%), levou a resultados próximos e promissores. Esta pesquisa indica um grande potencial para estudos futuros, de forma que o composto analisado pode ser uma alternativa que possibilita o aumento do rendimento tintorial do tingimento de poliéster com corantes dispersos.

Palavras-chave: Carrier. Carvacrol. Poliéster. Tingimento.

ABSTRACT

Secondary processing operations of textiles, more specifically the dyeing stage, require high volumes of water and large amounts of energy. As a result of the high consumption of these two resources, the textile industry causes environmental problems due to the generation of effluents with large loads of chemical products and CO₂ emissions. In view of the problems generated by dyeing textile substrates, this work aimed to develop a new methodology for dyeing polyester with disperse dye using carvacrol as an alternative carrier. Carvacrol is an aromatic compound and one of the main components of essential oils derived from Lamiaceae plants, such as oregano. The study started with the determination of the ideal dyeing conditions using UV-VIS and reflectance spectrophotometry analysis. Additionally, dyeing kinetics and isotherms (Nernst) analyzes were carried out in order to study the properties of the dyed material. The amount of carvacrol in the medium was also studied to optimize the process. When comparing dyes with the same temperature, range of 80 – 100 °C, the concentration of 4% of carvacrol increased the dye yield by up to 18.97%. As for characterization, analysis of fastness to washing, friction and light, FTIR and SEM analyzes were carried out and, in all cases, the results were compared to the conventional dyeing method. As for the fastness to wash and light test, the samples that contained carvacrol did not present satisfactory results, however, the samples were not submitted to reductive washing and the residual dye on the fiber may have compromised the results. For the friction fastness test, the processes with and without carvacrol presented the same result, thus, indicating that the temperature variation and the presence of carvacrol do not have significant effects on this test. The results showed that the dyeing obtained under optimal conditions (4% carvacrol), despite having presented lower dye yield (89,3%) than conventional dyeing (90,7%), led to similar and promising results. This research indicates a great potential for future studies, so that the analyzed compound can be an alternative that makes it possible to increase the dyeing yield of polyester.

Keywords: Carrier. Carvacrol. Polyester. Dyeing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação das fibras.....	19
Figura 2 - Curva das etapas de um processo de tingimento	23
Figura 3 - Curva isotérmica de Nernst	25
Figura 4 - Sistema de coordenadas CIE-L*a*b*	29
Figura 5 - Estrutura do carvacrol.....	35
Figura 6 - Processo de preparação das amostras	40
Figura 7 - Processo de tingimento	43
Figura 8 – Imagens das amostras A-F tingidas ¹	49
Figura 9 - Avaliação do corante residual para determinação da concentração de carvacrol	50
Figura 10 - Corante residual nos experimentos A-F.....	51
Figura 11 – Valores de K/S das amostras A-F tingidas.....	53
Figura 12 - Comparativo entre amostra padrão e amostras B-F.....	54
Figura 13 – Imagens das amostras A, F e G-J tingidas ²	55
Figura 14 - Avaliação do corante residual para determinação da temperatura de tingimento .	56
Figura 15 - Foto mostrando o corante residual nos experimentos A, F e G-J.....	57
Figura 16 - Valores de K/S das amostras A, F e G-J tingidas	59
Figura 17 – Comparativo entre amostra padrão e amostras A, F e G-J.....	59
Figura 18 – Curvas de concentração de corante no banho de tingimento das amostras A e F .	60
Figura 19 – Isotermas de tingimento das amostras A e F	63
Figura 20 - Micrografias de MEV das amostras P, M, L e F	68
Figura 21 – Análise FTIR das amostras F, L, M e P ³	70
Figura 22 - Curva de calibração do corante Escarlata ColorPes E-2GFL 220%.....	82
Figura 23 – Processos A e F ajustados ao modelo de pseudo-primeira ordem	83
Figura 24 - Processos A e F ajustados ao modelo de pseudo-segunda ordem	83

LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1 - Síntese do polietileno tereftalato (PET).....	21
-----------------------------------------------------------	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelos de Isotermas.....	25
Quadro 2 - Classificação dos corantes pelo método de aplicação	26
Quadro 3 - Exemplos de carriers encontrados no mercado	32
Quadro 4 - Estudos com diferentes alternativas ao carrier convencional.....	36
Quadro 5 - Materiais utilizados	38
Quadro 6 - Processo de Lavagem	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estruturas químicas de corantes dispersos mais comercializados	27
Tabela 2 - Formulação da preparação das amostras para o processo de tingimento	40
Tabela 3 - Formulação dos processos de tingimento	42
Tabela 4 - Formulação dos processos de tingimento para análise de MEV e FTIR	48
Tabela 5 - Coordenadas colorimétricas das amostras tingidas e submetidas aos experimentos A-F	52
Tabela 6 - Coordenadas colorimétricas das amostras tingidas	58
Tabela 7 - Valores para as cinéticas de adsorção das amostras A e F	62
Tabela 8 – Valores para as isotermas de adsorção das amostras A e F	64
Tabela 9 - Resultado da análise de solidez à alteração de cor	65
Tabela 10 - Resultado da análise de solidez à transferência de cor	65
Tabela 11 - Resultado da análise de solidez a transferência de cor	66
Tabela 12 - Resultado da análise de solidez a alteração de cor	67
Tabela 13 - Avaliação residual do corante no banho de tingimento	84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CIE-L*a*b* – Espaço de cor da CIE (International Commission on Illumination)

FIESC – Federação das Indústria do Estado de Santa Catarina

FTIR – Espectrometria de Absorção no Infravermelho

ISO – Organização Internacional de Normalização

K/S - Força Colorística

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

pH – Potencial hidrogeniônico

RB – Relação de banho

s. p. m. – Sobre o peso do material

Tg – Temperatura de transição vítrea

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	INDÚSTRIA TÊXTIL	17
2.1.1	Impactos ambientais.....	17
2.2	FIBRAS TÊXTEIS	18
2.2.1	Fibra de Poliéster	19
2.3	BENEFICIAMENTO TÊXTIL	21
2.3.1	Tingimento de fibras têxteis.....	22
2.3.1.1	<i>Cinética de tingimento</i>	24
2.3.1.2	<i>Isotermas de adsorção</i>	24
2.4	CORANTES	26
2.4.1	Corantes dispersos	27
2.5	COLORIMETRIA	28
2.5.1	Sistema CIE-L*a*b*	28
2.5.2	Força colorística.....	29
2.6	BENEFICIAMENTO DE POLIÉSTER.....	30
2.6.1	Beneficiamento primário - Preparação	30
2.6.2	Beneficiamento secundário – Tingimento	30
2.6.2.1	<i>Tingimento de poliéster à alta temperatura (HT).....</i>	31
2.6.2.2	<i>Tingimento de poliéster por meio de uso de carriers</i>	31
2.6.3	Limpeza reductiva	34
2.7	CARVACROL.....	34
2.8	LEVANTAMENTO DO ESTADO DA ARTE	36

3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	MATERIAIS.....	38
3.2	MÉTODOS	39
3.2.1	Preparação do substrato para tingimento.....	39
3.2.2	Determinação das condições ideais de tingimento.....	40
3.2.3	Tingimento do substrato	41
3.2.4	Lavagem.....	43
3.3	ANÁLISES	43
3.3.1	Curva de calibração.....	44
3.3.2	Avaliação residual do corante no banho de tingimento	44
3.3.3	Avaliação colorimétrica.....	44
3.3.4	Determinação da cinética de tingimento	45
3.3.5	Determinação das isotermas de adsorção.....	46
3.3.6	Solidez à lavagem.....	46
3.3.7	Solidez à fricção	47
3.3.8	Solidez à luz.....	47
3.3.9	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	47
3.3.10	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1	DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CARVACROL.....	49
4.1.1	Avaliação residual do corante no banho de tingimento	49
4.1.2	Avaliação colorimétrica.....	51
4.2	DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE TINGIMENTO.....	54
4.2.1	Avaliação residual do corante no banho de tingimento	56
4.2.2	Avaliação colorimétrica.....	57
4.3	ANÁLISES	60
4.3.1	Cinética de Tingimento	60

4.3.2	Isotermas de Adsorção	63
4.3.3	Solidez à lavagem	65
4.3.4	Solidez à fricção	66
4.3.5	Solidez à luz	66
4.3.6	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	67
4.3.7	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	69
5	CONCLUSÕES.....	71
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
	REFERÊNCIAS.....	75
	APÊNDICE A – Curva de Calibração.....	82
	APÊNDICE B – Curva cinética de tingimento das amostras A e F.....	83

1 INTRODUÇÃO

Dominada por pequenas, médias e grandes empresas, a indústria têxtil é caracterizada como uma das indústrias manufatureiras mais complexas devido a sua cadeia fragmentada (HASANBEIGI, 2010). Neste setor, o calor e a água são os dois recursos mais utilizados durante o processo de produção de substratos têxteis.

Dentro desta conjuntura, na etapa de beneficiamento secundário que possui como objetivo agregar valor ao substrato através da aplicação de cor, a energia na forma de calor pode ser gerada a partir do uso de eletricidade e/ou combustível. Nos processos de tingimento e acabamento, estima-se que o uso de energia consumida durante toda a produção de substratos têxteis corresponde a 25% do total, sendo que seu consumo médio corresponde a 17,9 kWh/kg (UDDIN, 2014). Como resultado do consumo de energia, a indústria têxtil apresenta como subproduto emissões de CO₂ que é considerado o principal gás que contribui com efeito estufa. Estas emissões correspondem a 2% do total de emissões industriais de CO₂ do mundo, representando cerca de 0,18 gigatoneladas/ano (MUTHU, 2015; NGAI *et al.*, 2012).

No setor têxtil as principais fontes do consumo de água estão relacionadas ao uso como um meio para os produtos que entram no processo, na geração de vapor e como agente de lavagem. De acordo com Vershney (1985), para o processamento de 1kg de substrato têxtil utiliza-se 50-100L de água, em média. A etapa de beneficiamento secundário, mais especificamente a etapa de tingimento, é a etapa que gera o maior volume de efluentes. Devido a quantidade de produtos químicos utilizados nos processos, o lançamento de efluentes não tratados é o principal problema ambiental causado pela indústria têxtil. Com o lançamento de efluentes não tratados, a concentração de oxigênio diminui drasticamente, fazendo com que resulte no bloqueio da passagem da luz, resultando em um ambiente prejudicial ao ecossistema aquático (MUTHU, 2017). Além dos problemas ambientais, os produtos químicos utilizados na etapa de tingimento também podem ser prejudiciais à saúde. Os produtos químicos podem ser absorvidos pela pele e podem evaporar no ar que respiramos, desta forma, podendo ocasionar na perturbação do funcionamento normal das células e como resultado pode comprometer com funções vitais como, por exemplo, respiração (MUTHU, 2019).

Neste sentido, com a crescente conscientização sobre os problemas ambientais, buscam-se métodos aprimorados e alternativos para reduzir o consumo de energia e de produtos químicos nos processos de tingimento. Algumas das soluções estão relacionadas a substituição

de produtos de origem química por produtos de origem natural, alteração de maquinário, otimização de processos, entre outros.

Deste modo, a partir das informações apresentadas, o presente trabalho tem como intuito contribuir com a diminuição do consumo de energia e de produtos químicos no tingimento de poliéster com corante disperso por meio do uso de carvacrol como um *carrier* alternativo. O carvacrol foi selecionado para este trabalho devido a sua origem natural e estrutura química que é semelhante às estruturas de carriers encontrados no mercado. Além disso, foi verificado por meio de pesquisas que este composto ainda não foi empregado em processos de tingimento, evidenciando a possibilidade de novos métodos de tingimento e proporcionando a continuidade de novas pesquisas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade do uso de carvacrol como um *carrier* alternativo no tingimento de poliéster com corante disperso, com a finalidade de realizar o processo de tingimento em temperaturas mais baixas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar o tingimento das fibras de poliéster com corante disperso, variando temperatura de tingimento e concentração de carvacrol;
- Determinar as condições ideais de tingimento, através da avaliação e comparação das amostras, por meio das características colorimétricas;
- Determinar o modelo cinético e isotérmico dos processos de tingimento;
- Realizar testes de solidez à lavagem, fricção e luz nas amostras;
- Obter a microfotografia da estrutura física do poliéster e avaliar o efeito do carvacrol;
- Realizar a análise dos tecidos tingidos através de espectroscopia na região do infravermelho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

O setor têxtil está inserido no Brasil desde o século XIX, inicialmente representado por empresas nos estados do Rio de Janeiro, Bahia e Minas Gerais e com a produção de algodão concentrada na região nordeste do país. Esse importante setor industrial, mostrou-se promissor desde sua fase inicial e, desde então vem impactando social, cultural, econômica e politicamente o país. Devido ao seu caráter diversificado e sua evolução ao longo dos anos, hoje em dia, o setor têxtil é o segundo maior gerador de empregos dentro do setor industrial de transformação. Além disso, o Brasil é um dos quatro maiores produtores de malha do mundo e é considerado a maior cadeia têxtil do Ocidente.

Sendo assim, com uma grande área territorial, o Brasil se destaca com seus polos industriais têxteis, sendo que o maior está localizado na região Sul do país, em Santa Catarina. Segundo informações da Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC) (2014), o estado emprega cerca 166.243 trabalhadores no setor têxtil, sua participação na indústria catarinense é de 17,74% e em relação à representatividade nacional, sua participação no setor têxtil é de 20,02% e o do vestuário é de 22,27%.

2.1.1 Impactos ambientais

Considerado como a maior cadeia têxtil do Ocidente (ABIT, 2019), o setor têxtil nacional possui diversas obrigações com questões sociais, e como resultado vem passando por pressões que fazem com que posicionamentos sociais sejam revistos.

De acordo com a ABIT (2014) a participação do setor têxtil no consumo total de energia do país foi de 0,4% no ano de 2014, sendo que a maior parte de energia é consumida por motores elétricos, bombas, ventiladores, caldeiras e refrigeração. Devido ao seu consumo como eletricidade, gás natural, lenha e GLP, o setor têxtil contribui consideravelmente com a poluição do ar e com a diminuição de recursos naturais. Contribui com a poluição do ar principalmente devido ao processo de beneficiamento que tem como objetivo agregar valor aos artefatos têxteis através de processos químicos ou/e físicos, pois além da energia elétrica o processo de beneficiamento também utiliza energia na forma de calor, provenientes da queima

de óleos e lenhas que são utilizadas em caldeiras e que como resultado libera CO₂, desta forma, colaborando consideravelmente com o efeito estufa (TONIOLLO; ZANCAN; WUST, 2015). Com base nisso, visando à diminuição do consumo de energia, a demanda por tratamentos mais eficientes está crescendo cada vez mais.

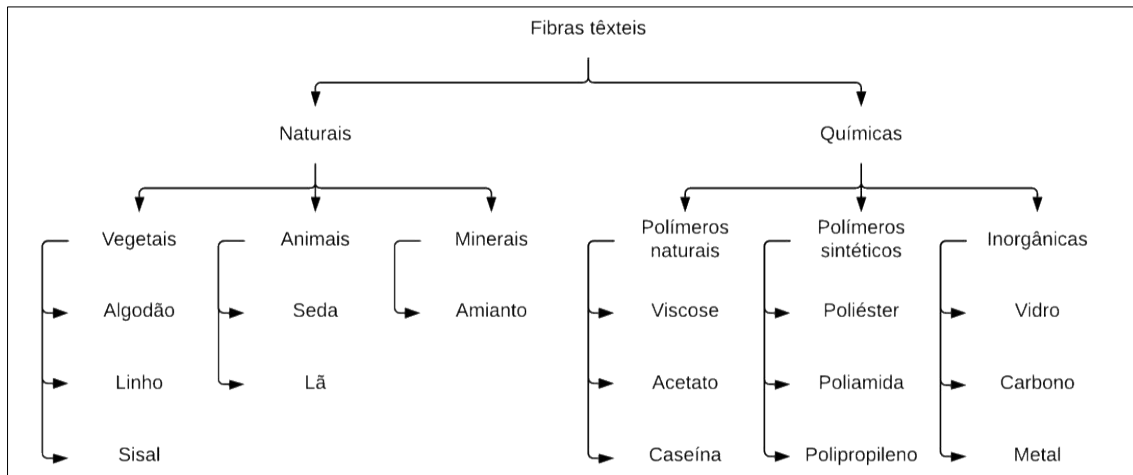
Não é somente o consumo energético que gera preocupação no setor têxtil, pois já no início da cadeia substâncias poluentes, como os agrotóxicos utilizados no plantio do algodão, geram um enorme impacto. Entretanto, é na etapa de beneficiamento que há o maior impacto e uma grande geração de efluentes. O alto volume de efluentes gerados deve-se ao fato de que na etapa de beneficiamento há processos úmidos e secos, sendo que nos processos úmidos utilizam-se grandes volumes de água. Segundo Twardokus (2004) quando comparado ao consumo total da indústria, o setor têxtil consome cerca de 15% da água. Informações apresentam que em certos casos o consumo de água atinge aproximadamente 3.000 m³ por dia (QUEIROZ *et al.*, 2016). Sendo assim, a redução dos danos causados pelos efluentes gerados também é uma preocupação do setor têxtil. Nesse sentido, o setor está constantemente buscando novos métodos que gerem menores quantidades de efluentes e efluentes contendo um menor número de substâncias poluentes. Esse esforço inclui a aplicação de produtos de origem natural que sejam facilmente obtidos e gerem processos eficientes.

Além da diminuição de gastos energéticos, a redução dos danos causados pelos efluentes gerados também é uma preocupação do setor têxtil. Nesse sentido, o setor está constantemente buscando novos métodos que gerem menos poluentes, incluindo a aplicação de produtos de origem natural que sejam facilmente obtidos.

2.2 FIBRAS TÊXTEIS

Conhecida como matéria-prima para o desenvolvimento de artigos têxteis, as fibras têxteis são caracterizadas como elementos filiformes que possuem o comprimento cem vezes, no mínimo, maior que o diâmetro. Podem ser contínuas ou descontínuas, sendo que as contínuas possuem comprimento elevado e as descontínuas têm comprimento limitado devido a causas técnicas, conforme Kuasne (2008). As fibras são primeiramente classificadas como naturais ou manufaturadas (SALEM, 2010) e classificações mais específicas dentre dessas duas classes podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 - Classificação das fibras



Fonte: Adaptado de Salem (2010).

Por um longo tempo a indústria têxtil operava exclusivamente com fibras naturais como, por exemplo, algodão, lã e seda. Com o decorrer dos anos as fibras manufaturadas foram desenvolvidas com o objetivo de substituir e melhorar as características das fibras naturais. Apresentando características únicas, as fibras têxteis proporcionam diversidade em suas aplicações, sendo aplicações amplas e distintas, conforme Mather e Wardman (2015).

2.2.1 Fibra de Poliéster

Inseridas no Brasil após a Segunda Guerra Mundial, as fibras sintéticas ganharam destaque, apresentando um crescimento constante. Naquele período, poucos investimentos foram apresentados ao setor, devido ao alto índice de obsolescência no parque fabril e ociosidade, nas etapas de fiação e de tecelagem, portanto, o setor começou a ser explorado em meados de 1968 (MONTEIRO FILHA; CORRÊA, 2002). Em pouco tempo a fibra de poliéster conquistou o mercado, criando concorrência com o mercado das fibras artificiais e por fim o superou (ROMERO et al., 1995). O consumo mundial de fibras de poliéster na indústria têxtil foi de 55,1 milhões de toneladas em 2018, representando mais de 50% do consumo mundial de fibras (BIVER; TURNER; FILELLA, 2020).

O poliéster pode ser classificado como um polímero, portanto, consiste em uma macromolécula decorrente da união de diversos monômeros. Esta macromolécula possui várias funções ésteres em sua cadeia principal (SALEM, 2010). O poliéster pode possuir cadeias

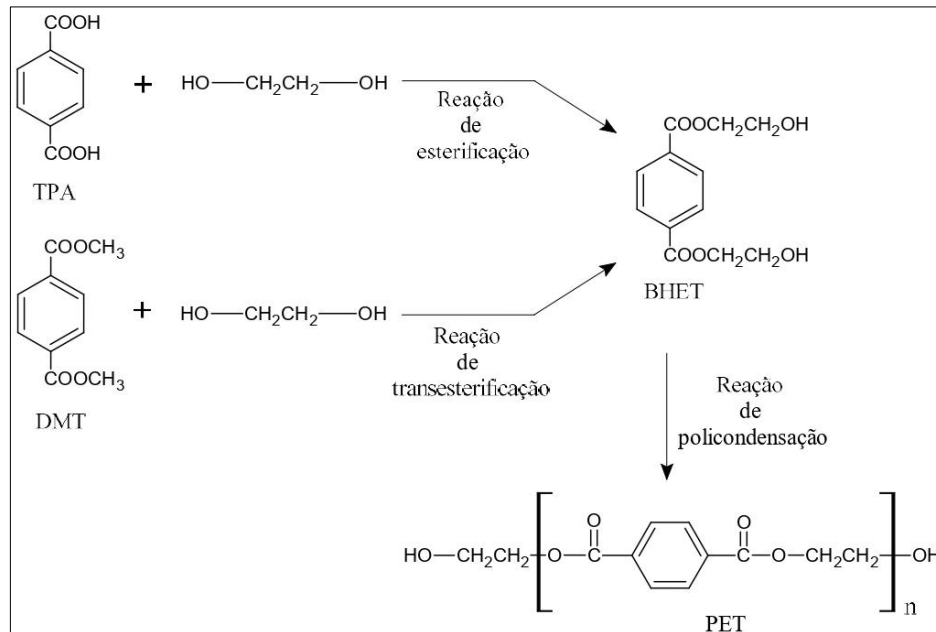
saturadas gerando, desta forma, termoplásticos ou pode possuir cadeias insaturadas, gerando termofixos.

Na série de termoplásticos, encontram-se os poliésteres, que podem ser utilizados em têxteis convencionais e na série de termofixos tem-se poliésteres, normalmente, utilizados em têxteis técnicos, conforme Canevarolo Jr. (2010).

No setor têxtil, o poliéster mais utilizado para produção de artigos têxteis é o polietileno tereftalato (PET), visto que garante uma boa resistência devido a sua baixa capacidade de umidade e também garante versatilidade, pois não limita apenas ao vestuário. Sua síntese consiste em três etapas: a pré-polimerização, a policondensação e a polimerização no estado sólido. A etapa de pré-polimerização consiste na produção do oligômero bis-2-hidroxietil-tereftalato (BHET). Sendo que esta etapa pode ocorrer através da esterificação direta ou da transesterificação. No processo via esterificação direta o oligômero é produzido por meio da combinação do ácido tereftálico (TPA) e do etilenoglicol (EG). Substituindo o monômero ácido tereftálico (TPA) pelo éster tereftalato de dimetileno (DMT), obtém-se o processo via transesterificação (ROMÃO; SPINACÉ; PAOLI, 2009).

Na etapa de policondensação, o polietileno tereftalato é formado e etilenoglicol é continuamente removido, conforme Soares Jr. (2010). Em seguida, na etapa de polimerização no estado sólido, com o objetivo de conferir uma maior resistência, à massa molar pode ser elevada. Entretanto, como as fibras têxteis, em certas aplicações, não precisam suportar altas tensões, as etapas de pré-polimerização e a policondensação são suficientes para obtenção das fibras de poliéster (ANDRADE, 2018; ROMÃO; SPINACÉ; PAOLI, 2009). No Esquema 1 será apresentado a reação de policondensação via esterificação direta e via transesterificação.

Esquema 1 - Síntese do polietileno tereftalato (PET)



Fonte: Adaptado de PAOLI et al. (2009).

Após a síntese, o poliéster é submetido ao processo de solidificação, o qual pode ser realizado, através da aplicação de jatos de água fria ou ar, por exemplo. Em seguida é cortado em grânulos que, normalmente, apresentam forma cúbica (ALCÂNTARA; DALTIM, 1995). Para produção das fibras, os grânulos são fundidos e extrudados por meio de uma fiação. Após a extrusão, os filamentos são submetidos ao processo de estiramento que tem como objetivo alinhar as moléculas e gerar regiões cristalinas (ANDRADE, 2018). Para garantir uma maior coesão entre as fibras, durante a formação do substrato têxtil, texturas podem ser desenvolvidas sobre os filamentos através de processos que envolvam torção ou que não envolvam torção. Finalmente, o fio pode ser comercializado como fibras curtas ou como filamentos contínuos.

2.3 BENEFICIAMENTO TÊXTEL

Com o propósito de agregar valor aos substratos têxteis e agradar seus consumidores, a etapa de beneficiamento por meio de processos químicos, físicos e/ou físico-químicos modifica as características do substrato. A etapa de beneficiamento se divide em: beneficiamento primário, beneficiamento secundário e beneficiamento terciário. O primário consiste na remoção das impurezas das fibras, para promover aparência estética e um melhor

resultado no processo de tingimento, estamparia e/ou acabamento (VIGO, 1994). O secundário consiste na aplicação de cores, podendo ocorrer o tingimento e/ou a estamparia. Por fim, o terciário, conhecido também como acabamento, é responsável pela inserção de características que agregam valor ao substrato.

2.3.1 Tingimento de fibras têxteis

Considerada uma arte antiga, o emprego de cores em substratos têxteis iniciou-se com o uso de corantes naturais. Superfícies têxteis encontradas em túmulos de faraós do Egito apresentaram o uso de corantes naturais vindos da China e da Índia (SALEM, 2010).

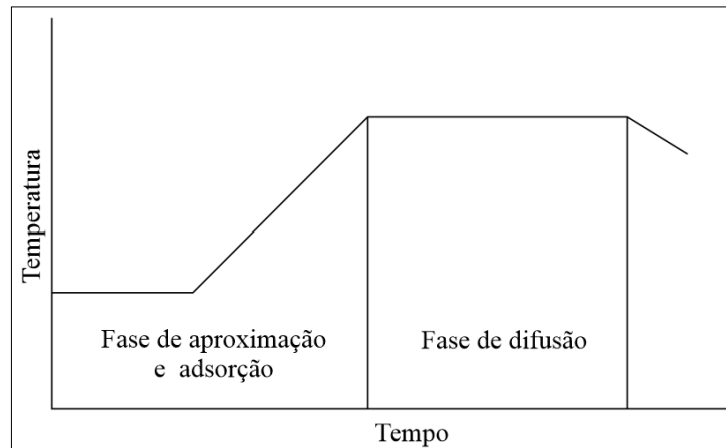
Apesar de antigo o processo de tingimento pode ser complexo sendo caracterizado como um processo físico-químico, em virtude da união entre os processos físicos e químicos. Físico porque não há modificação da composição da fibra e químico, porque pode haver interação entre a fibra e os componentes do banho de tingimento. Tal combinação faz com que o corante seja adsorvido e o corante, por sua vez e devido a sua estrutura química confere a cor através da luz refletida causando a percepção da cor (GOMES et al., 2019b).

Com o objetivo de fornecer uma coloração uniforme aos substratos, o tingimento deve conferir uma tonalidade sólida, sem desníveis (CLARK, 2011). Sendo que para atingir tais propósitos, diversos fatores devem ser analisados e controlados como, por exemplo, preparação do substrato, maquinário utilizado, variáveis envolvidas no processo como velocidade, tempo e temperatura e outros mais, conforme Kuhn (2019).

Todas essas variáveis devem ser controladas ao longo de três etapas: aproximação, adsorção e difusão. Dependendo exclusivamente da afinidade, a etapa de aproximação consiste na transferência do corante para a superfície da fibra. Agentes auxiliares são comumente utilizados para aumentar tal afinidade. Na etapa de adsorção, o corante é adsorvido sobre a fibra através das regiões amorfas. O tingimento de poliéster, abordado neste trabalho, é realizado com altas temperaturas justamente para aumentar estas regiões amorfas para, desta forma, garantir uma boa adsorção do corante. Por último, na etapa de difusão o corante difunde-se para dentro da fibra (SALEM, 2010). Na

Figura 2 será apresentada a curva das etapas de um processo de tingimento.

Figura 2 - Curva das etapas de um processo de tingimento



Fonte: Adaptado de Clark (2011).

O processo de tingimento pode ser descontínuo, ou contínuo. No processo descontínuo, processo selecionado para este trabalho, o corante é transportado para a superfície da fibra através da agitação, sendo que o substrato e o banho de tingimento estão em movimento (CLARK, 2011). Neste processo a afinidade entre o corante e a fibra é essencial para promover o deslocamento do corante para a fibra.

Ao contrário do processo descontínuo, o processo contínuo não necessita da etapa de aproximação, pois durante o processo o corante é forçado a entrar na fibra (banho fixo e substrato em movimento), desta maneira, não havendo necessidade de afinidade entre corante e fibra. Vale destacar que não é recomendado utilizar este processo com fibras e corantes que possuem alta afinidade, pois se espera que o processo tenha uma distribuição uniforme, conforme Lange (2004).

Para compreender o comportamento de um processo de tingimento, modelos cinéticos e isotérmicos são comumente utilizados. Esta compreensão é essencial para conhecer e controlar a montagem do corante sobre o substrato têxtil e, assim, garantir que o tingimento ocorra de forma uniforme. Os modelos comumente utilizados estudam a influência da temperatura e tempo sobre a etapa de adsorção, sendo que os modelos cinéticos apresentam a velocidade com que as moléculas do adsorvato (corante) são adsorvidas pelo adsorvente (superfície têxtil) e os modelos isotérmicos a capacidade de adsorção, conforme Silva (2019). A seguir são apresentadas as duas etapas que pertencem ao estudo experimental de adsorção, cinética de tingimento e isotermas de adsorção.

2.3.1.1 Cinética de tingimento

Qualquer uma das, já comentadas, três etapas inerentes ao processo de tingimento podem controlar a velocidade de tingimento e também o resultado do tingimento (CLARK, 2011). A velocidade de tingimento pode ser determinada a partir da fase cinética, sendo que nesta fase é definida a velocidade de deslocamento do corante para a superfície da fibra, a sua velocidade de adsorção e de difusão dentro dela e os efeitos de concentração de corante e eletrólitos, pH, temperatura e relação de banho sobre essas velocidades, conforme Salem (2010).

Para determinar o comportamento da fase cinética os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem são comumente utilizados. A equação de pseudo-primeira ordem (Equação 1) é geralmente apropriada para o estágio inicial do processo de adsorção e a equação de pseudo-segunda ordem (Equação 2) geralmente prediz o comportamento de adsorção durante todo o processo (CHEMCHAME et al., 2020).

$$\log(q_e - q_t) = \log \cdot q_e - k_{1t}/2,303 \quad (1)$$

Onde q_e e q_t (mg/g) são as quantidades adsorvidas de corante no equilíbrio e no tempo t e k_1 (1/min) é a constante de velocidade de pseudo-primeira ordem.

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

Onde q_e e q_t (mg/g) são as quantidades adsorvidas de corante no equilíbrio e no tempo t e k_2 (1/min) é a constante de velocidade de pseudo-segunda ordem.

2.3.1.2 Isotermas de adsorção

As isotermas de adsorção relacionam a concentração da fase fluida (banho de tingimento) e a concentração das partículas adsorventes (fibra) (OLIVEIRA, 2003).

Para descrever a interação entre adsorbato (corante) e adsorvente (substrato) os modelos de isotermas são essenciais, uma vez que identificando a natureza da interação o uso

do modelo correto oferece uma visão mais detalhada do equilíbrio requerido, assim apresentando uma melhor caracterização dos sistemas estudados (TRACTZ, 2018; SANTOS, 2015). No Quadro 1 são apresentados os modelos de isotermas de Nernst, Langmuir e Freundlich, com suas respectivas equações.

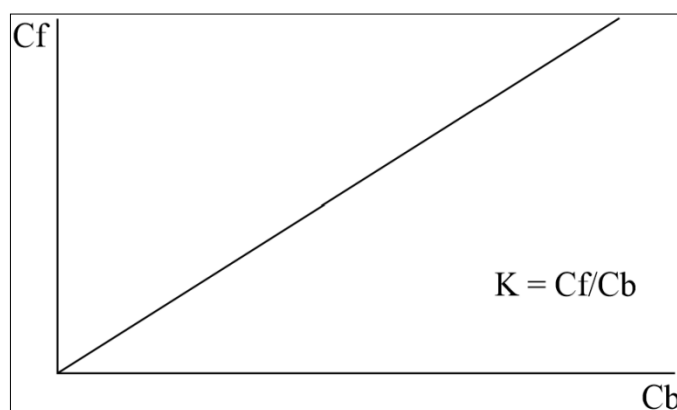
Quadro 1 - Modelos de Isotermas

Modelo de Isoterma	Equação
Nernst	$q_e = K \cdot C_e$
Langmuir	$q_e = \frac{q_m K_1 C_e}{1 + K_1 C_e}$
Freundlich	$q_e = K_f C_e^{1/m}$

Fonte: Adaptado de Tractz (2018).

Representando a curva de equilíbrio da fibra de poliéster e do corante disperso, a curva isotérmica de Nernst, apresenta sua distribuição através da solubilidade do corante na fibra. Onde q_e representa o corante na fibra, C_e corante no banho e K a constante de equilíbrio (SALEM, 2010). A partir da Figura 3, será possível observar que a relação entre o corante na fibra e corante no banho é linear.

Figura 3 - Curva isotérmica de Nernst



Fonte: Adaptado de Salem (2010).

2.4 CORANTES

Corantes são definidos como substâncias que, quando aplicadas aos substratos, fornecem cores por meio de modificações físico-químicas. Os corantes há muito tempo despertam interesse e materiais coloridos são utilizados desde os tempos pré-históricos (CLARK, 2011). Até meados do século XIX somente os corantes de origem vegetal ou animal eram utilizados. Devido às dificuldades de reprodutibilidade, baixa solidez e escassez de matéria-prima, a curva de demanda pela substituição de corantes naturais apresentou-se cada vez mais crescente (SALEM, 2010). Nesse contexto, em 1856, William H. Perkin sintetizou um corante chamado Mauveína. Esse fato imediatamente chamou atenção e incentivou pesquisadores a desenvolverem outros corantes sintéticos (CLARK, 2011). Desde então, devido a variedades de fibras disponíveis no mercado a demanda por novos corantes permanece. Nos últimos anos diversos compostos químicos coloridos foram produzidos e, cujo destes, 10.000 são produzidos em larga escala. Porém, de acordo com Guaratini e Zanoni (1998) apenas 2.000 são disponibilizados para a indústria.

Os corantes são classificados de acordo com a sua estrutura química ou por sua aplicação. Segundo Hunger (2003) e Zanoni (2016) a forma mais correta de classificação é por meio da estrutura química, pois as identificações dos corantes seriam mais ágeis. Entretanto, para a indústria têxtil a classificação utilizada é por meio da aplicação. Sendo assim no Quadro 2 pode ser observada a classificação dos corantes pelo método de aplicação.

Quadro 2 - Classificação dos corantes pelo método de aplicação

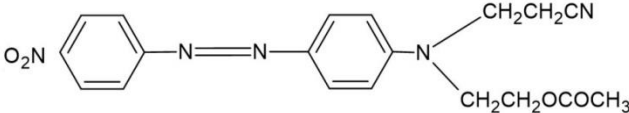
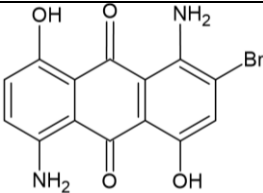
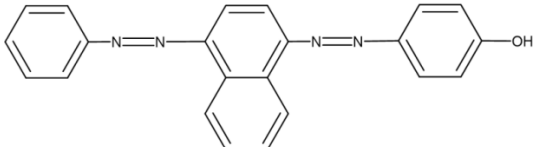
Corantes	Fibras
Diretos	Celulósicas, Seda
Reativos	Celulósicas, Seda
Sulfurosos	Celulósicas
Azóicos	Celulósicas
A tina	Celulósicas
Catiônicos	Acrílico
Complexos metálicos	Lã, Seda, Poliamida
Dispersos	Poliéster

Fonte: Adaptado de Salem (2010).

2.4.1 Corantes dispersos

Com sua alta cristalinidade, gerada pelo processo de estiramento e devido a sua estrutura química composta por grupos apolares, a fibra de poliéster não pode ser tingida com corantes iônicos (solúveis em água). O poliéster só pode ser tingido com corantes não iônicos, conhecidos também como corantes dispersos. Os corantes dispersos constituem o segundo maior setor da indústria de tingimento, sendo que em 2006 aproximadamente 125 toneladas de corantes dispersos foram produzidos, com o valor aproximado de 900 milhões de dólares (CLARK, 2011). Os grupos químicos mais encontrados nos corantes dispersos são: monoazo, diazo e antraquinona, sendo que estas três porções estão presentes em 85% dos corantes dispersos utilizados (Tabela 1), conforme Vigo (1994).

Tabela 1 - Estruturas químicas de corantes dispersos mais comercializados

Tipo	Estrutura	Porcentagem
Monoazo		50
Antraquinona		25
Diazo		10

Fonte: Adaptado de Vigo (1994).

Os corantes dispersos podem ser classificados em quatro grupos (A, B, C e D), tal classificação depende das suas propriedades como energia, sublimação, difusão, tamanho da molécula e outros. Quanto à energia, o corante é classificado de acordo com o tamanho da sua molécula. Uma energia alta (grupo D) está relacionada a moléculas grandes que resultam em uma maior solidez à sublimação. Esta alta solidez é atingida, pois quanto maior é a molécula

maior é a dificuldade da molécula sair de dentro da fibra, porém devido ao tamanho da molécula a etapa de difusão do processo de tingimento é mais lenta (SALEM, 2010). Para moléculas médias (grupo B e C), a energia é considerada média e a difusão do corante é mais rápida do que o grupo D. E com moléculas muito pequenas, grupo A, a solidez à sublimação e, conseqüentemente sua energia, é baixa. Entretanto o grupo A apresenta uma difusão mais rápida quando comparada aos outros grupos (VIGO, 1994).

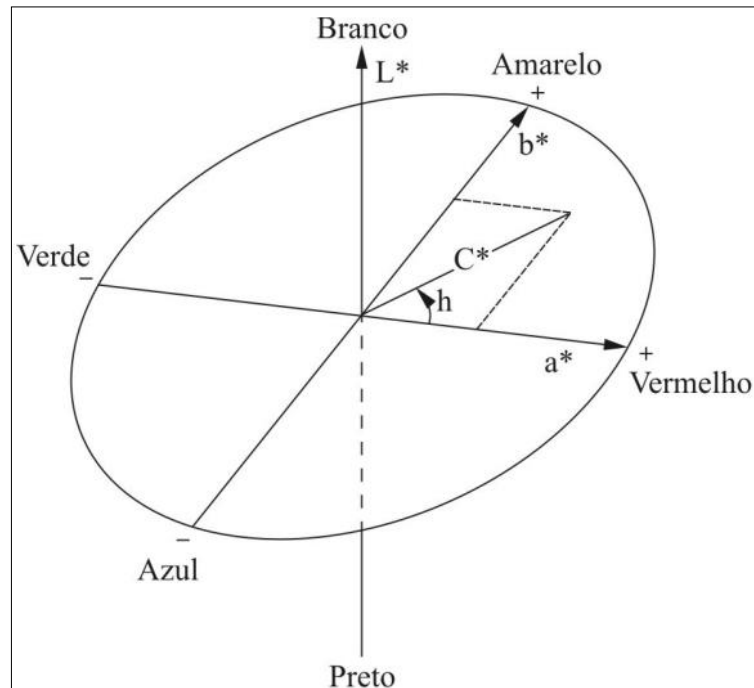
2.5 COLORIMETRIA

Utilizada como um método de caracterização têxtil, a colorimetria é definida como a técnica e a ciência, que através de modelos matemáticos, procura simular, descrever e quantificar a percepção de cor pelo ser humano (LOPES, 2009). Pode-se dizer que a cor, uma parte fundamental para percepção visual, é uma percepção subjetiva causada no cérebro em decorrência de certa energia radiante transmitida aos olhos, conforme Salem (2010). Para tal percepção há necessidade de três fatores: fonte de luz, objeto colorido e observador.

2.5.1 Sistema CIE-L*a*b*

Para análise de cores, na indústria têxtil, o sistema CIE-L*A*B* é utilizado. O sistema CIE-L*A*B*, é conhecido como um método que estabelece a sensação da cor fundamentada em três fatores: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade, conforme Gonzalez e Camargos (2001). A análise é realizada através de um sistema de coordenadas L*, a* e b*, sendo que a coordenada L* está relacionada à luminosidade, a +/- a* ao eixo vermelho/verde e a +/- b* ao eixo amarelo/azul (SALEM, 2010). Na Figura 4 será apresentado o sistema de coordenadas.

Figura 4 - Sistema de coordenadas CIE-L*a*b*



Fonte: Adaptado de Rosa (2010).

Além da análise de cores, o sistema CIE-L*A*B*, também permite a comparação de cores, portanto, quando há coordenadas de amostra distintas é possível compará-las através da diferença total de cor (Equação 3).

$$\Delta E = (\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

2.5.2 Força colorística

Outra grandeza que pode ser utilizada para análises de cores é a força colorística (K/S), apresentada na equação de Kubelka-Munk, Equação 4. Esta grandeza representa a intensidade da cor, sendo que quanto maior o seu valor, mais intensa é a cor (SILVA, 2004). Onde o K representa o coeficiente de absorção e o S representa o coeficiente de dispersão ou espalhamento.

$$\frac{K}{S} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (4)$$

2.6 BENEFICIAMENTO DE POLIÉSTER

Este tópico traz a discussão sobre o beneficiamento do poliéster pelo processo de beneficiamento primário da fibra de poliéster, apresentando as possíveis sujidades que a fibra pode obter durante o seu processamento e suas respectivas remoções. Em seguida, é abordado o processo de beneficiamento secundário, no qual abordadas as duas formas de tingimento que minimizam problemas de difusão do corante sobre a fibra. E por último, descreve os aspectos relacionados à limpeza redutiva, processo indispensável quando há uso de corantes dispersos

2.6.1 Beneficiamento primário - Preparação

Quando comparada às outras fibras, a fibra de poliéster necessita de procedimentos de preparação relativamente mais simples, visto que as fibras sintéticas possuem menos impurezas (CHOUDHURY, 2006).

Em processos que proporcionam altas tensões sobre as fibras, como o processo de fiação, malharia e tecelagem, as fibras são submetidas à lubrificação, conhecida também como etapa de encimagem. O atrito entre fibra e equipamento, em excesso, pode gerar danos ao equipamento e ao substrato final. Desta maneira, visando à diminuição de atrito, óleos de encimagem e parafinas podem ser aplicados durante os processos que exigem esforço mecânico. Além de óleos e parafinas, outras contaminações podem ser depositadas sobre as fibras durante os diversos processos a que a mesma foi exposta (GOMES, 2019a).

Para a maioria dos substratos, a preparação do banho de limpeza deve conter detergente e carbonato de sódio. Sendo que para substratos leves como, por exemplo fibras e fios, a temperatura deve estar abaixo de 60°C por 20-30 minutos, para os outros substratos a preparação pode ser realizada a temperatura de fervura e, caso, o substrato esteja com sujidades mais pesadas, recomenda-se estender o tempo ou repetir o processo com um novo banho (CHOUDHURY, 2006).

2.6.2 Beneficiamento secundário – Tingimento

Com elevadas regiões cristalinas, cerca de 55%, a fibra de poliéster possui temperatura de transição vítrea (T_g) em torno de 70°C (REITER, 2019; SINCLAIR, 2015). A temperatura

de transição vítrea é considerada como o valor médio da faixa de temperatura que possibilita que as cadeias poliméricas da fase amorfa se movimentem e que novas regiões amorfas sejam geradas (CANEVAROLO JR., 2010). Estes movimentos resultam na abertura de espaços na fibra, nos quais as moléculas de corante podem acessar.

Portanto, devido a este valor de T_g , a difusão do corante na fibra durante o tingimento é extremamente difícil e demorada, a baixas temperaturas. Desta forma, para atingir um bom esgotamento, sistemas de alta temperatura ou *carriers* devem ser utilizados para reduzir as complicações relacionadas à difusão do corante sobre as fibras (SALEM, 2010).

2.6.2.1 Tingimento de poliéster à alta temperatura (HT)

Com o aumento da temperatura as cadeias poliméricas tendem a se movimentar, resultando em regiões não alinhadas, conhecidas também como regiões amorfas. Como mencionado anteriormente, é através das regiões amorfas que o corante se adere e se difunde para dentro das fibras. Portanto, com o aumento da temperatura a taxa de tingimento tende a aumentar (SALEM, 2010).

Além de necessitar de altas temperaturas este método também necessita de equipamento pressurizado (LIMA, 2020; WANG et al., 2016; KOH, 2011). Para iniciar a movimentação das cadeias poliméricas a temperatura de tingimento não deve ser menor do que 70°C e para atingir um esgotamento eficiente a temperatura deve estar entre 128 e 130°C (SALEM, 2010).

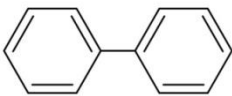
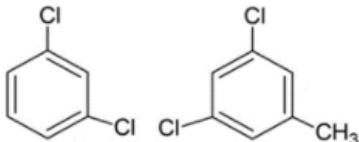
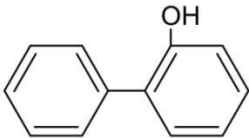
2.6.2.2 Tingimento de poliéster por meio de uso de carriers

Os *carriers*, conhecidos também como agentes transportadores, são utilizados desde 1950 para tingir fibras de poliéster em banhos nos quais a temperatura não pode ser aumentada acima de 100°C (KORUYUCU; BECERIR; ISKENDER, 2005). Com sua capacidade de diminuir a temperatura de transição vítrea, os *carriers* são usados com o objetivo de melhorar a adsorção e acelerar a difusão na fibra em estados de baixa pressão e temperatura (PASQUET et al., 2012). O tingimento com o uso de *carrier*, em certos casos, ocorre quando se tem falta de maquinário adequado para operar perante a pressão, e quando se tem necessidade de tingir misturas de poliéster com fibras que não suportam temperaturas muito elevadas como, por

exemplo, uma mistura de poliéster e lã, no qual a lã não suporta temperaturas acima de 106 °C (SALEM, 2010).

As estruturas dos *carriers* encontrados no mercado (Quadro 3) possuem pelo menos um anel aromático incluindo hidrocarbonetos aromáticos, compostos fenólicos e aromáticos clorados (SALEM, 2010).

Quadro 3 - Exemplos de carriers encontrados no mercado

Nome	Estrutura	Desvantagens
Difenil		Facilmente produz manchas quando aplicado à fervura
Hidrocarbonetos clorados		Muito tóxico e baixa biodegradabilidade
O-fenil fenol ou [1,1'-bifenil]-2-ol		Não promove migração e afeta solidez à luz

Fonte: Adaptado de Salem (2010).

Existem algumas desvantagens nos métodos que aplicam *carriers*, conforme pode ser observado no Quadro 3. Por exemplo, devido à usual difícil remoção dos *carriers* das fibras após o tingimento, o processo no qual eles são empregados requer atenção especial (KODRIC, 2017). Outra desvantagem é que muitos desses compostos são considerados tóxicos, como exemplo alguns compostos fenólicos e os derivados clorados. Sendo assim, esses compostos foram banidos, pois apresentam risco aos consumidores e ao meio ambiente (JALALI, 2018). Além dos problemas toxicológicos, os *carriers* podem encolher o substrato final, quando aplicados a temperaturas acima de 115 °C (VIGO, 1994).

Quanto a seu mecanismo, no tingimento da fibra de poliéster, segundo Vickerstaff (1954) e Honeycutt (1968), há quatro teorias que podem explicar o mecanismo dos *carriers*.

Aumento da solubilidade do corante

A primeira teoria estabelece que, a concentração de corante na superfície da fibra determina a taxa de difusão do corante em uma fibra, portanto, se a concentração no banho de tingimento for baixa, a taxa será lenta. Sendo assim, uma forma pela qual *carriers* podem aumentar a taxa de tingimento seria a partir da formação de complexos com o corante, desta forma, estimulando a solubilidade do corante na fase aquosa. Este aumento de solubilidade aumentaria a taxa de tingimento, pois também aumentaria o gradiente de concentração de corante na superfície da fibra.

Entumescimento da fibra

Esta teoria considera que *carriers* com grupos solúveis em água, como o fenol, possuem moléculas muito pequenas e possuem alguma afinidade pela fibra. Quando corante e *carrier* são adicionados no banho de tingimento, o *carrier* tende a se difundir mais rapidamente na fibra do que o corante, aproximando-se e ligando-se a fibra devido a forças de Van der Waals. A ligação ocorre a partir das partes hidrofóbicas de suas moléculas e, após, a fibra atrai a água devido a seus agrupamentos hidrofílicos. Deste modo, com a interação entre fibra e água mais forte, a fibra incha, abrindo sua estrutura molecular e, como resultado, proporciona a entrada das moléculas do corante.

Plastificação da estrutura da fibra

O mecanismo apresentado na segunda teoria não pode ser aplicado a *carriers* que não possuem grupos hidrofílicos como, por exemplo, difenil ou clorobenzeno. Os compostos apresentados não podem atrair água para a fibra, mas eles possuem a capacidade de encolher a fibra e são capazes de aumentar a taxa de tingimento. Nesta teoria considera-se que os *carriers* funcionam como agentes lubrificantes moleculares, ligando-se às moléculas da fibra e rompendo as ligações cruzadas. Com a diminuição das ligações cruzadas, a plasticidade da fibra seria aumentada devido à separação das cadeias. Consequentemente, a difusão do corante seria aumentada, pois é através dos espaços gerados pela separação das cadeias que o corante acessa o interior da fibra.

Formação de novos locais para absorção

A última teoria considera que *carriers* podem apresentar alta afinidade pelo corante e fibra. O *carrier* irá se difundir na fibra devido ao seu pequeno tamanho molecular e, após, será adsorvido pelas moléculas da fibra e formará novas regiões para a adsorção das moléculas de corante. Com o aumento da quantidade de *carrier* adsorvido pela fibra, a adsorção do corante também aumentaria, mas se o *carrier* estivesse em excesso, o corante iria se distribuir entre o *carrier* dentro da fibra e o da solução aquosa, desta forma, a quantidade de corante adsorvido pela fibra poderia diminuir, novamente.

2.6.3 Limpeza redutiva

Devido aos princípios da termodinâmica, o movimento das moléculas do corante em direção às fibras é consequência do gradiente de concentração entre as duas fases. Sendo que as moléculas de corante se direcionam de uma concentração mais alta para uma concentração mais baixa, mas como os tingimentos são interrompidos antes de atingirem o equilíbrio termodinâmico, algumas moléculas ficam na superfície da fibra (ALEEM, 2013). Estas moléculas que ficam na superfície da fibra podem causar efeitos adversos nas propriedades de solidez e cor dos substratos e, desta maneira, uma lavagem redutiva é comumente introduzida, após o processo de tingimento das fibras de poliéster (ALEEM; CHRISTIE, 2015). Segundo Ahmed et al. (2018), para remoção do corante residual na superfície da fibra, NaOH e Na₂S₂O₄ são comumente utilizados para lavagem redutiva, através da submissão a uma faixa de temperatura de 60-80 °C por 20-30 minutos.

2.7 CARVACROL

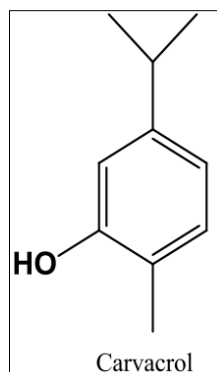
Os óleos essenciais são compostos naturais, produzidos por plantas aromáticas durante o metabolismo secundário e são extraídos através de processos físicos de destilação (FERREIRA, 2014). São lipofílicos, voláteis, com baixo peso molecular, comumente líquidos e odoríferos e, na maioria dos casos, são constituídos por terpenos e seus derivados (MORAIS, 2009). Na verdade, podem apresentar de 20 a 60 componentes, dos quais dois ou três podem apresentar altas concentrações, de 20 a 70%, conforme Toscan (2010).

Suas amplas aplicações nas mais diversas áreas como, por exemplo, na medicina, em alimentos, em cosméticos e na limpeza, permitem que estes compostos sejam alvos de inúmeros estudos.

Conhecidos como compostos majoritários dos óleos essenciais, os terpenóides são hidrocarbonetos naturais e são classificados de acordo com o número de carbonos presentes em suas estruturas. Sendo hemiterpenos (C5), monoterpenos (C10), sesquiterpenos (C15), diterpenos (C20), sesterpenos (C25), triterpenos (C30), tetraterpenos (C40) e politerpenos (> C40) (AMORIM; BORGES, 2020; BROCK; DICKSCHAT, 2013). Os monoterpenos são os terpenóides mais encontrados nos óleos essenciais, estando presente em 90% dos óleos. Caracterizam-se por possuírem duas unidades de isopreno, sendo que podem ser ramificados ou cíclicos (MATOS, 2013).

O carvacrol (2-metil-5-(1-metiletil)fenol) é o monoterpeno fenólico (Figura 5) e componente majoritário dos óleos essenciais da família de plantas das Lamiaceae, na qual estão incluídos o orégano (*Origanum vulgare*), a segurelha (*satureja hortensis*), o tomilho (*Thymus vulgaris*) e outras plantas (ALIPOUR; COCCIMIGLIO; SUNTRES, 2015). Esse composto destaca-se devido a suas propriedades biológicas, sendo frequentemente empregado como anti-inflamatório, antioxidante, antibacteriano, antifúngico e anticarcinogênico (ALMEIDA, 2015).

Figura 5 - Estrutura do carvacrol



Fonte: Adaptado de Oliveira (2014).

O carvacrol possui baixa solubilidade em água, no entanto, é solúvel em solventes orgânicos como éter dietílico, etanol e acetona (SHARIFI-RAD et al., 2018). Com fórmula C₁₀H₁₄O e massa molar de 150,21 g/mol, possui odor aromático semelhante ao do orégano, se

apresenta como um composto líquido de coloração amarela com densidade de 0,975 g/mL, ponto de fusão 2°C e ponto de ebulição entre 234 - 236°C (SILVA, 2018; NEVES, 2009).

Como diversos componentes de óleos essenciais, o carvacrol também é classificado como seguro para consumo. Foi aprovado pela Administração de Alimentos e Medicamentos dos Estados Unidos da América (FDA- *Food and Drug Administration*) para o uso em alimentos, como composto seguro no que diz respeito a sua toxicidade (FDA, 2020).

2.8 LEVANTAMENTO DO ESTADO DA ARTE

Com a responsabilidade ambiental que o setor têxtil possui, há diversos estudos que buscam soluções através da substituição de compostos/processos que podem gerar impactos ambientais. Em relação ao tingimento de poliéster, na literatura, pesquisas vêm sendo realizadas para propor a diminuição da temperatura de tingimento, bem como a substituição de compostos tóxicos por compostos seguros. Nesse sentido, há um crescente interesse pelo uso de compostos naturais, não tóxicos, que permitam o tingimento da fibra de poliéster em estados de baixa temperatura e pressão. No Quadro 4 podem ser observado alguns exemplos de estudos relacionados a busca por novos métodos de tingimento do poliéster.

Quadro 4 - Estudos com diferentes alternativas ao carrier convencional

Autor	Obras	Relação com a pesquisa
Pasquet et al. (2012).	<i>Vanillin, a potential carrier for low temperature dyeing of polyester fabrics</i>	Uso de para-vanilina e orto-vanilina, compostos da baunilha, no tingimento de poliéster.
Montazer et al. (2013).	<i>Free carrier dyeing of polyester fabric using nano TiO₂</i>	Uso de nanopartículas de TiO ₂ no tingimento de poliéster.
Najafzadeg et al. 2018.	<i>Dyeing of Polyester with Reactive Dyestuffs Using Nano-Chitosan</i>	Uso de nanopartículas de quitosana no tingimento de poliéster.

Lima, C.N et al. (2021)	<i>Optimization of the polyester fabric dyeing process using coumarin as a green carrier</i>	Uso de cumarina como carrier em tingimento de poliéster.
-------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------

Fonte: Autora (2021).

Com o intuito de corroborar com as pesquisas por novos métodos de tingimento do poliéster em temperatura e pressão, aplicando aditivos não tóxicos e ambientalmente corretos, o composto natural denominado carvacrol foi selecionado como aditivo de estudo. O carvacrol foi selecionado, não somente pela sua origem natural, mas também pelas suas características estruturais. Como apresentado, no Quadro 3, os *carriers* são conhecidos por terem pelo menos um anel aromático em sua estrutura, podendo ser hidrocarbonetos aromáticos, éteres, fenólicos e aromáticos clorados (KODRIC, 2017). O carvacrol é um composto fenólico, semelhante aos *carriers* já empregados, o presente trabalho, analisou-se sua performance com o objetivo de determinar um *carrier* alternativo para o processo de tingimento de poliéster. Vale destacar que não foram encontrados trabalhos que utilizaram o carvacrol com o objetivo de aumentar a adsorção e a difusão de corante em fibras têxteis. Por meio de pesquisas, foi possível verificar que o carvacrol é explorado no setor têxtil somente por causa das suas propriedades biológicas (SMET *et al.*, 2015), portanto, é comumente empregado em processos de acabamento.

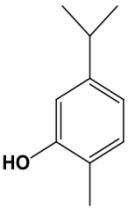
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Para a realização dos experimentos apresentados no presente trabalho, foram utilizados os materiais exibidos no Quadro 5.

Quadro 5 - Materiais utilizados

Material	Descrição	Fornecedor
Substrato Malha 100% poliéster	Gramatura: 367 g/m ² Estrutura: Piquet Favo	Não informado
Escarlate ColorPes E-2GFL 220%	C.I.: Disperse Red 50. Estrutura Molecular:  <chem>CCN(CC)Nc1ccc(Nc2cc(Cl)cc([N+](=O)[O-])c2)cc1</chem> Fonte: World dye variety (2012). Utilizado para conferir cor ao substrato.	Color Brasil
WK DISPERGEN LCA 3930	Dispersante não-iônico empregado para garantir a distribuição uniforme no banho.	Werken
Ácido Acético	Fórmula Química: CH ₃ COOH Empregado para ajustar o pH do banho.	Não informado
Carbonato de Sódio	Fórmula Química: Na ₂ CO ₃ Empregado para lavar o substrato.	Não informado
CROMOGEN EDI	Empregado para lavar o substrato.	Cromoquim

Carvacrol	<p>Estrutura Molecular:</p>  <p>Empregado para permitir a dissolução do corante na superfície da fibra.</p>	Sigma-Aldrich
Espectrofotômetro UV-Vis	<p>Modelo: UV-M5.</p> <p>Empregado para determinar concentrações dos banhos de tingimento.</p>	BEL Photonics,
Máquina de canecos	<p>Modelo: TC 2200.</p> <p>Empregado nos testes que exigem agitação e aquecimento.</p>	TexControl
Espectrofotômetro de reflectância	<p>Modelo: 500 series.</p> <p>Empregado para avaliação colorimétrica.</p>	Datacolor 500

Fonte: Autora (2021).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Preparação do substrato para tingimento

O processo de preparação foi realizado em máquina de tingir I.R. de canecos, marca Texcontrol, disponível no Laboratório de Beneficiamento (LABENE) da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação (CTE).

A preparação do substrato, com o uso de detergente não-iônico Cromogen Edi e carbonato de sódio foi realizada com relação de banho (R:B) 1:20 e com amostras de 1,0 g.

A formulação desenvolvida a partir de dados empíricos obtidos por meio de experimentos preliminares pode ser visualizada na Tabela 2.

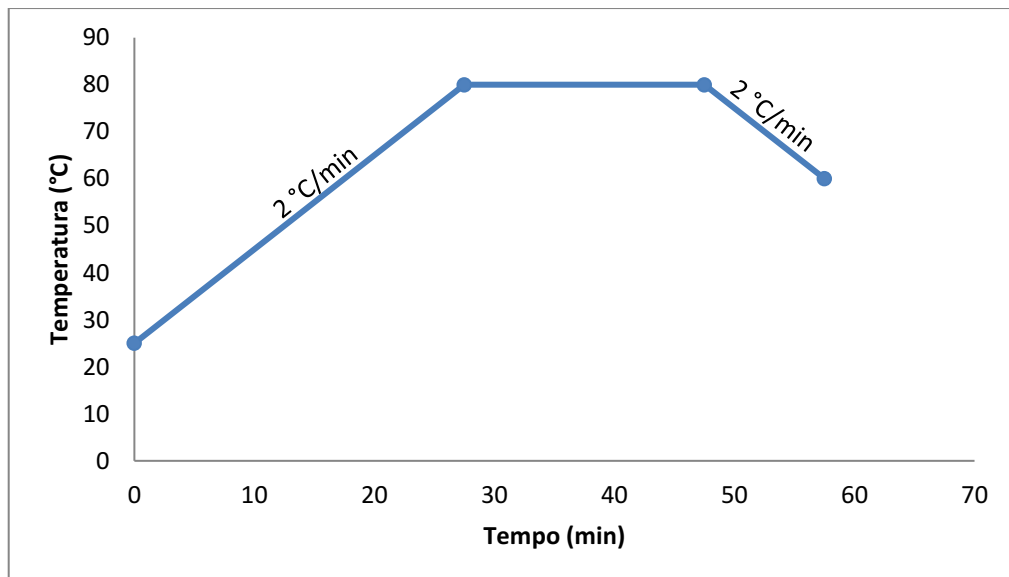
Tabela 2 - Formulação da preparação das amostras para o processo de tingimento

Descrição	Concentração
Detergente não-iônico	2 g/L
Carbonato de Sódio	2 g/L

Fonte: Autora (2021).

O processo iniciou-se a temperatura ambiente, aproximadamente 25 °C, e foi aquecido em um gradiente de 2 °C/min, até atingir uma temperatura uniforme de 80 °C, permanecendo nesta temperatura por mais 20 minutos. Após este patamar, a temperatura foi ajustada até 60 °C, em um gradiente de 2 °C/min. Quando finalizado o processo de preparação, o banho foi neutralizado com ácido acético, as amostras foram retiradas, lavadas com água corrente e secas em estufa a 60 °C até peso constante. O processo pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 - Processo de preparação das amostras



Fonte: Autora (2021).

3.2.2 Determinação das condições ideais de tingimento.

Após a preparação das amostras, a fim de determinar condições ideais para o processo de tingimento e escolher aquela que apresenta melhores resultados em termos de rendimento

de tingimento, as variáveis temperatura de processo e concentração de carvacrol foram analisadas.

A primeira etapa para determinação das condições ideais de tingimento consistiu em variar a concentração de carvacrol. O processo de tingimento foi realizado com as seguintes concentrações de carvacrol: 0%, 1 %, 2 %, 3 % e 4 % sobre o peso do material (s.p.m.).

Após a determinação da concentração de carvacrol, o processo de tingimento foi realizado com as seguintes temperaturas: 80 °C e 90 °C.

3.2.3 Tingimento do substrato

O processo de tingimento foi realizado em máquina de tingir em canecos e foi desenvolvido em três etapas. A primeira etapa consistiu na determinação da amostra padrão, denominada também como tingimento convencional, sem o uso de carvacrol e realizada em temperatura de 130 °C. Na segunda etapa ocorreu a determinação da concentração de carvacrol, com a variação da concentração de carvacrol e com temperatura fixa de tingimento de 100 °C. Na última etapa, a temperatura de tingimento foi determinada utilizando a concentração de carvacrol determinada na etapa anterior e com a variação da temperatura. A formulação de cada processo pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 - Formulação dos processos de tingimento

Etapa 1 – Determinação da Amostra Padrão				
Processo	Corante	Dispersante	Carvacrol	Temperatura
A	3% s.p.m.	2 g/L	0%	130°C
Etapa 2 – Determinação da Concentração de Carvacrol				
Processo	Corante	Dispersante	Carvacrol	Temperatura
B	3% s.p.m.	2 g/L	0%	100°C
C			1%	
D			2%	
E			3%	
F			4%	
Etapa 3 – Determinação da Temperatura de Tingimento				
Processo	Corante	Dispersante	Carvacrol	Temperatura
G	3% s.p.m.	2 g/L	0%	80°C
H			4%	80°C
I			0%	90°C
J			4%	90°C

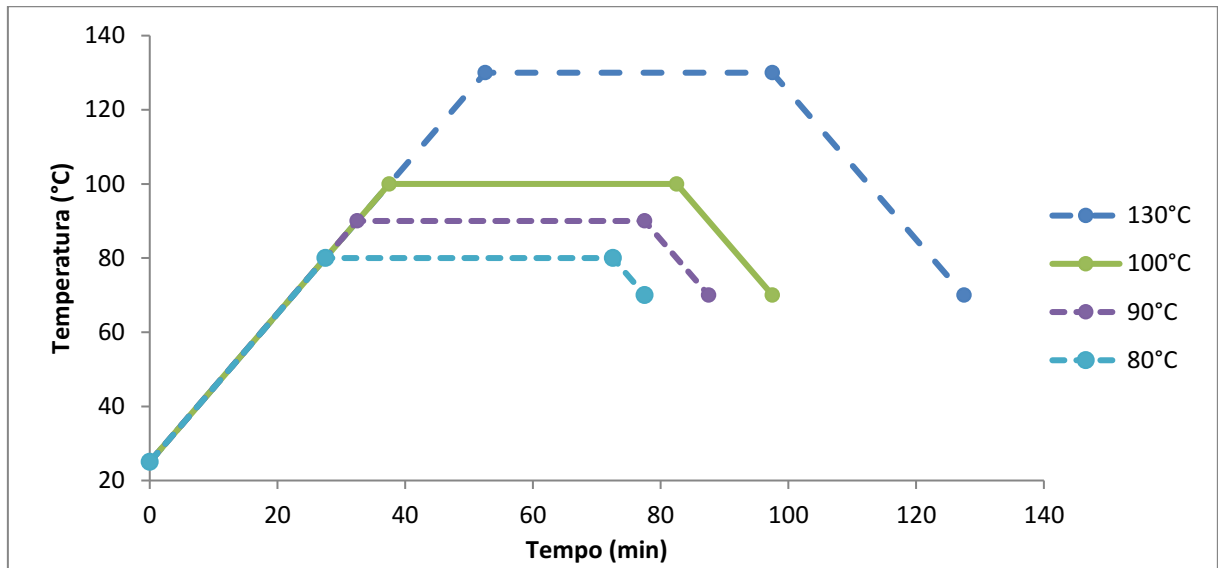
Fonte: Autora (2021).

Os processos de tingimento foram realizados em triplicata, em amostras de 1,0 g de meia malha de poliéster, preparadas conforme item 3.2.1. Os processos, descritos na Tabela 3, foram realizados em máquina de tingir em canecos, com relação de banho de 1:20 (g/mL).

Para a solução do corante Escarlata ColorPes E-2GFL 220% e do dispersante, foram preparadas soluções mãe de concentração 1:100 (g/mL). Cada processo foi utilizado a formulação de 3 % (s.p.m.) de corante e 2 g/L de dispersante.

Os processos iniciaram-se a temperatura ambiente, aproximadamente 25 °C e foram aquecidos a uma taxa de 2 °C/min, até atingirem sua respectiva temperatura de tingimento e continuaram nesta temperatura por 45 minutos. Após, os banhos foram resfriados a uma taxa de 2 °C/min até atingirem 70 °C. Quando finalizados, os banhos foram descartados, as amostras foram retiradas e submetidas ao processo de lavagem. Os processos podem ser visualizados na Figura 7.

Figura 7 - Processo de tingimento



Fonte: Autora (2021).

3.2.4 Lavagem

Após o tingimento, as amostras foram sujeitas a três processos de lavagem com o objetivo de retirar o excesso de corante depositado na superfície da fibra. Os processos podem ser visualizados no Quadro 6.

Quadro 6 - Processo de Lavagem

Lavagem	Processo	Tempo
A	Lavagem a frio	1 minuto
B	Lavagem a 70 °C	1 minuto
C	Lavagem a frio	1 minuto

Fonte: Autora (2021).

O processo foi realizado em béqueres em relação de banho (R:B) de 1:20 e com o auxílio de uma pinça agitou-se cada amostra por 1 minuto.

3.3 ANÁLISES

Após a lavagem, com a finalidade de determinar as condições ideais de tingimento, foram realizadas as análises de avaliação residual do corante no banho de tingimento e avaliação

colorimétrica. Com a determinação das condições ideais de tingimento, realizou-se as análises de cinética de tingimento, isotermas de adsorção, solidez da cor à lavagem, solidez da cor a fricção à seco, solidez da cor à luz, microscopia eletrônica de varredura e microscopia no infravermelho com transformada de Fourier.

3.3.1 Curva de calibração

Com o objetivo de determinar a concentração de corante na fibra e no banho de tingimento, uma curva de calibração foi construída. Após a determinação do comprimento de onda do corante ColorPes E-2GFL 220%, a construção da curva de calibração iniciou-se com a diluição do corante em diferentes concentrações e sua absorbância foi verificada através do espectrofotômetro UV-Vis, disponível no Laboratório de Beneficiamento (LABENE). A análise foi realizada com as seguintes concentrações: 10 mg/L, 25 mg/L, 50 mg/L e 100 mg/L. A partir desta análise foi possível encontrar a relação entre absorbância e concentração de corante na fibra.

3.3.2 Avaliação residual do corante no banho de tingimento

Para esta análise, alíquotas foram coletadas antes e depois do processo de tingimento e do processo de lavagem reductiva. Com a equação de relação entre absorbância e concentração de corante na fibra (Equação 5), foi possível determinar quanto ficou de corante no banho e quanto de corante a fibra absorveu.

Equação de relação entre absorbância (x) e concentração (y) de corante na fibra:

$$y = 97,176 \cdot x - 0,7102 \quad (5)$$

3.3.3 Avaliação colorimétrica

Com objetivo de avaliar a cor do substrato após o processo de tingimento utilizou-se o espectrofotômetro de reflectância, disponibilizado no Laboratório Integrado Têxtil (LINTEX)

da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e educação (CTE).

Valores foram obtidos a partir das coordenadas do sistema CIE-L*A*B* e com estes foi possível realizar a comparação entre as amostras, sendo que as amostras submetidas ao processo “A” foram consideradas como amostras padrão. Como valores obtidos nesta análise têm-se a coordenada L* que está relacionada à luminosidade, a* ao eixo vermelho/verde, b* ao eixo amarelo/azul e a grandeza ΔE que associa a diferença entre as coordenadas. E com o objetivo de avaliar a intensidade da cor, a força colorística (K/S) de cada amostra também foi encontrada, sendo que quanto maior o seu valor, mais intensa é a sua cor.

Como amostra padrão, para esta análise, considerou-se a amostra obtida por meio da Etapa 1 do processo de tingimento, que pode ser visualizada na Tabela 3.

3.3.4 Determinação da cinética de tingimento

Para compreender a velocidade de deslocamento do corante para a fibra, foi realizada uma série de tingimentos com retiradas de alíquotas dos banhos em tempos pré-determinados, durante o processo de tingimento. O processo foi realizado em máquina de tingir de canecos com amostras em duplicata.

As alíquotas foram coletadas do banho de tingimento nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, e ao final do processo. A concentração de corante em cada banho residual foi determinada através da leitura da absorvância em espectrofotômetro UV-Vis da marca BEL Photonics, modelo UV-M51.

Após a leitura, um gráfico da relação entre o tempo e a concentração de corante no banho foi construído com o objetivo de analisar o comportamento da fase cinética. Para análise da natureza de adsorção, os dados foram ajustados sobre os modelos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem (equação 6 e 7), sendo que um melhor ajuste sobre o modelo de pseudo-primeira ordem indica que a natureza de adsorção é física e sobre o modelo de pseudo-segunda ordem aponta para uma natureza química (MAXWELL, 2022).

Pseudo-primeira ordem:

$$\log(q_e - q_t) = \log \cdot q_e - k_{1t}/2,303 \quad (6)$$

Pseudo-segunda ordem:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} \cdot t \quad (7)$$

3.3.5 Determinação das isothermas de adsorção

Para a construção das isothermas de adsorção uma série de tingimentos foi realizada, com concentrações de corante de 1, 2, 3 e 4% s.p.m. A construção da curva é baseada na concentração inicial e final de corante no banho, desta forma, para identificação das isothermas foram retiradas alíquotas de cada banho antes e depois do processo de tingimento. As alíquotas foram analisadas com o auxílio do espectrofotômetro UV-Vis da marca BEL Photonics, modelo UV-M51. Quando concluído, as amostras foram lavadas com água corrente e secas em estufa a 60°C até peso constante.

Com a obtenção dos valores da concentração inicial e final de corante nos processos de tingimento, foram calculados os valores da concentração de corante no banho (C_e) e da concentração de corante na fibra (q_e), conforme a equação de Nernst representada na Equação 8 (TRACTZ, 2018).

$$q_e = K \cdot C_e \quad (6)$$

3.3.6 Solidez à lavagem

Para realização do teste de solidez à lavagem utilizou-se a metodologia apresentada na norma ABNT NBR ISO 105: Ensaios de Solidez à cor – Parte C06:2010: Solidez da cor à lavagem doméstica e comercial. Inicialmente as amostras foram costuradas entre dois tecidos, um sendo de composição 100% algodão e o outro de composição 100% poliéster, com a mesma dimensão. Após, as amostras foram inseridas na máquina de tingimento em canecos e foram lavadas com detergente líquido, marca Assim, em concentração de 4 g/L, a uma temperatura de 40 °C por 30 minutos. Em seguida, as amostras foram analisadas a partir da metodologia de escala de cinza e foram classificadas em relação à transferência e alteração por meio de notas, variando de 1 a 5 (1 representa elevada alteração da tonalidade e 5 nenhuma alteração).

3.3.7 Solidez à fricção

Para realização do teste de solidez à fricção utilizou-se a metodologia apresentada na norma ABNT NBR ISO 105: Ensaios de solidez à cor – Parte X12:2019: Solidez da cor à fricção. Com o auxílio do equipamento disponibilizado pelo laboratório da empresa KARSTEN, em Blumenau, as amostras foram testadas, utilizando-se tecido 100% algodão como tecido testemunha. Neste teste, optou-se por utilizar somente tecido testemunha seco, portanto, fixou-se amostra e tecido testemunha conforme a norma e após 10 ciclos de abrasão, com velocidade de um ciclo por segundo, as amostras foram retiradas e a transferência de cor foi analisada a partir da metodologia de escala de cinza. Sendo que esta consiste na classificação em notas, na qual variam de 1 a 5, onde 1 representa elevada alteração da tonalidade e 5 nenhuma alteração.

3.3.8 Solidez à luz

Para realização do teste de solidez à luz utilizou-se a metodologia apresentada na norma ABNT NBR ISO 105: Ensaios de Solidez à cor – Parte B02:2019: Solidez da cor à luz artificial: Ensaio da lâmpada de desbotamento de arco de xenônio. Os testes foram realizados pelo laboratório da empresa KARSTEN, em Blumenau. As amostras foram expostas à lâmpada de arco de xenônio por 24 horas, e analisadas quanto ao desbotamento em escala de azul. Para esta análise, é realizada uma classificação em notas que variam de 1 a 8 (1 representa elevada alteração da tonalidade e 8 nenhuma alteração).

3.3.9 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Com o objetivo de obter a microfotografia da estrutura física das amostras utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura, disponibilizado pelo Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Florianópolis. A formulação de cada amostra analisada pode ser visualizada na Tabela 4.

Tabela 4 - Formulação dos processos de tingimento para análise de MEV e FTIR

Processo	Corante	Dispersante	Carvacrol	Temperatura
F	3% s.p.m.	2 g/L	4%	100 °C
L	0% s.p.m.	2 g/L	4%	100 °C
M	0% s.p.m.	0 g/L	4%	100 °C
P	0% s.p.m.	0 g/L	0%	100 °C

Fonte: Autora (2022).

3.3.10 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Para identificação dos grupos funcionais orgânicos presentes nas amostras utilizou-se o espectrofotômetro de Infravermelho localizado no Laboratório de Análises Térmicas e Espectroscopia (LTE) da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação (CTE).

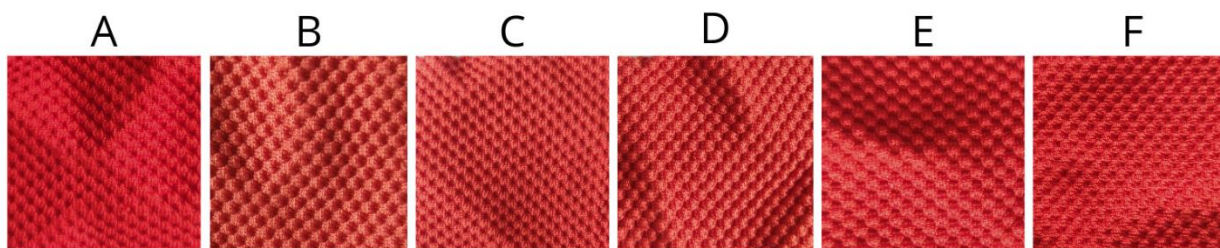
As análises foram realizadas utilizando espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier por reflexão total atenuada (ATRFTIR), com comprimentos de onda entre 4000 e 450 cm^{-1} . Os ensaios foram realizados em um equipamento PerkinElmer Frontier, utilizando 16 varreduras em uma resolução de 4 cm^{-1} . A formulação de cada amostra analisada pode ser visualizada na Tabela 4.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CARVACROL

A primeira etapa dos estudos se dedicou a definir a concentração ótima de carvacrol no meio. Foi realizado o processo de tingimento da amostra com método convencional, sem a presença de carvacrol (Figura 8, amostra A) e, esse resultado foi comparado aos resultados obtidos com diferentes concentrações de carvacrol no meio (0 a 4%, Figura 8, amostras B - F). Os resultados visíveis do tingimento do tecido podem ser observados na Figura 8.

Figura 8 – Imagens das amostras A-F tingidas¹



Fonte: Autora (2022).

¹Os experimentos de tingimento continham (A) temperatura de tingimento de 130 °C e 0% de carvacrol; (B) temperatura de tingimento de 100 °C e 0% de carvacrol; (C) temperatura de tingimento de 100 °C e 1% de carvacrol; (D) temperatura de tingimento de 100 °C e 2% de carvacrol; (E) temperatura de tingimento de 100 °C e 3% de carvacrol; (F) temperatura de tingimento de 100 °C e 4% de carvacrol.

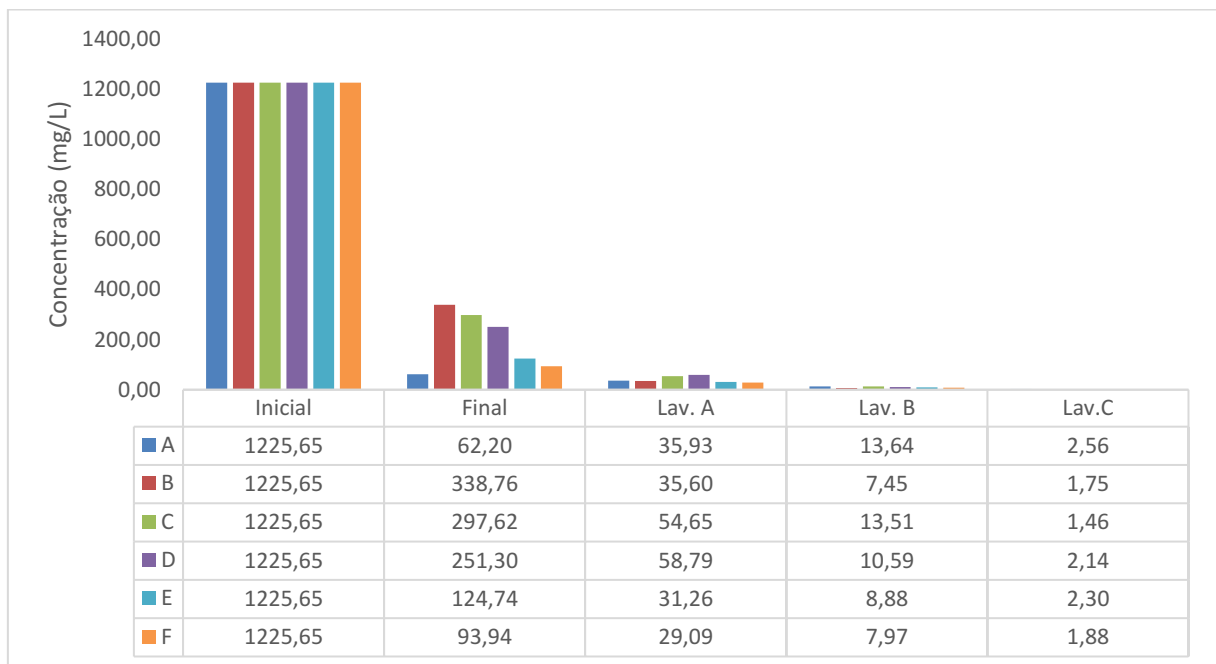
A partir da Figura 8 percebe-se que a amostra que apresentou um melhor rendimento tintorial foi aquela submetida ao processo padrão (amostra A). Dentre as amostras submetidas ao processo realizado na presença de carvacrol, é perceptível que a amostra F (4% de carvacrol) apresentou um melhor rendimento tintorial quando comparada às outras. Desta maneira, se apenas esta análise dos resultados fosse considerada, a concentração de 4% de carvacrol seria selecionada para a próxima etapa.

4.1.1 Avaliação residual do corante no banho de tingimento

Para determinar a concentração de carvacrol com base em dados quantitativos, uma avaliação de corante residual do banho foi realizada para cada processo. Esta avaliação ocorreu

com a coleta de alíquotas do banho antes e após o tingimento, e após as três lavagens. Com a curva de calibração previamente construída (APÊNDICE A) encontrou-se a concentração de corante residual, em mg/L, de cada processo. Na Figura 9 podem ser observados os dados obtidos na avaliação residual de corante de cada processo.

Figura 9 - Avaliação do corante residual para determinação da concentração de carvacrol

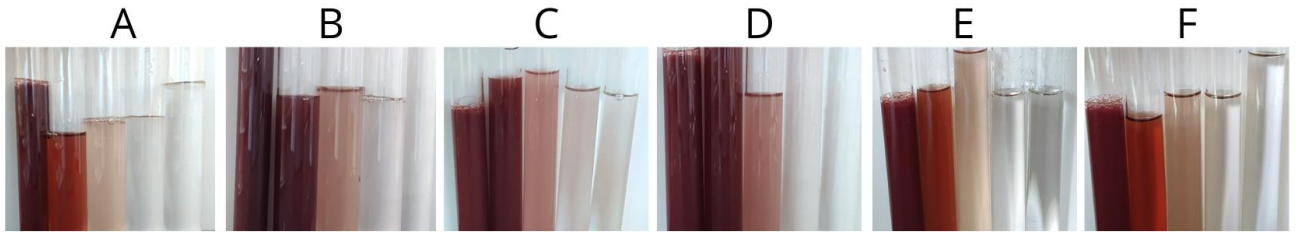


Fonte: Autora (2022).

Avaliando as concentrações obtidas para cada processo, é possível observar que o experimento utilizando o processo padrão (experimento A) foi aquele que resultou em uma menor concentração de corante residual no banho final (9,30% ou 114,05 mg/L).

Na Figura 10 é possível avaliar que a amostra submetida ao processo A apresenta uma menor turbidez após o tingimento e as lavagens, assim confirmando os valores obtidos e indicando um maior esgotamento.

Figura 10 - Corante residual nos experimentos A-F



Fonte: Autora (2022).

Para as amostras derivadas dos experimentos contendo carvacrol no meio, E e F, observa-se uma menor turbidez quando comparada as outras amostras submetidas a processo similar, inclusive a amostra B (0% de carvacrol). Desta forma, indicando que o uso de carvacrol forneceu um efeito positivo ao tingimento de poliéster com corante disperso. A amostra derivada do experimento F apresentou 10,75% de corante residual e a E apresentou 11,73%.

Sendo assim a amostra derivada do procedimento que continha 4% de carvacrol foi a amostra que mais se aproximou da amostra padrão. Quando comparada com a amostra que continha 0% de carvacrol (amostra B, 100 °C) é possível avaliar que o uso de carvacrol contribuiu com o aumento de 21,35% do rendimento tintorial.

Quando é realizada uma correlação dos parâmetros de concentração de carvacrol com os rendimentos tintoriais, é possível constatar que os dois parâmetros possuem uma relação linear positiva, pois quanto maior é a concentração de carvacrol maior é o rendimento, para o intervalo de concentração de 0-4% de carvacrol.

4.1.2 Avaliação colorimétrica

Para verificar as propriedades relacionadas a tonalidade de cada amostra o espectrofotômetro de refletância foi utilizado com o intuito de fornecer as coordenadas L^* , a^* , b^* , ΔE e K/S . Como pré-determinado, a amostra A foi utilizada como amostra padrão para meios de comparação. Os resultados obtidos com as análises podem ser verificados a seguir na Tabela 5 e nas Figura 11 e Figura 12.

Tabela 5 - Coordenadas colorimétricas das amostras tingidas e submetidas aos experimentos A-F

Processo	L*	a*	b*	ΔE
A	38,04	49,52	32,00	-
B	13,80	-10,32	-10,09	19,97
C	10,84	-7,46	-7,93	15,36
D	8,98	-6,58	-7,30	13,31
E	6,30	-3,74	-4,74	8,73
F	5,55	-3,17	-4,00	7,54

Fonte: Autora (2022).

Através dos resultados obtidos e demonstrados na Tabela 5, foi possível observar que a amostra submetida ao processo padrão (Amostra A) apresentou as coordenadas "a*" e "b*" positivas, desta forma, indicando que esta se aproxima mais das cores vermelho e amarelo. Os resultados obtidos para as amostras com diferentes concentrações de carvacrol no meio (0 a 4%) apresentaram que as coordenadas "a*" e "b*" foram negativas, assim indicando que estas se aproximaram mais das cores verde e azul.

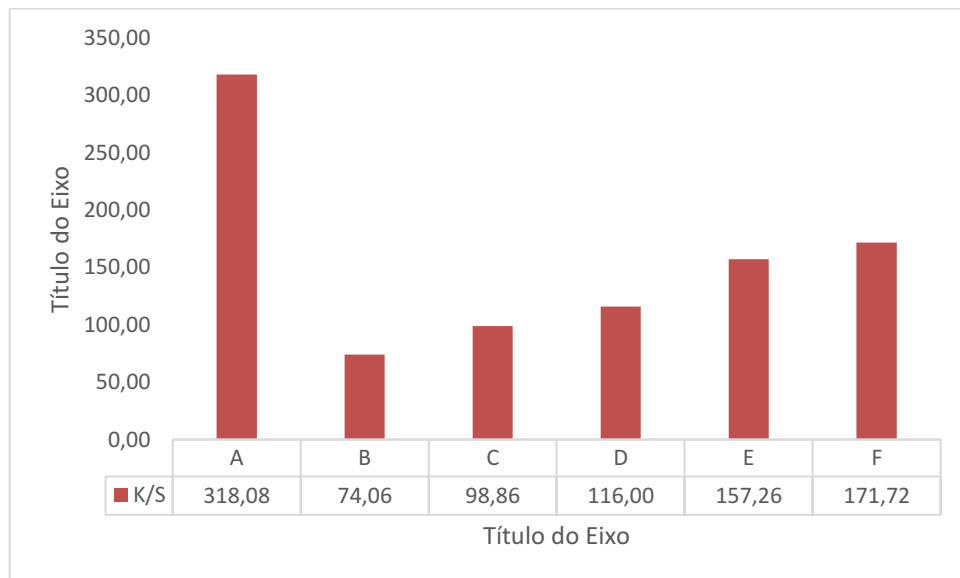
Em relação a coordenada "L" percebe-se que a amostra A possui o maior valor, e dentre as amostras com diferentes concentrações de carvacrol no meio, é perceptível que o valor da coordenada decresceu com o aumento da concentração de carvacrol. Neste sentido a amostra F (4% de carvacrol) possui o valor da coordenada "L" mais distante da amostra padrão. Entretanto, quando comparado as coordenadas "a*" e "b*" é possível avaliar que a amostra F é a amostra que mais se aproximou da amostra padrão.

Em referência ao ΔE , a amostra que continha 4% apresentou o menor valor de ΔE (7,54), assim indicando que é a amostra que mais se aproximou da cor padrão. Em todos os casos o ΔE apresentou-se maior que 1, desta maneira, indicando que as coordenadas excederam os limites. Esse resultado apresenta que as amostras submetidas aos processos que ocorreram com temperatura de tingimento de 100 °C e com variação na concentração de carvacrol divergem da amostra submetida ao processo padrão (130°C, 0% de carvacrol). Devido à forte influência da temperatura no tingimento do poliéster com corante disperso este resultado era esperado pois, com o aumento da temperatura as cadeias poliméricas do poliéster movimentam-se e como consequência geram mais espaços para o corante ser adsorvido na fibra. Entretanto,

caso este trabalho fosse focado apenas na análise de cor as amostras B-F seriam reprovadas, portanto novas condições deveriam ser consideradas, mas vale ressaltar que como o trabalho visa a diminuição da temperatura de tingimento outras variáveis, além desta, devem ser estudadas e analisadas para que o valor de ΔE diminua.

A partir da Figura 11 percebe-se que a amostra que apresentou a cor mais intensa foi aquela submetida ao processo padrão (amostra A). Similarmente aos resultados apresentados no item 4.1.1, é possível avaliar que dentre amostras submetidas ao processo realizado na presença de carvacrol a cor apresentou-se mais intensa com o aumento da concentração de carvacrol. Desta maneira, a amostra que continha 4% de carvacrol (Amostra F) apontou o maior valor de K/S (171,72).

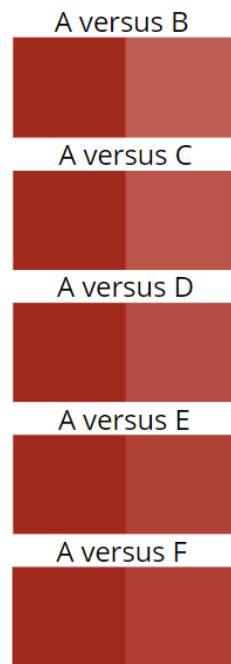
Figura 11 – Valores de K/S das amostras A-F tingidas



Fonte: Autora (2022).

Com o auxílio do espectrofotômetro de reflectância as amostras foram medidas utilizando como base a amostra submetida ao processo padrão (amostra A). Os resultados visíveis da alteração de cor podem ser visualizados na Figura 12.

Figura 12 - Comparativo entre amostra padrão e amostras B-F



Fonte: Autora (2022).

Portanto, como determinante desta avaliação colorimétrica o ΔE foi essencial para verificar a diferença de cor. E a intensidade de vermelho e amarelo também foram aspectos essenciais para determinação da concentração de carvacrol, sendo que o corante apresenta cor avermelhada. Desta forma, como apresentado anteriormente, a amostra que continha 4% foi a que mais se aproximou da amostra padrão.

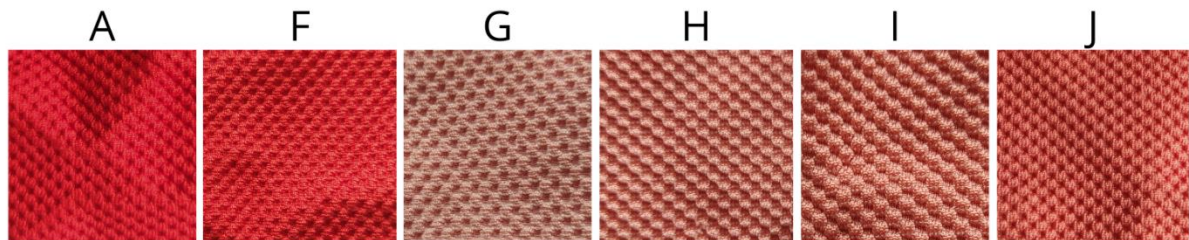
Com a etapa de determinação da concentração ótima finalizada prosseguiu-se para próxima etapa que consiste na determinação de temperatura de tingimento.

4.2 DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DE TINGIMENTO

A segunda etapa dos estudos se dedicou a definir a temperatura de tingimento ótima. Foi realizado o processo de tingimento da amostra com método convencional, sem a presença de carvacrol (Figura 13, amostra A) e, esse resultado foi comparado aos resultados obtidos com os processos na presença de 4% de carvacrol em diferentes temperaturas de tingimento (80 e 90°C, Figura 13, amostras H e J). Além da amostra padrão, as amostras G-J também foram comparadas à amostra F (100 °C, Figura 13, 4% de carvacrol) para que, assim, a temperatura de 100 °C também seja uma opção para esta etapa.

Com o objetivo de obter uma melhor avaliação do efeito do carvacrol no tingimento, também foram realizados tingimentos a 80 °C e 90 °C com 0% de carvacrol (Figura 13, amostras G e I). Os resultados visíveis do tingimento do tecido podem ser observados na Figura 13.

Figura 13 – Imagens das amostras A, F e G-J tingidas²



Fonte: Autora (2022).

²Os experimentos de tingimento continham (A) temperatura de tingimento de 130 °C e 0% de carvacrol; (F) temperatura de tingimento de 100 °C e 4% de carvacrol; (G) temperatura de tingimento de 80 °C e 0% de carvacrol; (H) temperatura de tingimento de 80 °C e 4% de carvacrol; (I) temperatura de tingimento de 90 °C e 0% de carvacrol; (J) temperatura de tingimento de 90 °C e 4% de carvacrol.

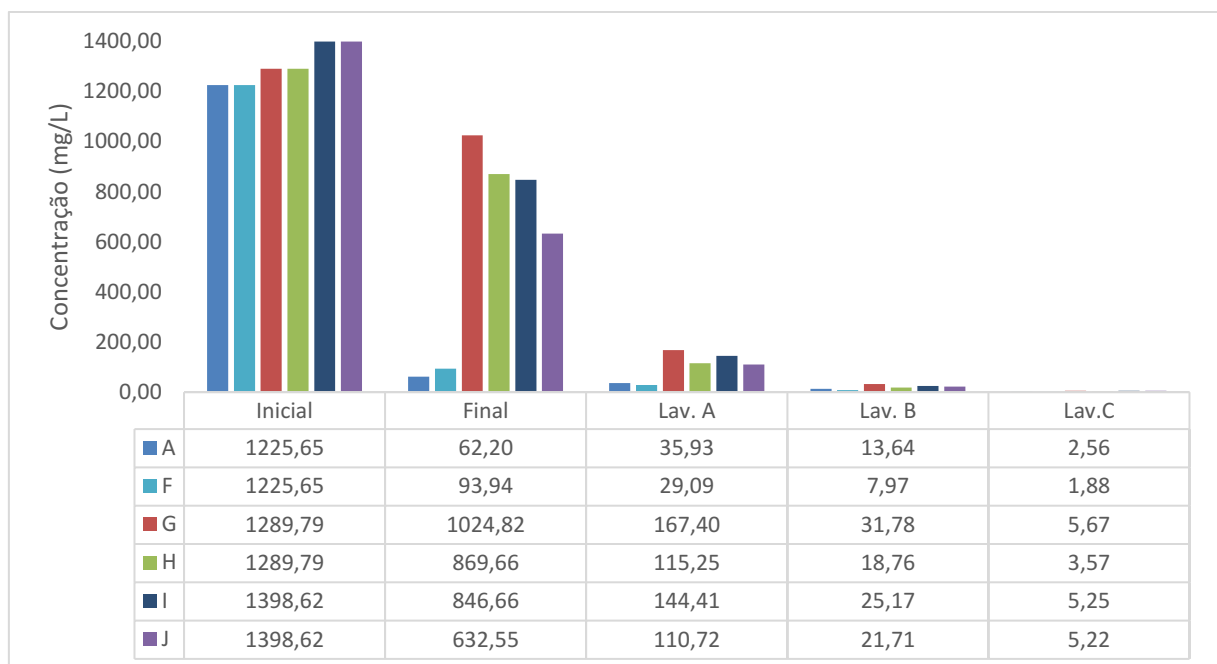
Como na etapa anterior, a amostra que foi submetida a temperatura mais elevada apresentou uma cor mais intensa. Consequentemente, a amostra padrão ainda apresentou a cor mais intensa do que as outras. Dentre as amostras submetidas ao processo realizado na presença de carvacrol, é perceptível que a amostra F (4% de carvacrol) apresentou um melhor rendimento tintorial quando comparada às outras. Vale evidenciar que a amostra F foi submetida a temperatura de tingimento de 100 °C enquanto as outras foram submetidas a faixa de 80-90°C, desta forma, destacando a influência da temperatura sobre o rendimento tintorial do tingimento do poliéster.

A influência do carvacrol também é perceptível nesta etapa, pois a amostra H (80 °C, 0% de carvacrol) apresentou uma cor menos intensa do que a amostra G (80 °C, 4% de carvacrol), sendo que as duas foram tingidas em temperatura de 80 °C. Para as amostras I (90 °C, 0% de carvacrol) e J (90 °C, 4% de carvacrol), obteve-se o mesmo comportamento, mais uma vez sustentando o efeito positivo do carvacrol no tingimento do poliéster com corante disperso.

4.2.1 Avaliação residual do corante no banho de tingimento

Conforme os resultados obtidos com a avaliação de corante residual (Figura 14), a amostra padrão continuou em destaque no requisito rendimento tintorial (9,30% ou 114,05 mg/L). E dentre as amostras submetidas ao processo realizado na presença de carvacrol, a amostra F apresentou a menor concentração de corante residual (10,75% ou 132,87 mg/L).

Figura 14 - Avaliação do corante residual para determinação da temperatura de tingimento



Fonte: Autora (2022).

O tingimento em temperatura de 80 °C apresentou 97,03% de corante residual para amostra que continha 0% de carvacrol (amostra G) e 79,07% para amostra que continha 4% de carvacrol (amostra H), indicando que o carvacrol atuou no tingimento proporcionando um aumento de 17,96% no rendimento tintorial.

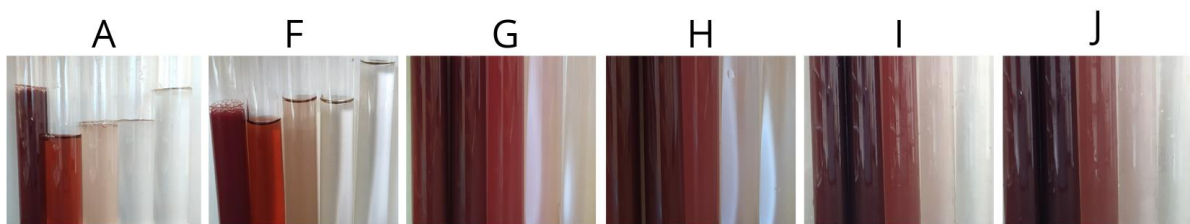
Em relação ao tingimento com temperatura de 90 °C, a amostra que continha 0% de carvacrol (amostra I) apresentou 74,14% de corante residual e a amostra que continha 4% de carvacrol apresentou 56,52% de corante residual, indicando que o uso de carvacrol contribuiu com um aumento de 17,62% no rendimento tintorial.

Com a análise acima, observou-se que utilizando uma concentração de 4% de carvacrol no tingimento de poliéster com corante disperso, a uma faixa de temperatura de 80 – 100 °C, o rendimento tintorial pode aumentar em até 18,97%.

Quando é realizada uma correlação dos parâmetros de concentração de carvacrol com temperatura, é possível constatar que a temperatura ainda é um parâmetro predominante no tingimento do poliéster com corante disperso. Como exemplo, a amostra J (90 °C e 4%) apresentou 56,52% de corante residual e a amostra B (100 °C e 0%) apresentou 32,10%. Desta forma, sabendo que a temperatura de transição vítrea do poliéster é em torno de 70 °C (REITER, 2019; SINCLAIR, 2015), entende-se que o tingimento na temperatura de 90 °C não possibilitou movimentos significativos das cadeias poliméricas, devido à proximidade da temperatura de tingimento a temperatura de transição vítrea. Entretanto, para temperatura de 100° C entende-se que as cadeias poliméricas tendem a se movimentar com uma maior velocidade, quando comparadas a temperatura de 90 °C, gerando mais espaços para que o corante possa se difundir para dentro da fibra, assim fazendo com o que a temperatura predomine sobre o efeito do carvacrol.

A partir da Figura 15 é possível confirmar os dados apresentados da Figura 14, as amostras A e F apresentaram uma menor turbidez quando comparadas as outras (amostras G-J), sendo que a amostra A apresentou uma menor turbidez ao final do tingimento e após as lavagens.

Figura 15 - Foto mostrando o corante residual nos experimentos A, F e G-J



Fonte: Autora (2022).

4.2.2 Avaliação colorimétrica

Para a avaliação colorimétrica, a amostra A foi utilizada como amostra padrão para fins de comparação. Os resultados obtidos com as análises podem ser verificados na Tabela 6 e nas Figura 16 e Figura 17.

Tabela 6 - Coordenadas colorimétricas das amostras tingidas

Processo	L*	a*	b*	ΔE
A	38,04	49,52	32,00	-
F	5,55	-3,17	-4,00	7,54
G	34,56	-31,90	-25,20	53,36
H	28,94	-24,85	-20,75	43,43
I	27,55	-24,06	-19,85	41,62
J	18,80	-14,75	-13,83	27,61

Fonte: Autora (2022).

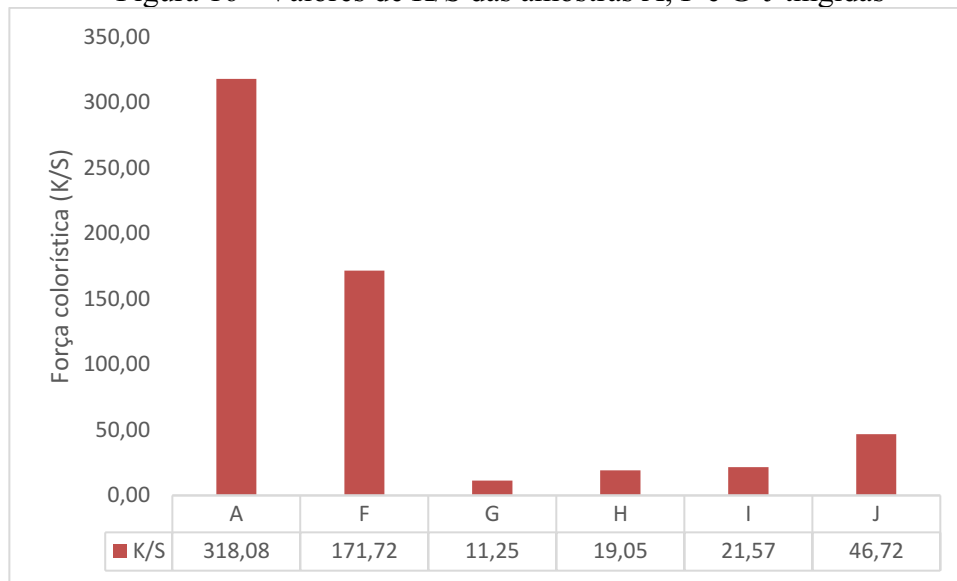
Como apresentando anteriormente, além do ΔE , o aspecto a ser considerado nesta avaliação são as coordenadas "a*" e "b*", pois o corante utilizado nos experimentos é avermelhado. Portanto, a partir da Tabela 6, é possível observar que a amostra F (100 °C, 4% de carvacrol) foi a amostra que mais se aproximou da amostra padrão.

Todas as amostras que foram comparadas com a amostra padrão obtiveram coordenadas "a*" e "b*" negativas, desta maneira, indicando que são mais verdes e azuis que a amostra padrão. Foi possível constatar que as coordenadas "a*" e "b*" são inversamente proporcionais a temperatura, neste estudo, pois quanto maior é a temperatura menor são as coordenadas. Também, para estas amostras (F-J), quanto mais azul e verde a amostra se apresentava mais escura, portanto, a amostra F continha o menor valor da coordenada "L", assim classificando-se como a mais clara.

Em relação ao ΔE , todas amostras obtiveram valor maior do que 1, desta forma, indicando que apresentaram diferença significativa de cor. Como, neste estudo, o maior peso para determinação do ΔE são as coordenadas "a*" e "b*", a amostra que continha 4% de carvacrol e temperatura de tingimento de 100°C apresentou o menor valor de ΔE (7,54), assim apontando que é a amostra que mais se aproximou da cor padrão

Através da Figura 16 é possível constatar que a amostra F apresentou a cor mais intensa (K/S 171,72), desta forma, tornando-se mais próxima da amostra padrão (K/S 318,08).

Figura 16 - Valores de K/S das amostras A, F e G-J tingidas



Fonte: Autora (2022).

Similarmente a etapa de determinação da concentração de carvacrol, a intensidade apresentou-se ser proporcional a temperatura de tingimento. Os resultados visíveis da alteração de cor podem ser visualizados na Figura 17.

Figura 17 – Comparativo entre amostra padrão e amostras A, F e G-J



Fonte: Autora (2022).

De acordo com os resultados apresentados e discutidos, foi possível constatar que as condições ideais para o tingimento de poliéster a temperatura mais baixa que a temperatura utilizada no processo padrão (130 °C) foi determinada com temperatura de tingimento de 100 °C, com concentração de 4% de carvacrol s.p.m., 3% de corante s.p.m. e 2g/L de dispersante.

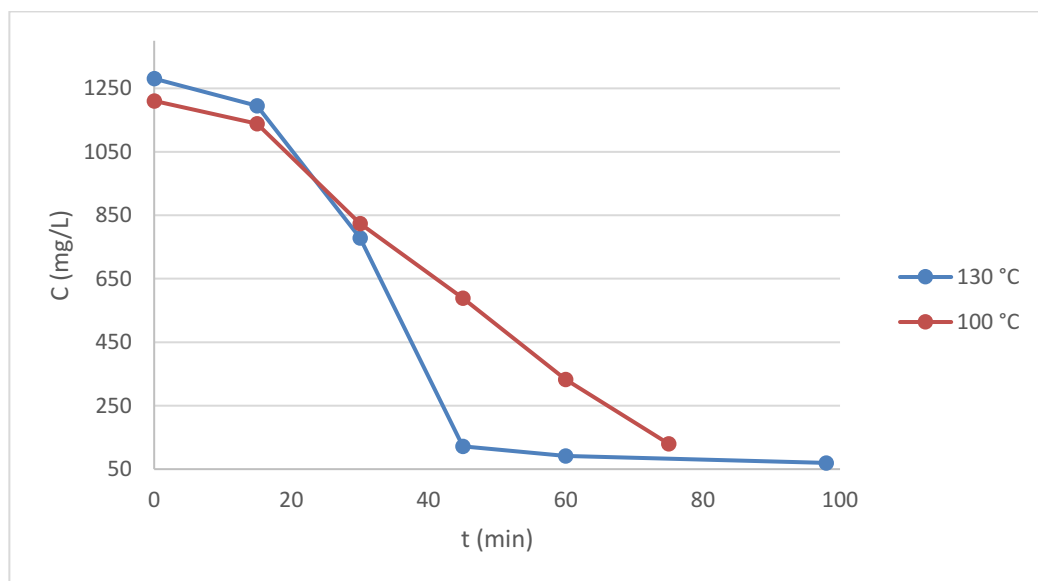
No entanto, com essa formulação foi possível verificar que o rendimento tintorial desejado não foi alcançado, onde a amostra padrão (amostra A) apresentou um esgotamento de 94,92% e a amostra obtida via condições ideais (amostra F) apresentou 92,33%.

4.3 ANÁLISES

4.3.1 Cinética de Tingimento

Para a etapa de determinação da cinética de tingimento, alíquotas foram coletadas do banho de tingimento nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60 minutos, e ao final do processo. Com o objetivo de avaliar a natureza dos pontos determinantes da velocidade foram realizados os processos de tingimentos da amostra com método convencional, sem a presença de carvacrol (amostra A) e, esse resultado foi comparado com o método na presença de 4% de carvacrol em temperatura de 100 °C. As curvas de cada método podem ser observadas na Figura 18.

Figura 18 – Curvas de concentração de corante no banho de tingimento das amostras A e F



Fonte: Autora (2022).

Através da análise dos resultados apresentados na Figura 18, pode-se constatar que o equilíbrio mais rápido foi observado na amostra obtida através do método convencional (130 °C), sendo que o equilíbrio foi alcançado aos 45 minutos do processo de tingimento. Além do equilíbrio alcançado mais rápido, a amostra A obteve a maior adsorção de corante, apresentando ao final do tingimento um esgotamento de 94,56% (64,64 mg/L).

Para amostra com a presença de 4% de carvacrol (100 °C) foi possível observar que o equilíbrio não foi alcançado no tempo de equilíbrio pré-estabelecido (45 minutos). Portanto, para se alcançar o equilíbrio novas condições deveriam ser consideradas. Como a temperatura foi um parâmetro limitante nesse estudo, o parâmetro tempo poderia ser estendido para que assim a visualização do equilíbrio fosse alcançada.

A fase de equilíbrio em um processo de tingimento representa a etapa em que ocorre a difusão e fixação do corante sobre a fibra. Portanto, o não alcance desta etapa representa que a permanência do corante na fibra foi comprometida. Este resultado pode ser observado na análise de corante residual no banho de tingimento (item 4.1.1), na qual quando comparada a amostra A, a amostra F apresentou uma maior concentração de corante residual no banho.

Similarmente aos outros ensaios, os resultados observados podem ser explicados a partir da influência positiva que a temperatura tem sobre o processo de tingimento de poliéster. Além da obtenção de um maior espaço livre na fibra, o aumento da temperatura também auxilia na redução da resistência à transferência de massa. Isto acontece, pois com o aumento da temperatura ocorre o aumento da energia cinética média das moléculas, desta forma, fazendo com que fiquem agitadas, e devido as colisões faz com que as moléculas de corante procurem espaços com concentrações menores (PICCIN; GUTTERRES, 2020).

Para compreender a natureza de adsorção e determinar a expressão de velocidade, os resultados obtidos nesta etapa foram ajustados para os modelos de pseudo-primeira ordem e de pseudo-segunda ordem. Os resultados obtidos com as análises podem ser verificados a seguir na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores para as cinéticas de adsorção das amostras A e F

Pseudo-primeira ordem		
Amostra	K (min^{-1})	R ²
A	0,074	0,8664
F	0,0276	0,9074
Pseudo-segunda ordem		
Amostra	K($g \cdot mg^{-1} \cdot min^{-1}$)	R ²
A	0,000232	0,1826
F	0,000362	0,5526

Fonte: Autora (2022).

Para determinação do modelo que se ajusta a cada processo, considerou-se o parâmetro de coeficiente de determinação (R²), sendo que quanto mais próximo de 1, melhor é o ajuste do processo sobre o modelo. Com os dados obtidos através do ajuste dos modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e de pseudo-segunda ordem, é possível observar, na Tabela 6, que o modelo que mais se ajustou aos métodos com e sem presença de carvacrol foi o modelo de pseudo-primeira ordem.

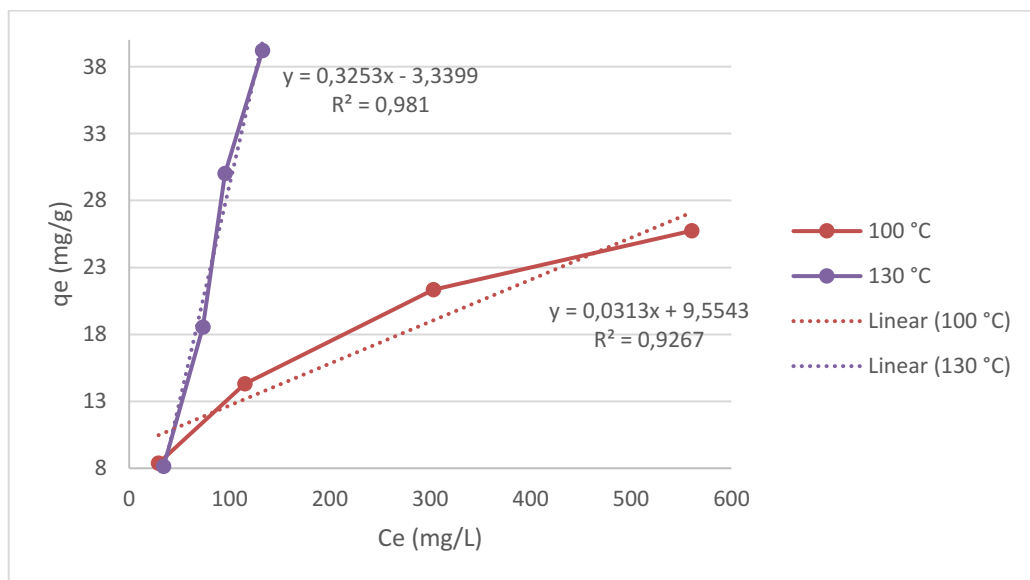
Com essa identificação foi possível constatar que a natureza da adsorção é física, conhecida também como fisissorção. Este processo físico-químico ocorre devido a forças de atração intermoleculares fracas (forças de Van de Waals), que possibilitam o aprisionamento físico das moléculas de corante as fibras. É caracterizado como reversível, e sua origem inicia-se a partir da atração entre dipolos induzidos ou permanentes, sem modificação da natureza química das espécies envolvidas no processo (MAXWELL, 2022).

Em relação a constante cinética (K), para o modelo cinético pseudo-primeira ordem, a maior constante de velocidade pode ser visualizada na amostra A ($0,0741 \text{ min}^{-1}$). Deste modo, indicando que a amostra A atinge o equilíbrio mais rápido que a amostra F, e assim reforçando os resultados obtidos na Figura 18. As curvas cinéticas de tingimento podem ser visualizadas no APÊNDICE B.

4.3.2 Isotermas de Adsorção

A etapa de determinação das isotermas de adsorção teve como objetivo fornecer a relação de equilíbrio entre a concentração de corante na fase fluida e a concentração nas partículas adsorventes. O equilíbrio foi analisado a partir do modelo de Nernst. Este modelo foi selecionado para esta análise devido a origem de sua obtenção, na qual é alcançada através da interação de corantes dispersos e fibras hidrofóbicas (ASPLAND, 1997). Foram realizados os processos de tingimentos da amostra com método convencional, sem a presença de carvacrol (amostra A) e, esse resultado foi comparado com o método na presença de 4% de carvacrol s.p.m. (100 °C). As isotermas de cada método podem ser observadas na Figura 19.

Figura 19 – Isotermas de tingimento das amostras A e F



Fonte: Autora (2022).

Analisando a Figura 19 pode-se verificar que as curvas possuem caráter linear, desta forma, demonstrando-se ser compatíveis com as curvas apresentadas na teoria. A teoria sobre a isoterma de Nernst, apresenta que a distribuição do corante entre as fibras e o banho é uma simples partição constante do corante entre dois solventes diferentes e imiscíveis (fibra e banho), até que um deles fique saturado (ASPLAND, 1997).

Para a isoterma do método convencional (Amostra A), a concentração de corante dissolvido no banho não atingiu níveis altos o suficiente para que a isoterma se curvasse.

Entretanto, para a isoterma do método com presença de carvacrol (Amostra F) a concentração de corante no banho atingiu níveis elevados, que resultou em uma leve curvatura da isoterma.

Com relação ao ponto de saturação da fibra, não foi possível visualizar com as concentrações de corante pré-estabelecidas. Deste modo, para uma possível visualização novos ensaios devem ser realizados com concentrações maiores de corante.

A partir da Tabela 8 é possível verificar os valores obtidos para o coeficiente de equilíbrio (K) e o coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 8 – Valores para as isotermas de adsorção das amostras A e F

AMOSTRA	K	R²
A	0,3253	0,981
F	0,0313	0,9267

Fonte: Autora (2022).

Como pode ser visualizado na Tabela 8, a amostra que mais se adequou ao modelo é a amostra A ($R = 0,981$). Este resultado era esperado devido aos comportamentos das curvas, na qual a amostra F apresentou uma leve curvatura, indicando que a partição entre fibra e banho não ocorreu de forma proporcional. Este comportamento pode ser explicado devido a diferença de regiões cristalinas entre as duas amostras. Com a temperatura de 130 °C a amostra A oferece mais regiões amorfas que a amostra F (100 °C), portanto, com mais regiões amorfas disponíveis, as moléculas do corante podem se deslizar com mais facilidade no corpo da fibra, e conseqüentemente com mais corante na fibra, menos corante permanece no banho de tingimento.

Atrelado aos resultados apresentados acima, a amostra A apresentou o maior valor para o coeficiente de equilíbrio (0,3253). Assim, indicando que a amostra A apresenta uma maior taxa de adsorção, quando comparada a amostra F. Esse resultado indica que ainda a temperatura é um fator primordial no tingimento de poliéster.

4.3.3 Solidez à lavagem

Após a análise com a escala de cinza para avaliação de transferência e alteração de cor, as amostras foram classificadas por meio de notas. Na Tabela 9 é possível verificar os resultados obtidos para solidez à alteração de cor.

Tabela 9 - Resultado da análise de solidez à alteração de cor

Amostra			Solidez à alteração
Processo	Temperatura	Carvacrol	
A	130 °C	0%	4/5
B	100° C	0%	4/5
F	100° C	4%	4/5

Fonte: Autora (2022).

Indicando nota 4/5 na escala de cinza, as amostras obtidas via processo com e sem carvacrol apresentaram uma leve perda de cor, mas assim ainda apresentaram nota satisfatória para o teste de solidez à alteração.

Tabela 10 - Resultado da análise de solidez à transferência de cor

Amostra			Solidez à transferência	
Processo	Temperatura	Carvacrol	CO	PES
A	130 °C	0%	3	3
B	100° C	0%	3	2/3
F	100° C	4%	2/3	2

Fonte: Autora (2022).

Para o teste de solidez à transferência (Tabela 10), a amostra A apresentou nota 3 para os tecidos testemunhas de algodão e poliéster, e obteve a melhor solidez quando comparada as outras amostras. Em relação as amostras obtidas via processo com temperatura de 100 °C, a amostra B apresentou uma solidez superior à amostra F.

As notas apresentadas podem ser resultado da exclusão da etapa de lavagem redutiva, que tem como objetivo remover o corante depositado sobre a fibra. Portanto, com corante

residual sobre a fibra, ao friccionar o substrato as moléculas de corante podem ter se soltado facilmente da superfície do substrato.

Os resultados das amostras B e F, indicaram que o tecido testemunha de algodão obteve solidez inferior ao tecido testemunha de poliéster. Este resultado era esperado pois o corante disperso possui uma grande afinidade com a fibra de poliéster devido ao seu caráter não iônico, e como a fibra de algodão apresenta caráter aniônico quando submersa em água, o corante por fim se aproxima mais da fibra de poliéster.

4.3.4 Solidez à fricção

Na Tabela 11 é possível observar que as amostras obtiveram notas satisfatórias no teste de solidez à fricção a seco.

Tabela 11 - Resultado da análise de solidez a transferência de cor

Amostra			Solidez à transferência
Processo	Temperatura	Carvacrol	
A	130 °C	0%	4/5
B	100° C	0%	4/5
F	100° C	4%	4/5

Fonte: Autora (2022).

As amostras submetidas aos processos com e sem carvacrol apresentaram níveis iguais na escala de cinza, nota, 4/5, sendo assim, indicando que a variação da temperatura e o uso de carvacrol não interferiram na solidez a fricção.

4.3.5 Solidez à luz

Em relação ao ensaio de solidez a luz, as amostras foram analisadas com escala de azul para degradação de cor. Como resultado, obteve-se que a amostra A apresentou a nota máxima e a amostra F apresentou melhor solidez que a amostra B. As notas podem ser visualizadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultado da análise de solidez a alteração de cor

Amostra			Solidez à alteração
Processo	Temperatura	Carvacrol	
A	130 °C	0%	8
B	100° C	0%	3
F	100° C	4%	4

Fonte: Autora (2022).

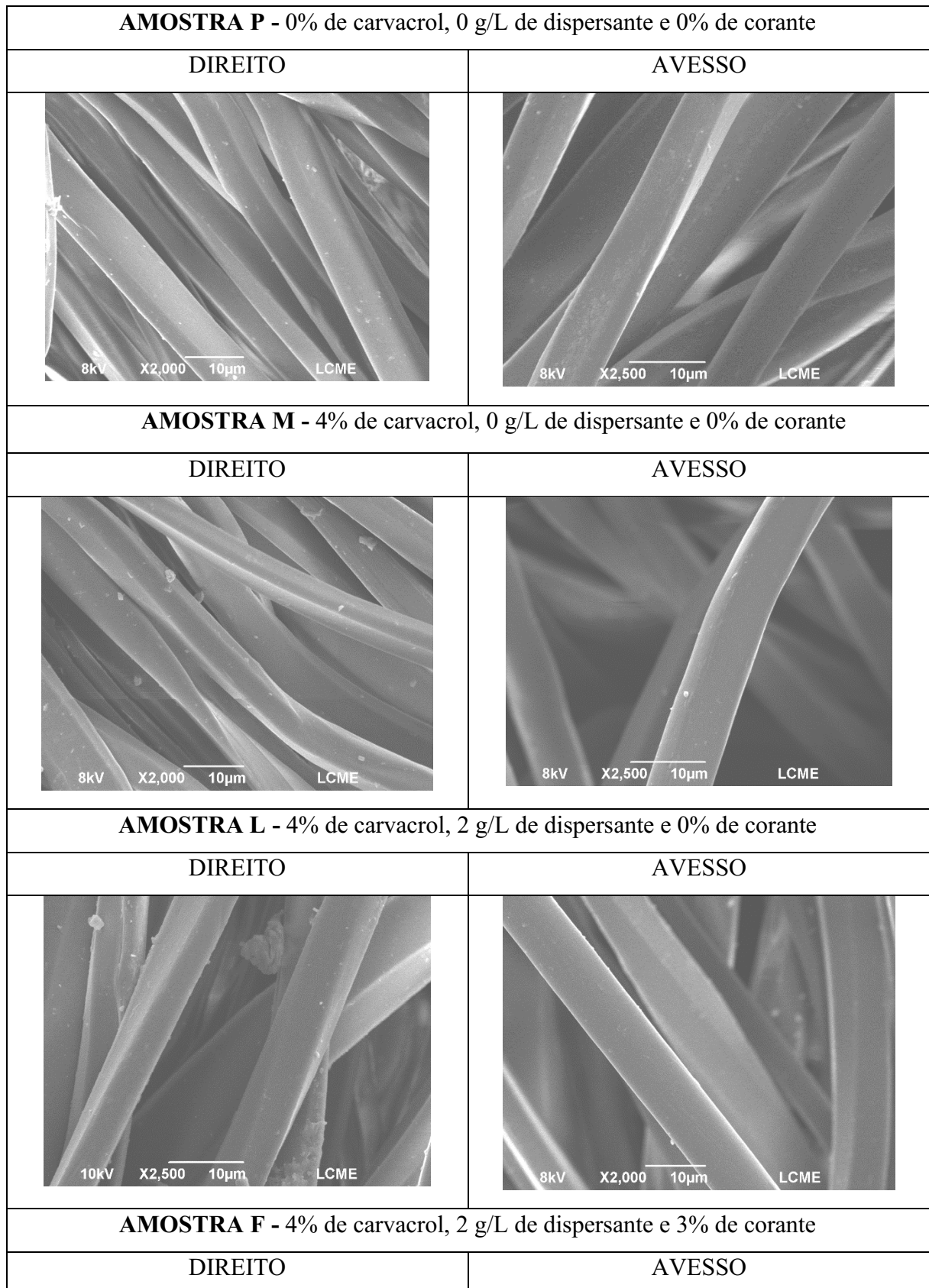
Uma possível explicação para nota baixa da amostra obtida via processo com carvacrol, segundo Shamey (2011), está relacionada ao *carrier* residual sobre superfícies têxteis. Como as amostras não foram submetidas a uma lavagem redutiva, carvacrol pode ter se depositado e fixado sobre a fibra, e conseqüentemente afetado negativamente na solidez à luz.

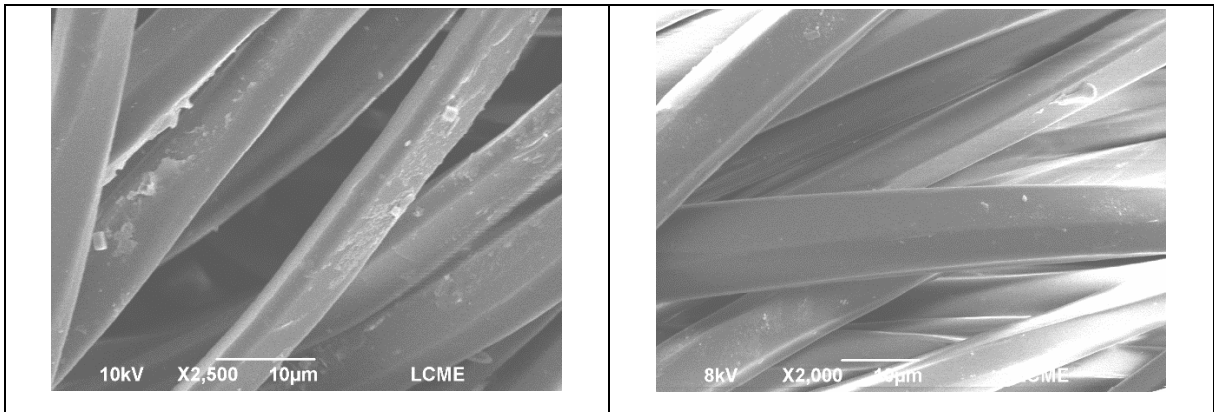
Além do *carrier* residual, outro ponto que pode ser considerado para este resultado, é o não alcance da etapa de equilíbrio no processo de tingimento. Como apresentado anteriormente, a etapa de equilíbrio é responsável pela difusão e fixação do corante, como esta etapa não foi alcançada, o corante não se fixou a fibra e como resultado ficou mais exposto para degradação.

4.3.6 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Com a finalidade de verificar a distribuição e localização do carvacrol sobre a superfície da fibra de poliéster, foi realizada a análise morfológica nas amostras P, M, L e F (Tabela 4). A partir das micrografias obtidas na Figura 20, com ampliações de 2000x e 2500x, é possível observar que a amostra sem tratamento (amostra P) apresentou impurezas que podem ser oligômeros que migraram do interior para a superfície da fibra. Por meio do tratamento com 4% de carvacrol (amostra M), é possível verificar que a superfície se apresentou mais limpa, com menos impurezas, e o mesmo foi observado com a inclusão de dispersante (amostra L). Com a inclusão de corante (amostra F), observa-se que há diversos pontos sobre a fibra, podendo indicar que são moléculas de corante adsorvidas sobre a superfície da fibra.

Figura 20 - Micrografias de MEV das amostras P, M, L e F





Fonte: Autora (2022)

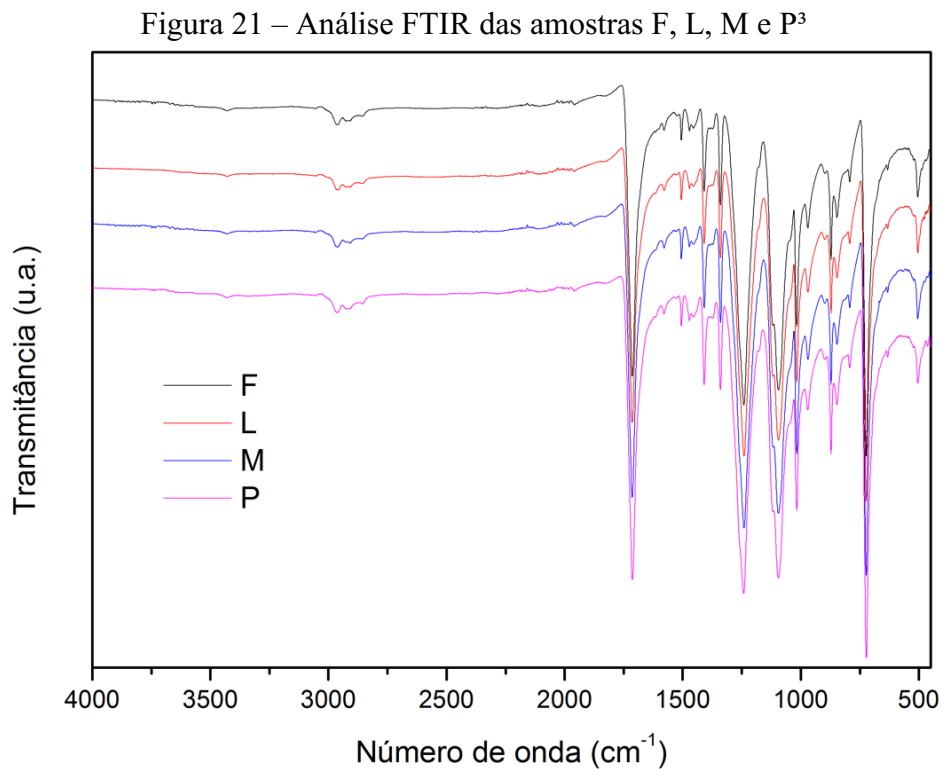
4.3.7 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Através de análise empregando espectroscopia na região do infravermelho, é possível a observação de bandas geradas pela vibração de determinados grupos funcionais e ligações da superfície do tecido, sendo uma análise importante. Na Figura 21, é possível a observação comparativa dos espectros de infravermelho gerados pelas amostras F, L, M e P (Tabela 4).

As bandas em aproximadamente 2970 e 2893 cm^{-1} são referentes ao estiramento simétrico e assimétrico dos grupos $-\text{CH}_2$ presentes no poliéster. A banda intensa em aproximadamente 1724 cm^{-1} é causada pelo estiramento da carbonila do éster e, as bandas em 1609 e 1508 cm^{-1} pelo estiramento das ligações $\text{C}=\text{C}$ do anel aromático. A banda em aproximadamente 1477 cm^{-1} é referente a deformação angular fora do plano dos grupos CH_2 e, as bandas mais intensas em aproximadamente 1241 e 1099 cm^{-1} são referentes as vibrações simétricas e assimétricas de $\text{C}-\text{O}-\text{C}$, respectivamente (JNIDO *et al.*, 2010). Todos os sinais relatados são, portanto, esperados para a estrutura do poliéster. Realizando a comparação dos espectros gerados por amostras que foram tratadas com carvacrol e amostras sem o carvacrol, não se percebe uma mudança significativa. Esse resultado pode indicar que o carvacrol se ligou através de ligações fracas.

Este resultado pode ser reforçado com a análise obtida no item 4.3.1 que apresenta que a natureza de adsorção é física, desta forma, indicando que a ligação ocorre por causa de forças de atração intermoleculares fracas (forças de Van de Waals). Portanto, devido a lavagem simples com água corrente, que foi realizada no final de cada processo, uma boa parte do carvacrol pode ter se desprendido do substrato e saído durante a lavagem.

Em suas teses, Jully Filippi (2021) e Camila Lima (2020) apresentaram que em suas análises de poliéster tratado e não tratado não foi possível observar diferença significativa entre as amostras. À vista disso, desde que a interação seja fraca entre o composto estudado e a fibra de poliéster, pode-se constatar que é comum não observar alterações entre amostras de poliéster tratadas e não tratadas.



Fonte: Autora (2022).

³Amostra F obtida através das condições ideais de tingimento; L obtida através das condições ideais, mas sem corante; M obtida através das condições ideais, mas sem corante e sem dispersante; P obtida através das condições ideais, mas sem corante, sem dispersante e sem carvacrol.

5 CONCLUSÕES

A presente proposta teve o objetivo de estudar a aplicação do carvacrol como *carrier*, componente dos óleos essenciais da família de plantas das Lamiaceae, no tingimento de poliéster com corante disperso. Os resultados mostraram-se promissores no que diz respeito à rendimento tintorial apesar de ficarem um pouco abaixo de um tingimento convencional, mas no requisito reprodutibilidade não foram alcançados resultados satisfatórios. Sendo assim, o carvacrol mostrou potencial em temperaturas baixas, proporcionando aumento de adsorção e difusão de corante nas fibras.

A formulação do processo utilizado para as análises de cinética, isotermas, solidez, FTIR e MEV foi obtida através de uma série de tingimentos que tinham como objetivo determinar as condições ideais de tingimento. Nesta etapa, com a análise de corante residual obteve-se que a concentração de carvacrol e a temperatura de tingimento eram proporcionais ao parâmetro de esgotamento, assim indicando uma relação linear positiva para os intervalos predefinidos (0 – 4% e 80 – 100 °C). O parâmetro temperatura mostrou-se dominante quando comparado ao parâmetro de concentração de carvacrol, sendo assim a amostra com a maior temperatura de tingimento (amostra A) apresentou o maior esgotamento. Mas quando analisadas as amostras com e sem presença carvacrol na mesma faixa de temperatura, observou-se que o uso de 4% de carvacrol contribuiu com o aumento do rendimento tintorial. Sendo 17,96% para temperatura de 80 °C, 17,62% para temperatura de 90 °C e 21,35% para temperatura de 100 °C.

Devido a esta relação linear positiva entre concentração de carvacrol e temperatura com o rendimento tintorial, o parâmetro K/S apresentou-se crescente e reforçou mais uma vez que o parâmetro temperatura é dominante sobre o tingimento de poliéster, sendo que a amostra obtida via processo convencional obteve o maior valor para K/S. As leituras realizadas com o espectrofotômetro de refletância apresentaram ΔE acima de 1 em relação à amostra padrão, assim, indicando que as amostras apresentaram diferença significativa de tonalidade e que o processo não garantiu uma boa reprodutibilidade.

Como resultado da etapa de determinação das condições ideais de tingimento, verificou-se que o tingimento obtido por meio das condições ótimas apresentou um rendimento tintorial menor (89,3%) que do tingimento convencional (90,7%). Entretanto, quando comparado os tingimentos com e sem presença carvacrol, em temperaturas inferiores a 130 °C,

foi possível verificar que a presença de carvacrol contribuiu com o aumento do rendimento tintorial, apresentando efeitos positivos sobre o processo. A amostra que mais se aproximou da amostra padrão foi obtida com temperatura de tingimento de 100 °C, com concentração de 4% de carvacrol s.p.m., 3% de corante s.p.m. e 2g/L de dispersante.

Quanto ao esgotamento, a amostra padrão apresentou um esgotamento de 94,92% e a amostra obtida via condições ideais apresentou 92,33%.

Conforme o estudo da cinética do tingimento, na análise do processo de tingimento convencional, verificou-se que o equilíbrio foi alcançado aos 45 minutos de tingimento e para o processo com presença de carvacrol verificou-se que o equilíbrio não foi alcançado. O não alcance do equilíbrio da amostra obtida via processo com presença de carvacrol justificou o baixo rendimento tintorial apresentado nas etapas anteriores, pois a etapa de equilíbrio representa a etapa em que ocorre a difusão e fixação do corante sobre a fibra. Com relação aos modelos propostos, as amostras se adequaram ao modelo de pseudo-primeira ordem, reforçando que a natureza de adsorção é física e que a ligação que ocorre entre a fibra e o corante é resultado das forças de Van de Waals. Para as isotermas, o processo de tingimento convencional foi o processo que mais se ajustou ao modelo de Nernst, desta forma, indicando que o processo com presença de carvacrol apresentou uma maior concentração de corante no banho. Com o não alcance do equilíbrio na cinética de tingimento, este resultado era esperado para etapa de isotermas, pois como o corante não se fixou sobre a fibra o mesmo ficou no banho de tingimento.

De acordo com as análises de solidez a lavagem, as amostras obtidas via processos com e sem presença carvacrol apresentaram o mesmo resultado, assim indicando que a variação de temperatura e de carvacrol não apresentou efeitos significativos sobre este teste. Para as análises de solidez à fricção e à luz, as amostras obtidas via processo com temperatura de tingimento de 100 °C não apresentaram resultados satisfatórios. Vale ressaltar, que as amostras não foram submetidas ao processo de lavagem reductiva, portanto, o corante não adsorvido pela fibra pode ter se depositado sobre o substrato e comprometido os resultados.

Na análise de FTIR não foram observadas diferenças significativas entre as amostras com e sem tratamento de carvacrol. Quanto à análise de MEV, foi observado que o tratamento com carvacrol contribuiu com a limpeza das fibras, proporcionando uma superfície mais lisa.

Em conclusão, o emprego de carvacrol no tingimento de poliéster com temperatura de 100 °C apresentou resultados satisfatórios no que se refere a rendimento tintorial (89,3%),

apresentando rendimento próximo ao tingimento convencional (90,7%) com temperatura de 130 °C, além de contribuir com a melhoria da solidez à luz e também proporcionar uma redução no consumo de energia, apresentando assim que é possível elevar o rendimento tintorial com um composto não tóxico.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em função das análises e resultados obtidos, a seguir são apresentadas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar testes com temperatura de tingimento de 130 °C e concentração de 4% de carvacrol com objetivo de verificar se há possibilidade de se obter um rendimento tintorial maior do que o tingimento obtido via processo convencional;
- Estender o tempo de tingimento do processo com temperatura de tingimento de 100 °C e concentração de 4% de carvacrol com a finalidade de se visualizar a fase de equilíbrio e conseqüentemente aproximar o ΔE de 1;
- Estudar as isotermas e cinética de tingimento dos processos com e sem presença de carvacrol, com a mesma temperatura de tingimento, afim de se avaliar mais afundo o efeito do carvacrol sobre essas duas análises;
- Aplicar outros modelos de isotermas com o objetivo de avaliar se a interação do carvacrol pode fornecer outra relação entre fibra e corante;
- Realizar pesquisas de caracterização dos efluentes gerados pelos tingimentos com o uso de carvacrol;
- Aplicar derivados do carvacrol em estudos similares com objetivo de avaliá-los como possíveis carriers;
- Realizar o tingimento com outras faixas de temperatura, tempo e pH;
- Realizar a comparação de tingimentos com carriers comerciais e com carvacrol atuando como carrier;
- Estudar a viabilidade de tingimento em sistema oleoso com carvacrol.

REFERÊNCIAS

- AHMED, M. T.; RASEL, M.; FARJANA, S. Modification of Reduction Clearing Process of Polyester Blend Cotton Knitted Fabric Dyeing. **Journal of Scientific & Engineering Research**, 2018.
- ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A química do processamento têxtil. **Química Nova**, 1995.
- ALEEM, A. U. **An Investigation of Alternatives to Reductive Clearing in the Dyeing of Polyester**. Tese (Doutorado em Filosofia) - Heriot Watt University, School of Textiles & Design, 2013.
- ALIPOUR, M.; COCCIMIGLIO, J.; SUNTRES, Z. E. The bioactivity and toxicological actions of carvacrol. **Crit Rev Food Sci Nutr**, 2015.
- ALMEIDA, R. R. **Mecanismos de ação dos monoterpenos aromáticos: timol e carvacrol**. São João del-Rei, 2015.
- AMORIM, V. A; BORGES, L. P. Metabólitos secundários de plantas. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.11, n.1, p.54-67, 2020.
- ANDRADE, A. T. **Reutilização de banhos de tingimento de poliéster em batelada com corantes dispersos**. Dissertação (Mestrado em Filosofia) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- ASPLAND, J. R. (1997). **Textile dyeing and coloration**. Research Triangle Park, NC, American Association of Textile Chemists and Colorists.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **Perfil do Setor**. 2019. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 3 out. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (ABIT). **O Consumo de Energia e a Competitividade da Indústria Têxtil**. 2014. Brusque, 2015. Disponível em: <https://www.abit.org.br/adm/Arquivo/Servico/035005.pdf>. Acesso em: 3 out. 2021.
- AZEVEDO, C.; GIULIANO, P. A sustentabilidade e o consumo consciente sob a perspectiva da moda. **Convergências : Revista de Investigação e Ensino das Artes.**, v. VII, n. N° 14, p. 1–5, 2014.
- BARBIERI, J. C.; VASCONCELLOS, I. F. G.; ANFREASSI, T.; VASCONCELOSS F. C. **Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições**. Revista de Administração de empresas, v.50, n2, p.146-154. São Paulo, 2010.
- BERLIM, Lilyan. **Moda e Sustentabilidade: uma reflexão necessária**. São Paulo: Estação das Letras e Cores Editora, 2012.

BIVER, M.; TURNER, A.; FILELLA, M. Antimony release from polyester textiles by artificial sweat solutions: A call for a standardized procedure. **Elsevier**, 2020.

BROCK, N. L.; DICKSCHAT, J. S. Biosynthesis of Terpenoids. **Natural Products**, p. 2693–2732, 2013.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. **A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma Tabela de cores de madeira**. Brasília, 2001, p. 31-33.

CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 3. ed. São Paulo: Artliber, 2010.

CHEMCHAME, Y. et al. **Kinetic Model and adsorption Isotherm studies on Natural Indigo and Madder Colorants for Dyeing Wool in One and Two Dye Baths**. v. 19, n. 1, p. 1–14, 2020.

CHOUDHURY, A. K. R. **Textile Preparation and Dyeing**. United States of America: Science Publishers, 2006.

CHRISTIE, R. M; ALEEM, A. U. **The clearing of dyed polyester**. Part 1. A comparison of traditional reduction clearing with treatments using organic reducing agent. 2015.

CLARK, M. **Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of dyes**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011.

Disperse Red 50. **World dye variety**. 27 de fev. de 2012. Disponível em: <http://www.worlddyevariety.com/disperse-dyes/disperse-red-50.html>. Acesso em: 19 de abr. de 2022.

FCEM| FebratexGroup. **Sustentabilidade na Indústria Têxtil: Tendências inovadoras para proteger o meio ambiente**. 2018. Disponível em: <https://fcm.com.br/noticias/sustentabilidade-na-industria-textil-tendencias-inovadoras-paraprotger-o-meio-ambiente>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA (FIESC). **Têxtil, Confecção, Couro e Calçados: Posição em Santa Catarina**. 2014. Disponível em: <https://observatorio.fiesc.com.br/sc-em-dados/setores/textil-e-confeccao>. Acesso em: 3 out. 2021.

FERREIRA, A. R. A. **Uso de óleos essenciais como agentes terapêuticos**. Porto, 2014.

FILIPPI, J. S. P. **Óleo de Mamona Sulfonado como opção renovável de igualizante e dispersante em tingimento de Poliéster com corante Disperso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Têxtil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2021.

GALLELI, B.; SUTTER, M. B.; MACLENNAN, M. L. F. Sustentabilidade Na Moda Brasileira: Oportunidades E Desafios No Mercado Internacional. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 45, 2016.

GARCIA, O. **Avaliação da competitividade da indústria brasileira**. 1994. Tese (Dourado em Economia) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994, p. 83.

GOMES, L. P. **Efeito do pré tratamento enzimático em substrato têxtil de poliéster**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Têxtil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2019a.

GOMES, L.P. et al. Análise do tingimento reativo em tecido plano 100% algodão após modificação da superfície por técnicas de plasma baixa pressão. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em iniciação científica**, 2019b, Uberlândia. Disponível em: <http://cobeqic2019.com.br/trabalhosfinais/EAT5.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2021.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, 1998.

GUNAY, M. **Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing**. Croatia: InTech, 2013, p.151-176.

HASANBEIGI, A. (2010). Energy-Efficiency Improvement Opportunities for the Textile Industry. Lawrence Berkeley National Laboratory.

HONEYCUTT, T.W. **Alkylated and hydrogenated naphthalene and benzene derivatives as polyester dye carriers**. Georgia Institute of Technology, 1968.

HUNGER, K. **Industrial Dyes: Chemistry, properties, application**. Weinheim: Wiley – VCH Publishers, 2003.

JALALI, S. et al. **Effect of Vanilla as a Natural Alternative to Traditional Carriers in Polyester Dyeing with Disperse Dyes**. 2018.

JNIDO, G. et al. One-Step Deposition of Polyester/TiO₂ Coatings by Atmospheric Pressure Plasma Jet on Wood Surfaces for UV and Moisture Protection. **Coatings**. 2020; 10(2):184. <https://doi.org/10.3390/coatings10020184>

KOH, J. Dyeing with Disperse Dyes. In: **Textile Dyeing**. [s.l.] InTech, 2011. v. ip. 13.

KODRIC, M. et al. Modelling of polyester fabric dyeing in the presence of ultrasonic waves. **Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly**, 2017.

KORUYUCU, A.; BECERIR, B.; ISKENDER, M. A. Dyeing of Different Energy Level Disperse Dyes on Polyester Fabric. **Textile Research Journal**, p. 462- 465., 2005.

KUASNE, A. **Fibras Têxteis**. Araranguá, 2008. Disponível em: https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/8/88/Apostila_fibras.pdf. Acesso em: 4 out. 2021.

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 (Graduação em Engenharia Têxtil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2019.

LANGE, C. R. **Estudo das condições operacionais do processo de tingimento de fibra mistra acrílico/algodão em bobina cruzada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

LIMA, C. N. **Otimização do processo de tingimento da fibra de poliéster utilizando cumarina como carrier**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020.

LOPES, L. C. **Controle metrológico da cor aplicado à Estamparia digital de materiais têxteis**. Dissertação (Pós-Graduação em Metrologia) – PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2009.

MATHER, R. R.; WARDMAN, R. H. **The Chemistry of Textile Fibres**. 2. ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2015.

MATOS, S. S. **Considerações sobre a inserção do tema “contribuições da biossegurança na graduação em estética e cosmetologia” na disciplina de aromaterapia, com vistas à integridade do usuário**. Rio de Janeiro, 2013.

MAXWELL. Adsorção. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.pucrio.br/14605/14605_5.pdf. Acesso em: 20 mar. 2022.

MELO, A. **Otimização do reuso de água em lavadores contínuos da indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MESQUITA, P. **A Sustentabilidade na Indústria da Moda**. . Dissertação (Mestrado em Marketing) – Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2015.

MONTAZER, M; HARIFI, T. Free carrier dyeing of polyester fabric using nano TiO₂. **Elsevier**. 2013.

MONTEIRO FILHA, Dulce Corrêa; CORREA, Abidack Raposo. **O complexo têxtil**. In: SÃO PAULO, Elizabeth Maria De; KALACHE FILHO, Jorge (Org.). Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social 50 anos: histórias setoriais. Rio de Janeiro : Db, 2002. p. [241]-273.

MORAIS, L. A. S. **Óleos Essenciais no Controle Fitossanitário**. Jaguariúna, 2009.

MUTHU, S. Handbook of Life Cycle Assessment (lca) of Textiles and Clothing. 2015.

MUTHU, S. Sustainable Fibres and Textiles. **Woodhead Publishing**. 2017.

MUTHU, S. Water in Textiles and Fashion. **Woodhead Publishing**, 2019.

NEVES, D. O. **Estudo farmacológico do timol e carvacrol sobre a contratibilidade da aorta isolada de rato**. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciências Fisiológicas)- Instituto Superior de Ciências Biomédicas-Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2009.

NGAI, E. *et al.*, 2012. Development of the conceptual model of energy and utility management in textile processing: a soft systems approach. *International Journal of Production Economics* 135, 607e617.

OLIVEIRA, A. S. **Síntese de derivados da lausona, carvacrol, 1-hidroxipirazol e suas atividades biológicas**. Tese (Pós-Graduação em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

OLIVEIRA, C. C. N. **Estudo de equilíbrio e modelagem cinética da adsorção de corante têxtil “Remazol Black B” sobre bagaço de cana *in natura* e carvão ativado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003, p. 23.

PASQUET, V. et al. Vanillin, a potential carrier for low temperature dyeing of polyester fabrics. **Elsevier**, 2012.

PICCIN, J.; GUTTERRES, M. Otimização de parâmetros de transferência de massa e capacidade de adsorção de corante por resíduos de couro. **Revista CIATEC-UPF**, v. 11, n. 3, p. 50-61, 5 fev. 2020.

QUEIROZ, M. et al. Gestão de resíduos na indústria e sua relação com a qualidade da água: Estudo de caso. **Journal of Industrial Engineering**, 2016.

REITER, H.C. **Estudo de eficiência, qualidade e custo em tingimento de poliéster preto com banho redutivo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Têxtil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2019.

ROMERO, Luiz Lauro et al. **Fibras artificiais e sintéticas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 1 , p. [54]-66, jul. 1995.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M.-A. **Poli(Tereftalato de Etileno), PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem**. 2009.

ROSA, J. **Sustentabilidade no beneficiamento têxtil: Produção de tingimentos com reuso de efluente tratado por fotocatalise via UV/H₂O₂**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2010, p. 53.

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

- SANTOS, E. **Estudo da influencia da B-Ciclodextrina no tingimento de poliamida com corante C.I Disperse Yellow 211**. Monografia (Graduação em Engenharia Têxtil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2015. p. 19 -20.
- SHAMEY, R. Assessment of Key Issues in the Coloration of Polyester Material. **CRC Press**. 2011.
- SHARIFI-RAD, M. et al. **Carvacrol and human health: A comprehensive review**. 2018.
- SHAMEY, R., & ZHAO, X. Modelling, Simulation and Control of the Dyeing Process (1st. ed.). Woodhead Publishing, Limited. 2014.
- SILVA, G. A. T. **Síntese, caracterização e avaliação antimicrobiana de novos derivados do timol e carvacrol**. João Pessoa, 2018.
- SILVA, G. B. **Tolerância de cor na indústria têxtil**. Rio de Janeiro, 2004, p. 509-510.
- SILVA, K. **Determinação do Nível de Sustentabilidade na Indústria Têxtil/ Confeção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) - Universidade da Beira do Interior. Covilhã, 2014.
- SILVA, S. K. C. **Remoção do Corante Têxtil C.I Reactive Blue 203 utilizando casca de Manihot Esculenta Crantz como adsorvente**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2019.
- SINCLAIR, R. **Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology**. [s.l.] Woodhead Publishing, 2015.
- SMET, D. et al. Renewable antimicrobials for textile finishing. **Melliand International**. 2015.
- SOARES JR, A. B. **Produção do Poli (Tereftalato de etileno) modificado com glicerol e derivados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- TEIXEIRA, L. **O Impacto das Substâncias Danosas da Química Têxtil na Sociedade: um Estudo de Caso**. Monografia (Graduação em Tecnologia em Produção Têxtil) - Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2015. p. 11-12.
- TONIOLLO, M.; ZANCAN, N. P.; WUST, C. **Indústria Têxtil: Sustentabilidade, impactos e minimização**. Rio Grande do Sul, 2015. p. 2–4.
- TOSCAN, C. M. **Atividade antimicrobiana e antioxidante de terpenoides**. Dissertação (Pós-Graduação em Biotecnologia) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 201.

TRACTZ, G. et al. Avaliação da adsorção e estudo eletroquímico de células solares produzidas com TiO₂ e corante extraído do hibiscus. **Química Nova [online]**. 2018, v. 41, n. 5 [Acessado 12 Dezembro 2021], pp. 512-518. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170212>>. ISSN 1678-7064. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170212>

TWARDOKUS, R. **Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

U.S FOOD & DROG (FDA). **Food additives permitted for direct addition to food for human consumption**. 2020. Disponível em: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=172.515&SearchTerm=thymol>. Acesso em: 15 out. 2021.

UDDIN, F. (2014). Energy Management and Energy Crisis in Textile Finishing. *American Journal of Energy Research*. 2. 53-59. 10.12691/ajer-2-3-2.

VERSHNEYV, C.K. (Ed.), 1985. *Water Pollution and Management*. Wiley Eastern, New Delhi.

VIGO, T. L. **Textile Processing and Properties: Preparation, Dyeing, Finishing and Performance**. New Orleans: Elsevier Science B.V, 1994.

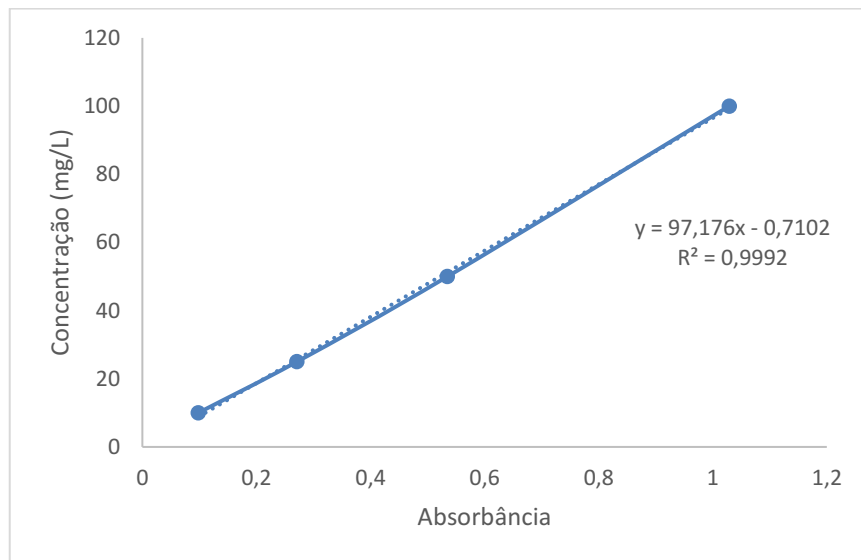
WANG, J. et al. Carrier-Free and Low-Temperature Ultradeep Dyeing of Poly(ethylene terephthalate) Copolyester Modified with Sodium-5-sulfo-bis(hydroxyethyl)-isophthalate and 2-Methyl-1,3-propanediol. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 4, n. 6, p. 3285–3291, 2016.

ZANONI, M. V. B.; YAMANAKA, H. **Corantes: Caracterização Química, Toxicológica, Métodos de Detecção e Tratamento**. 1 ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016, p. 18.

APÊNDICE A – Curva de Calibração

Com o objetivo de determinar a concentração de corante residual nos processos de tingimento, uma curva de calibração foi construída utilizando como parâmetros a concentração de corante e sua respectiva absorbância. Para determinação da curva encontrou-se o comprimento de onda do corante, sendo 507 nm e em seguida o corante foi diluído nas seguintes concentrações: 100 mg/L, 50 mg/L, 25 mg/L e 10 mg/L. Após a diluição, com o auxílio do espectrofotômetro de refletância encontrou-se para cada concentração sua respectiva absorbância e como resultado obteve-se a equação de absorbância versus concentração.

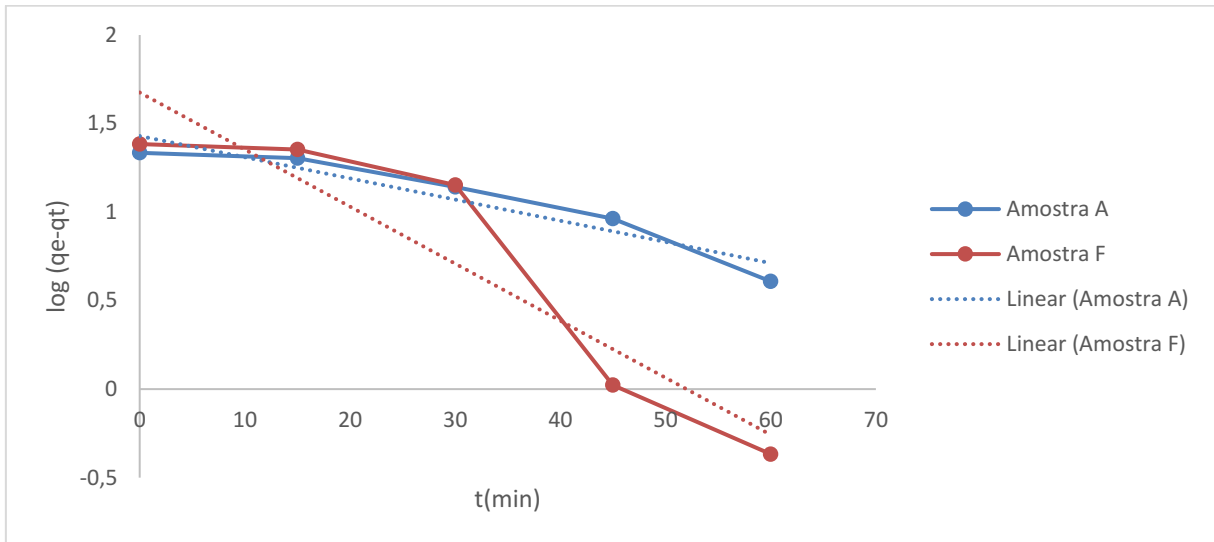
Figura 22 - Curva de calibração do corante Escarlate ColorPes E-2GFL 220%



Fonte: Autora (2022).

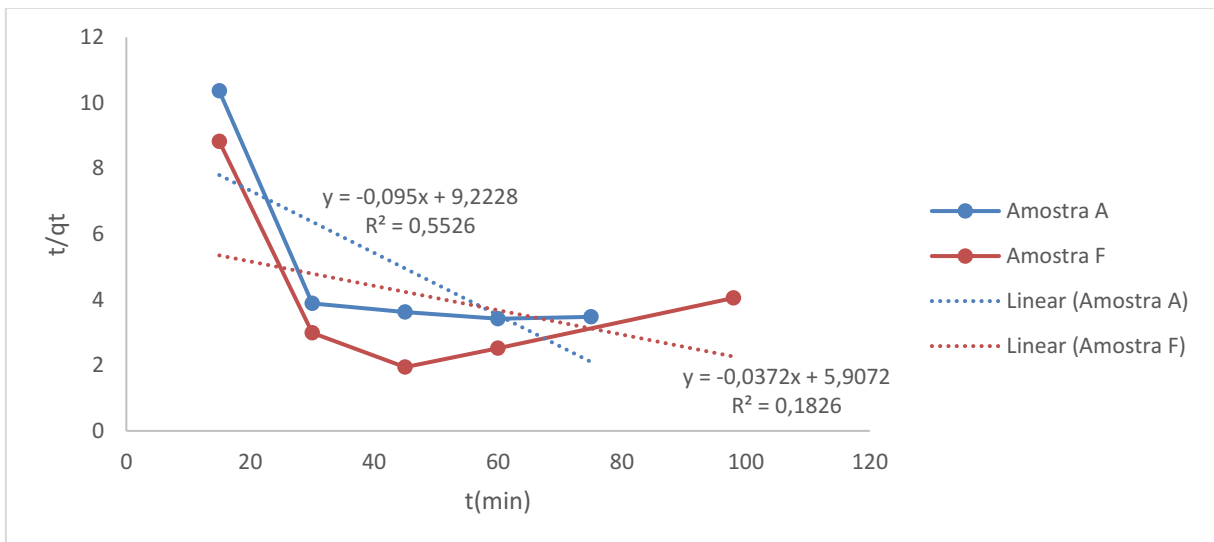
APÊNDICE B – Curva cinética de tingimento das amostras A e F

Figura 23 – Processos A e F ajustados ao modelo de pseudo-primeira ordem



Fonte: Autora (2022).

Figura 24 - Processos A e F ajustados ao modelo de pseudo-segunda ordem



Fonte: Autora (2022).

APÊNDICE C – Avaliação do corante residual com desvio padrão

Tabela 13 - Avaliação residual do corante no banho de tingimento

Amostras	Desvio Padrão (mg/L)	Corante Residual (%)	Esgotamento (%)
A	10,84	9,30	94,92
B	17,72	32,20	72,36
C	61,51	31,68	75,71
D	11,57	26,10	79,49
E	55,55	11,73	89,82
F	6,50	10,75	92,33
G	28,81	97,03	20,54
H	17,75	79,07	32,57
I	26,73	74,14	39,46
J	26,80	56,52	54,77

Fonte: Autora (2022).