Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Rita Soares Pinto

Tingimento têxtil com a utilização de corantes naturais

outubro de 2023

Tingimento têxtil com utilização de corantes naturais

Ana Rita Soares Pinto

UMINHO | 2023

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ana Rita Soares Pinto

Tingimento têxtil com a utilização de corantes naturais

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Química e Biológica

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professora Doutora Lígia Raquel Marona Rodrigues
Mestre Margarida Fernandes

outubro de 2023

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste projeto marca o fim de uma das caminhadas mais importantes da minha vida e, desta forma, gostaria de deixar o agradecimento a todos os que estiveram presentes e contribuíram, de alguma forma, para tornar tudo possível.

Primeiramente, gostaria de agradecer à Professora Doutora Lígia Rodrigues, pelo apoio, orientação e disponibilidade transmitidos ao longo deste projeto.

À minha orientadora do CITEVE, Mestre Margarida Fernandes, pelo apoio, orientação, pelas sugestões propostas e prontidão incansável ao longo deste projeto.

A toda a equipa do CITEVE, em especial ao Departamento de Química e Biotecnologia, à Doutora Carla Silva e ao Sr. Manuel pelo acolhimento e por toda a disponibilidade e ajuda prestados.

Um agradecimento especial aos meus colegas de laboratório, a Beatriz, o João e a Sara, por todo o companheirismo e apoio fundamentais para a realização desta dissertação.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais e irmão, que me apoiaram e confiaram incondicionalmente em todas as minhas decisões.

Às bzinhas, as melhores companheiras que podia ter para me acompanharem neste percurso académico. Obrigada por estarem ao meu lado, pelos risos, pelas partilhas, memórias e por tornarem estes anos tão especiais.

Aos meus amigos do coração pela amizade sincera, suporte e por estarem presentes ao longo deste percurso.

Projeto Integrado be@t – Bioeconomia Têxtil, para Reforço da Bioeconomia Nacional, financiado pelo Fundo Ambiental através da Componente 12 – Promoção da Bioeconomia Sustentável (Investimento TC-C12-i01 – Bioeconomia Sustentável N.º 02/C12- i01/202), dos fundos europeus atribuídos a Portugal pelo Plano de Recuperação e Resiliência (PRR), no âmbito do Mecanismo de Recuperação e Resiliência da União Europeia (UE), enquadrado no Next Generation UE, para o período de 2021 - 2026.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Tingimento têxtil com a utilização de corantes naturais

A indústria têxtil enfrenta o desafio da utilização de corantes sintéticos, que causa impactos ambientais devido à sua produção com matérias-primas fósseis e à geração de resíduos tóxicos. Existem esforços para substituir estes corantes químicos por alternativas naturais, tais como corantes obtidos por extração do eucalipto, cebola e açafrão. Além disso, a reciclagem do algodão e a reutilização da água após o tingimento são práticas promissoras na indústria. Neste sentido, esta dissertação pretende avaliar a viabilidade do uso de corantes naturais no tingimento de substratos têxteis de fibras de algodão, tanto virgens como com conteúdo reciclado. O processo de tingimento foi realizado por esgotamento com condições específicas de temperatura, agitação e tempo. O trabalho experimental envolveu a avaliação da influência de 3 parâmetros no tingimento: i) a cationização; ii) a tipologia da água utilizada na extração; iii) a concentração (20 g/L e 60 g/L) dos extratos naturais (castanheiro, tomilho, eucalipto, café e lúpulo). A cationização foi realizada por aplicação de quitosano ou fixador comercial, através de métodos de impregnação e esgotamento. A avaliação dos diferentes parâmetros no tingimento envolveu: i) a taxa de esgotamento; ii) o grau de manchamento; iii) a intensidade da cor (K/S); iv) a solidez à lavagem doméstica e à exposição solar. Os melhores resultados apresentam uma maior taxa de esgotamento, menor grau de manchamento e maior rendimento colorístico e solidez. Assim o melhor resultado no tingimento de malha virgem foi a utilização de água tratada na extração do corante do castanheiro, mas para extrair o corante do tomilho a melhor tipologia foi de 75% de água tratada/ 25% de água de captação. No caso do tingimento da malha reciclada, a extração com água não tratada demonstrou ser a melhor abordagem para ambos os casos. Nos dois extratos o tingimento em malha reciclada provou ser mais eficiente que na malha virgem. Na avaliação do pré-tratamento aplicado no substrato têxtil, para tingimento com extratos de eucalipto, café e lúpulo, constatou-se que o melhor foi por impregnação com 0,5% de quitosano, sendo que as melhores concentrações dos referidos extratos foram de 20 g/L para o eucalipto e lúpulo, e de 60 g/L para o café. Os resultados obtidos nesta dissertação permitiram concluir que a utilização de corantes naturais no tingimento, o reaproveitamento das fibras de algodão e da água após um processo têxtil são processos viáveis.

Palavras-chave: corantes naturais, tingimento, algodão reciclado, cationização, solidez

ABSTRACT

Textile dyeing using natural dyes

The textile industry faces the challenge of using synthetic dyes, which have environmental impacts due to their production using fossil raw materials and the generation of toxic waste. Efforts are being made to replace these chemical dyes with natural alternatives, such as dyes obtained through the extraction of eucalyptus, onion, and saffron. Furthermore, recycling cotton and reusing water after dyeing are promising practices in the industry. In this context, this dissertation aims to assess the feasibility of using natural dyes in the dyeing of textile substrates made from both virgin and recycled cotton fibers. The dyeing process was carried out by exhaustion under specific temperature, agitation, and time conditions. The experimental work involved evaluating the influence of three parameters on dyeing: i) cationization; ii) the type of water used in extraction; iii) the concentration (20 g/L and 60 g/L) of natural extracts (chestnut, thyme, eucalyptus, coffee, and hops). Cationization was performed by applying chitosan or a commercial fixative, using impregnation and exhaustion methods. The assessment of the different dyeing parameters included: i) exhaustion rate; ii) degree of staining; iii) color intensity (K/S); iv) domestic washing and sunlight fastness. The best results showed higher exhaustion rates, lower staining degrees, greater color yield, and fastness. Therefore, the best result for dyeing virgin fabric was achieved using treated water in the extraction of chestnut dye. However, to extract thyme dye, the best approach was to use a 75% treated water/25% collected water mix. In the case of dyeing recycled fabric, extraction with untreated water proved to be the best approach for both cases. In both extracts, dyeing on recycled fabric proved to be more efficient than on virgin fabric. Regarding the pre-treatment applied to the textile substrate for dyeing with eucalyptus, coffee, and hops extracts, it was found that the best method was impregnation with 0.5% chitosan, with the best concentrations for these extracts being 20 g/L for eucalyptus and hops, and 60 g/L for coffee. The results obtained in this dissertation allow us to conclude that the use of natural dyes in dyeing, as well as the reuse of cotton fibers and water after a textile process, are viable processes.

Keywords: Natural dyes, dyeing, recycled cotton, cationization, colorfastness

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS ..... **II**

RESUMO ..... **IV**

ABSTRACT ..... **V**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **IX**

ÍNDICE DE TABELAS ..... **XI**

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS ..... **XIII**

1. INTRODUÇÃO **1**

1.1 MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO 1

1.2 OBJETIVOS 2

1.3 ENTIDADE DE ACOLHIMENTO 3

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **4**

2.1 FIBRAS TÊXTEIS 4

2.2 ALGODÃO 5

FIBRAS RECICLADAS 7

2.3 TINGIMENTO 8

2.4 CORANTES 8

2.4.1 Corantes sintéticos *9*

2.4.2 Corantes naturais *9*

2.4.2.1 Classificação dos corantes naturais *10*

2.4.3 Vantagens e desvantagens do uso de corantes naturais no tingimento *12*

2.4.4 Tingimento com corantes naturais *13*

2.5 QUITOSANO COMO AGENTE DE CATIONIZAÇÃO 14

2.6 MÉTODOS DE CATIONIZAÇÃO E TINGIMENTO 16

2.6.1 Impregnação *16*

2.6.2 Esgotamento *16*

2.6.3 Comparação entre métodos de tingimento *16*

2.7 COR 17

2.8 SOLIDEZ DA COR 17

3. MATERIAIS E MÉTODOS **18**

3.1 MATERIAIS 18

3.2 PREPARAÇÃO DOS EXTRATOS NATURAIS 18

3.3 MODIFICAÇÃO DO SUBSTRATO TÊXTIL 20

3.4 Processo de tingimento 21
3.5 Avaliação da eficiência dos tingimentos 22
3.5.1 Determinação da taxa de esgotamento 22
3.5.2 Determinação do grau de manchamento 23
3.5.3 Avaliação da cor das amostras têxteis após tingimento 23
3.5.4 Avaliação da solidez à lavagem 24
3.5.5 Avaliação da solidez à luz 25
4. RESULTADOS & DISCUSSÃO 26
4.1 Tingimento com o corante natural castanheiro 26
4.1.1 Influência do solvente na extração do corante natural 26
4.1.2 Solidez à lavagem doméstica e à luz solar 30
4.2 Tingimento com o corante natural tomilho 32
4.2.1 Influência do solvente na extração do corante natural 32
4.2.2 Solidez à lavagem doméstica e à luz solar 35
4.3 Tingimento com o corante natural eucalipto 37
4.3.1 Influência do pré-tratamento na extração do corante natural eucalipto 37
4.3.2 Solidez à lavagem doméstica e à luz solar 41
4.4 Tingimento com o corante natural café 43
4.4.1 Influência do pré-tratamento na extração do corante natural café 43
4.4.2 Solidez à lavagem doméstica e à luz solar 47
4.5 Tingimento com o corante natural lúpulo 49
4.5.1 Influência do pré-tratamento na extração do corante natural lúpulo 49
4.5.2 Solidez à lavagem doméstica e à luz solar 53
5. CONCLUSÕES & PERSPETIVAS FUTURAS 55
5.1 Conclusões 55
5.2 Perspetivas Futuras 56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 57
ANEXO A – VALORES DO PH DAS INFUSÕES ANTES E APÓS TINGIMENTO DE CADA EXTRATO 61
ANEXO B – ABSORVÂNCIAS LIDAS PARA CADA ENSAIO 64
ANEXO C – AMOSTRAS OBSERVADAS NA CÂMARA DE LUZ 65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Classificações de fibras têxteis (adaptado de:(Shuvo, 2020b)). 4
Figura 2. Estrutura química da celulose. 5
Figura 3. Mercado global de algodão em 2021 (retirado de: (Opperskalski *et al.*, 2022)). 7
Figura 4. Classificação dos corantes naturais (adaptado: (Patel, 2011)). 10
Figura 5. Processo de desacetilação da quitina em quitosano (adaptado de: Zhou *et al.*, 2019)). 14
Figura 6. Reação de reticulação entre o quitosano e a fibra de algodão (retirado de: (Bhuiyan *et al.*, 2014). 15
Figura 7. Espaço de cor CIELAB (retirado de: Ly *et al.*, 2020). 17
Figura 8. equipamento Mathis 18
Figura 9- A) Água não tratada e B) Água tratada 19
Figura 10. Equipamentos; A) Foulard; B) Secadora W. Mathis AG 21
Figura 11. Diagrama do processo de tingimento. 22
Figura 12. Espetrofotómetro UV-Vis, UV-2600i (Shimadzu) 23
Figura 13. Câmara de luz, Verivide 24
Figura 14. Colorímetro (spectraflash ® SF450) 24
Figura 15. Método de exposição das amostras à luz solar 25
Figura 16. Valores de K/S das amostras têxteis tingidas com castanheiro e utilizando diferentes tipologias de água. 27
Figura 17. Valores das coordenadas colorimétricas L* das malhas tingidas com coloração de castanheiro. 28
Figura 18. Valores das coordenadas colorimétricas a* das malhas tingidas com coloração de castanheiro. 28
Figura 19. Valores das coordenadas colorimétricas b* das malhas tingidas com coloração de castanheiro. 29
Figura 20. Diferença de cor entre as amostras após tingimento com as amostras após lavagem e após exposição à luz solar. 30
Figura 21. Valores de K/S das amostras têxteis tingidas com tomilho e utilizando diferentes tipologias de água. 33
Figura 22. Valores das coordenadas colorimétricas L* das malhas tingidas com coloração de tomilho. 34

Figura 23. Valores das coordenadas colorimétricas a* das malhas tingidas com coloração de tomilho. 34
Figura 24. Valores das coordenadas colorimétricas b* das malhas tingidas com coloração de tomilho. 35
Figura 25. Diferença de cor entre as amostras após tingimento com as amostras após lavagem e após exposição à luz solar. 36
Figura 26. Valores de K/S das amostras têxteis tingidas com eucalipto e utilizando diferentes tipologias de água. 39
Figura 27. Valores das coordenadas colorimétricas L* das malhas tingidas com coloração de eucalipto. 40
Figura 28. Valores das coordenadas colorimétricas a* das malhas tingidas com coloração de eucalipto. 40
Figura 29. Valores das coordenadas colorimétricas b* das malhas tingidas com coloração de eucalipto. 41
Figura 30. Diferença de cor entre as amostras após tingimento com as amostras após lavagem e após exposição à luz solar. 42
Figura 31. Valores de K/S das amostras têxteis tingidas com café e utilizando diferentes tipologias de água 45
Figura 32. Valores das coordenadas colorimétricas L* das malhas tingidas com coloração de café. ... 46
Figura 33. Valores das coordenadas colorimétricas a* das malhas tingidas com coloração de café. ... 46
Figura 34. Valores das coordenadas colorimétricas b* das malhas tingidas com coloração de café. ... 47
Figura 35. Diferença de cor entre as amostras após tingimento com as amostras após lavagem e após exposição à luz solar. 48
Figura 36. Valores de K/S das amostras têxteis tingidas com lúpulo e utilizando diferentes tipologias de água 50
Figura 37. Valores das coordenadas colorimétricas L* das malhas tingidas com coloração de lúpulo. 51
Figura 38. Valores das coordenadas colorimétricas a* das malhas tingidas com coloração de lúpulo. 52
Figura 39. Valores das coordenadas colorimétricas b* das malhas tingidas com coloração de lúpulo. 52
Figura 40. Diferença de cor entre as amostras após tingimento com as amostras após lavagem e após exposição à luz solar. 53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Composição das fibras de algodão (adaptado de: Cotton Incorporated, 2012). 6
Tabela 2. Classificação dos corantes com base na sua estrutura química (adaptado de: (Vankar, 2000)). 11
Tabela 3. Corantes naturais mais utilizados no tingimento têxtil. 13
Tabela 4. Preparação dos extratos naturais 19
Tabela 5. Condições de pré-tratamentos 20
Tabela 6. Condições de tingimento para as malhas pré-tratadas 21
Tabela 7. Taxa de esgotamento relativa ao tingimento com castanheiro. 26
Tabela 8. Valores da escala de cinzentos das amostras têxteis tingidas com coloração de castanheiro. 31
Tabela 9. Taxa de esgotamento relativa ao tingimento com tomilho. 32
Tabela 10. Valores da escala de cinzentos das amostras têxteis tingidas com coloração de tomilho. .. 37
Tabela 11. Taxa de esgotamento e grau de manchamento relativa ao tingimento com eucalipto. 38
Tabela 12. Valores da escala de cinzentos das amostras têxteis tingidas com coloração de eucalipto. 42
Tabela 13. Taxa de esgotamento e grau de manchamento relativa ao tingimento com café. 44
Tabela 14. Valores da escala de cinzentos das amostras têxteis tingidas com coloração de café. 48
Tabela 15. Taxa de esgotamento e grau de manchamento relativa ao tingimento com lúpulo. 49
Tabela 16. Valores da escala de cinzentos das amostras têxteis tingidas com coloração de lúpulo. 54

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

CITEVE – Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal

CO – Algodão

L*- Luminosidade

a*- Coordenada de cor na gama vermelho/verde

b*- Coordenada de cor na gama amarelo/azul

50/50- Solução com 50% Água residual após tratamento / 50% Água de captação

75/25- Solução com 75% Água residual após tratamento / 25% Água de captação

Água tratada - Água residual após tratamento por tecnologia de membranas (ultrafiltração e osmose inversa) pela empresa de tinturaria e acabamentos

Água não tratada - Água residual da ETAR (sem tratamento) da empresa de tinturaria e acabamentos

Malha reciclada- Malha 100% algodão composta por 60% algodão virgem e 40% algodão reciclado

IQ – Impregnação com Quitosano

EQ – Esgotamento com Quitosano

EFC – Esgotamento com Fixador Comercial

UV-Vis - Ultravioleta-visível

Abs – Absorvância

K/S – Intensidade da cor

σ K/S – Desvio padrão dos valores de K/S lidos para cada amostra

$\left|\overline{X_{K/S}}\right|$ - Módulo das médias dos valores de K/S lidos para cada amostra

EC – Escala de cinzentos

dE- diferença de cor

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e enquadramento

A indústria têxtil é uma das mais poluentes do mundo, com uma pegada ecológica prejudicial (Leal Filho *et al.*, 2022). Este, tem sido um ponto crítico no debate sobre sustentabilidade e proteção ambiental, visto que esta indústria tem sido uma fonte significativa de resíduos, muitos dos quais altamente nocivos para a saúde humana e para o meio ambiente (Harsanto *et al.*, 2023). Adicionalmente, esta indústria tem vindo a crescer muito rapidamente nas últimas décadas, levando a um consumo elevado de água e produtos químicos e emitindo uma grande quantidade de dióxido de carbono e outros compostos poluentes que atingem milhões de toneladas (Guillot, 2023; Leal Filho *et al.*, 2022). De acordo com a definição de sustentabilidade, é essencial que a geração presente atenda às suas necessidades sem pôr em risco as necessidades das gerações futuras (Kuhlman & Farrington, 2010). Atualmente, em todos os setores industriais, a sustentabilidade tem vindo a ser priorizada, criando uma necessidade urgente de melhoria (Harsanto *et al.*, 2023).

Um dos principais desafios enfrentados por esta indústria é o uso de corantes sintéticos, que causa um grande impacto ambiental, uma vez que recorre ao uso de matérias-primas fósseis que sofrem várias reações químicas nocivas. Além disso, os resíduos poluentes gerados pela indústria têxtil, tais como, produtos químicos tóxicos, corantes e metais pesados, muitas vezes são despejados em rios ou oceanos sem tratamento adequado, sendo que esses poluentes podem ter efeitos devastadores sobre a fauna e a flora aquática, para além de representarem um grande risco para a saúde humana. Durante o processo de tingimento, cerca de 10-15% dos corantes usados são libertados para os rios/oceanos (Samchetshabam *et al.*, 2017). Numa perspetiva de reduzir o elevado consumo de água e o descarte da mesma no fim do processo de tingimento, é ainda relevante avaliar o potencial da reutilização da mesma gerada ao fim dos processos desta indústria, ou seja, se esta água continua com as mesmas propriedades para tingimento. Uma vez que a água é usada como meio de transporte para os produtos químicos que entram no processo, sendo desta forma de difícil descarte (COGORNI *et al.*, 2015). Outro grande desafio que esta indústria têxtil enfrenta é que, muitas vezes, depende de tecnologias e processos tradicionais que são ineficientes e poluentes, o que limita a capacidade de inovação (Harsanto *et al.*, 2023).

Nesse contexto, assume especial importância a utilização de corantes naturais no tingimento de fibras têxteis, apresentando diversas vantagens quando comparados com os corantes sintéticos e, ainda, a

utilização de substrato têxtil com conteúdo reciclado. Estas recaem na biodegradabilidade dos corantes naturais, na sua reduzida toxicidade e dos reduzidos efeitos alergénicos. Os corantes naturais podem ainda ser obtidos a partir de várias fontes naturais, tais como plantas, insetos, fungos e minerais, bem como de subprodutos e resíduos de outras indústrias, como a indústria alimentar, madeira e indústrias agrícolas, tornando-os uma importante fonte de matéria-prima económica e sustentável para o tingimento natural de materiais têxteis. Além disso, estes corantes produzem tintos menos poluentes, podendo conferir também propriedades antimicrobianas.

No entanto, a utilização de corantes naturais no processo de tingimento na indústria têxtil enfrenta vários desafios, nomeadamente, o baixo rendimento colorístico, a baixa uniformidade/manchamentos do produto tingido, assim como baixa solidez da cor à lavagem e à luz (Prabhu & Bhute, 2012). Desta forma, torna-se crucial desenvolver um processo de tingimento otimizado com corantes naturais, como por exemplo variando o método de cationização utilizado.

Adicionalmente ao impacto ecológico causado pelos corantes químicos utilizados na indústria têxtil, o impacto ecológico do cultivo do algodão (CO) é, igualmente, considerável, nomeadamente por causa do consumo de água, de inseticidas que este implica e emissão de dióxido de carbono (Leal Filho *et al.*, 2019). Por este motivo, e tendo em conta que o algodão é a fibra têxtil natural mais utilizada no mundo, é crucial fomentar o uso de algodão reciclado, de forma a diminuir o seu cultivo. O algodão reciclado possui uma pegada ecológica reduzida e requer consideravelmente menos água e energia em comparação com o algodão convencional. Essa abordagem possibilita uma produção mais eficiente e integra-se em um contexto de economia circular (Leal Filho *et al.*, 2019).

1.2 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é avaliar a viabilidade da utilização dos corantes naturais, provenientes de plantas ou resíduos da indústria alimentar, neste caso, com extrato de castanheiro, tomilho, eucalipto, café, e lúpulo, no tingimento de substratos têxteis celulósicos, contendo na sua composição apenas fibras virgens ou com 40% de fibras recicladas. Visando atingir o objetivo mencionado, efetuou-se um estudo sobre o tingimento com este tipo de corantes, de modo a definir estratégias de utilização destes compostos naturais e parâmetros que possam conduzir aos melhores resultados, relativamente ao elevado rendimento colorístico e maior solidez, à lavagem doméstica e à exposição à luz solar, das amostras tingidas. Neste trabalho foram também estudados diferentes processos de cationização, tais como:

- Impregnação com solução de quitosano;

- Esgotamento com solução de quitosano;
- Esgotamento com solução de fixador comercial.

Adicionalmente, estudou-se o potencial de utilização de água residual da ETAR de uma empresa de tinturaria e acabamentos após a tratamento por tecnologias de membranas (ultrafiltração seguida de osmose inversa) no processo de tingimento com corantes naturais.

Foram avaliados parâmetros de controlo de qualidade fundamentais na área têxtil de tinturaria e acabamentos, tais como, o aparecimento de manchamentos e a solidez à luz e à lavagem, através da medição das coordenadas de cor do sistema CIELAB.

Por fim, as conclusões obtidas com base nas análises realizadas foram devidamente discutidas, e proporcionaram uma compreensão abrangente dos resultados alcançados.

1.3 Entidade de acolhimento

O CITEVE é o Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal, sendo uma organização privada sem fins lucrativos, ativa desde 1989, localizada em Vila Nova de Famalicão, com delegações comerciais no Paquistão, na Tunísia, no Brasil, no Chile, na Argentina e no México. O seu objetivo é apoiar o desenvolvimento das capacidades técnicas e tecnológicas das indústrias têxtil e do vestuário. Este centro fornece serviços diversos, que incluem ensaios laboratoriais, certificação de produtos, consultoria técnica e tecnológica, I&D e inovação, formação, moda e design, entre outros (CITEVE, 2023). Sendo esta uma organização de referência a nível nacional e europeu, a missão do CITEVE, com o intuito de promover a inovação e o desenvolvimento da Indústria Têxtil e do Vestuário, é apoiar a evolução das capacidades técnicas e tecnológicas das indústrias têxtil e do vestuário, através do fomento e da difusão da inovação, da promoção da melhoria da qualidade e do suporte instrumental à definição de políticas industriais para o sector (CITEVE, 2023).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fibras têxteis

A *American Society for Testing and Materials* define fibra têxtil como "um termo genérico para qualquer um dos vários tipos de matéria que constituem os elementos básicos de um têxtil e caracterizado por ter um comprimento de pelo menos 100 vezes o seu diâmetro".

Porém, nem todas as fibras podem ser consideradas fibras têxteis. Uma fibra têxtil deve possuir algumas propriedades obrigatórias, como estrutura fibrosa, capacidade de fiar, finura, capacidade de tingimento e a capacidade de reagir com ácido ou alcalino (Elsevier science Ltd., 2001; Shuvo, 2020).

As fibras têxteis podem então ser classificadas em duas classes principais, fibras naturais ou químicas. A classe de fibras naturais apresenta algumas subclasses, tais como fibras vegetais, animais e minerais. Por outro lado, as fibras químicas apresentam a subclasse de fibras a partir de polímeros naturais ou sintéticas (Figura 1).

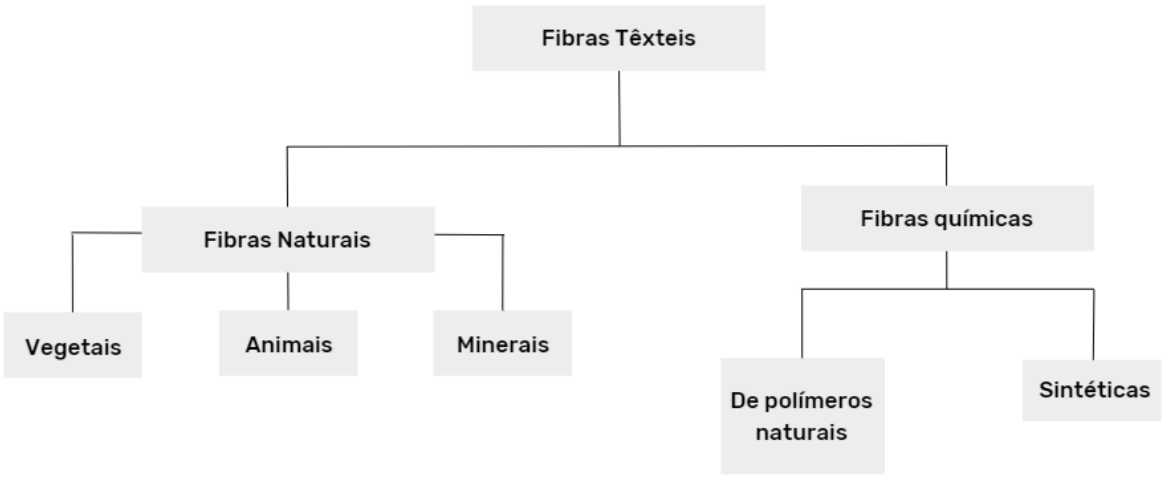


Figura 1. Classificações de fibras têxteis (adaptado de:(Shuvo, 2020)).

As fibras naturais são todas as fibras extraídas de elementos de origem natural, isto é, origem animal, vegetal ou mineral. As fibras naturais de origem animal podem ser provenientes de alguns insetos, como é o caso da seda, ou podem originar-se de certos animais e ter uma estrutura molecular composta de queratina, como ocorre com a lã. As fibras vegetais, como é o caso do algodão, são estruturas alongadas com secção transversal arredondada e podem ser classificadas de acordo com sua origem, ou seja, fibras de sementes, caules, folhas ou frutos. As fibras de origem mineral têm sua proveniência em rochas

com estrutura fibrosa e consistem principalmente em silicatos, como por exemplo o amianto (Opperskalski *et al.*, 2022; Shuvo, 2020).

As fibras químicas foram desenvolvidas com o objetivo de aprimorar várias propriedades comparativamente com as fibras naturais, como resistência mecânica, estabilidade térmica e condutividade elétrica. Estas podem ser divididas em duas categorias, nomeadamente artificiais (de polímeros naturais) e sintéticas. As fibras artificiais, tal como a fibra de acetato, são obtidas através da transformação de polímeros naturais por meio de agentes químicos em processos de extrusão. As fibras sintéticas são produzidas quimicamente a partir de derivados do petróleo, o que resulta numa ampla gama de materiais com diversas propriedades. O aparecimento das fibras sintéticas desempenhou um papel significativo na expansão das aplicações de materiais à base de fibras, devido às suas propriedades físicas, químicas e mecânicas variadas. Assim, fibras como poliéster, poliamida ou polipropileno encontraram rapidamente aplicações generalizadas e em larga escala em setores considerados não convencionais, incluindo vestuário e têxteis para o lar, medicina, transporte, aviação, construção civil, entre outros (Opperskalski *et al.*, 2022; Shuvo, 2020).

2.2 Algodão

A fibra de algodão é a fibra natural mais amplamente utilizada atualmente e, como tal, tem um elevado impacto na economia global. Esta é a forma mais pura de celulose, o polímero mais abundante na natureza (Figura 2). Embora todas as plantas contenham celulose, elas possuem diferentes graus desse componente. A celulose nas fibras de algodão é a de maior peso molecular entre todas as fibras vegetais e possui uma estrutura altamente cristalina, orientada e fibrilar. O CO é considerado uma fibra e biomassa de alta qualidade, devido à sua abundância e elevada ordem estrutural (Gordon & Hsieh, 2006).

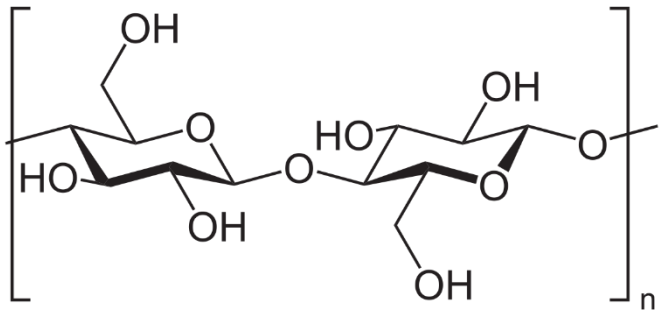


Figura 2. Estrutura química da celulose.

As fibras de algodão são compostas maioritariamente por celulose (88,0-96,0%). As substâncias não celulósicas estão localizadas nas camadas externas (cutícula e parede celular primária) ou no lúmen das fibras, enquanto a parede celular secundária é puramente celulósica. A composição química específica das fibras de CO varia de acordo com as variedades, as condições de cultivo e o estado de maturidade. As substâncias não celulósicas incluem proteínas (1,1-1,9%), ceras (0,4-1,0%), pectinas (0,7-1,2%), cinzas (0,7-1,6%) e outras substâncias orgânicas (0,5-1,0%). Em fibras menos desenvolvidas ou imaturas, os teores de substâncias não celulósicas são significativamente maiores (Cotton Incorporated, 2012; Gordon & Hsieh, 2006) (Tabela 1).

Tabela 1. Composição das fibras de algodão (adaptado de: Cotton Incorporated, 2012).

Constituintes	Composição (%)
	Fibra
Celulose	88,0-96,0
Pectinas	0,7-1,2
Ceras	0,4-1,0
Proteínas	1,1-1,9
Cinzas	0,7-1,5
Outros compostos orgânicos	0,5-1,0

Tal como já mencionado anteriormente, a importância económica das fibras de algodão no mercado global é evidente, pois possui a quota maioritária de entre as fibras para vestuário e produtos têxteis. Tanto o valor de mercado quanto a qualidade dos produtos de algodão estão diretamente relacionados com a qualidade da fibra. A concorrência com outras fibras é afetada pela comercialização de materiais como poliéster, nylon, elastômeros, entre outros. Para manter a competitividade das fibras de algodão no mercado global de vestuário e têxteis, é essencial ter um entendimento fundamental das fibras, melhorar significativamente a sua qualidade, inovar nos processos e na diferenciação de produtos.

Fibras recicladas

Com o preocupante fenómeno do aquecimento global a afetar o clima, há uma crescente necessidade de fontes renováveis de fibras naturais sustentáveis. Porém, mesmo o CO sendo a fibra natural mais abundante, o seu cultivo requer uma estimativa de 550-950 L/m² de água e o processamento de um quilo do produto pode consumir até 29 000 L de água (Shuvo, 2020).

Assim, para melhorar o impacto ecológico da indústria têxtil, está a ser proposta uma política de economia circular, PERSU 2030. Este plano foca-se na implementação da hierarquia de resíduos, centrada na prevenção como objetivo prioritário, promovendo uma acentuada redução da produção de resíduos, através, nomeadamente, de medidas que fomentam a reutilização e/ou o prolongamento do tempo de vida de produtos, reduzindo a degradação da paisagem, limitando a perda de biodiversidade e reduzindo as emissões anuais de gases do efeito estufa. (APA, 2021).

Desta forma, as empresas estão a adotar, de forma progressiva, materiais preferenciais, ou seja, materiais que resultam na diminuição dos impactos ambientais e numa maior sustentabilidade social em comparação com a produção convencional. Estes materiais, podem ser divididos em materiais renováveis preferenciais (obtidos de programas mais sustentáveis) e materiais reciclados (provenientes de resíduos pré e pós-consumo). Embora haja um foco na expansão do uso de algodão proveniente de fontes mais sustentáveis, a redução do uso de matérias-primas virgens também é igualmente importante. Sendo o objetivo substituir o algodão convencional pelo mais sustentável, como o caso do algodão orgânico. Em 2020, apenas 8,4% das fibras, na sua generalidade, foram recicladas, aumentando para 8,9% em 2021. Especificamente, o algodão reciclado, em 2021, adquiriu 1% da produção total de algodão. Isto é, a produção de algodão virgem foi de 25 milhões de toneladas, enquanto a de algodão reciclado foi de 272 mil toneladas (Figura 3). Embora o volume de algodão reciclado ainda seja pequeno, este valor tem tendência a crescer (Opperskalski *et al.*, 2022).

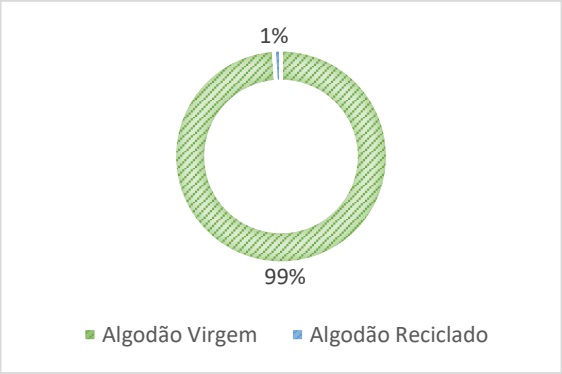


Figura 3. Mercado global de algodão em 2021 (retirado de: (Opperskalski *et al.*, 2022)).

2.3 Tingimento

O tingimento têxtil é um dos processos de acabamento na indústria têxtil. É nesta etapa que é conferida uma cor uniforme em toda a sua extensão às fibras, com um determinado grau de solidez permitindo obter cores práticas sob o ponto de vista de uso, dar aos substratos têxteis um aspeto mais agradável e, também, dar resposta às necessidades da moda e dos consumidores. A cor é um aspeto extremamente importante na comercialização e utilização dos têxteis modernos (Cotton Incorporated, 2012).

Os materiais que conferem a cor, têm uma afinidade e permanência natural nos têxteis são conhecidos como corantes. Os corantes migram ou difundem-se na estrutura química molecular das fibras têxteis para desenvolver a cor final do produto têxtil. A associação molecular corante-fibra é também responsável pelo grau de solidez ou permanência da cor devido à atração molecular entre o corante específico e a fibra têxtil específica, os corantes são classificados como sendo específicos da fibra.

O processo de tingimento, incluem ainda uma fase de preparação do substrato têxtil, o tingimento propriamente dito e o acabamento. No tingimento, a gestão da temperatura e do tempo são dois elementos cruciais. O processo de tingimento de têxteis é reconhecido como um dos processos industriais mais prejudiciais para o ambiente. Assim, é fundamental encontrar métodos alternativos mais sustentáveis para o tingimento de têxteis (Cotton Incorporated, 2012).

2.4 Corantes

O corante é uma substância que confere cor, principalmente a fibras têxteis e tecidos. Apresentam a capacidade de absorver luz na região visível do espetro e de se ligar firmemente aos substratos têxteis, através de ligações químicas e físicas entre o grupo cromóforo do corante e o grupo presente no substrato (Cotton Incorporated, 2012).

A utilização de corantes na indústria têxtil tem uma longa história, com o desenvolvimento e a utilização de corantes naturais e sintéticos. Os corantes naturais são utilizados há séculos, como é o caso do índigo, enquanto os corantes sintéticos surgiram no final do século XIX e revolucionaram a indústria têxtil. O corante índigo natural é uma cor azul-esverdeada escura geralmente obtida a partir das folhas de plantas nativas de diferentes regiões do mundo. Este pertence à classe mais antiga de corantes conhecida mundialmente há cerca de 400 anos. Inicialmente, o índigo era utilizado como corante preto até as suas propriedades azuis de tingimento serem descobertas (Prabhu & Bhute, 2012).

2.4.1 Corantes sintéticos

No final do século XIX, a descoberta dos corantes sintéticos revolucionou a indústria têxtil. O pioneiro no desenvolvimento do primeiro corante sintético, foi William Henry Perkin em 1856. Esta descoberta impulsionou o rápido desenvolvimento de uma alargada gama de corantes sintéticos, os quais, ofereciam vantagens como maior solidez da cor, uma vasta gama de cores e facilidade de aplicação. Os corantes sintéticos são produzidos através de síntese química, permitindo um maior controlo da consistência da cor (Cotton Incorporated, 2012).

O avanço no desenvolvimento dos corantes sintéticos também teve implicações económicas significativas. A disponibilidade de uma vasta gama de cores a um custo mais baixo tornou os têxteis mais económicos e acessíveis. Além disso, a indústria dos corantes sintéticos gerou novas oportunidades de emprego e estimulou o crescimento económico. No entanto, a produção e a utilização de corantes sintéticos também suscitaram preocupações quanto aos impactos ambientais e na saúde. Como estes corantes são de base fóssil dificultam a sua degradação em águas residuais. Além disso, os processos convencionais de tratamento de águas residuais nem sempre são eficazes na remoção de corantes sintéticos, especialmente em concentrações elevadas, estes corantes podem passar pelo processo de tratamento e entrar nas massas de água naturais, onde podem ter efeitos prejudiciais nos ecossistemas aquáticos. Assim, têm vindo a ser investigadas alternativas aos corantes sintéticos, viáveis a nível industrial, tais como os métodos de coloração natural (Ragab & Hassabo, 2021).

2.4.2 Corantes naturais

Os corantes naturais são misturas complexas de componentes derivados extraídos de substâncias naturais, tais como plantas, animais ou minerais. Desta forma, o corante natural é definido como produto derivado de recursos biológicos renováveis e sustentáveis com um impacto ambiental mínimo. (Ragab & Hassabo, 2021). Atualmente, foi identificado um grande número de ervas, arbustos, árvores, insetos, animais, microrganismos, e minerais para a extração de compostos corantes. Até 1856, todos os têxteis utilizados globalmente eram tingidos com corantes naturais, ou seja, obtidos diretamente de fontes naturais, sendo a grande maioria proveniente de plantas ou de animais. Embora tenham sido a principal fonte de cores no passado, a sua utilização na coloração de materiais têxteis declinou rapidamente após a descoberta dos corantes sintéticos, tendo mesmo sido praticamente abandonada a partir do início do século XX (Cotton Incorporated, 2012).

A procura deste tipo de corantes tem vindo, no entanto, a aumentar muito rapidamente nos últimos anos, esta realidade resulta principalmente de uma maior consciencialização dos consumidores acerca dos procedimentos altamente poluentes que envolvem o tingimento com corantes sintéticos e das vantagens que os corantes naturais apresentam. Igualmente, alguns corantes sintéticos foram proibidos em várias regiões do mundo, incluindo pela União Europeia (Prabhu & Bhute, 2012; Senaldi *et al.*, 2008).

2.4.2.1 Classificação dos corantes naturais

Os corantes naturais podem ser classificados de várias formas. Inicialmente, os métodos de classificação eram somente baseados na ordenação alfabética dos mesmos. Posteriormente, foram adotados outros métodos de classificação, dos quais, alguns se encontram representados na Figura 4.

Desta forma, com base na estrutura química dos corantes naturais apresentam-se as seguintes classes e respetivos exemplos de estruturas químicas de corantes que nelas se inserem (Tabela 2) (Kumar & Choudhury, 2018; Vankar, 2000).

Por fim, a classificação de corantes naturais pode, ainda, ser feita com base na cor original dos mesmos, pois, a cor natural e a tonalidade dos corantes podem ser alteradas pelo tratamento com sais metálicos. Se o corante for de origem vegetal, a cor pode variar dependendo das propriedades do solo, parte da planta, temporada de colheita e práticas de cultivo (Vankar, 2000).

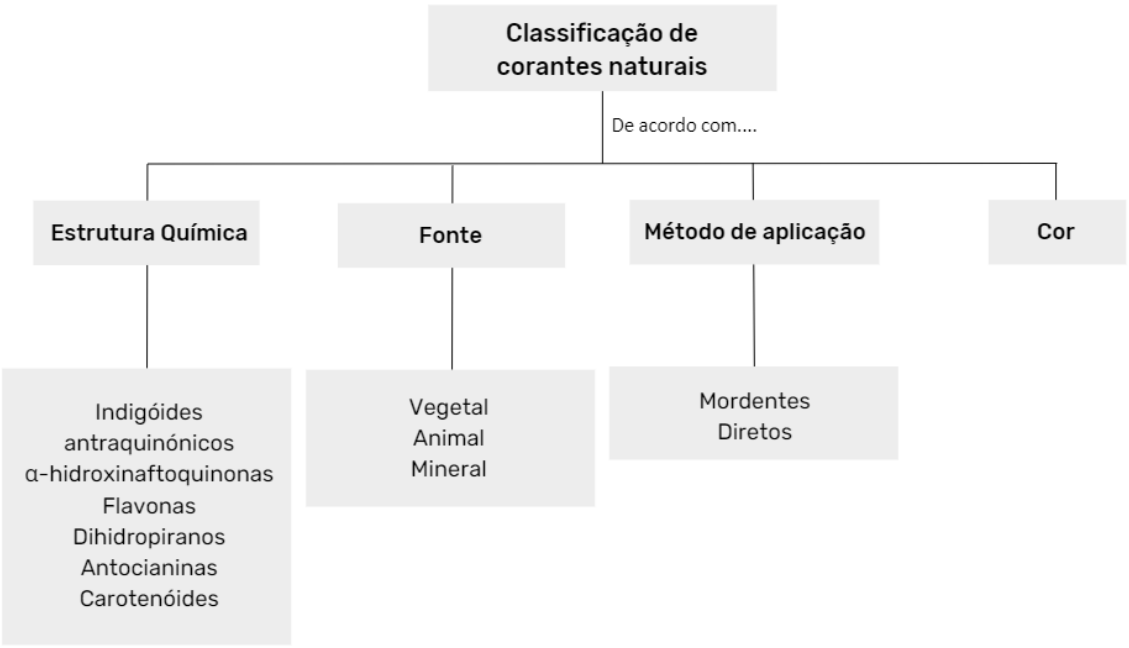
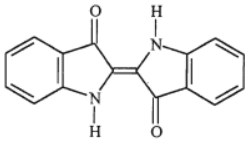
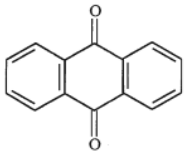
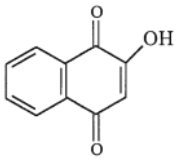
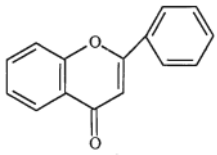
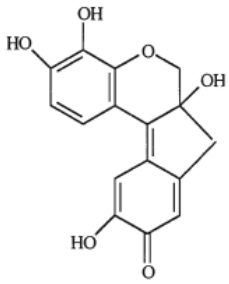
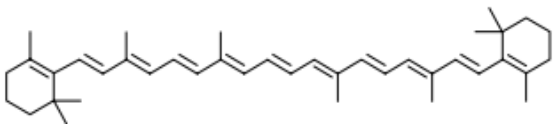


Figura 4. Classificação dos corantes naturais (adaptado: (Patel, 2011)).

Com base na sua origem ou nas fontes a partir das quais são produzidos, os corantes naturais podem ser agrupados em três classes distintas, nomeadamente os derivados de fontes vegetais, os derivados de insetos ou outras fontes animais e aqueles derivados de fontes minerais. Os corantes vegetais são obtidos de várias partes de plantas e ervas, incluindo o caule, madeira, raízes, casca, folhas, flores, frutas e cascas de plantas. Eles produzem tons distintos, tanto em fibras naturais quanto em fibras sintéticas.

Tabela 2. Classificação dos corantes com base na sua estrutura química (adaptado de: (Vankar, 2000)).

Classe Química	Estrutura Química
Indigóides	
Antraquinónicos	
α -hidroxinaftoquinonas	
Flavonas	
Dihidropiranos	
Carotenóides	

Relativamente aos corantes provenientes de insetos/animais, alguns dos corantes vermelhos mais importantes, baseados na estrutura da antraquinona, são obtidos a partir de insetos ou animais. Esses

corantes são conhecidos pela sua boa resistência à luz e pela capacidade de formar complexos com sais metálicos, o que resulta numa boa solidez à lavagem. Por fim, existe a classificação dos corantes derivados de fontes minerais, ou seja, são produzidos a partir de recursos minerais (Patel, 2011; Tamilarasi, 2021).

Relativamente à classificação quanto ao método de aplicação, os corantes naturais podem ser classificados como corantes diretos ou mordentes. Os corantes diretos podem ser subdivididos em corantes diretos para o algodão, para a lã e seda, corantes ácidos e básicos. Sendo que os corantes diretos para o algodão podem ser aplicados em todas as fibras naturais, os ácidos, geralmente, só podem ser aplicados em lã e seda. Os básicos podem, igualmente, ser aplicados em lã e seda e ainda em algodão tratado com ácido tânico. Por outro lado, os corantes complexos/mordentes são igualmente adequados para fibras animais e vegetais. Há uma classe adicional de corantes que são insolúveis em água, exemplo destes é o índigo.

2.4.3 Vantagens e desvantagens do uso de corantes naturais no tingimento

Como mencionado anteriormente, os corantes sintéticos são muito utilizados nos têxteis e na indústria, mas têm muitas desvantagens, como por exemplo a sua eliminação enquanto resíduos/efluentes. Resumindo, os corantes naturais são mais seguros que os corantes sintéticos, são biodegradáveis, bastante menos nocivos, amigos do ambiente, renováveis, conferem diversas propriedades funcionais e produzem tonalidades muito atrativas e suaves (Ragab & Hassabo, 2021).

Porém, estes, apresentam algumas limitações, tais como, terem uma menor disponibilidade de cores, difícil controlo das tonalidades, tendem a desvanecer-se facilmente, por isso, para que estes se fixem aos tecidos são utilizados fixadores. A solidez da cor dos corantes naturais à lavagem e à luz é, em geral, inferior à dos corantes sintéticos bem selecionados e aplicados, e normalmente não satisfaz as exigências dos consumidores. Os corantes naturais têm uma disponibilidade limitada. Estão sujeitos aos períodos de crescimento das plantas, condições climatéricas ou aos ciclos de vida dos insetos dos quais derivam. O maior tempo consumido na preparação da solução de tingimento e no processo de aplicação propriamente dito também fazem com que o custo do tingimento com corantes naturais seja consideravelmente superior quando comparado com tingimento com corantes sintético. Os rendimentos são baixos em relação ao solo utilizado, e pode haver concorrência com a produção de géneros alimentícios. A produção de corantes naturais não é suficiente para satisfazer a procura comercial em grande escala. Os corantes sintéticos, no entanto, são produzidos continuamente de acordo com a

procura. Desta forma, estes corantes, são utilizados em indústrias artesanais de pequena escala, onde a quantidade de corantes necessária é baixa (Ragab & Hassabo, 2021).

2.4.4 Tingimento com corantes naturais

Para o tingimento com corantes naturais é necessária uma extração previa dos componentes presentes na planta ou resíduo, existindo diversas formas de extração, tais como, extração por sistema aquoso, por sistema ácido ou alcalino, extração por um sistema de um solvente não aquoso.
Na tabela 3, são apresentados alguns dos corantes naturais utilizados no tingimento de fibras têxteis.

Tabela 3. Corantes naturais mais utilizados no tingimento têxtil.

Extrato	Nome científico	Origem do corante	Cor do corante	Referência
Cebola	*Allium Cepa*	Casca	Castanho	(Galdino *et al.*, 2021)
Amendoim	*Pterogyne Nitrens*	Casca	Castanho	(Ragab & Hassabo, 2021)
Oliveira	*Olea europaea L.*	Folha	Castanho amarelado	(Ragab & Hassabo, 2021)
Eucalipto	*Eucalyptus globulus L.*	Folha	Castanho amarelado	(Galdino *et al.*, 2021; Mongkholrattanasit *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2018)
Açafrão da terra	*Curcuma longa L.*	Rizoma	Amarelo alaranjado	(Yadav *et al.*, 2019)
Mangueira (Árvore da Manga)	*Mangifera indica*	Folhas	Acastanhado	(Yanti *et al.*, 2021)

Relativamente ao método de extração por sistema aquoso, este é um dos métodos mais antigos e simples utilizados globalmente. A matéria-prima é inicialmente triturada ou moída e de seguida os componentes corantes são extraídos em água em ebulição, por um tempo específico. Após arrefecimento, o conteúdo é filtrado e pode ser usado como corante de tingimento. Este método de extração ocorre sobre várias condições, temperatura, tempo de extração, concentração da matéria-prima e razão de banho. Por sua vez, a extração ácida ou alcalina centra-se no controlo do pH do solvente, o qual depende do corante que

se pretende extrair. Por fim, em relação ao último método, é necessário um equipamento, o *Soxhlet Apparatus, Steam Heated Extractor*, no qual se coloca a matéria-prima triturada/moída e se extrai o corante da mesma com ajuda de diferentes solventes, tais como, acetona, clorofórmio álcool, entre outros (Prabhu & Bhute, 2012; Ragab & Hassabo, 2021).

2.5 Quitosano como agente de cationização

Os polímeros mais prevalentes no mercado derivam de matérias-primas à base de petróleo, sendo o processo químico subjacente nem sempre isento de preocupações ambientais ou de segurança. Nos últimos trinta anos, tem-se testemunhado um interesse crescente no desenvolvimento de alternativas naturais aos polímeros sintéticos, com destaque para os biopolímeros. Estes últimos são polímeros originários de organismos vivos ou criados a partir de recursos renováveis. A sua crescente adoção é motivada pela origem biológica e, sobretudo, pela natureza não tóxica e biodegradável que os caracteriza. Entre os biopolímeros, destacam-se os polissacarídeos, como a celulose, o amido, a quitina/quitosano e os alginatos. A sua estrutura macromolecular, bem como as suas propriedades físicas, químicas e bioativas, notavelmente diferentes daquelas dos polímeros sintéticos, têm conferido ao quitosano uma atenção significativa (Morin-Crini *et al.*, 2019).

O quitosano deriva da quitina (Figura 5), sendo esta, o segundo polímero natural mais abundante na natureza, logo após a celulose, encontra-se abundantemente presente em exoesqueletos de organismos como crustáceos e insetos, sendo a fonte primária deste valioso material (Zhou *et al.*, 2019).

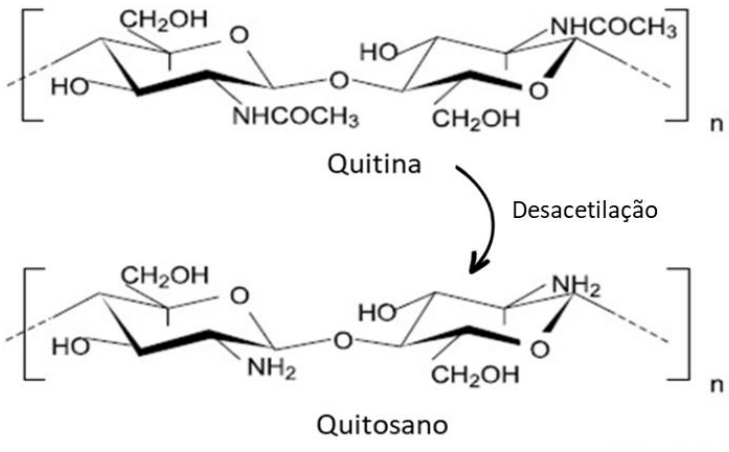


Figura 5. Processo de desacetilação da quitina em quitosano (adaptado de: Zhou *et al.*, 2019)).

Devido às suas propriedades inerentes, o quitosano detém um vasto potencial para diversas aplicações. A sua biodegradabilidade, biocompatibilidade, propriedades antimicrobianas, não toxicidade e

capacidade de aprimorar a cicatrização de feridas fazem dele um recurso amplamente empregado no tratamento de materiais têxteis. O quitosano desempenha um papel significativo, desde operações de tingimento até acabamento e estamparia. Quando aplicado a substratos de algodão, o quitosano introduz grupos funcionais previamente ausentes (grupos amina) e aumenta o número de grupos metilo (Figura 6). Essas alterações proporcionam locais adicionais para a ligação de moléculas corantes e outros compostos, intensificando a capacidade de formação de ligações de hidrogênio e, por conseguinte, otimizando o desempenho tintorial (Bhuiyan *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2019).

Esse processo facilita a adsorção de corantes aniónicos, incluindo os corantes diretos, ácidos e reativos, devido à atração eletrostática decorrente do potencial elétrico positivo gerado na superfície da fibra. A mesma sinergia é observada com corantes naturais, na maioria dos casos de natureza aniónica. Conclui-se, portanto, que a incorporação de quitosano nas fibras de algodão demonstra o potencial de aprimorar o tingimento de materiais celulósicos com corantes aniónicos, mesmo na ausência de eletrólitos, permitindo assim a obtenção de níveis de esgotamento tintorial considerados altamente eficazes (Bhuiyan *et al.*, 2014; Zhou *et al.*, 2019).

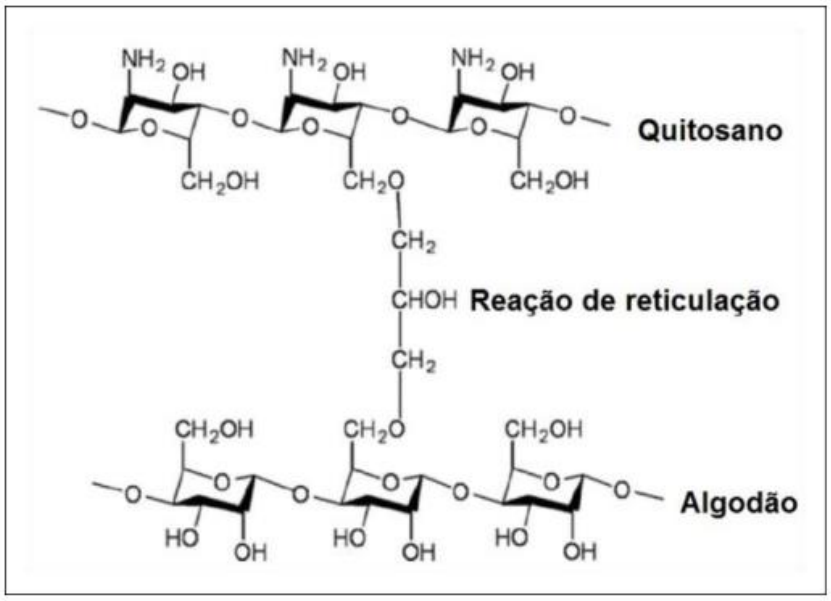


Figura 6. Reação de reticulação entre o quitosano e a fibra de algodão (retirado de: (Bhuiyan *et al.*, 2014).

2.6 Métodos de cationização e tingimento

2.6.1 Impregnação

O processo de impregnação do material têxtil para a funcionalização química e tingimento consiste em três etapas, sendo a primeira a impregnação do material têxtil na solução de funcionalização ou de tingimento e posterior compressão para remoção de ar dos poros das fibras e excesso de solução à superfície. No método de impregnação para cationização, o quitosano, no caso da presente investigação, é fixado ao substrato têxtil nesta etapa, enquanto na impregnação para tingimento o corante é pressionado contra a fibra e fixado. A segunda etapa consiste na remoção da água da solução das fibras, seguindo-se a terceira etapa de termofixação onde o material têxtil é sujeito a temperaturas mais elevadas para que os agentes de funcionalização sejam fixados à fibra (Moore & Ausley, 2004; Teixeira, 2015).

2.6.2 Esgotamento

O processo de esgotamento é descontínuo e demorado permitindo que os agentes de funcionalização estabeleçam interação moleculares com as fibras têxteis. Tem como fundamento os fenómenos de adsorção, difusão, absorção do composto de funcionalização, no caso do presente trabalho, o quitosano ou o fixador comercial, ou do corante na fase de tingimento, pela fibra e posteriormente a interação química ou física. Neste método o substrato é submerso na solução, onde o processo de absorção ocorre e quando este atingir o equilíbrio o processo termina.

O movimento do banho e do substrato ajuda a solução, de cationização ou de tingimento, a atingir a superfície da fibra mais rapidamente, sendo que, primeiramente, o agente de cationização ou corante são adsorvidos na superfície da fibra antes de se difundir para o seu interior. Este processo utiliza, também, gradientes de temperatura, começando a temperatura ambiente e aumentando gradualmente até à temperatura desejada (Moore & Ausley, 2004; Teixeira, 2015).

2.6.3 Comparação entre métodos de tingimento

O método de impregnação apresenta algumas diferenças comparativamente ao método de esgotamento, sendo estas, o uso de um sistema contínuo ou semi-contínuo e o uso de força mecânica (foulardagem), enquanto no método de esgotamento é um sistema descontínuo e mecanismo químico. A concentração do agente de cationização ou do corante, no método de impregnação é relativa ao volume total de solução e no método de esgotamento é em relação ao peso do substrato têxtil (Teixeira, 2015).

2.7 Cor

De forma a avaliar a eficiência do processo de tingimento, e como método de controlo de qualidade na indústria têxtil é comum determinar as coordenadas de cor do substrato têxtil após tingimento. Atualmente a medição da cor baseia-se no sistema de observações experimentais CIE (Comissão Internacional de Iluminação). O CIE recomendou o espaço de cor CIELAB, que consiste num espaço de cor do tipo oposto definido por três eixos perpendiculares entre si, como se pode visualizar na Figura 7 (Becerir, 2017; Ly *et al.*, 2020).

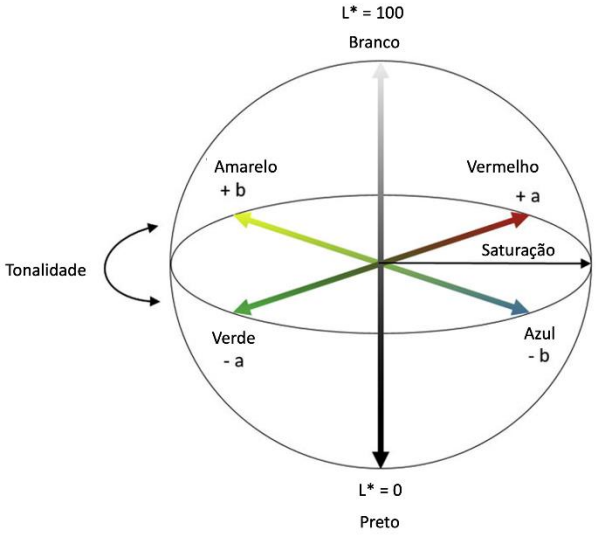


Figura 7. Espaço de cor CIELAB (retirado de: Ly *et al.*, 2020*).*

Para efeitos de análise, o valor L*representa a luminosidade, o valor a* refere-se aos tons na gama vermelho-verde, enquanto o valor b* especifica os tons azul-amarelo (Becerir, 2017; Ly *et al.*, 2020).

2.8 Solidez da cor

A solidez da cor refere-se à capacidade do substrato têxtil tingido manter o estado da cor original sob a influência de vários fatores externos, durante o processamento ou uso do tecido tingido, tais como, lavagem, luz, fricção, transpiração, entre outros (Sharma & Grover, 2011). De maneira concisa, este parâmetro é avaliado de acordo com a descoloração de uma amostra. (Becerir, 2017).

Desta forma, existem diversas formas de avaliar a solidez do corante, entre estas, a solidez à lavagem e à luz, que são as que vão ser analisadas nesta dissertação.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os substratos têxteis utilizados foram malha 100% algodão e malha 100% algodão com 40% de conteúdo de fibras recicladas e o restante de algodão virgem. Os extratos naturais utilizados foram:

- borras de café, proveniente de cápsulas utilizadas no bar do CITEVE,
- folhas de eucalipto (provenientes de uma empresa da indústria papeleira, posteriormente trituradas em moinho de laminas com um grau de trituração de crivo 4mm);
- folhas de castanheiro;
- lúpulo, fornecido como resíduo final depois do processo de produção de cerveja pela empresa Letra;
- Tomilho.

Como agentes de cationização foram utilizados o quitosano (Chitoclear® 1600) e um fixador comercial. Relativamente às diferentes tipologias de água utilizada:

- Água de captação (torneira) da unidade de tinturaria e acabamentos do CITEVE;
- Água residual da ETAR (sem tratamento) da empresa de tinturaria e acabamentos;
- Água residual após tratamento por tecnologia de membranas (ultrafiltração e osmose inversa) pela empresa de tinturaria e acabamentos;

Nos ensaios de solidez à lavagem foi utilizado o detergente de uso doméstico *Skip sensitive*.

3.2 Preparação dos extratos naturais

Os extratos foram preparados em meio aquoso, e testadas duas concentrações diferentes, de 20 g/L e 60 g/L. Este procedimento foi realizado num equipamento de tingimento por esgotamento de laboratório-mathis labomat (Figura 8), sob uma agitação de 25 rpm, a 100°C, gradiente de aquecimento de 3°C/min durante 15 min, em copos de 1 L (Tabela 4).



Figura 8. equipamento Mathis

No caso dos extratos de café, eucalipto e lúpulo em todos os ensaios, estes foram preparados com água de captação (torneira).

Um novo estudo de viabilidade da re-utilização de água reciclada da ETAR de uma empresa de tinturaria e acabamentos nos processos de tingimento foi também realizado. Para tal, na preparação dos extratos de castanheiro e de tomilho foi utilizada:

- Água de captação;
- Água residual da ETAR (sem tratamento) (água não tratada) (Figura 9- A));
- Água residual após tratamento por tecnologia de membranas (água tratada) (Figura 9- B));
- 50% Água residual após tratamento e 50% Água de captação (50/50);
- 75% Água residual após tratamento e 25% Água de captação (75/25) (Tabela 4).

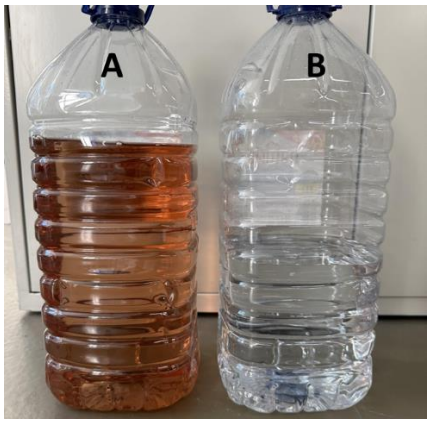


Figura 9- A) Água não tratada e B) Água tratada

Tabela 4. Preparação dos extratos naturais

Extrato natural	Concentração de extrato	Solvente	Condições de extração
Café	20 g/L 60 g/L	água de captação	100°C 15 min 3°C/min
Eucalipto			
Lúpulo			
Castanheiro	20 g/L	água de captação água tratada água não tratada 50/50 75/25	
Tomilho			

Por fim, as soluções foram filtradas, obtendo-se dessa forma os banhos que foram utilizados nos tingimentos. De seguida, foram medidos os valores de pH, cujos resultados se encontram apresentados no Anexo A.

3.3 Modificação do substrato têxtil

A malha virgem foi utilizada nos ensaios com os extratos de café, eucalipto e lúpulo.

No caso dos ensaios com os extratos de castanheiro e tomilho, utilizou-se malha virgem e malha com reciclada (composta por 40% de algodão reciclado e 60% de algodão virgem).

Tendo como objetivo a otimização dos processos de tingimento realizou-se diversos pré-tratamentos, sendo estes:

- impregnação com 1% e 0,5% de quitosano (IQ),
- esgotamento com 1% e 0,5% de quitosano (EQ)
- esgotamento com 8% de fixador comercial (EFC).

Para posterior comparação um dos ensaios não tinha qualquer pré-tratamento (ensaio controlo) (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).

Tabela 5. Condições de pré-tratamentos

<table>
<tr><th>Extrato natural</th><th>Pré-tratamento</th><th>Condições</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Café</td><td rowspan="4">ST
IQ (0,5% e 1%)
EQ (0,5% e 1%)
EFC (8%)</td><td rowspan="5">60°C
45mins
2°C/min
25rpm</td></tr>
<tr><td>Eucalipto</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Lúpulo</td><td rowspan="3">IQ (0,5% e 1%)
EQ (0,5% e 1%)
EFC (8%)</td></tr>
<tr><td>Castanheiro</td><td rowspan="2">EFC (8%)</td></tr>
<tr><td>Tomilho</td></tr>
</table>

O processo de impregnação, ocorreu posteriormente no equipamento designado por Foulard (Figura 10- A)), no qual a amostra após ser mergulhada na solução passa no interior dos rolos do mesmo a uma pressão de 2 bar. De seguida as amostras são termofixadas a uma temperatura de 150°C durante 3 min usando o equipamento da Figura 10- B).

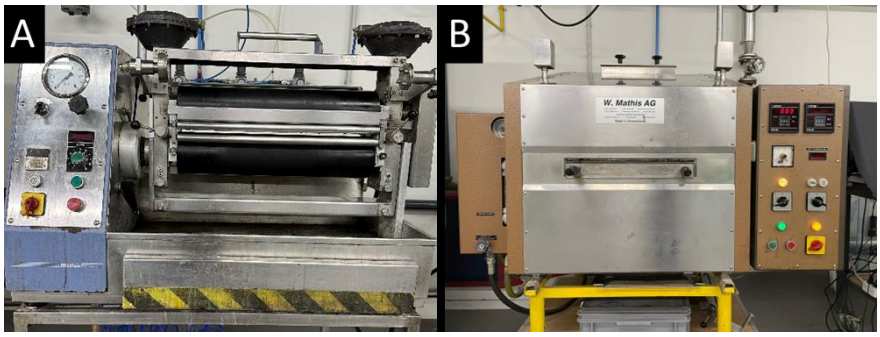


Figura 10. Equipamentos; A) Foulard; B) Secadora W. Mathis AG

No caso particular do processo de esgotamento, a percentagem de quitosano determina-se em relação ao peso do tecido e as restantes percentagens modificam-se proporcionalmente.

O método de esgotamento, com quitosano ou fixador comercial, foram realizados na Mathis labomat a 25 rpm, a uma temperatura de 60°C durante 45 min, com um gradiente de aquecimento de 2°C/min (Tabela 5).

3.4 Processo de tingimento

Foi realizado tingimento por esgotamento utilizando o equipamento Mathis. O material têxtil foi imerso numa solução de banho de tingimento e estando sujeito a 60°C durante 45 min, com um gradiente de aquecimento de 2°C/min e uma rotação de 25 rpm (Tabela 6; Figura 11).

Tabela 6. Condições de tingimento para as malhas pré-tratadas

Extrato natural	Razão de banho	Condições
Café	1:10	60°C 45 mins 2°C/min 25 rpm
Eucalipto		
Lúpulo		
Castanheiro	1:100	
Tomilho		

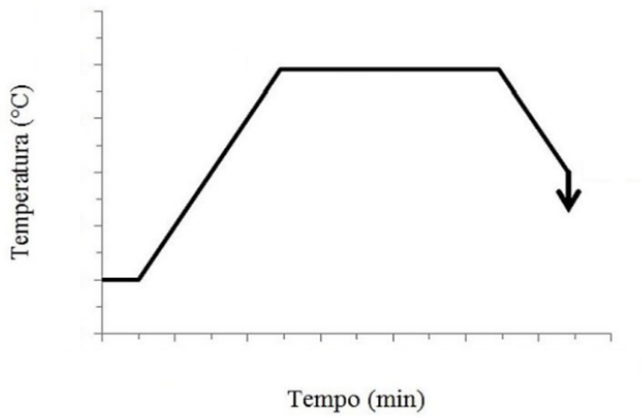


Figura 11. Diagrama do processo de tingimento.

Relativamente ao processo de tingimento, utilizou-se uma razão de banho de 1:10 para todos os extratos, exceto para o castanheiro e para o tomilho, nos quais, a razão de banho foi de 1:100, devido a limitações na quantidade de material têxtil reciclado.

Tendo como objetivo a otimização dos processos de tingimento de fibras de algodão, com extratos naturais, avaliou-se a influência de algumas variáveis. Nesse sentido, procedeu-se ao tingimento de cada uma das fibras, com cada um dos extratos, utilizando diferentes concentrações e pré-tratamentos, avaliando de seguida a influência de cada uma destas variáveis no rendimento tintorial. Por fim, mediu-se o pH e a absorvância da infusão resultante de cada ensaio após tingimento (Anexo A e B).

3.5 Avaliação da eficiência dos tingimentos

3.5.1 Determinação da taxa de esgotamento

Para determinação da quantidade de pigmento fixada à fibra, calculou-se a taxa de esgotamento. Para isso, foi medida a absorvância das soluções de banho no início e no final do tingimento no espetrofotómetro UV-Vis, UV-2600i (Shimadzu) (Figura 12), estas podem ser consultadas no Anexo B.

Os valores de absorvância utilizados para este cálculo foram medidos a 400 nm, pois foi o valor mais elevado dentro do espetro do visível (400-700 nm) para todos os extratos. A taxa de esgotamento foi posteriormente determinada através da equação (1):

$$Taxa\ de\ esgotamento\ (\%) = \frac{Abs_{antes\ do\ tingimento} - Abs_{depois\ do\ tingimento}}{Abs_{antes\ do\ tingimento}} \times 100 \qquad (1)$$

Na qual, $Abs_{antes\ do\ tingimento}$ corresponde à absorvância registada da infusão antes do tingimento e, por sua vez, $Abs_{depois\ do\ tingimento}$ à absorvância da infusão depois do tingimento.



Figura 12. Espetrofotómetro UV-Vis, UV-2600i (Shimadzu)

3.5.2 Determinação do grau de manchamento

Por último, através dos valores médios de intensidade da cor (K/S), obtidos por medições em triplicado da amostra e respetivo desvio padrão, foi calculado o coeficiente de variação do K/S (equação (2)), para definir o grau de manchamento das amostras resultantes dos ensaios de tingimento. Após análise qualitativa das amostras e comparação com os coeficientes de variação determinados para o K/S, definiu-se que valores de coeficiente de variação superiores a 10% correspondiam a amostras manchadas, enquanto valores iguais ou inferiores a 10% correspondiam a amostras tingidas uniformemente.

$$Grau\ de\ manchamento\ (\%) = \frac{\sigma_{K/S}}{\left|\overline{X_{K/S}}\right|} \times 100 \qquad (2)$$

Em que $\sigma_{K/S}$ representa o desvio padrão dos valores de K/S lidos para cada amostra e $\left|\overline{X_{K/S}}\right|$ corresponde ao módulo das médias dos valores de K/S de cada amostra.

3.5.3 Avaliação da cor das amostras têxteis após tingimento

A avaliação qualitativa da cor foi realizada pela análise visual das amostras tingidas recorrendo a uma câmara de luz contendo o iluminante padrão D65 (Figura 13) (Anexo C).



Figura 13. Câmara de luz, Verivide

Para uma análise quantitativa, procedeu-se à medição das coordenadas de cor CIE $L^*\ a^*b^*$e da intensidade da cor dada pelo K/S das amostras, utilizando um Colorímetro (spectraflash ® SF450) e o programa ColorTools (Figura 14). Cada amostra foi medida em 3 pontos, em triplicado. Obtendo-se, desta forma, valores médios de $L^*\ a^*b^*$ e K/S.



Figura 14. Colorímetro (spectraflash ® SF450)

3.5.4 Avaliação da solidez à lavagem

Para avaliação da solidez à lavagem, simulou-se o processo de lavagem doméstica no mesmo equipamento onde se realizaram os ensaios de tingimento. Para cada amostra foram realizados dois ciclos de lavagem a 40°C durante 60 min, com água de captação e detergente, com uma proporção de 4 g/L. Como detergente líquido, utilizou-se *Skip sensitive*, de uso doméstico. Após cada lavagem as amostras foram enxaguadas com água de captação e secas à temperatura ambiente.

Para avaliar se houve alterações de cor significativas, precedeu-se à visualização na câmara de luz e, novamente, à medição das coordenadas de cor após cada uma das lavagens, retirou-se o grau da escala de cinzentos (EC) e a diferença de coloração (dE). A escala de cinzentos é uma referência visual

padronizada que permite avaliar e comparar a resistência da cor do tecido após lavagens. Esta, é composta por diferentes níveis de cinza, onde cada nível representa uma quantidade específica de perda de cor do substrato têxtil após a lavagem, geralmente, varia de 1 a 5, com 1 sendo a pior solidez à lavagem (maior perda de cor) e 5 sendo a melhor solidez à lavagem (sem perda de cor). Nesta dissertação, o grau da escala de cinzentos foi retirado através das medições no colorímetro,

3.5.5 Avaliação da solidez à luz

Para avaliação da solidez à luz, as amostras foram expostas à luz solar por um período de 6 dias, como demonstrado na Figura 15.

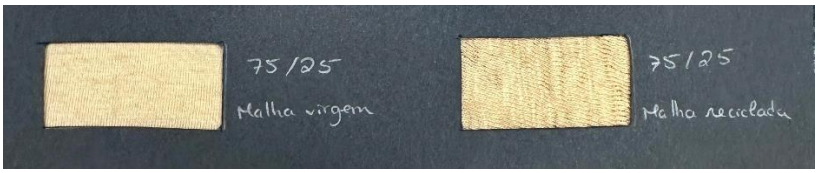


Figura 15. Método de exposição das amostras à luz solar

No final dos 6 dias, foi realizada uma análise visual das amostras, comparando a parte exposta à luz com a parte protegida da luz, na câmara de luz e quantificação coordenadas de cor, grau na EC e a dE.

4. RESULTADOS & DISCUSSÃO

4.1 Tingimento com o corante natural castanheiro

4.1.1 Influência do solvente na extração do corante natural

A avaliação da influência do tipo de água utilizada na extração do corante natural foi realizada através do cálculo da taxa de esgotamento (Tabela 7) a partir das absorvâncias do banho de tingimento antes e no final do processo de tingimento (Anexo B), valores de K/S (Figura 16) e pelas coordenadas de cor CIElab das amostras têxteis resultantes (Figura 17, Figura 18, Figura 19).

Na Tabela 7, pode-se observar os valores obtidos da taxa de esgotamento para os tipos de malha e as diferentes composições de água utilizadas nas infusões para a extração do corante do castanheiro.

Tabela 7. Taxa de esgotamento relativa ao tingimento com castanheiro.

	Pré-tratamento	Infusão	Taxa de esgotamento (%)
Malha 100% virgem	Esgotamento Fixador comercial 8%	captação	92
		50/50	89
		75/25	91
		tratada	89
		não tratada	89
Malha reciclada		captação	91
		50/50	91
		75/25	90
		tratada	91
		não tratada	89

Da Tabela 7 é possível observar que a taxa de esgotamento é semelhante em todas as condições testadas e elevada entre 89 e 91%, ou seja, o corante foi devidamente absorvido pela malha, tanto reciclada como virgem, em todos os ensaios.

As amostras têxteis de malha virgem e reciclada foram também analisadas ao nível da cor. Na Figura 16 apresentam-se os valores de K/S discriminados para cada tipologia de água utilizada e substrato têxtil (virgem e com conteúdo reciclado).

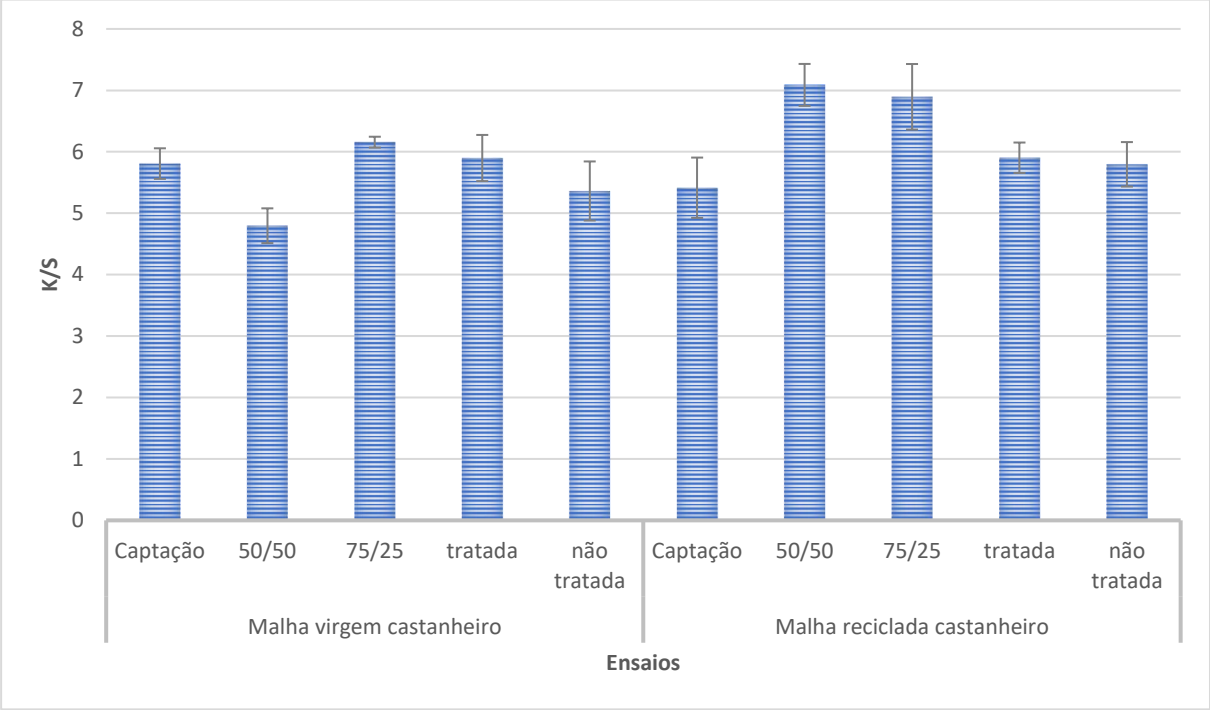


Figura 16. Valores de K/S das amostras têxteis tingidas com castanheiro e utilizando diferentes tipologias de água.

Os valores da intensidade da cor (K/S), no caso da malha de algodão virgem, foram mais elevados para a infusão contendo apenas água tratada, para a que continha 75% de água tratada e 25% de água de captação e para a composta apenas por água de captação, pelo que significa um maior rendimento tintorial nestas amostras.

Por outro lado, o mesmo não se observa nas malhas recicladas, os tingimentos que obtiveram melhores valores de K/S foram com infusão de 50/50 (50% de água tratada e 50% de água de captação) e 75/25, ou seja, estas têm um maior rendimento colorístico.

De igual modo, por observação da Figura 16, os valores mais baixos de K/S foram obtidos nas infusões de 50/50, no caso das malhas de algodão virgem, e no ensaio com água de captação para a malha com conteúdo reciclado.

As coordenadas de cor das amostras tingidas estão apresentadas na Figura 17, Figura 18 e Figura 19, na qual, especifica os valores das coordenadas L*, a* e b*, respetivamente, para cada um dos ensaios em malha virgem e com conteúdo reciclado, de forma a comparar os valores obtidos.

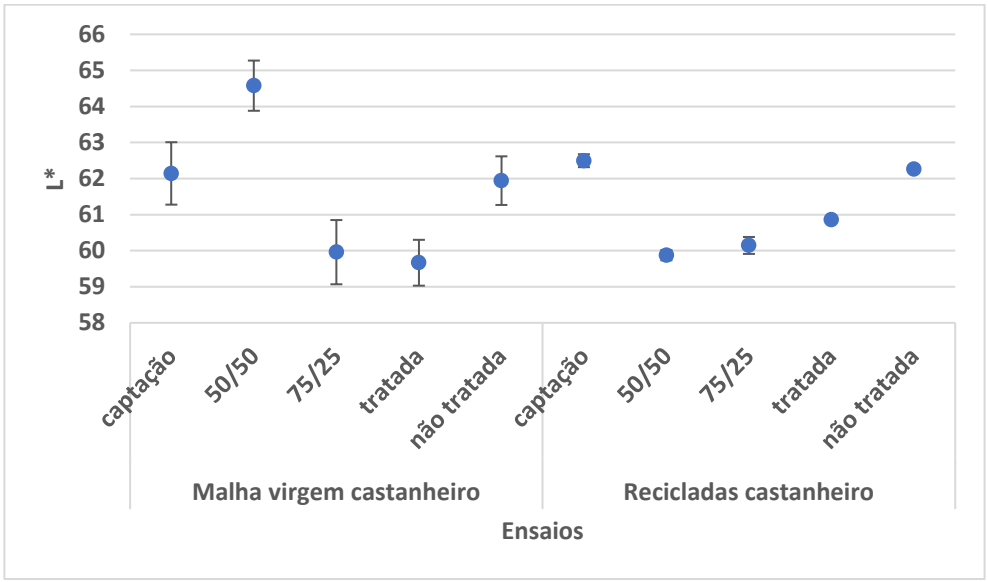


Figura 17. Valores das coordenadas colorimétricas L das malhas tingidas com coloração de castanheiro.*

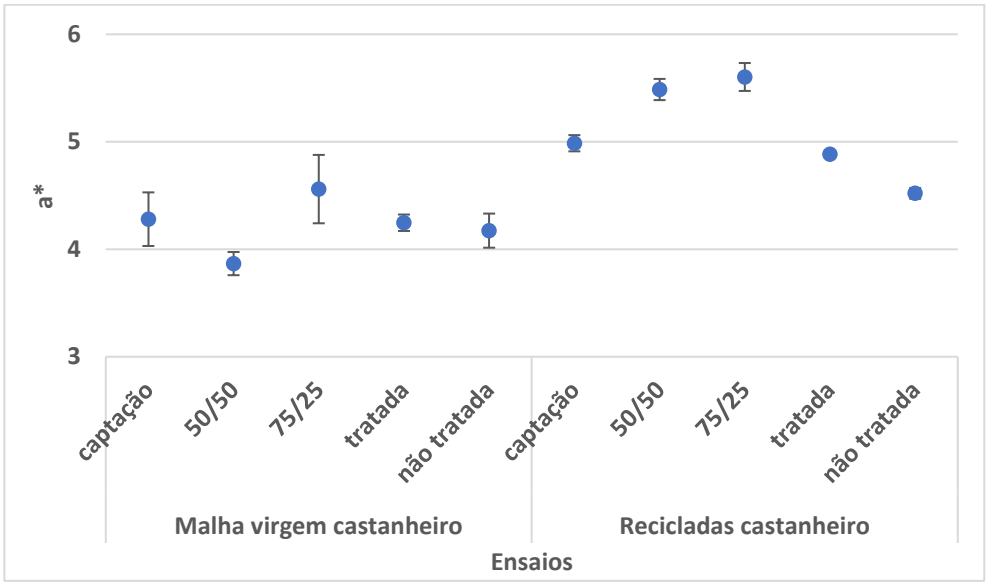


Figura 18. Valores das coordenadas colorimétricas a das malhas tingidas com coloração de castanheiro.*

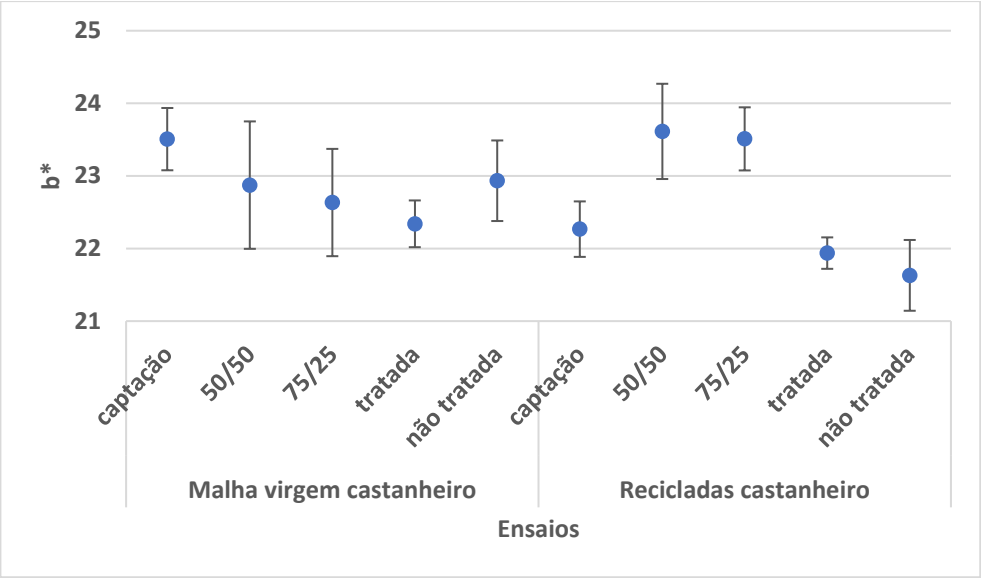


Figura 19. Valores das coordenadas colorimétricas b das malhas tingidas com coloração de castanheiro.*

Da análise da Figura 17, verifica-se que as infusões de 75/25 e a de água tratada foram as que produziram malhas virgens com tonalidades mais escuras, pois possuem um L* significativamente menor que as restantes. Pelo contrário, o tingimento com infusão de composição 50/50 apresenta uma coordenada L* mais elevada, o que revela uma malha mais clara. No caso das malhas com conteúdo reciclado, as soluções 50/50 e 75/25 apresentam menores valores de L*, isto é, tonalidades de cor mais escuras que a malha obtida no ensaio com água de captação, pois apresenta uma coordenada de L* mais elevada e por sua vez uma tonalidade mais clara de cor.

Da análise da Figura 18 pode-se observar que para as duas qualidades de malhas as extrações realizadas com 75% de água tratada e 25% de água de captação obtiveram um maior valor de a*, isto é, ficaram tingidas com tons mais avermelhados que as restantes de cada tipo de malha. Porém, os ensaios redigidos em malha com conteúdo reciclado obtiveram tonalidades mais avermelhadas que os ensaios em malha virgem, pois apresentam um valor mais elevado da coordenada a*, sendo, ainda, a malha virgem após tingimento com infusão 50/50 a que apresenta tonalidades mais esverdeadas, visto que é a que exibe menor valor de a*.

Por fim, pela análise da Figura 19, os maiores valores de b* encontram-se representados, na malha virgem pelo tingimento com a solução de extração com água de captação e, na malha reciclada nos ensaios em que estas foram tingidas com infusões provenientes da extração com 50% de água de tratada e 50% de água de captação e da de 75/25, resultado assim, em amostras com tons mais amarelados. Em contrapartida, as amostras que apresentam os tons mais azulados, ou seja, com os menores valores

da coordenada b*, são as que se realizou tingimento com a infusão de água tratada e com água não tratada.

4.1.2 Solidez à lavagem doméstica e à luz solar

Os resultados dos ensaios de solidez à lavagem doméstica e à luz solar, das amostras de algodão virgem e com conteúdo reciclado, para as diferentes infusões de extrato de castanheiro encontram-se representados na Figura 20. E os valores na escala de cinzentos (EC), no caso lida no colorímetro, encontram-se apresentados na Tabela 8.

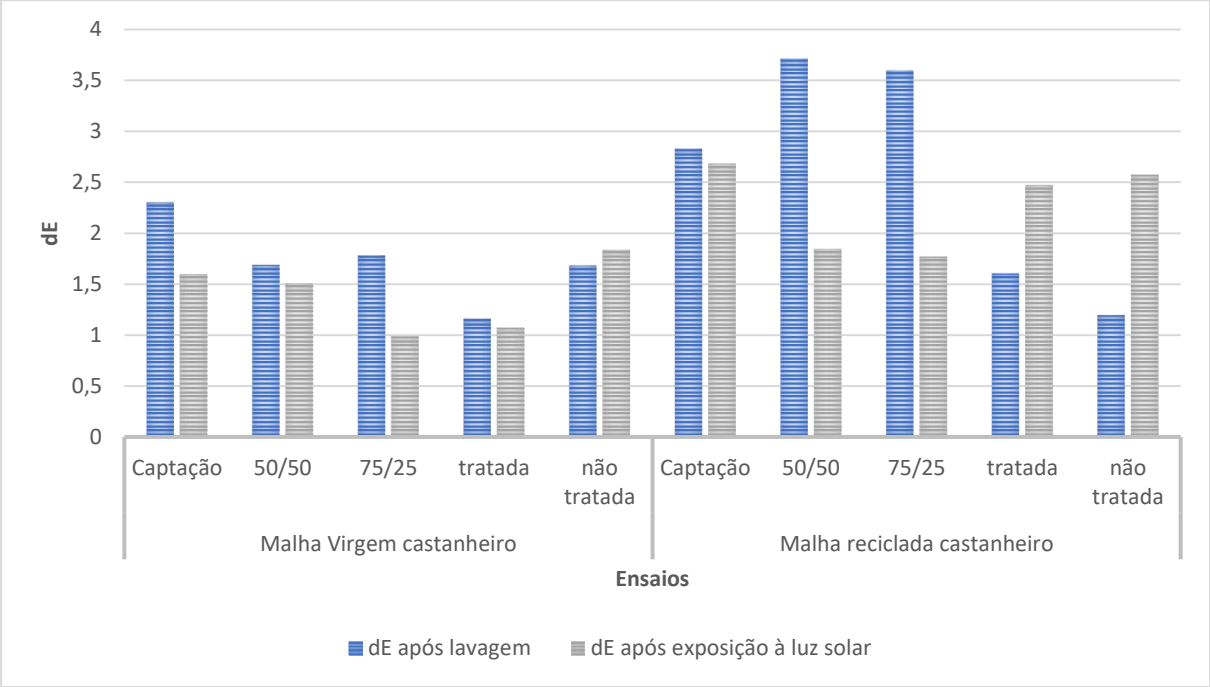


Figura 20. Diferença de cor entre as amostras tingidas (padrão) com as amostras após lavagem e após exposição à luz solar.

Para a solidez à lavagem, as diferenças de cor são mais notórias, no ensaio realizado com água de captação (valores de dE mais elevados) no caso dos substratos de algodão virgem, e, menos notórias no ensaio com água tratada obtendo um valor de 4 na EC. Por outo lado, nos ensaios com substratos com conteúdo reciclado as diferenças de cor mais evidentes são quando é utilizada a infusão 50/50 e 75/25, sendo a primeira a que corresponde a um maior dE. O menor dE e maior valor na EC, para a solidez à lavagem destas malhas obteve-se, assim, no ensaio com água não tratada.

No que respeita aos valores lidos de forma a avaliar a solidez à luz, as diferenças de cor foram menores que nos ensaios de solidez à lavagem, uma vez que os valores de dE são, igualmente, menores. Analisando os resultados obtidos para a malha virgem, a infusão com água não tratada provocou uma

maior diferença de cor na mesma quando exposta ao sol e uma maior solidez quando foi utilizada uma infusão de 75/25, pois apresenta um menor valor de dE e um resultado mais elevado na escala de cinzentos. Adicionalmente, no caso das malhas com teor reciclado as variações de cor referentes à exposição à luz, são mais proeminentes quando a solução usada continha apenas água de captação, água tratada ou água não tratada e apresentam maior solidez quando são utilizadas as infusões de 50/50 e 75/25, tendo estas uma menor leitura de dE e maior na EC.

Tabela 8. Valores da escala de cinzentos das amostras têxteis tingidas com coloração de castanheiro.

		Solidez à lavagem	Solidez à exposição solar
	Amostras	**Escala de cinzentos colorímetro**	**Escala de cinzentos colorímetro**
Malha virgem	captação	3/4	4
	50/50	3/4	4
	75/25	4	4/5
	tratada	4	4/5
	não tratada	3/4	3/4
Malha reciclada	captação	3	3
	50/50	2/3	3/4
	75/25	2/3	3/4
	tratada	4	3
	não tratada	4	3

Os resultados apresentados na Tabela 8 estão concordantes com o ilustrado na Figura 20, verificando-se que os valores mais elevados na escala de cinzentos correspondem a malhas com menor diferença de cor comparativamente com a original.

Assim, reunindo todos os resultados obtidos para cada ensaio, pode-se concluir que, para os tingimentos com extrato de castanheiro, a malha virgem apresenta melhores resultados quando foi utilizada uma infusão com água tratada na extração do corante e posterior tingimento do substrato, enquanto para a malha reciclada, aconteceu quando se utilizou a infusão com água não tratada.

4.2 Tingimento com o corante natural tomilho

4.2.1 Influência do solvente na extração do corante natural

De forma a compreender a influência da solução com cada tipologia de água proveniente da extração do corante natural tomilho e das malhas utilizadas calculou-se a taxa de esgotamento em percentagem (Tabela 9).

Como indicado, as infusões de extração do corante variam relativamente à composição da água, para, assim, avaliar, posteriormente, o impacto das mesmas no rendimento tintorial, após tingimento dos tecidos reciclados e de algodão virgem. Estes substratos têxteis, antes do processo de tingimento foram todos pré-tratados por esgotamento numa solução com concentração de 8% de fixador comercial.

Tabela 9. Taxa de esgotamento relativa ao tingimento com tomilho.

	Pré-tratamento	Infusão	Taxa de esgotamento (%)
Malha virgem	Esgotamento Fixador comercial 8%	captação	92
		50/50	91
		75/25	92
		tratada	91
		não tratada	92
Malha reciclada		captação	91
		50/50	90
		75/25	92
		tratada	90
		não tratada	91

Por observação da mesma, é evidente que foi alcançada uma taxa de esgotamento igual ou superior a 90%.

Retirou-se ainda os valores de K/S (Figura 21) e as coordenadas de cor, L*, a* e b* (Figura 22, Figura 23, Figura 24), de cada ensaio.

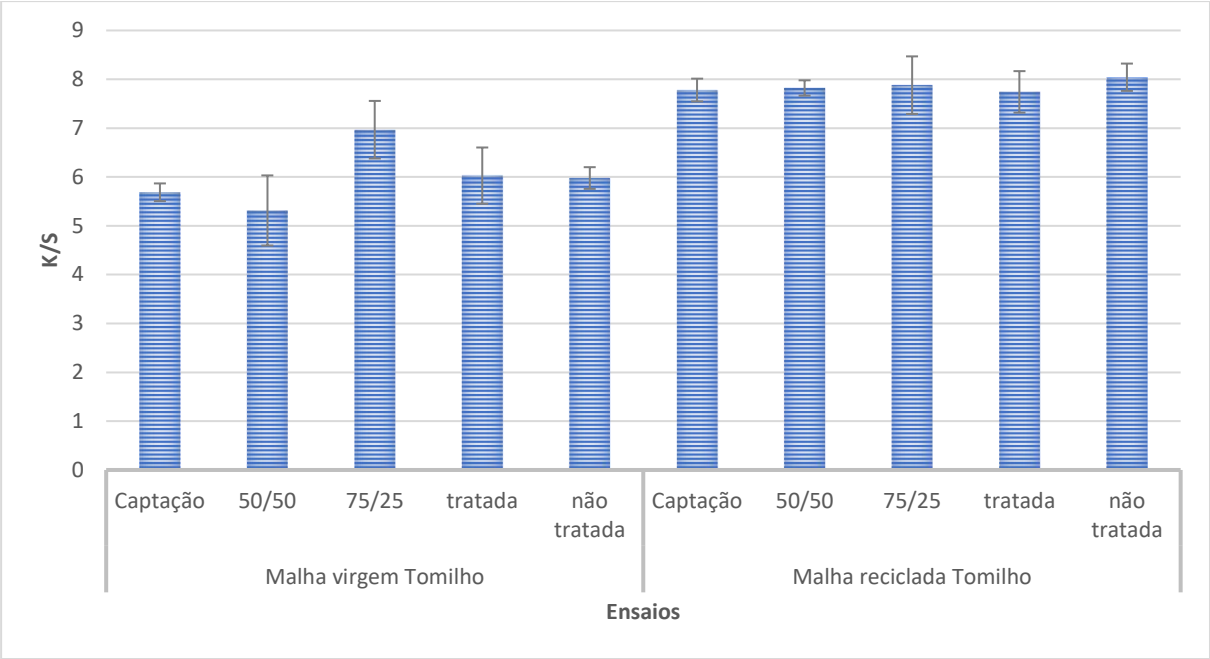


Figura 21. Valores de K/S das amostras têxteis tingidas com tomilho e utilizando diferentes tipologias de água.

Na Figura 21, em concordância com a Tabela 9, pode-se observar que os valores de K/S são semelhantes entre si, sendo mais elevados nos substratos reciclados.

No caso dos ensaios em malhas virgens, a malha que apresenta menor K/S, ou seja, com menor rendimento colorístico, foi a tingida com a infusão de 50% de água tratada e 50% de água de captação e com maior foi a infusão de 75/25.

Observando os resultados de K/S obtidos para as malhas recicladas, é nítido que estes são idênticos.

Os valores das coordenadas de cor L*, a* e b* das amostras tingidas foram registados e estão apresentados de seguida.

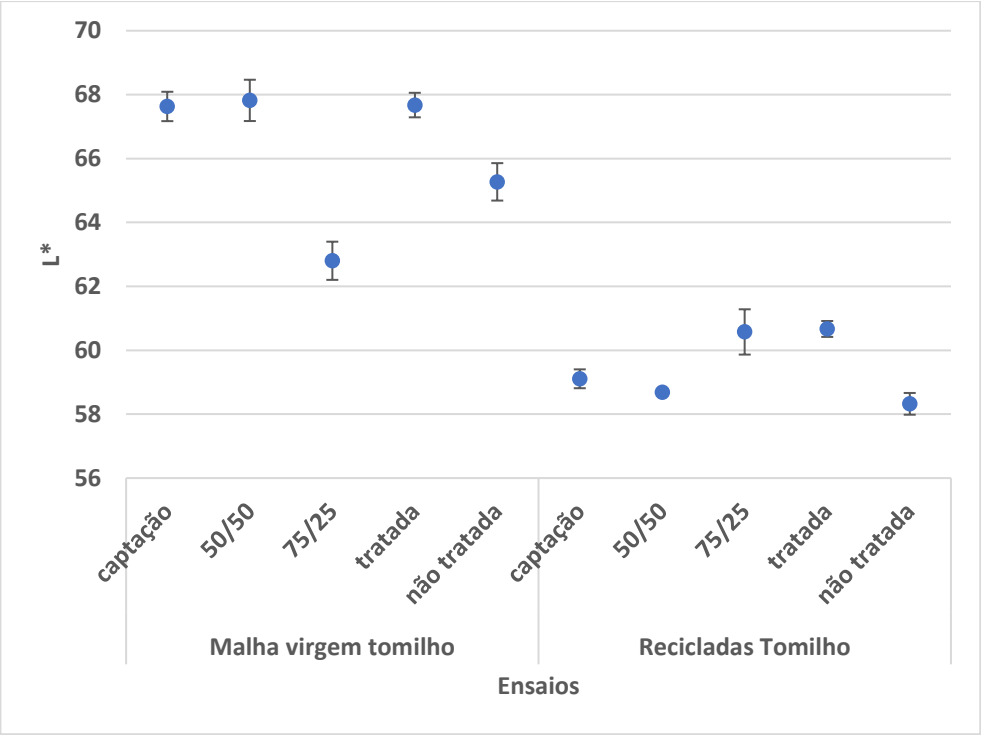


Figura 22. Valores das coordenadas colorimétricas L das malhas tingidas com coloração de tomilho.*

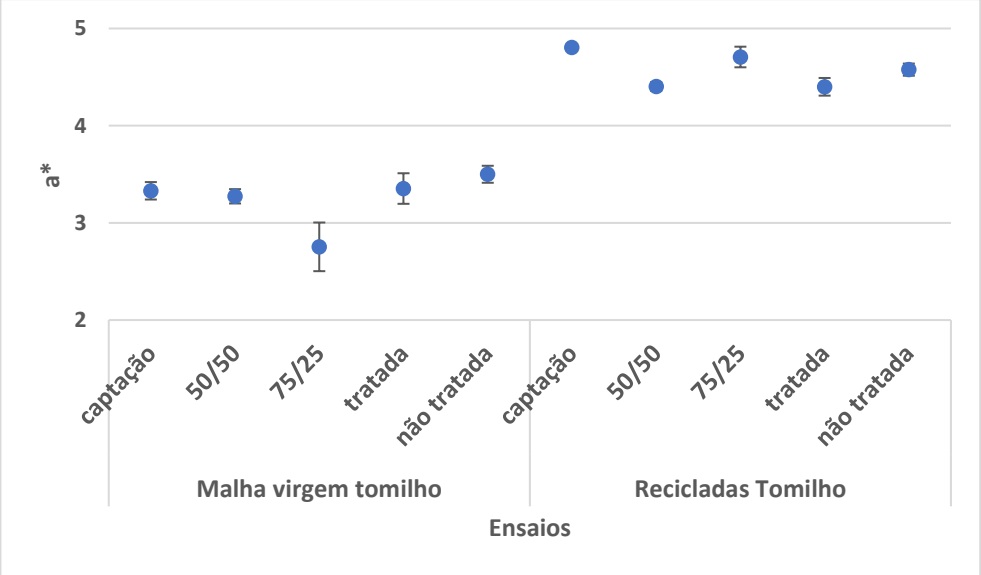


Figura 23. Valores das coordenadas colorimétricas a das malhas tingidas com coloração de tomilho.*

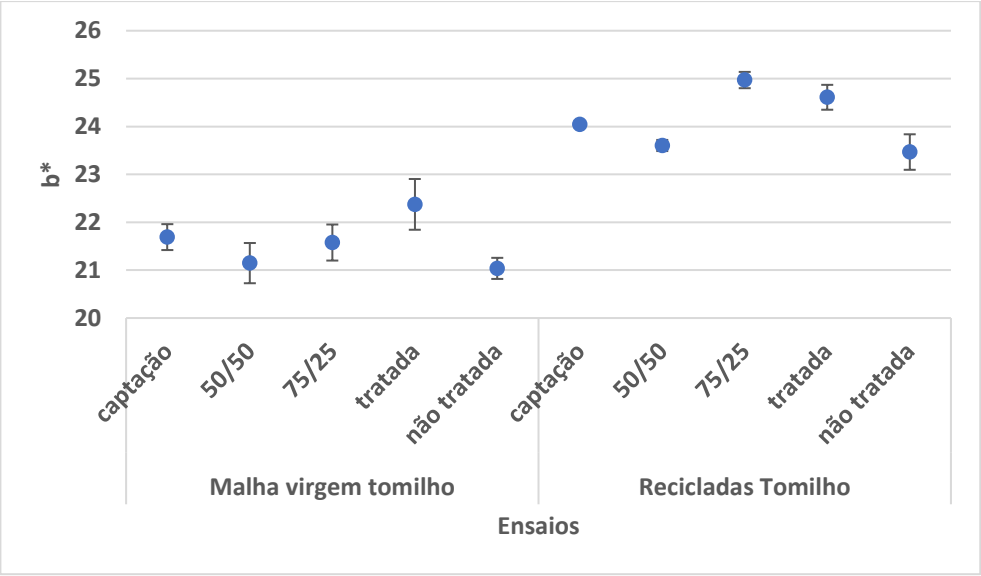


Figura 24. Valores das coordenadas colorimétricas b das malhas tingidas com coloração de tomilho.*

Pela análise da Figura 22, em relação à coordenada L*, é visível que nos ensaios com as malhas virgens as coordenadas são mais elevadas que para as malhas recicladas, o que demonstra tonalidades mais escuras nestas últimas. Sendo a malha de algodão virgem que apresenta tonalidade mais escura, ou seja, a com maior rendimento colorístico, a amostra do ensaio de 75/25 e, relativamente à malha reciclada a do ensaio com água não tratada.

Analisando a Figura 23, no que se refere à coordenada de cor a* é evidente que as malhas de algodão virgem apresentam menor a* logo coloração mais esverdeada, contrariamente às malhas recicladas que apresentam valores de a* mais elevados, logo coloração mais avermelhada.

Finalmente, analisando a Figura 24, relativamente às coordenadas b* é notório que os substratos de algodão virgem têm valores inferiores, assim sendo, coloração mais azulada e, no caso das recicladas, como a coordenada b* é mais elevada a cor é mais amarelada.

4.2.2 Solidez à lavagem doméstica e à luz solar

No sentido de proceder à avaliação da solidez dos substratos têxteis tingidos às lavagens domésticas e a um periodo de exposição à luz solar, reuniram-se dos valores de dE (Figura 25) e o grau na escala de cinzentos destas diferenças retirado no colorímetro (Tabela 10), ou seja de variações na coloração entre o substrato original após tingimento e os substratos depois de duas lavagens e depois de seis dias de exposição solar para cada ensaio realizado.

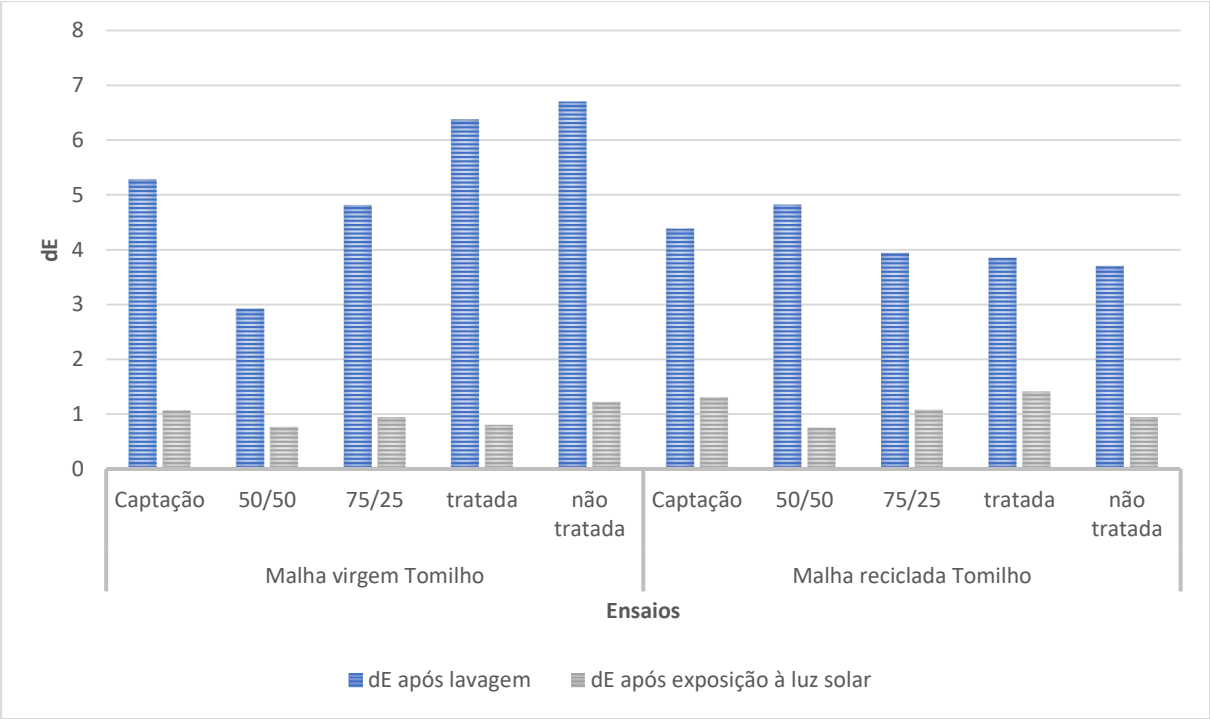


Figura 25. Diferença de cor entre as amostras tingidas (padrão) com as amostras após lavagem e após exposição à luz solar.

Analisando a Figura 25, constata-se que as diferenças mais significativas se encontram, no caso das malhas virgens, no ensaio com água não tratada, tanto na amostra sujeita às lavagens domésticas como na amostra sujeita a exposição solar. No caso das malhas com conteúdo reciclado, as diferenças foram mais notórias nas amostras sujeitas a tingimento com a infusão de 50% de água tratada e 50% de água de captação, relativamente às lavagens domésticas e, em relação à que apresentou menor solidez à luz foi a tingida previamente com a infusão de água tratada.

No que diz respeito aos menores valores de dE obtidos, estes foram obtidos para a malha virgem tingida previamente com a solução 50/50, para ambas as situações de solidez testadas e com a mesma solução para o substrato reciclado no ensaio de solidez à luz. O menor valor obtido para as diferenças de coloração nas malhas recicladas dos ensaios de solidez à lavagem foi na amostra tingida anteriormente com a infusão de água não tratada.

Outra perspetiva de análise das diferenças de coloração é a escala de cinzentos (Tabela 10), pelo que se pode observar que os graus obtidos estão em concordância com os apresentados na Figura 25, isto é, os ensaios que apresentam menor valor de dE apresentam um maior grau na escala de cinzentos, ou seja, um maior grau de semelhança com a amostra inicial. Sendo notório que todas as malhas testadas apresentaram uma maior solidez à exposição à luz solar que às lavagens domésticas.

Tabela 10. Valores da escala de cinzentos das amostras têxteis tingidas com coloração de tomilho.

		Solidez à lavagem	Solidez à exposição solar
		Escala de cinzentos colorímetro	Escala de cinzentos colorímetro
Malha virgem	captação	2/3	4
	50/50	3	4/5
	75/25	3	4/5
	tratada	2/3	4
	não tratada	2	4
Malha reciclada	captação	3	3/4
	50/50	2/3	4/5
	75/25	3	4
	tratada	3	4
	não tratada	3	4/5

Em suma, através dos resultados obtidos para a coloração com tomilho, e após considerar todos os parâmetros analisados, é possível concluir que, no caso da malha virgem o método de extração do corante mais eficaz é a utilização da infusão de 75% de água tratada e 25% de água de captação, pois este ensaio apresenta o rendimento colorístico (K/S) mais elevado e é um dos ensaios com melhor solidez à lavagem e à luz. No que diz respeito à da malha reciclada, os resultados para todos os parâmetros estudados foram melhores com a utilização de água não tratada no processo de extração e posterior tingimento.

4.3 Tingimento com o corante natural eucalipto

4.3.1 Influência do pré-tratamento na extração do corante natural eucalipto

De maneira a avaliar a influência de cada processo de cationização no rendimento colorístico do tingimento com corante natural eucalipto, calculou-se o grau de manchamento e a taxa de esgotamento a partir das absorvâncias lidas do banho antes e depois do tingimento das amostras para cada ensaio (Tabela 11), os valores de K/S e as coordenadas de cor, L*, a* e b*.

É de notar que ocorreram erros na leitura dos valores das absorvâncias da impregnação de 1% com concentração de 20g/L, antes e depois, não sendo então possível calcular e comparar a taxa de esgotamento. Esses erros podem ter ocorrido devido a erros experimentais, como configurações inadequadas do espectrofotômetro, ou à possibilidade da solução conter opacidade ou impurezas. Para prevenir esses problemas, torna-se imprescindível realizar a filtração da amostra.

Considerou-se, ainda, níveis aceitáveis de manchamento abaixo de 10%, pelo que todos os ensaios se encontram dentro deste parâmetro (Tabela 11). Porém, a amostra previamente tratada por EQ 1%

apresenta algumas zonas visivelmente manchadas (Anexo C), as quais possivelmente não fizeram parte dos pontos escolhidos para as leituras das amostras, pelo que se excluiu esse pré-tratamento de prosseguir com mais ensaios.

Tabela 11. Taxa de esgotamento e grau de manchamento relativa ao tingimento com eucalipto.

Pré-tratamento	Infusão	Taxa de esgotamento (%)	Grau de manchamento (%)
ST	20g/L	-	3,43
IQ 1%	20g/L	x	6,77
IQ 1%	60g/L	63	3,28
EQ 1%	20g/L	35	7,87
EQ 0,5%	20g/L	33	7,27
EQ 0,5%	60g/L	34	1,41
EFC 8%	20g/L	68	5,44
EFC 8%	60g/L	69	5,34
IQ 0,5%	20g/L	58	5,57
IQ 0,5%	60g/L	49	2,14

Analisando a Tabela 11, pode-se verificar que os métodos que obtiveram maior rendimento colorístico, ou seja, uma percentagem mais elevada de taxa de esgotamento, foi o tratamento por impregnação de quitosano 1% e com 60 g/L de concentração de extrato, o por esgotamento com fixador comercial 8% e por impregnação do quitosano 0,5% com concentração de 20g/L de extrato.

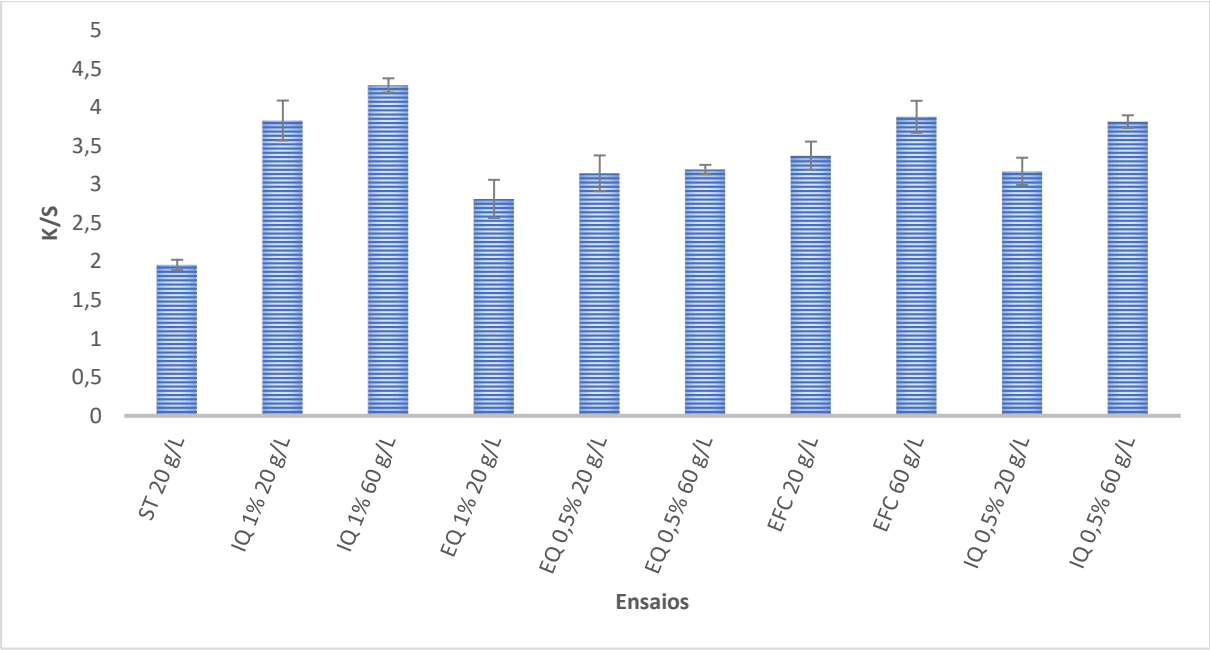


Figura 26. Valores de K/S das amostras têxteis tingidas com eucalipto e utilizando diferentes tipologias de água.

Analisando a Figura 21, não é notória uma diferença significativa dos valores de K/S para os diferentes ensaios, à exceção do ensaio no qual não foi usado qualquer método de pré-tratamento. Pode-se, ainda, observar que esta, está em concordância com os valores descritos na Tabela 11, pois os valores mais elevados de K/S representam os ensaios que obtiveram maior intensidade de cor. Os valores da taxa de esgotamento e de K/S são mais elevados para as malhas pré-tratadas por impregnação, com maior percentagem de quitosano, como esperado, quanto maior a concentração de quitosano utilizada na cationização, maior o valor de K/S e da taxa de esgotamento (Bhuiyan *et al.*, 2014). Isto deve-se ao facto de o quitosano conter grupos amina, $-NH_2$, que se encontra protonados (-NH3 +) em meio ácido (Anexo A). Assim, após o pré-tratamento do algodão com quitosano e sob condições ácidas, cria-se um potencial elétrico positivo na superfície do material, o que resulta no aumento da atração eletrostática entre as fibras e os compostos fenólicos presentes nos extratos de corante, que possuem carga aniónica. Esse fenómeno favorece a formação de ligações de hidrogénio e interações iónicas entre essas substâncias. Consequentemente, há um aumento na quantidade de moléculas de corante que interagem com as fibras, resultando numa melhoria no rendimento do processo de tingimento. (Rattanaphani *et al.*, 2007). Os valores das coordenadas de cor dos ensaios estão apresentados em seguida, sendo que a coordenada L* apresentada na Figura 27, a coordenada a* na Figura 28 e na coordenada b* na Figura 29.

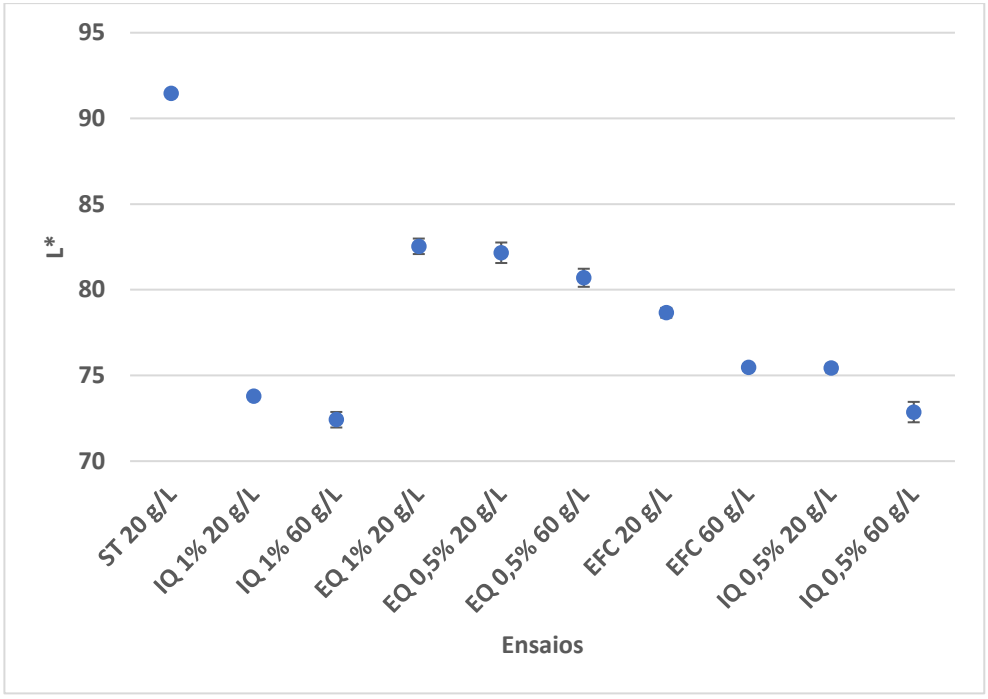


Figura 27. Valores das coordenadas colorimétricas L das malhas tingidas com coloração de eucalipto.*

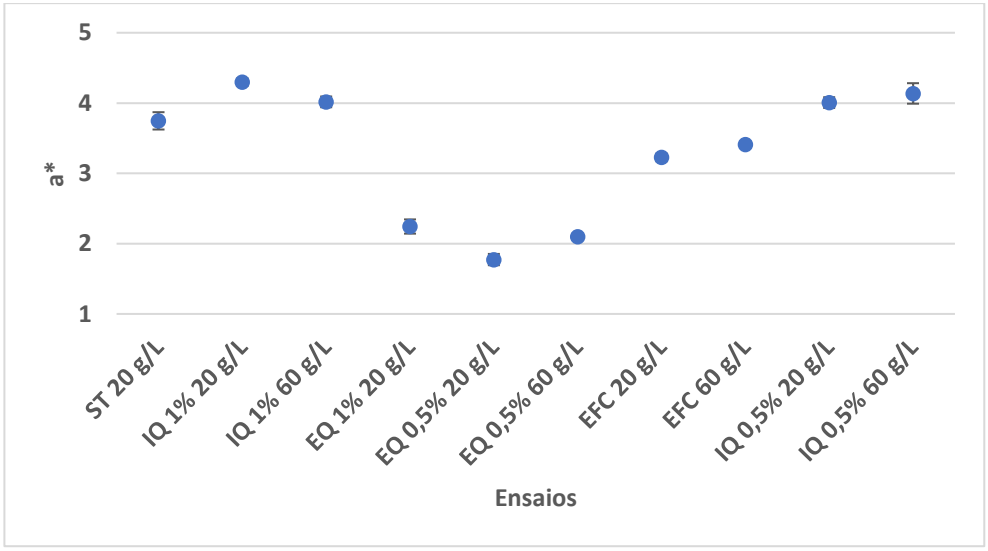


Figura 28. Valores das coordenadas colorimétricas a das malhas tingidas com coloração de eucalipto.*

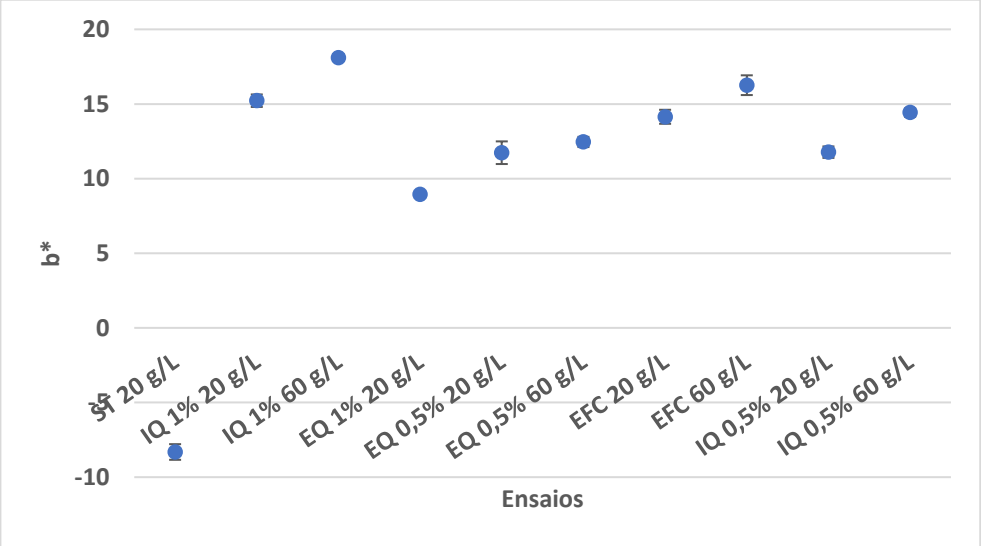


Figura 29. Valores das coordenadas colorimétricas b das malhas tingidas com coloração de eucalipto.*

Quanto à luminosidade das amostras (Figura 27) é possível indicar que a do ensaio sem cationização adquiriu uma cor bastante mais clara do que as restantes malhas apresentadas na Figura. Por sua vez, as malhas com tonalidades mais escuras, ou seja, com maior absorção colorística, foram as previamente tratadas por impregnação com 1% e 0,5% de quitosano e a amostra tingida com 60 g/L do extrato de eucalipto pré-tratada por esgotamento de uma solução com 8% de fixador comercial. Em relação à gama de tonalidades vermelho-verde, os substratos têxteis tratados previamente pelo método de esgotamento com quitosano são os que apresentam coloração mais esverdeada que os restantes. Por fim, obteve-se coordenada b* negativa para a malha sem pré-tratamento, estando esta na gama dos tons azuis. Contrariamente aos ensaios realizados nas que foram tratadas por impregnação com 1% de quitosano em solução, por EFC de 8% e posteriormente tingida em solução de 60g/L de concentração de extrato, os quais obtiveram valores mais elevados, isto é, tons mais amarelados.

4.3.2 Solidez à lavagem doméstica e à luz solar

Com o objetivo de avaliar a resistência dos substratos têxteis tingidos a lavagens domésticas e à exposição à luz solar por uns dias, foram retirados valores de dE (Figura 30) e o grau das diferenças na escala de cinza obtido por meio de um colorímetro (Tabela 12). Noutras palavras, foram quantificadas as variações na coloração entre o substrato original após o tingimento e os substratos após duas lavagens e seis dias de exposição solar, para cada teste realizado.

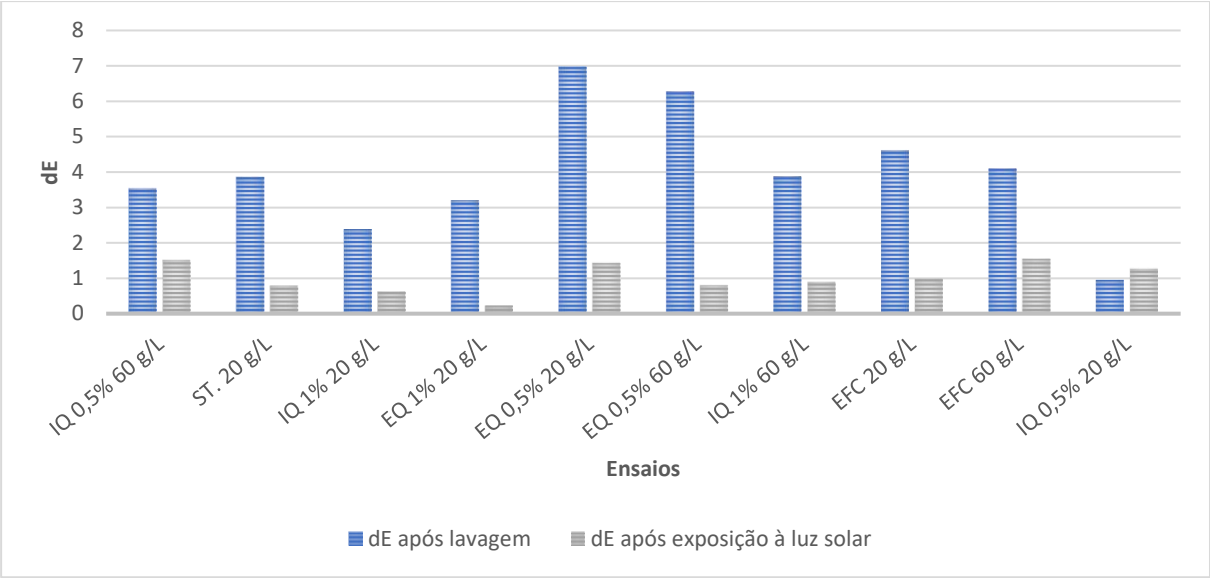


Figura 30. Diferença de cor entre as amostras tingidas (padrão) com as amostras após lavagem e após exposição à luz solar.

Da análise da Figura 30 é possível concluir que os ensaios em que mais se observam diferenças entre as amostras lavadas e as originais são os que foram cationizados por esgotamento com uma solução de 0,5% de quitosano e com diferenças menos significativas, isto é, com maior solidez à lavagem, é a malha tratada por impregnação com 0,5% de quitosano. A literatura científica apresenta evidências, quanto ao pré-tratamento por impregnação de quitosano, de que quanto maior a disponibilidade de espaços na superfície do tecido celulósico, isto é, quanto menor a percentagem de quitosano, maior será o número de sítios reativos e, consequentemente, melhor será a aderência/ligação entre a superfície do tecido e as moléculas de corante, resultando em propriedades de solidez da cor aprimoradas (CHATHA *et al.*, 2016).

Por outro lado, as amostras provaram ter elevada resistência à exposição solar, visto que não existem discrepâncias entre os valores de dE obtidos.

Tabela 12. Valores da escala de cinzentos das amostras têxteis tingidas com coloração de eucalipto.

	Solidez à Lavagem	Solidez à luz
Amostras	**Escala de cinzentos colorímetro**	**Escala de cinzentos colorímetro**
ST 20 g/L	3	4/5
IQ 1% 20 g/L	3/4	4/5
IQ 1% 60 g/L	3	4/5
EQ 1% 20 g/L	3	5
EQ 0,5% 20 g/L	2	4/5
EQ 0,5% 60 g/L	2/3	4/5
EFC 20 g/L	3	4/5
EFC 60 g/L	3	4/5

IQ 0,5% 20 g/L	4/5	4/5
IQ 0,5% 60 g/L	3	4/5

No que diz respeito aos graus na escala de cinzentos representados na Tabela 12, estes estão em concordância com o ilustrado na Figura 30, nomeadamente o substrato que demonstra maior solidez à lavagem adquiriu um grau de 4/5 na escala de cinzentos (IQ 0,5% 20g/L de eucalipto) e relativo à solidez à luz o melhor ensaio, ou seja, tratado por esgotamento com 1% de quitosano e tingido com uma solução de 20 g/L de extrato de eucalipto obteve grau 5 na escala de cinzentos. Porém, como referido no ponto anterior, observando visualmente (Anexo C), este não apresentava uma cor uniforme, assim, neste estudo, não ser considerado um bom pré-tratamento.

Conjugando os resultados, dado que o rendimento colorístico, a taxa de esgotamento e a cor observada visualmente são semelhantes nas malhas pré-tratadas por esgotamento com o fixador comercial ou por impregnação com 0,5% de quitosano é viável a escolha do pré-tratamento com este último e tingimento com a infusão de concentração 20 g/L, pois este apresenta uma melhor solidez à lavagem e à luz, isto é, apresenta um valor inferior de dE, como é possível observar na Figura 30. Para além disso, de uma visão mais sustentável a utilização de menor quantidade de matéria-prima, quando viável, é sempre uma melhor escolha. Adicionalmente, pode ser acrescentado que o pré-tratamento que obteve piores resultados colorísticos e de solidez foram os ensaios realizados com o método de esgotamento com quitosano, o que se encontra de acordo com a literatura (Houshyar & Hossein Amirshahi, 2001; Öktem, 2003).

4.4 Tingimento com o corante natural café

4.4.1 Influência do pré-tratamento na extração do corante natural café

Para avaliar o impacto de cada pré-tratamento no desempenho do tingimento com corante natural de café, foram determinados o grau de manchamento e a taxa de esgotamento, sendo esta última, com base na medição das absorvâncias antes e após o tingimento das amostras em cada ensaio (Tabela 13). Além disso, foram calculados os valores de K/S (Figura 31) e registadas as coordenadas de cor L*, a* e b* (Figura 32, Figura 33, Figura 34).

Ocorreram erros na leitura dos valores das absorvâncias da impregnação de 1% com concentração de 20g/L em ambas as tentativas, antes e depois, não sendo então possível calcular e comparar a taxa de esgotamento. Esses erros podem ter surgido devido a erros experimentais, tais como a configurações

inadequadas do espectrofotômetro, ou à possível presença de impurezas ou opacidade da solução. De forma a prevenir esses problemas, torna-se necessário realizar a filtração da amostra.

Tabela 13. Taxa de esgotamento e grau de manchamento relativa ao tingimento com café.

Pré-tratamento	Infusão	Taxa de esgotamento (%)	Grau de manchamento (%)
ST	20 g/L	-	12,84
IQ 1%	20 g/L	x	16,97
IQ 1%	20 g/L (2ª tentativa)	x	3,66
IQ 1%	60 g/L	32	15,62
IQ 1%	60 g/L (2ª tentativa)	81	2,12
EQ 1%	20 g/L	44	1,18
EQ 0,5%	20 g/L	42	5,35
EQ 0,5%	60 g/L	24	6,33
EFC 8%	20 g/L	63	1,50
EFC 8%	60 g/L	7	2,17
IQ 0,5%	20 g/L	78	0,60
IQ 0,5%	60 g/L	77	3,19

Analisando a Tabela 13 verifica-se que os resultados obtidos da taxa de esgotamento e o grau de manchamento dos ensaios realizados. Como referido no ponto 4.3.1 consideraram-se bons resultados de grau de manchamento apenas as amostras com percentagens abaixo de 10%. Assim sendo, a amostra sem pré-tratamento e as previamente tratadas por impregnação de uma solução com 1% de quitosano 1ª tentativa, foram desconsideradas e realizou-se outra tentativa para as com pré-tratamento.

As melhores taxas de esgotamento foram obtidas nos substratos tratados por impregnação 1% segunda tentativa, tingida posteriormente com solução de 60 g/L de concentração de extrato, com uma taxa de 81%, e nos dois ensaios, com diferentes concentrações de extrato no tingimento, 20 g/L e 60 g/L, pré-tratados por impregnação de uma solução com 0,5% de quitosano, sendo que estes obtiveram taxas de 78% e 77%, respetivamente.

Na Figura 24 apresentam-se os resultados lidos de K/S, os quais indicam a intensidade de cor de cada amostra após tingimento, de forma a avaliar, igualmente, a influência do tipo de cationização no rendimento colorístico.

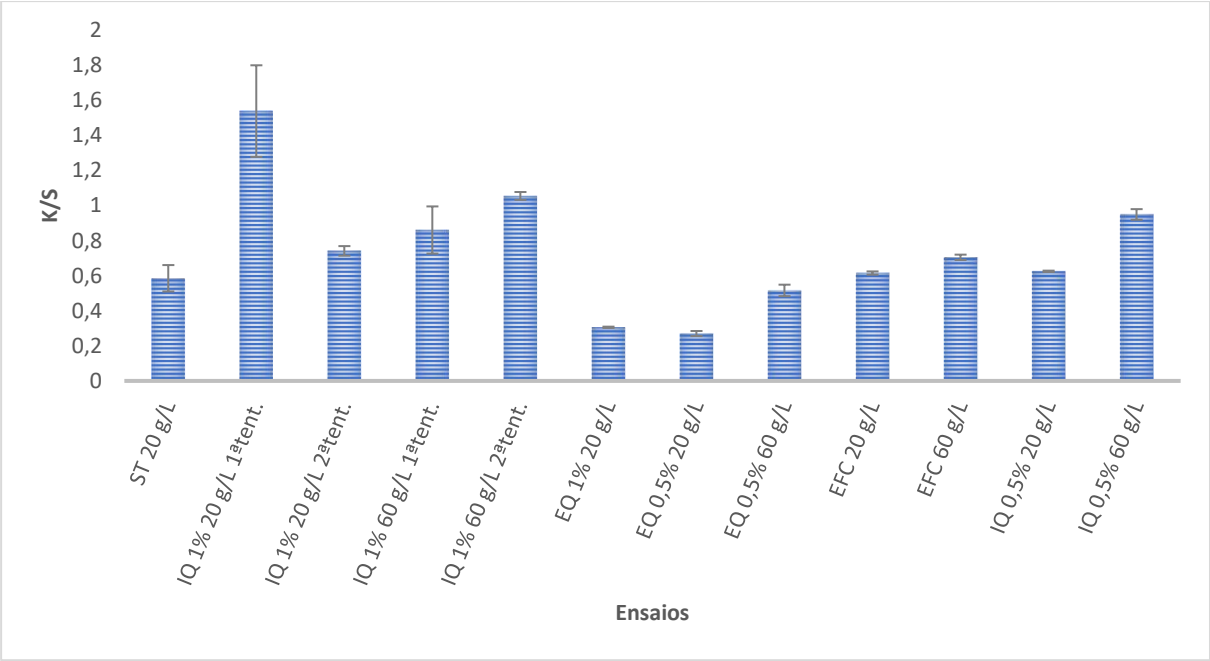


Figura 31. Valores de K/S das amostras têxteis tingidas com café e utilizando diferentes tipologias de água.

Tal como explicitado para o extrato de eucalipto, também aqui é visível que os métodos que obtiveram menor rendimento colorístico foram os pré-tratados por esgotamento (Houshyar & Hossein Amirshahi, 2001; Öktem, 2003). Por outro lado, o maior valor está representado no método de impregnação com 1% de quitosano, com posterior tingimento com solução de 20 g/L de extrato de café, porém este substrato apresenta manchas visíveis, sendo uma amostra não viável. Desta forma, os ensaios com maior K/S são os previamente tratados por impregnação de 1% e 0,5% de quitosano e tingidos de seguida com uma infusão de 60 g/L de extrato. É de notar que, como esperado, quanto maior a concentração de quitosano utilizada na cationização, sendo em meio ácido, maior o valor de K/S e da taxa de esgotamento, tal como acontece para o extrato de eucalipto.

Na Figura 32 estão apresentadas as coordenadas de cor L*, na Figura 33 as coordenadas de cor a* e, por sua vez, na Figura 34 as coordenadas b* da amostra obtida em cada ensaio.

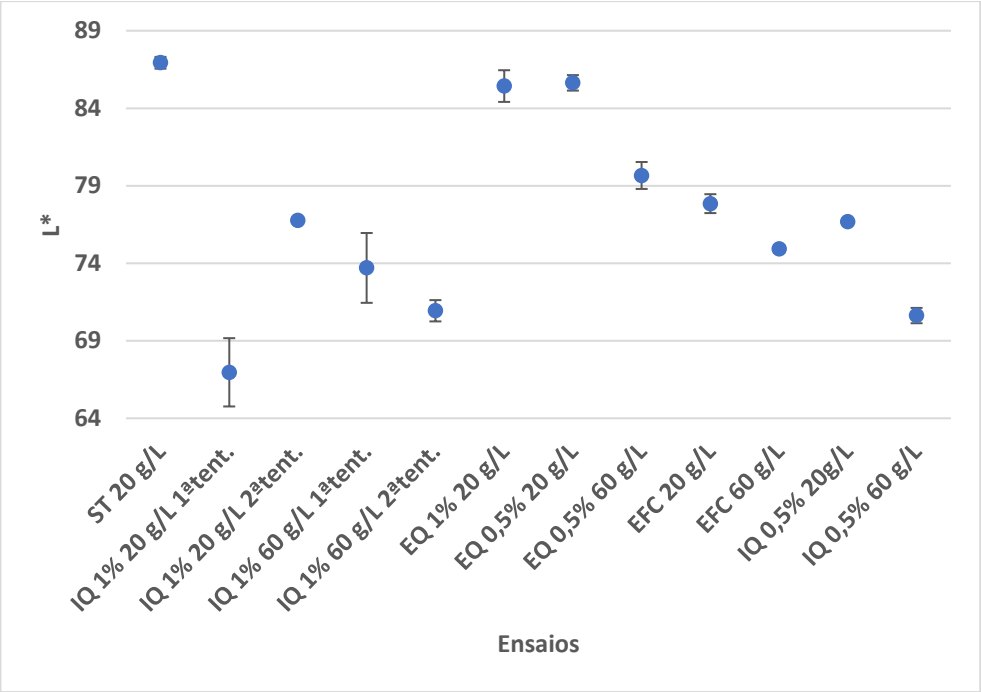


Figura 32. Valores das coordenadas colorimétricas L das malhas tingidas com coloração de café.*

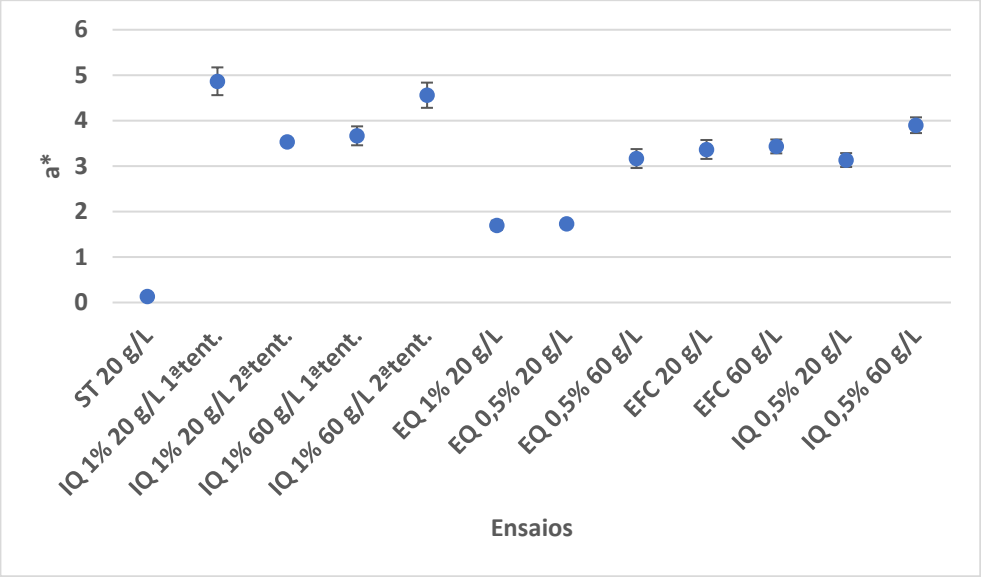


Figura 33. Valores das coordenadas colorimétricas a das malhas tingidas com coloração de café.*

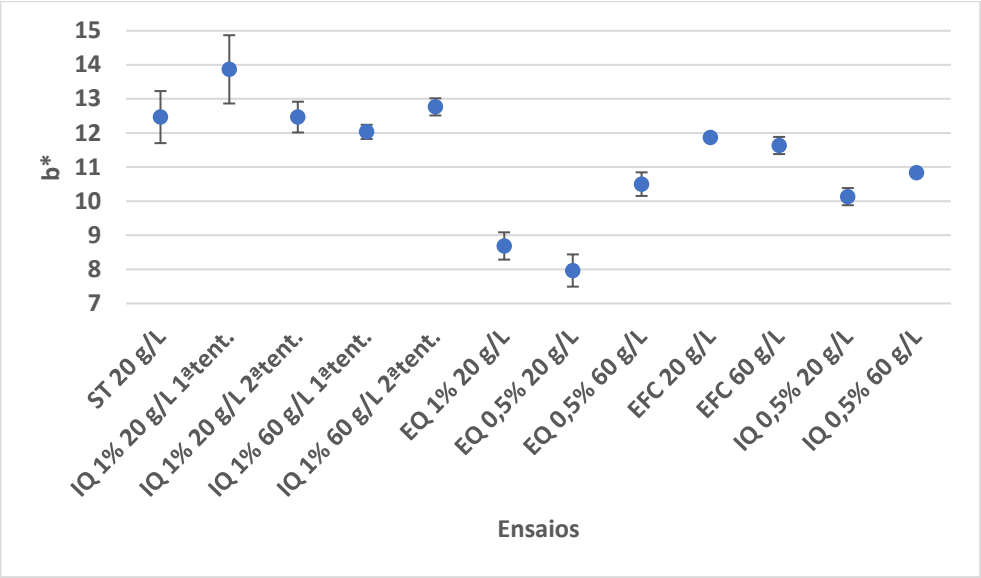


Figura 34. Valores das coordenadas colorimétricas b das malhas tingidas com coloração de café.*

Em concordância com as conclusões retiradas a partir dos resultados apresentados na Figura 31 as amostras com menor rendimento colorístico, ou seja, com uma coordenada L* mais elevada, excluindo as amostras com um grau de manchamento superior a que 10%, são as que sofreram tratamento prévio pelo método de esgotamento com quitosano. Por outro lado, a segunda tentativa de impregnação com 1% de quitosano e a impregnação com 0,5%, ambas com posterior tingimento com concentração de extrato de 60 g/L obtiveram menores valores de L*, pelo que apresentam maior rendimento colorístico. As coordenadas a* e b* apresentam resultados semelhantes entre as amostras, com a exceção das malhas tratadas por esgotamento com quitosano e tingidas com menor concentração de extrato, que apresentam coordenadas inferiores, logo estas possuem tons mais esverdeados e azulados enquanto as restantes se encontram mais avermelhadas e amareladas.

4.4.2 Solidez à lavagem doméstica e à luz solar

Com a finalidade de avaliar a resistência dos substratos têxteis tingidos a lavagens domésticas e à exposição à luz solar durante alguns dias, foram registados valores de dE (Figura 26) e o grau das discrepâncias na escala de cinzentos (Tabela 14). Em outras palavras, quantificou-se as variações na coloração entre o substrato original, antes do tingimento, e os substratos após duas lavagens e seis dias de exposição, para cada experimento realizado.

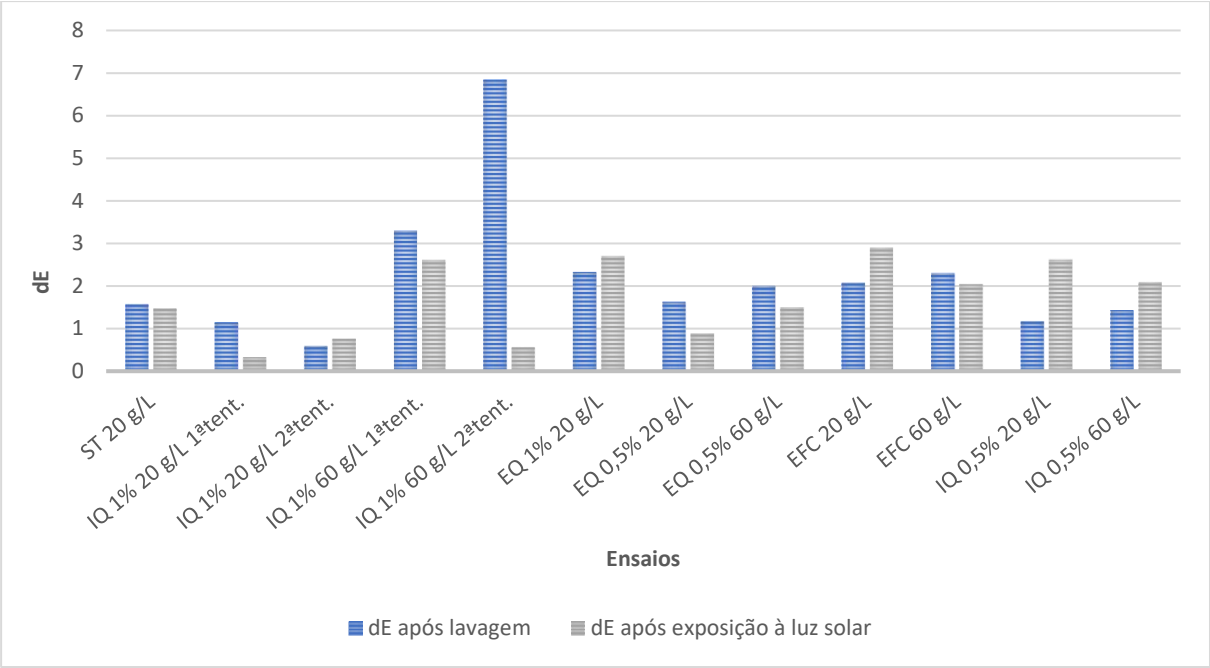


Figura 35. Diferença de cor entre as amostras tingidas (padrão) com as amostras após lavagem e após exposição à luz solar.

Da análise da Figura 35 e Tabela 14, observa-se que que os resultados são semelhantes entre si, ou seja, os ensaios têm solidez à lavagem e à luz semelhantes, com exceção do substrato tingido com 60 g/L e previamente impregnado com solução de 1% de quitosano. Este, apresenta uma baixa solidez à lavagem, com um valor de dE próximo de 7 e um grau na escala de cinzentos de 2.

Tabela 14. Valores da escala de cinzentos das amostras têxteis tingidas com coloração de café.

	Solidez à lavagem	Solidez à luz
Amostras	**Escala de cinzentos colorímetro**	**Escala de cinzentos colorímetro**
ST 20g/L	3/4	3/4
IQ 1% 20g/L 1ªtent.	4	4/5
IQ 1% 20g/L 2ªtent.	4/5	4/5
IQ 1% 60g/L 1ªtent.	2	3
IQ 1% 60g/L 2ªtent.	1/2	4/5
EQ 1% 20g/L	3	3
EQ 0,5% 20g/L	3/4	4
EQ 0,5% 60g/L	3/4	3/4
EFC 20g/L	3/4	3
EFC 60g/L	3	3/4
IQ 0,5% 20g/L	4	3
IQ 0,5% 60 g/L	3/4	3/4

Assim, é possível concluir que, o ensaio IQ 1% tingido com uma concentração de extrato de 60 g/L, mesmo sendo um dos métodos que apresentou maior rendimento colorístico, não prova ser uma boa solução, pois a coloração do mesmo desvanece com duas lavagens. Deste modo, a impregnação com 0,5% de quitosano e um posterior tingimento com infusão com concentração de extrato de 60 g/L um melhor método, pois este, apresenta boa solidez à luz e à lavagem, com valores de dE entre 1 e 2 e na escala de cinzentos, os graus de solidez à lavagem e à luz são igualmente 3/4.

Nesta análise, é possível, ainda, referir que a impregnação com 1% de quitosano e tingimento do substrato com concentração de extrato de 20 g/L alcançou os melhores resultados de dE e grau na escala de cinzentos, porém esta não obteve o melhor rendimento colorístico. As amostras previamente tratadas pelo método de esgotamento, tal como previsto pela literatura e que igualmente ocorreu para o extrato de eucalipto, obtiveram rendimento colorístico menor (Houshyar & Hossein Amirshahi, 2001; Öktem, 2003).

4.5 Tingimento com o corante natural lúpulo

4.5.1 Influência do pré-tratamento na extração do corante natural lúpulo

Com o intuito de avaliar diferentes métodos de cationização e a influência que os mesmos têm no rendimento colorístico do tingimento com extrato de lúpulo em substratos têxteis, procedeu-se com os ensaios apresentados na Tabela 15.

A Tabela 15 contém as taxas de esgotamento calculadas a partir das absorvâncias da infusão antes e após tingimento e o grau de manchamento, calculado a partir dos K/S, igualmente ilustradas na Figura 36.

Tabela 15. Taxa de esgotamento e grau de manchamento relativa ao tingimento com lúpulo.

	Pré-tratamento	Infusão	Taxa de esgotamento (%)	Grau de manchamento (%)
Antes do processo	EFC 8%	20g/L	57	0,89
		60g/L	44	0,92
	IQ 0,5%	20g/L	73	0,36
		60g/L	64	1,67
Depois do processo	EFC 8%	20g/L	47	1,93
		60g/L	59	1,83
	IQ 0,5%	20g/L	92	2,33
		60g/L	97	1,22

Foram testados dois tipos de pré-tratamento, esgotamento com fixador comercial com concentração de 8% e impregnação com 0,5% de quitosano, uma vez que anteriormente se concluiu que quando se sobe a concentração de quitosano para 1% a probabilidade de manchamento é mais elevada. Realizou-se o tingimento com extrato de lúpulo antes do processo de produção de cerveja e após o mesmo, ou seja, como resíduo, para concentrações de 20 g/L e 60 g/L dos mesmos em infusão com água de captação. Pode-se concluir que todos ensaios podem ser considerados, uma vez que a percentagem de manchamento é inferior a 10%. Da mesma forma, é notório que os valores obtidos quando o substrato foi impregnado com 0,5% de quitosano como método de pré-tratamento, dos quais com posterior tingimento do lúpulo como resíduo, os valores alcançados foram mais elevados que, por sua vez, com o lúpulo antes do processo.

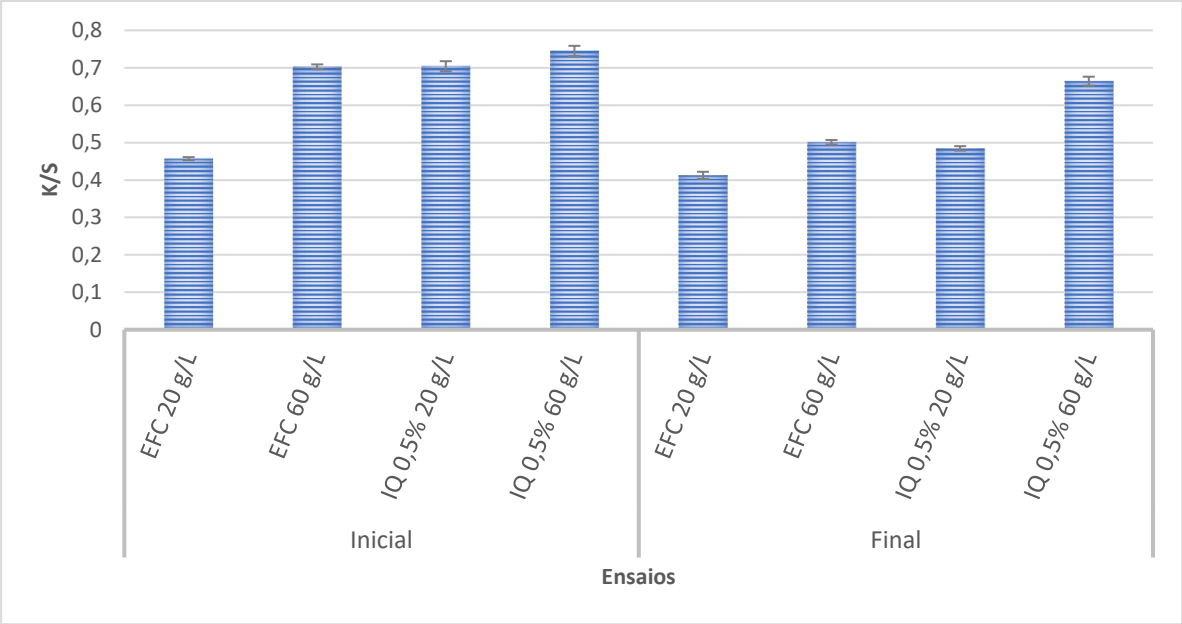


Figura 36. Valores de K/S das amostras têxteis tingidas com lúpulo e utilizando diferentes tipologias de água.

Os resultados relativos à taxa de esgotamento e ao K/S estão em concordância, ou seja, apontam que o melhor pré-tratamento é a impregnação de 0,5% de quitosano, tanto com lúpulo antes do processo como depois do processo.

Relativamente ao conjunto de valores obtidos para o lúpulo antes do processo industrial da cerveja as diferenças encontradas para o uso da infusão com concentração de 20 g/L e de 60 g/L não foram significativas. Porém, no caso do lúpulo como resíduo do processo da produção de cerveja e pré-tratamento com impregnação de 0,5% de quitosano, embora as diferenças entre a malha tingida com a infusão de 20 g/L e de 60 g/L, em relação à taxa de esgotamento não sejam significativas, pelas

diferenças visualmente observadas a malha tingida com a infusão de concentração de 60 g/L obteve uma cor mais intensa, o que justifica o valor mais elevado do K/S.

Comparativamente às que foram tingidas com o lúpulo antes do processo, mesmo o esgotamento do corante após processo ter sido maior, a tonalidade das amostras é bastante semelhante, como é possível observar visualmente e o K/S apenas difere por décimas.

Á semelhança do procedimento realizado nos restantes extratos, a fim de realizar uma comparação mais precisa entre os ensaios, realizou-se uma análise adicional das coordenadas de cor de cada amostra tingida. Nesse contexto, as coordenadas de luminosidade (L*) podem ser observadas na Figura 37, enquanto as coordenadas referentes a* são apresentadas na Figura 38, e as coordenadas b* podem ser vistas na Figura 39.

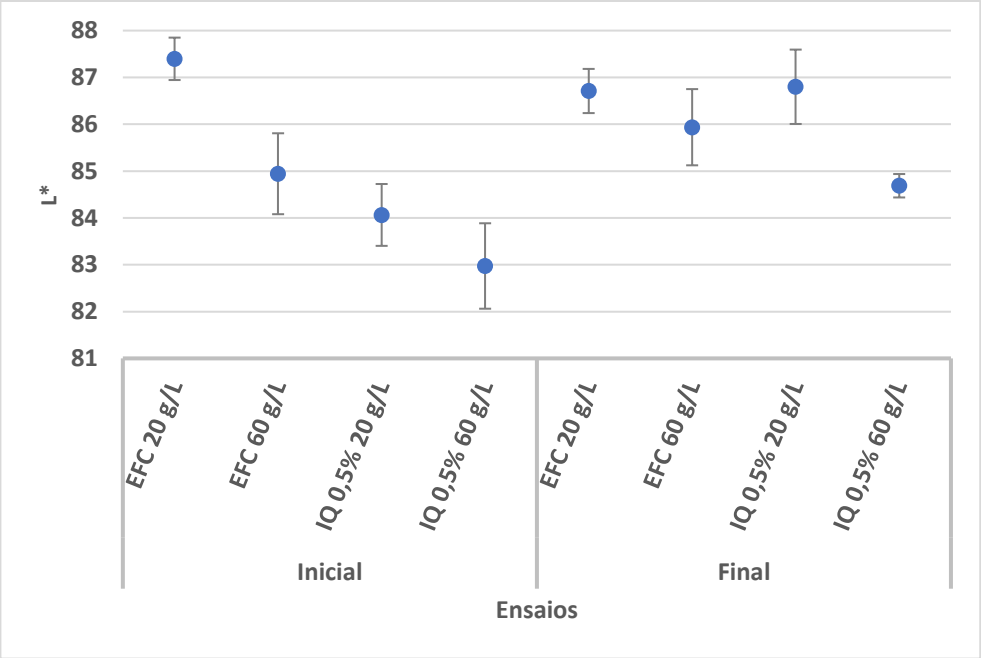


Figura 37. Valores das coordenadas colorimétricas L das malhas tingidas com coloração de lúpulo.*

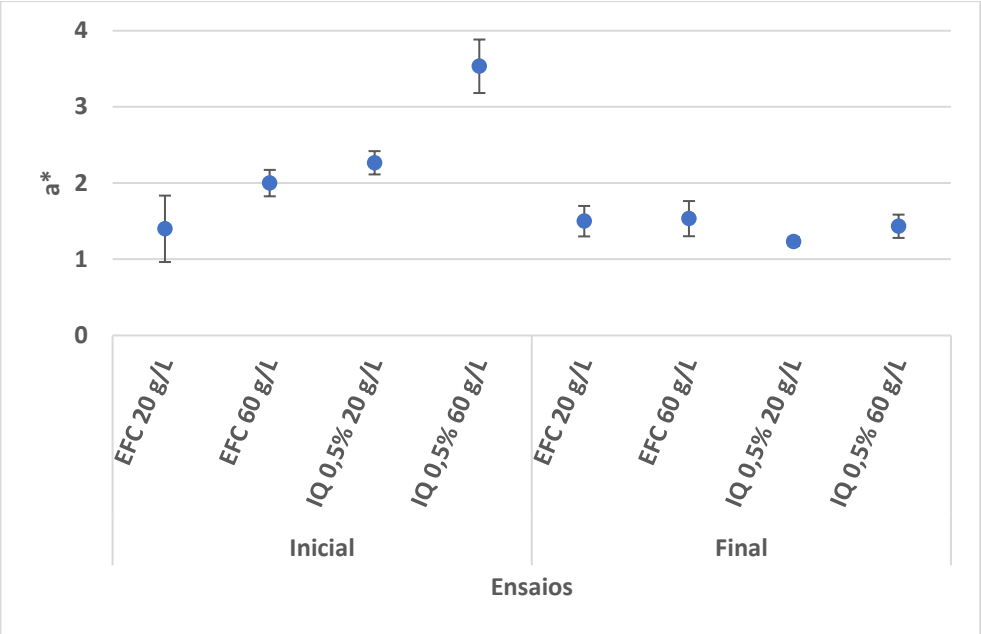


Figura 38. Valores das coordenadas colorimétricas a das malhas tingidas com coloração de lúpulo.*

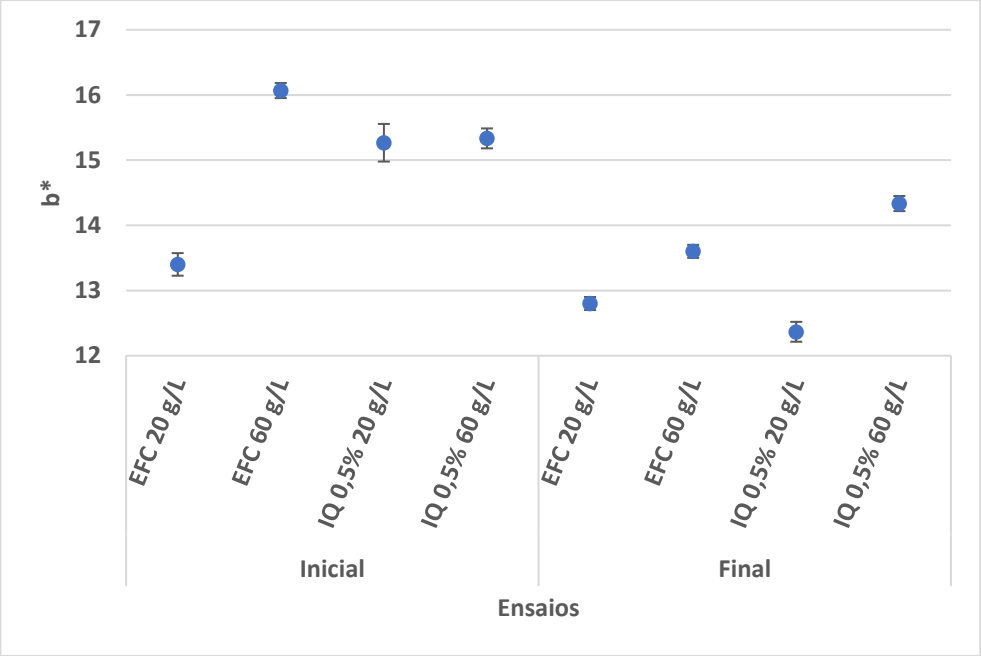


Figura 39. Valores das coordenadas colorimétricas b das malhas tingidas com coloração de lúpulo.*

Os dados observados, encontram-se igualmente em conformidade com os relatados anteriormente, visto que as diferenças entre os ensaios não são significativas. Porém é possível analisar que as amostras tingidas com o lúpulo como resíduo possuem um valor mais elevado de luminosidade, Figura 37. Assim, embora a taxa de esgotamento seja mais elevada, a tonalidade das mesmas é mais clara, o que também é confirmado pelo valor mais reduzido de K/S.

No que diz respeito às amostras tingidas com as infusões com extrato de lúpulo antes do processo, estas demonstram ser mais avermelhadas, coordenada a* mais elevada, e amareladas, coordenada b* maior relativamente às amostras tingidas com lúpulo como resíduo.

4.5.2 Solidez à lavagem doméstica e à luz solar

Com a posterior análise da solidez à lavagem doméstica e à luz dos ensaios realizados com extrato de lúpulo, obteve-se resultados referentes à avaliação das diferenças de cor do substrato original com as malhas após serem subtidas a duas lavagens e 6 dias ao sol. Estes resultados estão representados na Figura 40 e na Tabela 16, através de valores de dE e do grau que estas discrepâncias representam na escala de cinzentos. Podendo-se observar que estes estão coerentes entre si, ou seja, nos ensaios em que os valores de dE são mais elevados o grau de semelhança na escala de cinzentos é menor.

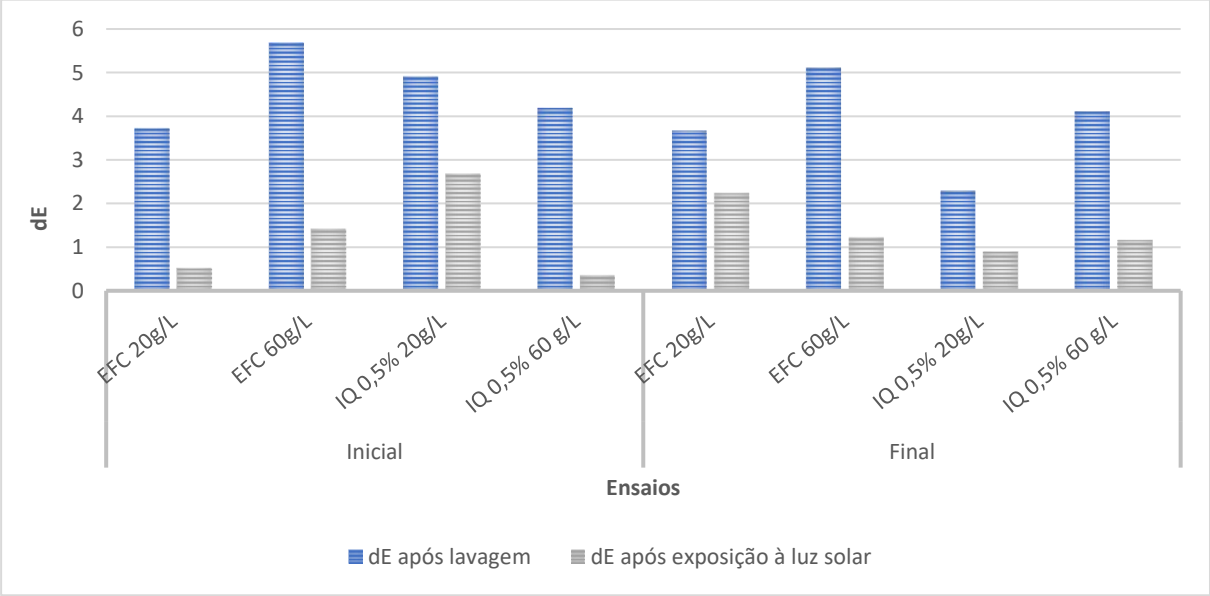


Figura 40. Diferença de cor entre as amostras tingidas (padrão) com as amostras após lavagem e após exposição à luz solar.

Os resultados mais elevados de dE, tendo em vista avaliar a solidez à lavagem, obtidos foram referentes ao pré-tratamento por esgotamento do fixador comercial com posterior tingimento em solução com 60 g/L de extrato de lúpulo antes e pós processo industrial. Contrariamente, o ensaio que permaneceu mais idêntico com a coloração inicial, provando ter mais solidez à lavagem doméstica, foi com o uso do método de impregnação de 0,5% de quitosano em solução e posterior tingimento com 20 g/L de extrato após processo de produção de cerveja do lúpulo, obtendo um valor de dE entre 2 e 3 e um grau 3/4 na escala de cinzentos.

Quanto às informações sobre a solidez de cada ensaio à luz solar, os valores alcançados provaram ser melhores que a solidez destas amostras à lavagem. Pelo que, apenas a impregnação com 0,5% de quitosano e esgotamento com fixador comercial, com tingimento em solução de 20 g/L de extrato atingiram maiores diferenças de coloração em relação à amostra inicial, sendo o dE destas mais elevado, entre 2 e 3, e o grau na escala de cinzentos inferior às restantes, 3/4.

Tabela 16. Valores da escala de cinzentos das amostras têxteis tingidas com coloração de lúpulo.

		Solidez à lavagem	**Solidez à luz**
	Amostras	**Escala de cinzentos colorímetro**	**Escala de cinzentos colorímetro**
Inicial	EFC 20g/L	2	4/5
	EFC 60g/L	1/2	4
	IQ 0,5% 20g/L	2	3/4
	IQ 0,5% 60 g/L	2	4/5
Final	EFC 20g/L	2	3/4
	EFC 60g/L	2	4
	IQ 0,5% 20g/L	3/4	4
	IQ 0,5% 60 g/L	2	4

É importante ressaltar que, embora analisando os valores da taxa de esgotamento, K/S e coordenadas de cor, o melhor método de pré-tratamento seja a impregnação com 0,5 % de quitosano e o uso de 60 g/L de lúpulo como resíduo para tingimento, este apresenta menor solidez à lavagem e à luz que o uso de apenas 20 g/L. Esta diferença faz com que a coloração visivelmente observada nos ensaios com 20 g/L e 60 g/L de concentração de extrato após os testes de solidez, seja semelhante entre elas, pelo que a escolha de uma menor quantidade de extrato leva a resultados semelhantes e torna-se mais sustentável.

5. CONCLUSÕES & PERSPETIVAS FUTURAS

5.1 Conclusões

Os resultados obtidos relativamente à taxa de esgotamento, K/S, coordenadas de cor, dE e escala de cinzentos, demonstram que, para os tingimentos com extrato de castanheiro, a malha virgem apresenta melhores resultados quando foi utilizada água tratada na extração do corante e posterior tingimento do substrato. Por outro lado, para a malha reciclada, quando se utilizou a infusão com água não tratada. Uma vez que, no caso do extrato de castanheiro nos ensaios para a malha com substrato reciclado, mesmo que com as soluções de 75/25 e 50/50 tenham obtido maior rendimento colorístico, porém também obtiveram uma má solidez à lavagem, pelo que a cor acabava por se igualar ao final dos ensaios de solidez.

Relativamente aos resultados obtidos para a coloração com tomilho, é possível, através da junção de todos os parâmetros analisados, concluir que, no caso da malha virgem os melhores resultados foram conseguidos utilizando a infusão de 75% de água tratada e 25% de água de captação, pois este ensaio apresenta o rendimento colorístico (K/S) mais elevado e é um dos ensaios com melhor solidez à lavagem e à luz. No caso da malha reciclada, para o mesmo extrato, os resultados, de todos os parâmetros estudados e comparados, foram melhores com a utilização de água não tratada no processo de extração e posterior tingimento.

Em ambos os extratos o tingimento em malha reciclada provou ser mais eficiente que na malha virgem, pois os valores de K/S eram superiores, pelo que é viável a reutilização das fibras de algodão para a produção de malha reciclada, de modo a reduzir a excessiva plantação de algodão e produção de fibras do mesmo. Adicionalmente, este estudo comprova que é possível a reutilização da água proveniente de uma ETAR após tratamento nos processos de tingimento e, assim, reduzir o elevado consumo da mesma associado à indústria têxtil.

Pode-se concluir, que para os extratos de eucalipto, café e lúpulo, o melhor pré-tratamento é por impregnação com 0,5% de quitosano. Nos extratos de eucalipto e lúpulo a diferença de contrações dos mesmos, na fase de tingimento, acabou por provar que a utilização de menos matéria-prima apresenta resultados semelhantes, pelo que de forma a ser um método mais sustentável a utilização de 20 g/L de extrato é o mais viável. O mesmo não acontece no extrato de café, pois a coloração final obtida após os ensaios de solidez é melhor quando é utilizada a concentração de 60 g/L de extrato.

Em suma, estes resultados destacam a importância da seleção adequada de materiais, tratamentos e métodos de tingimento para melhorar a eficiência e a sustentabilidade da indústria. Isso é fundamental

no contexto em que a indústria têxtil está cada vez mais focada em reduzir seu impacto ambiental e na busca por práticas mais sustentáveis.

5.2 Perspetivas Futuras

Com base nos resultados obtidos nesta dissertação muitas questões e curiosidades ficaram por responder. Nesse sentido, apresentam-se abaixo algumas sugestões de trabalho futuro:

- Avaliar a atividade antimicrobiana e a proteção UV das amostras;
- Explorar as técnicas de mordentagem, de forma a melhor a solidez das amostras à lavagem;
- Avaliar a influência da temperatura no rendimento colorístico;
- Variar o pH de tingimento, de forma a perceber qual o pH ideal para um rendimento máximo de cada corante testado.

Estas perspetivas futuras podem contribuir para um entendimento mais aprofundado das possibilidades de melhoria dos processos de tingimento e das funcionalidades dos têxteis, de modo a expandir oportunidades para aplicações mais inovadoras e sustentáveis na indústria têxtil e em outros setores relacionados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APA. (2021). Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU). Consultado a 09/07/2023, disponível em: https://apambiente.pt/residuos/plano-estrategico-para-os-residuos-urbanos-persu

Becerir, B. (2017). Color Concept in Textiles: A Review. Journal of Textile Engineering & Fashion Technology, 1(6). https://doi.org/10.15406/jteft.2017.01.00039

Bhuiyan, M. A. R., Shaid, A., & Khan, M. A. (2014). Cationization of Cotton Fiber by Chitosan and Its Dyeing with Reactive Dye without Salt. Chemical and Materials Engineering, 2(4), 96–100. https://doi.org/10.13189/cme.2014.020402

CHATHA, S. A. S., HUSSAIN, A. I., ALI, S., SAIF, M. J., MALLHI, A. I., SAGIR, M., & NAZ, M. Y. (2016). SIGNIFICANCE OF CHITOSAN TO IMPROVE THE SUBSTANTIVITY OF REACTIVE DYES. Journal of the Chilean Chemical Society, 61(2), 2895–2897. https://doi.org/10.4067/S0717-97072016000200009

CITEVE. (2023). CITEVE- Tecnologia têxtil. Consultado a 02/04/2023, disponível em: https://www.citeve.pt/

COGORNI, A., VAZ, C., LICODIEDOFF, S., & KOSLOWSKI, L. A. D. (2015). WATER REUSE IN THE TEXTILE INDUSTRY'S DYEING PROCESS. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 8991–8997. https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-1632-18314-137909

Cotton Incorporated. (2012). TEXTILE DYEING. Consultado a 15/08/2023, disponível em: https://www.cottonworks.com/wp-content/uploads/2018/01/Dyeing_Booklet.pdf

Galdino, C. J. S., Medeiros, A. D. M., Amorim, J. D. P., Nascimento, H. A., Henrique, M. A., Costa, A. F. S., & Sarubbo, L. A. (2021). The future of sustainable fashion: Bacterial cellulose bio textile naturally dyed. Chemical Engineering Transactions, 86, 1333–1338. https://doi.org/10.3303/CET2186223

Gordon, S., & Hsieh, L. (2006). Cotton: Science and Technology. Woodhead Pub. in association with the Textile Institute.

Guillot, J. D. (2023). The impact of textile production and waste on the environment (infographics) | News | European Parliament. Consultado a 16/08/2023, disponível em: https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20201208STO93327/the-impact-of-textile-production-and-waste-on-the-environment-infographics

Harsanto, B., Primiana, I., Sarasi, V., & Satyakti, Y. (2023). Sustainability Innovation in the Textile Industry: A Systematic Review. Sustainability, 15(2), 1549. https://doi.org/10.3390/su15021549

Houshyar, S., & Hossein Amirshahi, S. (2001). Treatment of Cotton with Chitosan and Its Effect on Dyeability with Reactive Dyes. Iranian Polymer Journal (English Edition), 11. Consultado a 06/10/2023, disponível em: https://sid.ir/paper/536842/en

Kuhlman, T., & Farrington, J. (2010). What is Sustainability? Sustainability, 2(11), 3436–3448. https://doi.org/10.3390/su2113436

Kumar, A., & Choudhury, R. (2018). ECO-FRIENDLY DYES AND DYEING. AdvMatTechEnv, 2(1), 145–176. Consultado a 12/09/2023, disponível em: https://www.academia.edu/36351120/Eco_friendly_dyes_and_dyeing

Leal Filho, W., Ellams, D., Han, S., Tyler, D., Boiten, V. J., Paço, A., Moora, H., & Balogun, A.-L. (2019). A review of the socio-economic advantages of textile recycling. Journal of Cleaner Production, 218, 10–20. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.210

Leal Filho, W., Perry, P., Heim, H., Dinis, M. A. P., Moda, H., Ebhuoma, E., & Paço, A. (2022). An overview of the contribution of the textiles sector to climate change. Frontiers in Environmental Science, 10. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.973102

Ly, B. C. K., Dyer, E. B., Feig, J. L., Chien, A. L., & Del Bino, S. (2020). Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. Journal of Investigative Dermatology, 140(1), 3-12.e1. https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003

Mongkholrattanasit, R., Kryštůfek, J., & Wiener, J. (2010). Dyeing and fastness properties of natural dyes extracted from eucalyptus leaves using padding techniques. Fibers and Polymers, 11(3), 346–350. https://doi.org/10.1007/s12221-010-0346-8

Moore, S. B., & Ausley, L. W. (2004). Systems thinking and green chemistry in the textile industry: concepts, technologies and benefits. Journal of Cleaner Production, 12(6), 585–601. https://doi.org/10.1016/S0959-6526(03)00058-1

Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Torri, G., & Crini, G. (2019). Applications of chitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetics, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. Environmental Chemistry Letters, 17(4), 1667–1692. https://doi.org/10.1007/s10311-019-00904-x

Öktem, T. (2003). Surface treatment of cotton fabrics with chitosan. Coloration Technology, 119(4), 241–246. https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2003.tb00179.x

Opperskalski, S., Franz, A., Patanè, A., Siew, S., & Tan, E. (2022). Preferred Fiber & Materials Market Report Foreword. Consultado a 30/07/2023, disponível em: https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/preferred-fiber-and-materials/

Patel, B. H. (2011). Natural dyes. Em Handbook of Textile and Industrial Dyeing (Vol. 1, pp. 395–424). Elsevier. https://doi.org/10.1533/9780857093974.2.395

Prabhu, K. H., & Bhute, A. S. (2012). Plant based dyes and mordant: A Review. Em J. Nat. Prod. Plant Resour. Consultado a 12/09/2023, disponível em: www.scholarsresearchlibrary.com

Ragab, M., & Hassabo, A. (2021). Various Uses of Natural Plants Extracts for Functionalization Textile Based Materials. Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science, 0(0), 0–0. https://doi.org/10.21608/jtcps.2021.79169.1064

Rattanaphani, S., Chairat, M., Bremner, J. B., & Rattanaphani, V. (2007). An adsorption and thermodynamic study of lac dyeing on cotton pretreated with chitosan. Dyes and Pigments, 72(1), 88–96. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.08.002

Samchetshabam, G., Choudhury, T. G., & Gita, S. (2017). Impact of Textile Dyes Waste on Aquatic Environments and its Treatment Development of Sustainable Aquaculture in Moyna, Purba Midnapur, West Bengal View project Hilsa Project View project. Consultado a 30/07/2023, disponível em: www.environmentandecology.com

Senaldi, C., Piccinini, P., Buriova, E., & Institute for Health and Consumer Protection. (2008). European survey on the presence of banned azodyes in textiles. Publications Office. https://doi.org/10.2788/87950

Sharma, A., & Grover, E. (2011). Colour fastness of walnut dye on cotton. Indian Journal of Natural Products and Resources, 2(2), 164–169. Consultado a 30/08/2023, disponível em: http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/12136

Shuvo, I. I. (2020). Fibre attributes and mapping the cultivar influence of different industrial cellulosic crops (cotton, hemp, flax, and canola) on textile properties. Bioresources and Bioprocessing, 7(1), 51. https://doi.org/10.1186/s40643-020-00339-1

Silva, M. G. da, Barros, M. A. S. D. de, Almeida, R. T. R. de, Pilau, E. J., Pinto, E., Soares, G., & Santos, J. G. (2018). Cleaner production of antimicrobial and anti-UV cotton materials through dyeing with eucalyptus leaves extract. Journal of Cleaner Production, 199, 807–816. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.221

Tamilarasi, A. (2021). CLASSIFICATION AND TYPES OF NATURAL DYES: A BRIEF REVIEW. International Journal of Creative Research Thoughts, 9(11), 527–532. Consultado a 15/08/2023, disponível em: www.ijcrt.org

Teixeira, P. (2015). Incorporação de Quitosano em Têxteis Hospitalares Reutilizáveis. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Vankar, P. S. (2000). Chemistry of natural dyes. Resonance, 5(10), 73–80. https://doi.org/10.1007/BF02836844

Yadav, M., Singh, N., Kaur, A., & Sahu, O. (2019). Antibacterial activity assessment of woolen fabric treated with natural dyes and chitosan. Agriculture and Natural Resources, 53(2), 188–196. https://doi.org/10.34044/j.anres.2019.53.2.14

Yanti, F. F., Andevita, N. R., & Puspasari, I. (2021). Effect of Chitosan Pre-Treatment on Color Fastness of Cotton Fabric with Natural Dyes from Mango Leaves Extract. Teknoin, 27(1), 9–16. https://doi.org/10.20885/teknoin.vol27.iss1.art2

Zhou, C. E., Kan, C. W., Sun, C., Du, J., & Xu, C. (2019). A review of chitosan textile applications. Em AATCC Journal of Research (Vol. 6, pp. 8–14). American Association of Textile Chemists and Colorists. https://doi.org/10.14504/ajr.6.S1.2

ANEXO A – VALORES DO PH DAS INFUSÕES ANTES E APÓS TINGIMENTO DE CADA EXTRATO

Tabela A. 1. Valores de pH das infusões com extrato de castanheiro.

	Pré-tratamento	Infusão	pH (antes do banho)	pH (depois do banho)
Malha virgem	Esgotamento Fixador comercial 8%	captação	3,776	4,208
		50/50	3,602	4,888
		75/25	3,515	3,702
		Água Tratada	3,504	3,912
		Água não tratada	3,867	4,311
Malha reciclada		captação	3,776	3,903
		50/50	3,602	3,69
		75/25	3,515	3,703
		Água Tratada	3,504	3,606
		Água não tratada	3,867	4,052

Tabela A. 2. Valores de pH das infusões com extrato de tomilho.

	Pré-tratamento	Infusão	pH (antes do banho)	pH (depois do banho)
Malha virgem	Esgotamento Fixador comercial 8%	captação	5,975	5,691
		50/50	5,675	5,465
		75/25	5,539	4,322
		Água Tratada	5,446	5,368
		Água não tratada	6,915	6,759
Malha reciclada	Esgotamento Fixador comercial 8%	captação	5,975	5,829

	50/50	5,675	5,529
	75/25	5,539	5,484
	Água Tratada	5,446	5,428
	Água não tratada	6,915	6,945

Tabela A. 3. Valores de pH das infusões com extrato de eucalipto.

Pré-tratamento	Infusão	pH (antes do banho)	pH (depois do banho)
ST	20g/L	4,823	5,161
IQ 1%	20g/L	4,615	5,548
IQ 1%	60g/L	4,842	5,234
EQ 1%	20g/L	4,820	5,032
EQ 0,5%	20g/L	4,820	4,990
EQ 0,5%	60g/L	4,842	4,839
EFC 8%	20g/L	4,482	4,429
EFC 8%	60g/L	4,427	4,312
IQ 0,5%	20g/L	4,628	5,24
IQ 0,5%	60g/L	4,470	4,776

Tabela A. 4. Valores de pH das infusões com extrato de café.

Pré-tratamento	Infusão	pH (antes do banho)	pH (depois do banho)
ST	20g/L	6,303	6,541

IQ 1%	20g/L	6,194	6,724
IQ 1%	20g/L 2ª tentativa	6,194	6,844
IQ 1%	60g/L	5,859	6,566
IQ 1%	60g/L 2ª tentativa	6,134	6,297
EQ 1%	20g/L	6,094	6,390
EQ 0,5%	20g/L	6,094	6,467
EQ 0,5%	60g/L	5,922	6,050
EFC 8%	20g/L	6,456	6,278
EFC 8%	60g/L	6,111	6,012
IQ 0,5%	20g/L	5,996	6,31
IQ 0,5%	60g/L	5,772	6,34

Tabela A. 5. valores de pH das infusões com extrato de lúpulo.

	Pré-tratamento	**Infusão**	**pH (antes do banho)**	**pH (depois do banho)**
Antes do processo	EFC 8%	20g/L	4,866	4,336
		60g/L	4,993	4,181
	IQ 0,5%	20g/L	4,882	5,355
		60g/L	4,998	-
Depois do processo	EFC 8%	20g/L	5,044	4,814
		60g/L	5,012	4,42
	IQ 0,5%	20g/L	4,471	5,812

	60g/L	5,334	4,649

ANEXO B – ABSORVÂNCIAS LIDAS PARA CADA ENSAIO

Na Figura B. 1. Absorvâncias lidas para os ensaios com água de captação com coloração de castanheiro.Figura B. 1 estão representados os valores de absorvância lidos, com o equipamento UV-vis, para o ensaio com água de captação relativos à coloração com castanheiro. As absorvâncias dos restantes ensaios, para os diferentes corantes naturais utilizados foram retirados da mesma forma, de modo a ser possível observar os valores obtidos a 400nm e calcular, com estes, a taxa de esgotamento.

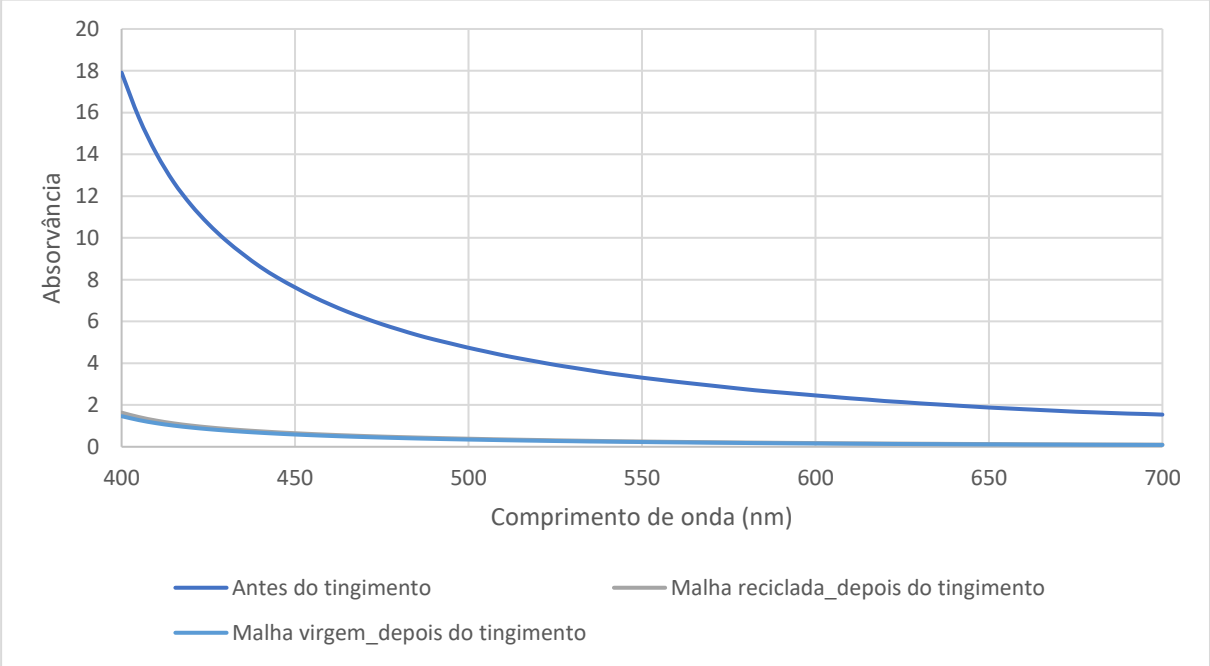


Figura B. 1. Absorvâncias lidas para os ensaios com água de captação com coloração de castanheiro.

ANEXO C – AMOSTRAS OBSERVADAS NA CÂMARA DE LUZ

CASTANHEIRO

Tabela C. 1. Imagens câmara de luz castanheiro.

Malha Virgem- Água de captação			**Malha Reciclada- Água de captação**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar
Malha Virgem- 50/50			**Malha reciclada- 50/50**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar

Malha Virgem- 75/25			Malha Reciclada- 75/25		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar
Malha Virgem- Água tratada			**Malha Reciclada- Água tratada**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar
Malha Virgem- Água não tratada			**Malha Reciclada- Água não tratada**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar

TOMILHO

Tabela C. 2. Imagens câmara de luz tomilho.

Malha Virgem- Água de captação			**Malha Reciclada- Água de captação**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar
Malha Virgem- 50/50			**Malha reciclada- 50/50**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar

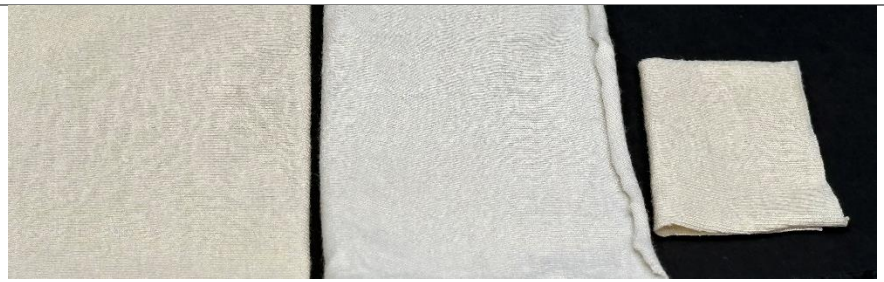
Malha Virgem- 75/25			Malha Reciclada- 75/25		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar
Malha Virgem- Água tratada			**Malha Reciclada- Água tratada**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar
Malha Virgem- Água não tratada			**Malha Reciclada- Água não tratada**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar

EUCALIPTO

Tabela C. 3. Imagens câmara de luz eucalipto.

Sem pré-tratamento			**Impregnação Quitosano 1%- 20g/L**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar
Impregnação Quitosano 1%- 60g/L			**Esgotamento Quitosano 1%- 20 g/L**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar

Esgotamento Quitosano 0,5%- 20 g/L	**Esgotamento Quitosano 0,5%- 60 g/L**



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Esgotamento Fixador comercial- 20 g/L



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Esgotamento Fixador comercial- 60 g/L



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Impregnação Quitosano 0,5%- 20g/L



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Impregnação Quitosano 0,5%- 60g/L



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

CAFÉ

Tabela C. 4. Imagens câmara de luz café.

Sem pré-tratamento			**Impregnação Quitosano 1%- 20g/L**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar
Impregnação Quitosano 1%- 20g/L, 2ª tentativa			**Impregnação Quitosano 1%- 60g/L- 1ª tentativa**		
					
Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar

Impregnação Quitosano 1%- 60g/L- 2ª tentativa	**Esgotamento Quitosano 1%- 20 g/L**



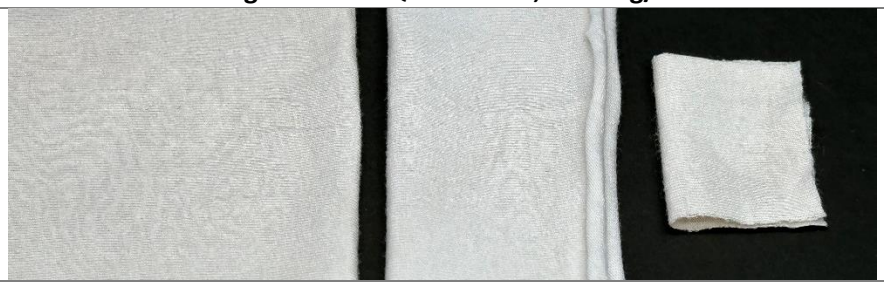
Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Esgotamento Quitosano 0,5%- 20 g/L



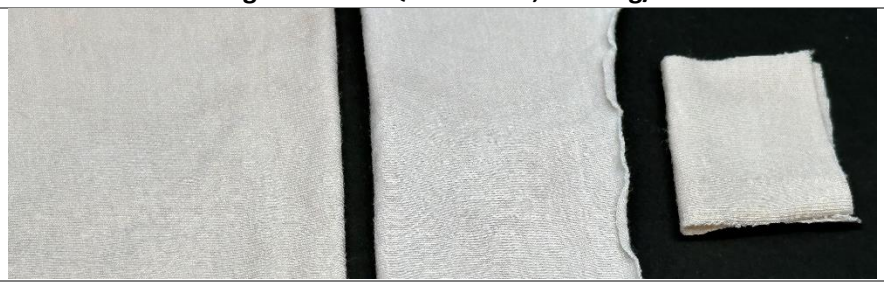
Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Esgotamento Quitosano 0,5%- 60 g/L



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Esgotamento Fixador comercial- 20 g/L



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Esgotamento Fixador comercial- 60 g/L



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Impregnação Quitosano 0,5%- 20g/L



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Impregnação Quitosano 0,5%- 60g/L





Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar

LÚPULO

Tabela C. 5. Imagens câmara de luz lúpulo.

Lúpulo antes do processo			**Lúpulo depois do processo**		
Impregnação Quitosano 0,5%- 20g/L			**Impregnação Quitosano 0,5%- 20g/L**		



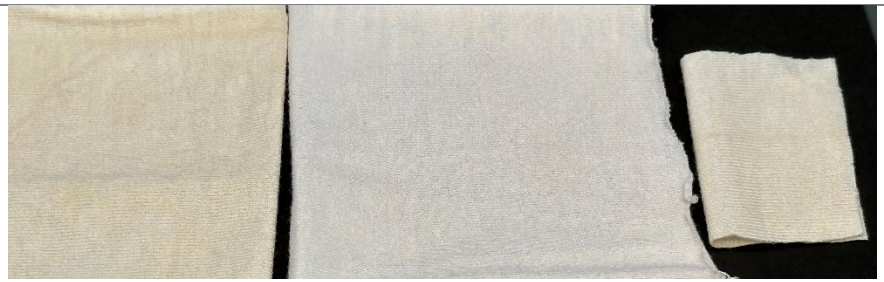


Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar	Após Tingimento	Após lavagens	Após exposição solar

Impregnação Quitosano 0,5%- 60g/L	**Impregnação Quitosano 0,5%- 60g/L**



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Esgotamento Fixador comercial- 20 g/L

Esgotamento Fixador comercial- 20 g/L



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar

Esgotamento Fixador comercial- 60 g/L

Esgotamento Fixador comercial- 60 g/L



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar



Após Tingimento Após lavagens Após exposição solar