

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Andreia Sofia da Costa Ferreira

## **Otimização do processo de lavagem de corantes**

Mestrado Integrado em Engenharia Biológica  
Ramo de Tecnologia Química e Alimentar

Trabalho efetuado sob a orientação do  
**Professor Doutor Eugénio Campos Ferreira**  
e da  
**Engenheira Maria do Carmo Teixeira**

## 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-Não Comercial  
CC BY-NC

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## Agradecimentos

No final destes cinco anos e com o culminar de mais uma etapa é tempo de lembrar aqueles que estiveram presentes e me ajudaram nesta fase tão importante.

Agradecer à MGC-AT por me receber e conceder a realização deste estágio. Nesta empresa foram várias as pessoas com quem contactei e às quais devo o meu agradecimento.

Em primeiro, à Engenheira Carmo, orientadora da empresa, que esteve sempre disponível para me ajudar em qualquer situação e que sempre acompanhou todos os desenvolvimentos do projeto auxiliando em cada etapa.

À Cátia e à Gabriela pela simpatia e apoio demonstrado durante todo o tempo que estive na empresa.

Ao Sr. Barros que com a sua experiência e sabedoria me aconselhou e ajudou ao longo de todo o estágio.

Agradecer, à Inês que partilhou esta etapa comigo na MGC-AT e que sempre me apoiou em todos os momentos.

Agradecer de uma forma geral a todas as pessoas com quem me fui relacionando na empresa e que de uma ou de outra forma também contribuíram para a realização deste projeto.

Ao Professor Eugénio, orientador da universidade, obrigada pelo tempo dispensado e pela ajuda prestada sempre que solicitei.

Às amigas que fiz durante o curso, Catarina, Inês e Rita, obrigada pelo vosso apoio e compreensão.

Às amigas de sempre Juliana e Júlia obrigada pela vossa amizade e apoio.

À Daniela e ao Luís obrigada pela ajuda e pelos conselhos.

À Marlene, obrigada pela irmã que és e por toda a força e carinho que me transmites.

À minha avó pelo seu amor incondicional e as suas palavras de conforto.

Por fim, o meu maior agradecimento vai para aqueles que permitiram que tudo isto fosse possível, os meus pais, obrigado pelo amor e dedicação que sempre tiveram e por estarem sempre presentes na minha vida.

## 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.

# Otimização do Processo de Lavagem de Corantes

## Resumo

O processo de lavagem de corantes reativos tem a finalidade de remover o corante hidrolisado e neutralizar o tecido, uma etapa importante para que este possa prosseguir para acabamento. Assim tinha-se como objetivo o estudo do processo de lavagem com o intuito de minimizar os problemas de reprodutibilidade entre laboratório-prática e prática-prática. Por outro lado, em produção, também foi objetivo o estudo do processo de forma a aumentar a eficiência da operação de lavagem de corantes reativos em relação às especificações pretendidas no final.

Para tal, primeiramente, procedeu-se à comparação da cor, por espectrofotometria, e do valor de pH, entre amostras sujeitas à lavagem em laboratório e em produção. Posteriormente, foram testadas alterações aos parâmetros laboratoriais, tais como: tempo, temperatura, quantidade de detergente e número de amostras por copo de ensaboamento. Já em produção foram acompanhadas diversas lavagens, na máquina de lavar, que permitiram compreender qual a estratégia mais vantajosa para se obter os resultados pretendidos em relação às especificações finais do artigo. Isto levou à alteração dos caudais de água e da quantidade de ácido que prevaleciam na máquina de lavar.

O estudo efetuado permitiu verificar uma diminuição de cerca de 0,3 na diferença de cor existente entre amostras lavadas em laboratório e em produção, através da alteração do processo de lavagem laboratorial. Estas alterações passaram pelo aumento do tempo da etapa de ensaboamento e da restrição do número de amostras por cada copo de ensaboamento.

Em produção, o estudo da máquina de lavar e as alterações levadas a cabo permitiram que existisse uma estabilização do processo de lavagem. Assim, verificou-se uma redução do número de amostras, com pH final do tecido superior a 7,5, de 46,4 % e 22,7 %, em cores escuras e claras, respetivamente. Com a adoção do novo programa de lavagem foi, ainda, possível reduzir o caudal médio de água gasta de 31,5 % em cores claras e 35 % em cores escuras.

**Palavras-Chave:** Corantes reativos; Diferença de cor; pH; Processo de lavagem;

# Dye Washing Process Optimization

## Abstract

The reactive dye washing process has the purpose of removing the hydrolysed dye and neutralizing the fabric, an important step before proceeding to finishing. It was intended the study of the washing process in order to minimize reproducibility problems between laboratory-practice and practice-practice. On the other hand, in production, it was also pretended the study of the process in order to increase the efficiency of the reactive dye washing operation, in terms of its inherent variables, considering the colour and weight of the article to be washed, as well, as the results obtained in relation to the intended specifications at the end.

For it, firstly, proceeded with comparison of the colour, by spectrophotometry, and of pH value, between samples subjected to washing in the laboratory and in production. Posteriorly, changes to laboratory parameters were tested, such as: time, temperature, detergent amount and number of samples per soaping cup. Already in production, were followed several washes, on the washing machine, allowing to understand the most advantageous strategy to obtain the desired results in relation to the final specifications of the article. This led to change of water flow and acid amount that prevailed in the washing machine.

The study allowed to verify a decrease of about 0,3 in the difference of existing colour between samples washed in laboratory and in production, through the alteration of the laboratory washing process. Those changes were the increase of the time of the soaping step and restriction of the number of samples per each soaping glass. In production, the study of the washing machine and the modifications carried out allowed a stabilization of the washing process. Thus, there was a reduction of the number of fabric samples with final pH greater than 7,5, of 46,4 % and of 22,7 %, in dark and light colours, respectively. With the adoption of the new washing program in production it was still possible to reduce the average flow rate of water spent during washing, 31,5 % in light colours and 35 % in dark colours.

**Keywords:** Reactive dye; Colour difference; pH; Washing process;

# Índice

Direitos de autor e condições de utilização do trabalho por terceiros.....	ii
Agradecimentos.....	iii
Declaração de Integridade .....	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tabelas .....	xi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....	xiii
1. Introdução .....	1
1.1. MGC - Acabamentos Têxteis .....	2
1.2. Objetivos e motivação.....	2
1.3. Estrutura da dissertação.....	3
2. Conceitos Teóricos .....	4
2.1. Fibras Têxteis.....	4
2.1.1. Algodão.....	4
2.1.2. Linho.....	4
2.2. Processo produtivo.....	5
2.2.1. Preparação.....	6
2.2.2. Tingimento .....	7
2.2.3. Acabamentos .....	7
2.3. Corantes Reativos .....	9
2.3.1. Processo de tingimento .....	11
2.3.2. Processo de Lavagem.....	12

2.4.	Colorimetria .....	12
2.4.1.	Sistemas colorimétricos .....	13
2.4.1.1.	<i>Sistema colorimétrico CIELAB</i> .....	14
2.4.1.2.	<i>Sistema colorimétrico CMC</i> .....	16
2.4.2.	Iluminantes SPD .....	16
3.	Desenvolvimento Experimental .....	18
3.1.	Processo laboratorial de lavagem de corantes .....	18
3.2.	Processo industrial de lavagem de corantes .....	20
3.3.	Equipamentos .....	23
3.3.1.	Espectrofotômetro Datacolor SF 600 .....	23
3.3.2.	Potenciômetro .....	23
3.4.	Metodologias .....	24
3.4.1.	Determinação do pH .....	25
3.4.2.	Avaliação da cor .....	25
4.	Apresentação e discussão dos resultados .....	27
4.1.	Influência do processo de preparação e de tingimento na neutralidade final do tecido .....	27
4.2.	Comparação do processo de lavagem laboratorial com o processo industrial .....	29
4.2.1.	Alteração dos parâmetros de lavagem laboratorial .....	31
4.2.1.1.	<i>Influência do tempo e da temperatura</i> .....	31
4.2.1.2.	<i>Influência do número de amostras por copo de ensaboamento</i> .....	36
4.2.2.	Influência dos parâmetros analisados na ML no pH final do tecido .....	45
4.2.2.1.	<i>Influência dos caudais de água que prevaleciam nas caixas da ML no pH final do tecido</i>	45
4.2.2.2.	<i>Quantidade de ácido</i> .....	47
4.2.2.3.	<i>Mudança de águas da ML</i> .....	48



4.2.3. Alteração aos parâmetros da ML.....	49
5. Conclusão e Trabalhos Futuros .....	54
Referências Bibliográficas .....	56
Anexos .....	59
Anexo A – Caudais pré-definidos da Máquina de lavar .....	59
Anexo B – Dados obtidos em laboratório .....	60
Anexo C – Dados obtidos em produção.....	62

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Representação da constituição da fibra de algodão, (adaptado de Gordon & Hsieh, 2006). ...	4
<b>Figura 2.</b> Representação da constituição da fibra de linho (adaptado de Amiri <i>et al.</i> , 2015).....	5
<b>Figura 3.</b> Sequência de processos efetuados durante a etapa de preparação do tecido.....	6
<b>Figura 4.</b> Etapas presentes ao longo do tingimento, (adaptado de Clark, 2011). .....	7
<b>Figura 5.</b> Esquematização dos processos, mecânicos e químicos, utilizados durante a etapa de acabamento de tecidos.....	8
<b>Figura 6.</b> Representação da constituição dos corantes reativos, (adaptado de Chattopadhyay 2011)..	10
<b>Figura 7.</b> Formação de ligação covalente através do mecanismo de adição nucleofílica <b>(A)</b> e de substituição nucleofílica <b>(B)</b> , adaptado de Koh, 2011. ....	10
<b>Figura 8.</b> Processo de tingimento com corantes reativos. ....	11
<b>Figura 9.</b> Representação da percepção que o observador tem da cor do objeto (adaptado de Choudhury, 2014).....	13
<b>Figura 10.</b> Espaço de cores CIE $L^*a^*b^*$ (adaptado de Gilchrist & Nobbs, 2017). ....	15
<b>Figura 11.</b> Processo de lavagem laboratorial efetuada em tingimentos com corantes reativos. ....	19
<b>Figura 12.</b> Representação esquemática das caixas de lavagem que compõem a ML (“Benninger Textile – Washing,” n.d.).....	20
<b>Figura 13.</b> Representação esquemática da ML(“Benninger Textile – Washing,” n.d.).....	22
<b>Figura 14.</b> Espectrofotômetro Datacolor SF 600 Plus - CT. ....	23
<b>Figura 15.</b> Potenciômetro. ....	24
<b>Figura 16.</b> Amostras de água retiradas das caixas da ML durante o processo de lavagem de um tecido. ....	25

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1.</b> Valores de pH medidos em três momentos distintos do processo de tingimento (Após preparação, Após Maturação e Após Lavagem) e em três zonas distintas do tecido (1ª amostra, 2ª amostra, 3ª amostra) .....	28
<b>Tabela 2.</b> Valores de pH e $DE^*$ de amostras de artigos cuja lavagem foi realizada em produção e em laboratório.....	30
<b>Tabela 3.</b> Comparação dos valores de $DE^*$ para os iluminantes D65, TL84 e A para as cores E12, E17 para a lavagem F e para a lavagem A .....	34
<b>Tabela 4.</b> Valores de $DE^*$ para os iluminantes D65, TL84 e A para as cores C9, C10, C11, para a lavagem F e A.....	35
<b>Tabela 5.</b> Valores da $DE^*$ para os iluminantes D65, TL84 e A para as cores, E12, E16, E17 em função do número de amostras por copo de ensaboamento .....	39
<b>Tabela 6.</b> Valores de $DE^*$ para os iluminantes D65, TL84 e A para as cores C9, C10 e C11 em função do número de amostras por cada copo de ensaboamento.....	40
<b>Tabela 7.</b> Valores da $DE^*$ para os iluminantes D65, TL84 e A em função do número de amostras por copo de ensaboamento .....	43
<b>Tabela 8.</b> Amostras com pH superior a 7,5, em percentagem, para cores escuras e claras de acordo com as condições de lavagem que prevaleciam no momento em que se retirou a amostra.....	46
<b>Tabela 9.</b> Amostras com pH superior a 7,5, para cores claras e escuras, em função do valor de pH pedido no potenciômetro da ML.....	47
<b>Tabela 10.</b> Amostras com pH superior a 7,5, para cores claras e escuras, em amostras retiradas após mudança de águas da ML .....	49
<b>Tabela 11.</b> Caudais de água a utilizar em cada caixa de lavagem da ML.....	51
<b>Tabela 12.</b> Amostras com pH superior a 7,5, em cores escuras e em cores claras, antes e após efetuadas as alterações. aos caudais e ao pedido de pH.....	51
<b>Tabela 13.</b> Caudal médio de água gasto em cores claras e escuras antes e após efetuar as alterações .....	52

<b>Tabela A1.</b> Descrição dos caudais pré-definidos para cada caixa de lavagem de acordo com o programa a utilizar .....	59
<b>Tabela A2.</b> Temperaturas praticadas em cada caixa de lavagem da ML .....	59
<b>Tabela B1.</b> Valores de DE* e respetiva tendência de cor para os diferentes processos de lavagem para as cores C8 e E14.....	60
<b>Tabela B2.</b> Esquematização das alterações efetuadas em cada etapa do processo de lavagem laboratorial .....	61
<b>Tabela C1.</b> Valores de pH final do tecido e respetivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra em cores clara .....	63
<b>Tabela C2.</b> Valores de pH final do tecido e respetivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra, em cores escuras.....	67

## Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

A	Iluminante padrão que simula uma lâmpada incandescente com filamento de tungstênio com temperatura de cor de 2856 K
$a^*$	Tonalidade vermelho/verde pelo sistema CIELAB
$b^*$	Tonalidade amarelo/azul pelo sistema CIELAB
$C^*$	Croma
C(X)	Cores claras em que X toma valores de 1 a 16
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage – Comissão Internacional de Iluminação
CMC	Colour Measurement Committee - Comité de Medição de Cor
$DC^*/SC$	Tonalidade vermelho/verde pelo sistema CMC
$DE^*$	Diferença de cor entre o padrão pretendido e uma amostra
$DH^*/SH$	Tonalidade amarela/azul pelo sistema CMC
$DL^*/SL$	Tonalidade escuro/claro pelo sistema CMC
D65	Iluminante padrão que representa a luz diurna média no hemisfério Norte, em todo o espectro visível e região UV até 300 nm, com temperatura de cor de 6500 K
E(X)	Cores escuras em que X toma valores de 1 a 27
$H^*$	Matiz
$L^*$	Luminosidade
MGC-AT	Manuel Gonçalves e Carrington – Acabamentos Têxteis
ML	Máquina de Lavar
rpm	rotação por minuto
$SC$	Função de ponderação de croma
$SH$	Função de ponderação de matiz
$SL$	Função de ponderação de luminosidade
SPD	Spectral power distribution – Distribuição de energia espectral
T	Temperatura

t	tempo
TL84	Iluminante padrão que representa a luz fluorescente com temperatura de cor de 4100 K
TMG-AT	Têxteis Manuel Gonçalves – Acabamentos Têxteis
v	velocidade
$X, Y, Z$	Tristímulo da cor a testar
$X_n, Y_n, Z_n$	Tristímulo da cor padrão
$\Delta$	Variação

# 1. Introdução

A indústria têxtil envolve uma vasta sequência de etapas que, em traços gerais, vai desde o fabrico do material têxtil, que ocorre a partir de um ou mais tipos de fibras, passando por todo o processo de tingimento e culminando com a confeção dos artigos que se destinam a variados fins (Madhav *et al.*, 2018). Esta indústria é considerada como um dos setores mais industrializados da indústria de transformação, envolve vários subsetores que, entre outros, vão desde o agrícola para a produção de fibras naturais ou o químico para a produção de fibras sintéticas e vários produtos auxiliares utilizados ao longo dos variados processos (Kumar & Pavithra, 2019).

O aumento do consumo de produtos têxteis está diretamente ligado ao crescimento da população e da economia mundial, sendo necessário, atualmente, uma produção altamente automatizada, onde tem de existir um compromisso entre a qualidade, o desempenho desejado e o custo associado à produção (Broadbent, 2001).

Em Portugal a indústria têxtil e de vestuário é uma das mais importantes para a economia portuguesa representando 10 % do total das exportações portuguesas, 20 % do emprego, 9 % do volume de negócios e 9 % da produção da indústria transformadora (“ATP - Associação Têxtil e Vestuário de Portugal,” n.d.).

Particularmente, o setor de tingimento e acabamentos têxteis é um dos setores mais relevantes de toda a indústria têxtil pois é nestas etapas que o tecido adquire as suas principais características independentemente do seu uso final. Para tal são usados diversos corantes e produtos químicos de modo a que os tecidos obtenham a qualidade e características desejadas. Para além disto, este setor debateu-se ao longo dos anos com elevados níveis de inconformidades em que, por vezes, 60% dos tingimentos tinham de ser reprocessados, porque apresentavam desvios significativos em relação à cor pretendida (Gonçalves, 2017).

Ao longo dos anos houve uma grande evolução, produzindo, no entanto, esta indústria uma quantidade significativa de efluentes o que aliado à exigência nacional e mundial para se obter baixos níveis de poluição com o mesmo nível de competitividade no mercado torna esta indústria um desafio (Madhav *et al.*, 2018).

## 1.1. MGC - Acabamentos Têxteis

A MGC-AT é uma empresa têxtil situada em Ronfe, Guimarães, que se dedica ao tingimento e acabamento de tecidos e malhas. O seu passado remonta aos anos 60, onde foi fundada com o nome TMG-Acabamentos Têxteis sendo considerada desde muito cedo como uma das maiores empresas na sua área. Esta empresa faz parte do Grupo TMG que teve o seu início em 1937 quando o Comendador Manuel Gonçalves implementou a primeira empresa deste grupo denominada Fábrica de Fiação e Tecidos de Manuel Gonçalves em São Cosme do Vale, Famalicão.

Ao longo dos anos houve uma grande evolução e a sua competitividade no mercado foi aumentando através do investimento em novos equipamentos e tecnologias de forma a cada vez mais melhorar a qualidade dos serviços prestados.

Decorria o ano de 2017, quando a TMG-AT efetuou uma parceria com a Pincroft uma empresa com sede em Lancashire, Inglaterra que tem o seu foco direcionado para a produção de fatos de trabalho. Esta fusão fez com que a TMG-AT passasse a se denominar MGC-AT e a partir desse momento os seus serviços começaram a aumentar no âmbito do tingimento e acabamento de fatos de trabalho. Contudo, a produção efetuada até ao momento de tecidos, para vestuário e decoração, e malhas continuou.

## 1.2. Objetivos e motivação

O objetivo fulcral desta dissertação é a otimização do processo de lavagem de corantes reativos em âmbito laboratorial e de produção.

Assim tem-se como objetivo o estudo do processo de lavagem com o intuito de minimizar os problemas de reprodutibilidade entre laboratório-prática e prática-prática. Por outro lado, é objetivo o estudo do processo de lavagem, em produção, de forma a aumentar a eficiência da operação de lavagem de corantes reativos em termos das variáveis inerentes ao processo, tendo em consideração cor e peso do artigo a lavar, assim como, os resultados obtidos em relação às especificações pretendidas no final.

A relevância deste projeto está, por um lado, na falta de reprodutibilidade existente entre o processo laboratorial e o processo em produção e, por outro, na falta de estabilidade e uniformidade, das lavagens em produção no que diz respeito às especificações finais do artigo, principalmente, em relação ao valor de pH do tecido.

Desta forma, visto que o laboratório é a base para que uma cor seja aprovada pelo cliente e, posteriormente, tingida em produção é fundamental que a reprodução da cor escolhida, em laboratório,



ocorra fiavelmente, em produção, para evitar reprocessamentos. Deste modo, ao diminuir as diferenças ocorridas entre ambos os processos poder-se-á diminuir as diferenças de cor ocorridas entre o laboratório e a prática e, conseqüentemente, diminuir todos os custos que estão implícitos com os reprocessamentos dos artigos.

Em produção, o ponto mais crítico é a falta de uniformidade entre lavagens, nomeadamente, no que diz respeito à neutralidade que se pretende que o tecido possua após esta etapa. De tal forma que, em caso de não ser atingido o valor pretendido, o artigo é novamente sujeito à etapa de lavagem, para poder prosseguir para as etapas posteriores. Posto isto, devido ao elevado número de inconformidades nesta etapa, a empresa para conseguir atingir as especificações pretendidas, necessitava de consumir grandes quantidades de água entre outros recursos. Tudo isto, bem como, os custos associados podiam ser minimizados com a estabilização do processo.

### 1.3. Estrutura da dissertação

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos: Introdução, Conceitos teóricos, Desenvolvimento experimental, Apresentação e discussão de resultados e Conclusões e perspectivas futuras.

No capítulo 1 é exibido um enquadramento geral do tema, assim como, se apresenta a empresa onde o trabalho foi realizado, os respetivos objetivos propostos e a motivação adjacente ao projeto.

No capítulo 2 são apresentados diversos conceitos teóricos relacionados com o trabalho desenvolvido, baseados na pesquisa bibliográfica efetuada, abordando o processo produtivo, da indústria têxtil, com foco no processo de lavagem, adjacente ao processo de tingimento contínuo de corantes reativos.

No capítulo 3 é descrito o processo de lavagem laboratorial e em produção, neste caso com a explicação do funcionamento da ML. Para além disso apresenta-se os equipamentos usados para a obtenção de resultados, bem como uma descrição das metodologias efetuadas ao longo do projeto.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto e a respetiva análise e discussão dos mesmos.

No capítulo 5 estão explícitas as principais conclusões adquiridas com o culminar do projeto, assim como, apresentadas as recomendações para trabalhos futuros de forma a continuar o trabalho desenvolvido até ao momento.

## 2. Conceitos Teóricos

### 2.1. Fibras Têxteis

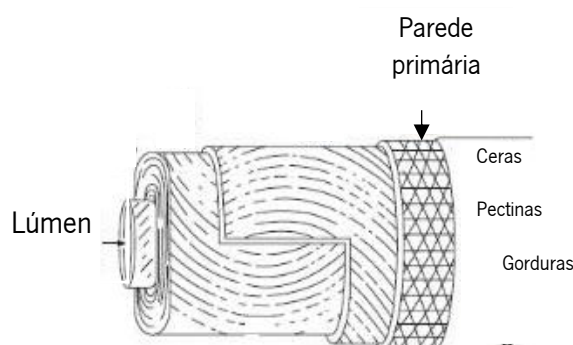
As fibras usadas na indústria têxtil são de origem natural ou sintética. As primeiras podem ser proteicas, como é o caso da lã e da cachemira, ou celulósicas, como o algodão, o linho e o rami. Por outro lado, tem-se a viscose e o acetato de celulose que são fibras regeneradas à base de material celulósico, já o poliéster, o nylon e o acrílico são fibras totalmente sintéticas (Broadbent, 2001).

#### 2.1.1. Algodão

As fibras de algodão são constituídas, maioritariamente, por celulose, o polímero mais abundante na natureza, podendo, no entanto, a composição variar de acordo com as suas variedades e condições de cultivo (Gordon & Hsieh, 2006; Siddiqua *et al.*, 2017).

Assim, o algodão (**Figura 1**) contém entre 88 % a 96% de celulose sendo que a composição restante pode incluir proteínas (1,0 a 1,9 %), ceras (0,4 a 1,2 %), pectinas (0,4 a 1,2 %), material inorgânico (0,7 a 1,6 %) e outras matérias (0,5 a 8,0 %) (Gordon & Hsieh, 2006). O material não-celulósico está localizado na camada externa ou no lúmen das fibras, enquanto que a parede celular secundária é inteiramente constituída por celulose (Gordon & Hsieh, 2006).

Estas fibras têm uma elevada resistência devido à rigidez das cadeias celulósicas, à estrutura fibrilar e cristalina e à extensa ligação intermolecular e intramolecular de hidrogénio, que as constituem.



**Figura 1.** Representação da constituição da fibra de algodão, (adaptado de Gordon & Hsieh, 2006).

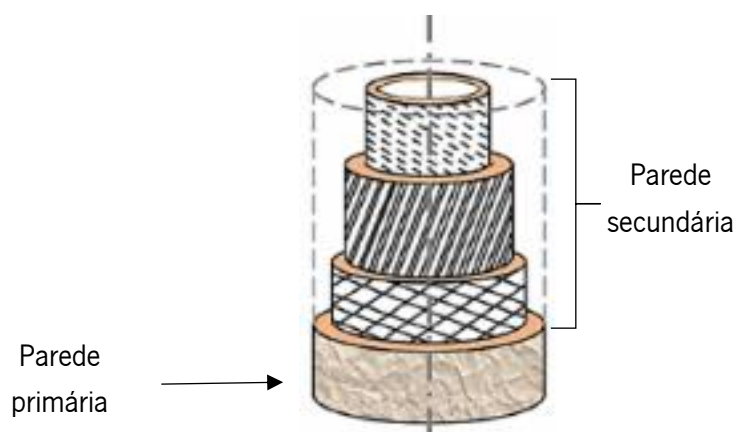
#### 2.1.2. Linho

O linho é uma fibra celulósica pois tem cerca de 70 % de celulose, o seu principal constituinte. Apresenta, ainda, cerca de 16,7 % de hemicelulose, 1,8 % de pectinas, 2 % de lignina e 1,5 % de gorduras

e ceras (Henrique *et al.*, 2015, Muthu, 2014).

Na **Figura 2** está representada a estrutura da fibra de linho e, como é visível, numa só estrutura da fibra, parede secundária, existem várias camadas. Relativamente à parede secundária a sua constituição consiste em três camadas de microfibras de celulose altamente cristalina, enrolada em forma helicoidal que contribuem para as propriedades mecânicas apresentadas pelas fibras de linho. Destas camadas a intermédia é mais espessa comparativamente à primeira e à terceira e contribui para a resistência da fibra (Amiri *et al.*, 2015). Por outro lado, em cada fibra a primeira camada diz respeito a uma parede primária fina, com cerca de  $0,2\ \mu\text{m}$  de espessura, contendo na sua constituição celulose e hemicelulose.

As fibras de linho têm como principais vantagens a boa resistência, a durabilidade e a baixa elasticidade que possuem (Karmakar, 1999).



**Figura 2.** Representação da constituição da fibra de linho (adaptado de Amiri *et al.*, 2015).

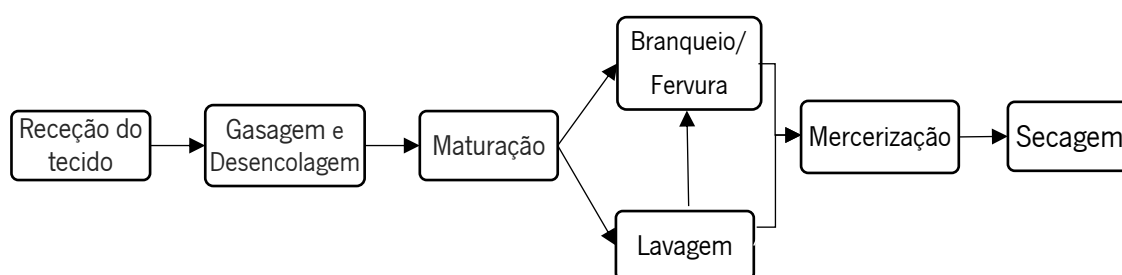
O algodão e o linho são as fibras celulósicas mais comuns utilizadas como fibras têxteis. Contudo, também se utiliza em têxteis fibras regeneradas à base de celulose que são produzidas artificialmente, pelo rearranjo das moléculas de celulose natural, por exemplo obtida a partir da polpa de madeira como a viscose.

## 2.2. Processo produtivo

O processo para se obter um tecido colorido e com todas as características desejadas para o seu uso final é complexo e envolve um vasto número de processos que se podem agrupar em três etapas principais: preparação, tingimento e acabamentos.

### 2.2.1. Preparação

A preparação consiste numa sequência de processos, como se pode verificar na **Figura 3**, que têm como objetivo preparar o tecido para que este possa absorver uniformemente a solução de corante na etapa precedente, assim como, nas etapas de acabamento. Deste modo, é vital que se remova a maior quantidade de impurezas possíveis presentes nas fibras, se forneça uma elevada e uniforme hidrofiliabilidade ao material e, ainda, se obtenha um grau de branco o mais próximo possível do branco puro (Karmakar, 1999).



**Figura 3.** Sequência de processos efetuados durante a etapa de preparação do tecido.

De acordo com a natureza da fibra, o tipo de impurezas será diferente, como tal, as operações a que cada tecido é sujeito dependerá do(s) tipo(s) de fibra pelo qual é composto (Broadbent, 2001, Karmakar, 1999). As fibras de origem natural possuem uma maior quantidade de impurezas comparativamente às fibras sintéticas cuja contaminação é, praticamente, insignificante.

Há diferentes operações de preparação como a gasagem e a desencolagem. A primeira consiste em remover as fibras que estão soltas à superfície, para tal, o tecido passa durante um determinado período numa superfície (rolos ou placas) aquecida. Por outro lado, a desencolagem é o processo através do qual se remove do tecido os encolantes, aplicados nos fios da teia aquando da tecelagem.

A mercerização é um processo em que o tecido é tratado com uma solução de 18 % a 24 % de soda cáustica durante um curto período de 1 a 3 minutos, que melhora o brilho e a absorção do corante (Madhav *et al.*, 2018). Esta operação torna-se mais eficiente quando realizada após lavagem e branqueamento (Roy, 2011).

Deste modo, a lavagem recorre a soluções alcalinas quentes, detergentes ou sabão, como o glicerol, éteres e solventes (Madhav *et al.*, 2018). Por outro lado, o branqueamento utiliza agentes redutores ou oxidantes que destroem os pigmentos naturais e matérias presentes nas fibras e, assim, o

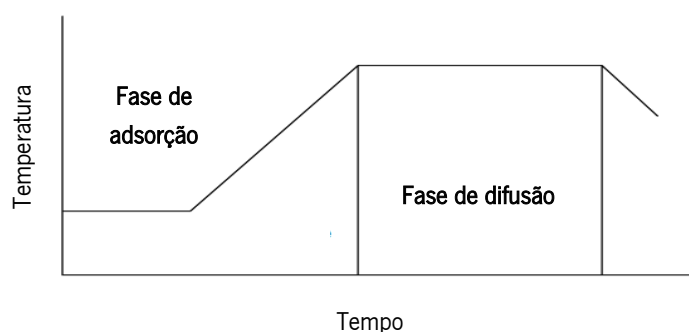
tecido adquire um tom branco ao invés da cor cremosa que possui permitindo, assim, a produção de tons claros e brilhantes (Tzanov *et al.*, 2002; Karmakar, 1999).

### 2.2.2. Tingimento

O tingimento é o termo utilizado para definir o conjunto de operações que têm o intuito de colorir um tecido com a cor desejada (Broadbent, 2001). Para além disto, é essencial que o tingimento seja uniforme, de modo a que não haja alterações de cor ao longo do tecido (Koh, 2011).

No decorrer do tingimento, os corantes são aplicados no material têxtil através do contacto entre o tecido e uma solução aquosa ou dispersão de corantes em condições que promovam a substantividade e produzam uma coloração uniforme (Madhav *et al.*, 2018).

A operação de tingimento pode-se resumir em três etapas, independentemente do par fibra/corante utilizado, deste modo, em primeiro lugar, há a difusão do corante na solução de tingimento, até à superfície da fibra, de seguida, ocorre a adsorção das moléculas de corante na superfície da fibra e, por fim, o corante difunde-se da superfície para o interior da fibra, **Figura 4**.

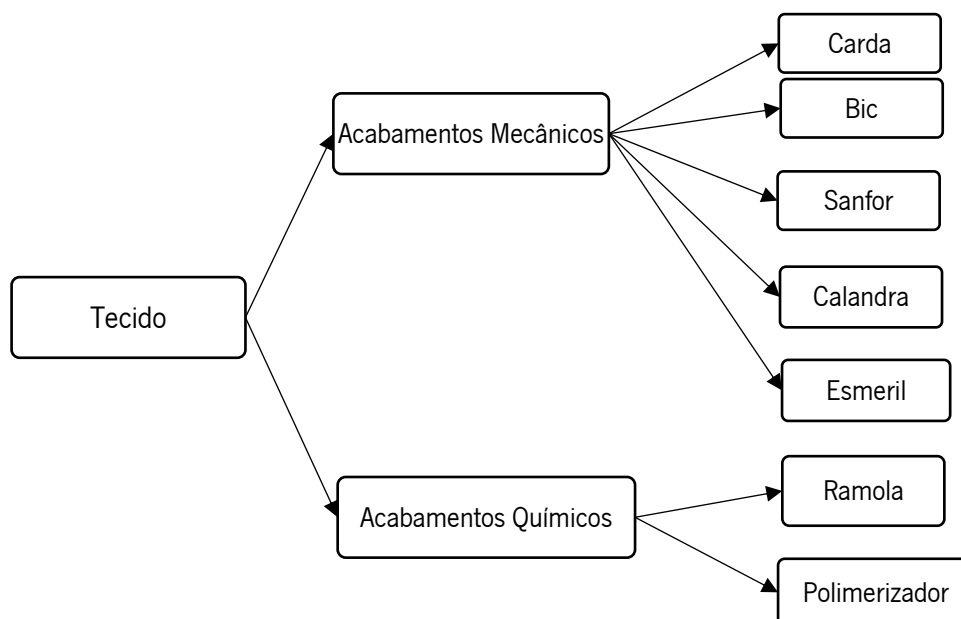


**Figura 4.** Etapas presentes ao longo do tingimento, (adaptado de Clark, 2011).

Excecionalmente, quando se usa corantes reativos, encontra-se uma quarta etapa pois há reação química entre o corante e a fibra (Clark, 2011; Kumar & Pavithra, 2019).

### 2.2.3. Acabamentos

A etapa de acabamento consiste em melhorar a aparência, a textura e o desempenho de um material têxtil através de processos mecânicos e químicos (Broadbent, 2001), de modo a desenvolver determinadas propriedades ao tecido, que são desejadas durante a confeção (Madhav *et al.*, 2018). Os processos utilizados estão esquematizados na **Figura 5**.



**Figura 5.** Esquemática dos processos, mecânicos e químicos, utilizados durante a etapa de acabamento de tecidos.

O tipo de tratamentos pode variar desde um simples processo mecânico, como calandragem que confere ao têxtil uma superfície plana e compacta ou mesmo o cochilar que é utilizado para romper as fibras e elevar as extremidades formando uma pilha (Broadbent, 2001). Além destas, esmerilagem, perchagem, laminagem, encolhimento por compressão e mesmo secagem, também fazem parte do leque de operações associadas ao acabamento mecânico (Figueiredo *et al.*, 2000). No entanto, a modificação das características funcionais do tecido, normalmente, envolve o acabamento químico (Broadbent, 2001).

Os acabamentos químicos através de uma ampla gama de produtos possibilitam que o produto detenha maior estabilidade, melhor aspeto e toque e, ainda que resista a agressões externas (Figueiredo *et al.*, 2000).

Os produtos variam desde a aplicação de um amaciador de modo a melhorar o manuseio do material até aqueles que tornam o tecido de algodão resistente ao fogo e ao vinco (Broadbent, 2001). Entre muitos outros usam-se resinas termoplásticas e termo-endurecidas, e ainda, biocidas e produtos anti- traça (Figueiredo *et al.*, 2000).

De acordo com Broadbent, na sua maioria, os acabamentos químicos são aplicados em tecidos de fibras naturais, em particular, nos que contêm algodão. A aplicação dos vários produtos pode ser feita em conjunto ou em separado dependendo de variáveis inerentes como a forma de aplicação, a

compatibilidade e o tipo de material têxtil de trabalho (Figueiredo *et al.*, 2000).

Contudo, estes processos podem danificar tanto a cor como as propriedades de solidez do tecido tingido e, para tal, antecipadamente, devem ser conhecidos esses efeitos (Broadbent, 2001).

### 2.3. Corantes Reativos

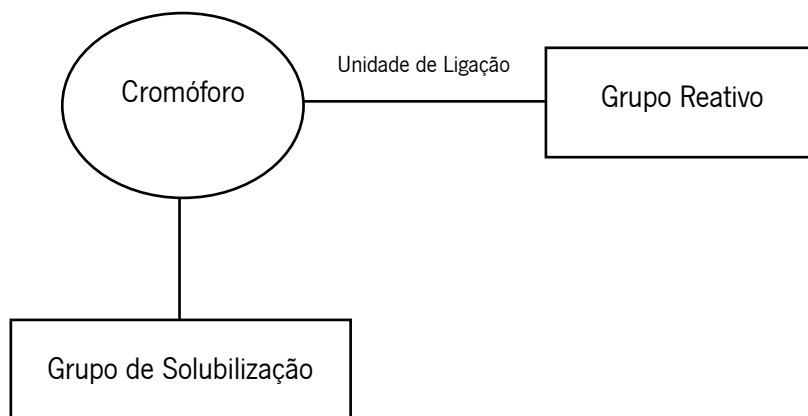
Os corantes são compostos que podem ser naturais ou sintéticos, contudo, para o tingimento de fibras têxteis, atualmente usam-se quase, exclusivamente, os sintéticos. Para uma substância ser considerada corante é necessário ter cor, afinidade com as fibras e solidez aos agentes a que o material têxtil será sujeito após o tingimento (Rocha, 2000).

As substâncias com cor são constituídas por moléculas capazes de absorver radiação na região visível do espectro eletromagnético. A deslocalização de eletrões, através de sistemas conjugados de ligações duplas e simples, está na origem da formação da cor. Estas substâncias na sua maioria, são constituídas por conjuntos de anéis aromáticos, ligados entre si por cromóforos (Khatri *et al.*, 2015). Por si só os cromóforos não têm capacidade de gerar luz, por isso precisam de fazer parte de um sistema conjugado de ligações, sendo que o comprimento do sistema conjugado condiciona a zona do espetro em que este é capaz de absorver luz.

Além dos cromóforos os corantes possuem grupos substituintes, auxocromos, que não estando diretamente relacionados com a formação de cor podem influenciar a região do espetro em que a radiação é absorvida, assim como, a sua afinidade e solubilidade para com a fibra. Um corante tem a capacidade de transmitir a sua cor a um determinado substrato no qual está presente, contudo, há características que uma substância tem de cumprir para ser considerado corante como cor intensa, solubilidade em água e propriedades de solidez razoáveis (Rocha, 2016).

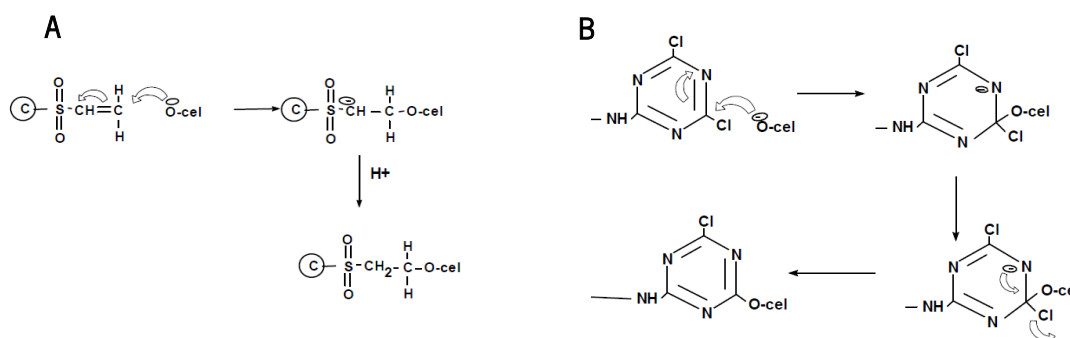
Os corantes reativos são a classe de corantes mais utilizada em fibras celulósicas, principalmente, pelo facto de serem fáceis de aplicar, de se obter melhores propriedades de solidez em comparação com outros tipos de corantes e, ainda, se consegue obter novas tonalidades que, anteriormente, eram inatingíveis (Siddiqua *et al.*, 2017, Koh, 2011).

De uma forma geral, são constituídos, como está esquematizado na **Figura 6**, por um cromóforo que é a parte que contribui para a cor do corante, um sistema reativo que permite que o corante reaja com o substrato, uma unidade de ligação que une o cromóforo ao sistema reativo e um grupo de solubilização, que confere a solubilidade do corante em água (Chattopadhyay, 2011).



**Figura 6.** Representação da constituição dos corantes reativos, (adaptado de Chattopadhyay 2011).

Estes corantes formam uma ligação covalente com a fibra através de um mecanismo de reação de substituição nucleofílica, **Figura 7A** ou de adição nucleofílica, **Figura 7B** (Chattopadhyay, 2011; Koh, 2011; Broadbent, 2001).



**Figura 7.** Formação de ligação covalente através do mecanismo de adição nucleofílica (A) e de substituição nucleofílica (B), adaptado de Koh, 2011.

No primeiro mecanismo tem-se, principalmente, o grupo reativo vinilsulfônico. Por outro lado, no segundo tipo de mecanismo reativo fazem parte diferentes grupos reativos como diclorotriazina, monoclorotriazina, monofluorotriazina, tricloropirimidina, dicloroquinoxalina, difluorocloropirimidina (Koh, 2011).

No caso particular destes corantes se as condições forem favoráveis, como temperatura e/ou pH alcalino, o corante reage com os sítios ativos da celulose, formando-se uma forte ligação covalente. A elevada solidez observada com o uso destes corantes está sobretudo relacionada com a ligação química que se estabelece entre o corante e a fibra resultante da etapa de fixação alcalina durante o processo de tingimento (Siddiqua *et al.*, 2017, Mondal & Islam, 2015).

A solidez pode ser definida como a resistência da cor dos têxteis aos diferentes agentes aos quais

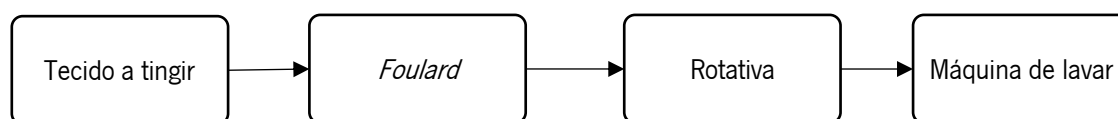


estes materiais podem estar expostos durante as etapas subsequentes ao tingimento e durante o seu uso final (Richards, 2014, Valldeperas-Morell & Carrillo-Navarrete, 2012). Deste modo, quando se diz que um têxtil apresenta pouca solidez significa que a sua cor tem fraca resistência quando exposta a propriedades como a luz, a fricção, a lavagem, a água, o cloro, a saliva, a transpiração, entre outros (Chakraborty, 2011a). A exposição da cor a estes agentes pode induzir tanto a mudança como a perda de cor do tecido, produzindo variação na saturação e matiz, ou a coloração de tecidos adjacentes por isso esta propriedade é crucial na obtenção de têxteis que sejam comercialmente aceitáveis (Chakraborty, 2011a, Valldeperas-Morell & Carrillo-Navarrete, 2012). Há vários fatores que influenciam as propriedades finais de solidez de um têxtil de forma complexa, contudo a estrutura molecular do corante, o tipo e estrutura da fibra, o processo de tingimento e a profundidade da cor, são conhecidos como fatores que influenciam diretamente a propriedade de solidez de um têxtil (Valldeperas-Morell & Carrillo-Navarrete, 2012).

### 2.3.1. Processo de tingimento

O processo de tingimento com corantes reativos (ver **Figura 8**) considera-se um processo semi-contínuo, uma vez que é necessário tempo para que o corante fixe às fibras através de ligações químicas.

Contudo é necessário adicionar uma solução alcalina ao banho de tingimento, uma vez que há formação de ácido durante a reação química que ocorre entre o corante e os grupos hidroxilo da celulose, em que as ligações covalentes são estabelecidas. Se o ácido formado não for neutralizado poderá ocorrer a reação inversa, ou seja, a remoção do corante da fibra (Chakraborty, 2011b). A concentração de alcali utilizado é determinado pela massa por unidade de volume do banho de tingimento sempre na proporção de 1:4 (Khatri *et al.*, 2015).



**Figura 8.** Processo de tingimento com corantes reativos.

Esta solução é adicionada ao banho no momento em que se iniciará o tingimento para que se reduza a probabilidade de ocorrência de hidrólise, ou seja, a reação secundária que ocorre entre o corante e a água. Esta reação é indesejável uma vez que o corante hidrolisado não se fixa às fibras e, como tal, diminui a solidez final do tecido (Broadbent, 2001).

Posteriormente, após o tingimento o tecido é colocado a maturar em constante rotação à temperatura ambiente durante um determinado período, que pode ir de 6 h a 24 h dependendo dos corantes reativos utilizados (Khatri *et al.*, 2015).

### 2.3.2. Processo de Lavagem

O processo de lavagem de corantes é a última operação da etapa de tinturaria. Após o tecido ser tingido, antes de ele ser encaminhado para acabamento é necessário remover o corante que não ficou fixado às fibras, isto porque, a percentagem de fixação nunca atinge os 100 %. Assim, há a necessidade de retirar devidamente a quantidade de corante que não adsorveu, caso contrário não se consegue obter uma boa solidez e a cor poderá desbotar durante as próximas operações (Broadbent, 2001).

Deste modo, o processo de lavagem de corantes reativos consiste numa sequência de etapas de lavagem pelo qual o tecido passa, após o tempo de maturação ter terminado, uma vez que é necessário remover o corante hidrolisado que não fixou às fibras assim como neutralizar o pH do tecido (Koh, 2011).

Estes tipos de máquinas consistem, geralmente, em vários compartimentos acoplados preenchidos com água em que o tecido sofre uma série de mergulhos. Normalmente, isto acontece em contracorrente de uma caixa de lavagem para a anterior, várias vezes por transbordamento da parede do compartimento, desde que a água não esteja muito contaminada. As temperaturas em que operam, normalmente, vão até 95 °C (Broadbent, 2001).

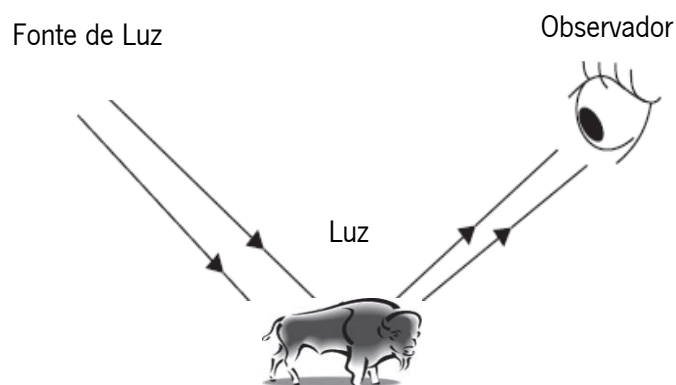
De acordo com Khatri *et al.* 2015, a sequência de lavagem deve começar com uma lavagem a frio, uma lavagem a quente, um ensaboamento com detergente a temperaturas que devem rondar a temperatura de ebulição da água, seguindo-se uma lavagem a morno e culminando com uma lavagem a frio. Nesta última, é adicionado ácido para que se consiga neutralizar a alcalinidade do tecido resultante do tingimento, para que não ocorra, gradualmente, hidrólise alcalina da ligação corante-fibra ou mesmo danos nas fibras (Koh, 2011).

## 2.4. Colorimetria

A cor não é uma propriedade intrínseca de um objeto a percepção que se tem da cor de um objeto depende de três componentes diferentes: a fonte de luz, as propriedades óticas do próprio objeto e de quem observa (Broadbent, 2016). A luz pode penetrar no olho do observador diretamente da fonte de luz ou depois de o objeto absorver e transmitir parte da luz que o ilumina. Desta forma, a luz entra no

olho do observador e estimula a sensação, denominada de cor do material e, assim, o observador é, então, o terceiro elemento fulcral que deve ser considerado.

Na **Figura 9** estão representados estes três componentes e a relação entre eles que permite o observador ter percepção da cor de um objeto. Para fins colorimétricos, são necessárias descrições numéricas de cada um desses três elementos.



**Figura 9.** Representação da percepção que o observador tem da cor do objeto (adaptado de Choudhury, 2014).

A colorimetria pode ser descrita como a ciência e a tecnologia que quantifica e descreve fisicamente a percepção da cor humana (Choudhury, 2014) em que o seu objetivo principal é descrever numericamente as cores de forma a que dois objetos com as mesmas especificações e para um determinado grupo de condições sejam sempre vistos com a mesma cor para tais condições. Assim, qualquer diferença nas descrições numéricas de duas cores semelhantes deve-se correlacionar com a diferença de cor real avaliada pelo observador (Broadbent, 2016).

#### 2.4.1. Sistemas colorimétricos

A técnica de colorimetria baseia-se em determinar três valores de modo a permitir que as cores possam ser posicionadas num espaço de cores tridimensional (Choudhury, 2014). Os valores tristimulares X, Y e Z de todas as cores reais podem ser representados por um ponto num gráfico 3D tendo as respetivas coordenadas dentro de um limite definindo dessa forma o espaço de cores XYZ. Assim, a diferença de cor entre duas amostras corresponde à distância entre os dois pontos de acordo com as respetivas coordenadas (Broadbent, 2016).

### 2.4.1.1. Sistema colorimétrico CIELAB

No ano de 1976 foi desenvolvido o espaço de cor CIE  $L^*a^*b^*$ , um novo método de colorimetria baseado também num sistema tristímulo que melhorou a forma de percepção da localização de cada cor (Goodman, 2017). Este consiste na elaboração de um padrão onde podem ser comparadas todas as cores e baseia-se no cálculo das equações matemáticas de (1) a (9) (Broadbent, 2016).

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16 \text{ (Equação 1)}$$

$$a^* = 500 \left[ f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \text{ (Equação 2)}$$

$$b^* = 200 \left[ f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \text{ (Equação 3)}$$

Onde,

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ se } \left(\frac{X}{X_n}\right) > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \text{ (Equação 4)}$$

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \left(\frac{841}{108}\right)\left(\frac{X}{X_n}\right) + \left(\frac{Y}{Y_n}\right) \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3 \text{ (Equação 5)}$$

e

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ se } \left(\frac{Y}{Y_n}\right) > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \text{ (Equação 6)}$$

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \left(\frac{841}{108}\right)\left(\frac{Y}{Y_n}\right) + \left(\frac{16}{116}\right) \text{ se } \left(\frac{Y}{Y_n}\right) \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3 \text{ (Equação 7)}$$

e

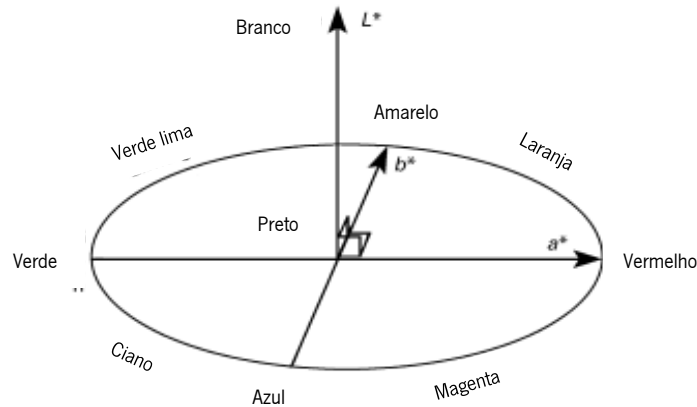
$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ se } \left(\frac{Z}{Z_n}\right) > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \text{ (Equação 8)}$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \left(\frac{841}{108}\right)\left(\frac{Z}{Z_n}\right) + \left(\frac{16}{116}\right) \text{ se } \left(\frac{Z}{Z_n}\right) \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3 \text{ (Equação 9)}$$

Estas equações dependem do tipo de iluminante utilizado, secção 2.4.3.

Na **Figura 10** está representado o espaço de cores CIELAB em que o eixo  $a^*$  representa, quando positivo, a quantidade de vermelho e, quando negativo, a quantidade de verde, já o eixo  $b^*$  diz respeito

à quantidade de amarelo quando positivo ou azul quando negativo. O eixo  $L^*$  representa aproximadamente a luminosidade e é sempre positivo (Broadbent, 2016).



**Figura 10.** Espaço de cores CIE  $L^*a^*b^*$  (adaptado de Gilchrist & Nobbs, 2017).

A distância entre  $a^*$  e  $b^*$  é expressa pela equação (10) (Gilchrist & Nobbs, 2017):

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \text{ (Equação 10)}$$

onde,

$$\Delta L^* = L_{amostra} - L_{padr\tilde{a}o} \text{ (Equação 11)}$$

$$\Delta a^* = a_{amostra} - a_{padr\tilde{a}o} \text{ (Equação 12)}$$

$$\Delta b^* = b_{amostra} - b_{padr\tilde{a}o} \text{ (Equação 13)}$$

A diferença de cores pode ser ainda dividida em termos de luminosidade ( $L^*$ ), croma ( $C^*$ ) e matiz ( $H^*$ ), permitindo que se obtenha uma melhor descrição da cor. Estes fatores são descritos pelas equações (14) e (15) (Gilchrist & Nobbs, 2017).

$$\Delta C^* = C^*_{amostra} - C^*_{padr\tilde{a}o} \text{ (Equação 14)}$$

$$\Delta H^* = \sqrt{\Delta E^{*2} - \Delta L^{*2} - \Delta C^{*2}} \text{ Equação 15)}$$

### 2.4.1.2. Sistema colorimétrico CMC

Em 1984, o CMC desenvolveu e adotou uma equação baseada nos valores de  $L^*C^*H^*$ , destinada à indústria têxtil em que a diferença de cor é obtida através da equação (16) (Goodman, 2017).

$$\Delta E^*_{CMC} = \left[ \left( \frac{\Delta L^*_{ab}}{lS_L} \right)^2 + \left( \frac{\Delta C^*_{ab}}{cS_C} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H^*_{ab}}{S_H} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \text{ (Equação 16)}$$

Este é baseado no sistema de coordenadas CIELAB, no entanto, aplica as tolerâncias aceitáveis,  $S_L$ ,  $S_C$  e  $S_H$ , às diferenças em cada uma das três dimensões de forma a melhorar a correlação entre as diferenças de cor medidas e perceptíveis. O cálculo destas tolerâncias está representado nas equações (17), (18), (19) e (20) (Broadbent, 2016).

Os fatores paramétricos  $l$  e  $c$  da equação (16) são usados de forma a permitir os efeitos nas diferenças de cores perceptíveis das variações nas condições experimentais em que  $l$  tem o valor de um enquanto que  $c$  pode variar entre um e dois, no entanto, geralmente em têxteis assume o valor dois.

$$S_L = \frac{0,040975L^*}{1+0,01765L^*} \text{ se } L^* < 16 \text{ (Equação 17)}$$

$$S_L = 0,511 \text{ se } L^* \geq 16 \text{ (Equação 18)}$$

$$S_C = \frac{0,0638C^*_{ab}}{1+0,0131C^*_{ab}} + 0,638 \text{ (Equação 19)}$$

$$S_H = S_{HC} \{ (T \cdot f) + 1 - f \} \text{ onde } f = \sqrt{\frac{C^*_{ab^4}}{1900 + C^*_{ab^4}}} \text{ (Equação 20)}$$

e

$$T = 0,36 + |0,4 \cos(h_{ab} + 35)| \text{ para } h_{ab} < 164^\circ \text{ ou } > 345$$

ou

$$T = 0,56 + |0,2 \cos(h_{ab} + 168)| \text{ para } h_{ab} > 164^\circ \text{ mas } < 345^\circ$$

### 2.4.2. Iluminantes SPD

A CIE propôs vários iluminantes denominados SPD que foram definidos especificamente para fins colorimétricos. Assim, tem-se por exemplo o iluminante A que corresponde à luz de uma lâmpada

de filamento de tungstênio a uma temperatura de cor de 2856 K. Uma das mais importantes é a luz do dia, no entanto, esta é bastante variável, por isso, a CIE definiu os SPD para as fases típicas da luz do dia em que as temperaturas de cor vão de 4000 K a 25.000 K, todavia, o mais comum é a do iluminante D65 (Broadbent, 2016).

### 3. Desenvolvimento Experimental

Ao longo deste projeto foram delineadas algumas metodologias com o intuito de se atingir os objetivos propostos. Estas metodologias tiveram sempre por base o processo de lavagem de corantes reativos quer a nível laboratorial quer a nível de produção com a principal finalidade de aumentar a reprodutibilidade entre os dois.

Assim, quando as amostras padrão de um cliente chegam à empresa, passam por testes laboratoriais até serem aprovadas pelo próprio. Inicialmente, recorre-se a um espectrofotómetro (**Figura 14**), onde se lê o padrão e se retira a receita, isto é, o conjunto de corantes e respetivas quantidades que darão origem ao padrão pretendido. Posteriormente, a solução é preparada e a amostra tingida, de seguida, coloca-se a maturar, etapa em que há a formação das ligações covalentes entre o corante e a fibra. Após o tempo de maturação a amostra é lavada e, novamente, lida em espectrofotómetro, neste momento, recorre-se à comparação desta com a amostra padrão, caso a cor não se encontre de acordo com o pretendido serão realizados novos ensaios até estar concordante com o padrão do cliente. Quando tal se verificar é enviada para tingimento em produção.

#### 3.1. Processo laboratorial de lavagem de corantes

Na MGC-AT o processo de lavagem de amostras tingidas com corantes reativos em laboratório segue uma sequência de etapas como é possível visualizar pelo esquema da **Figura 11**. Assim, depois de maturar inicia-se a lavagem com água corrente a frio e, de seguida, a quente por um período de, aproximadamente, um minuto para cada lavagem. Segue-se o ensaboamento em banho-maria durante cinco minutos a 90 °C onde se adiciona, a cada recipiente, 50 ml de uma solução constituída por 6 g/L de um ácido e 20 g/L de um detergente.

Posteriormente, o tecido já ensaboado é colocado cerca de um minuto em água corrente quente e um minuto em água corrente fria. Por fim, a amostra é centrifugada a 2800 rpm durante, aproximadamente, 15 s e, seguidamente, leva-se a secar durante 40 s a 140 °C numa prensa.

Este processo é efetuado para qualquer tipo de artigo cujo tingimento se efetue com corantes reativos, ou seja, o processo não é modificado, independentemente, da cor do artigo ser considerada clara ou escura e, ainda, independentemente, de se tratar de um artigo leve ou pesado.



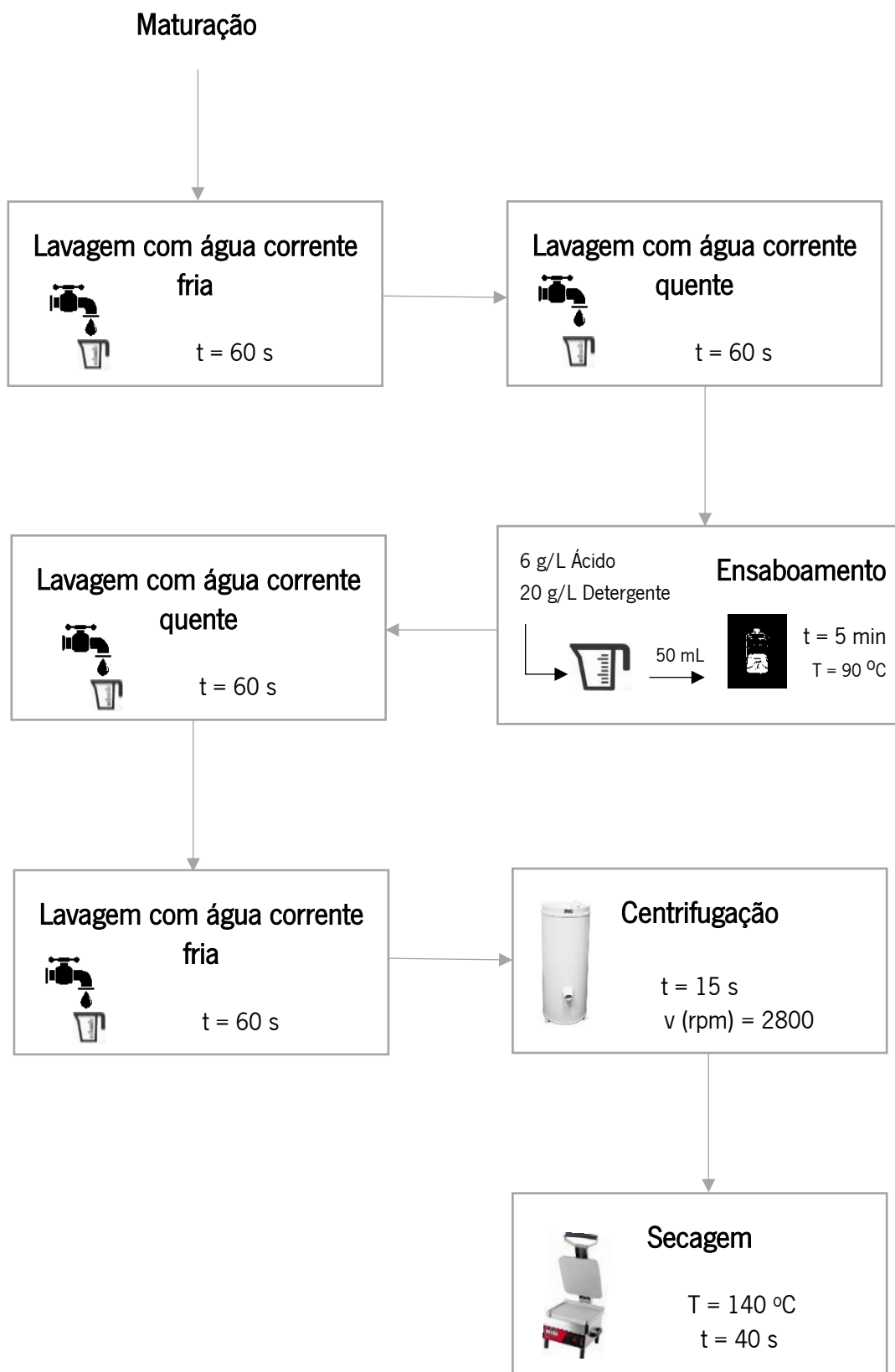
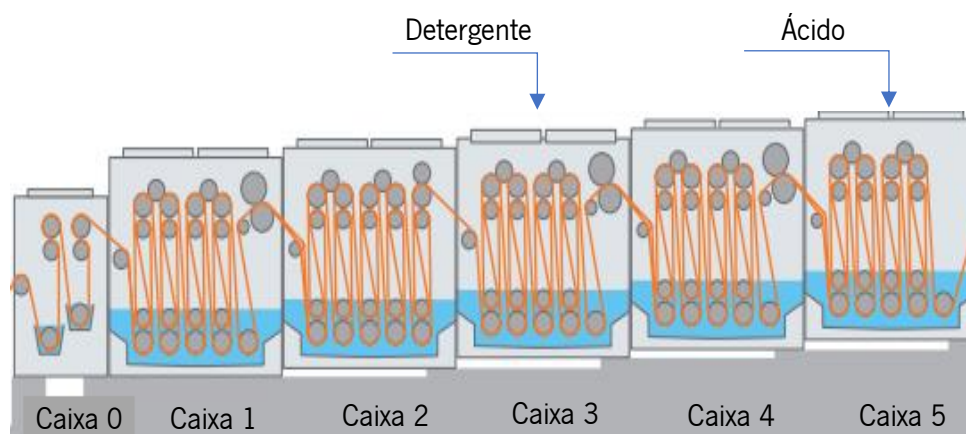


Figura 11. Processo de lavagem laboratorial efetuada em tingimentos com corantes reativos.

### 3.2. Processo industrial de lavagem de corantes

A lavagem de corantes em produção é realizada num equipamento onde o tecido, depois de tingido e após o término do tempo de maturação, é introduzido no mesmo, para que se encontre preparado de modo a prosseguir para acabamento. Para tal, é necessário que a cor esteja de acordo com o padrão aprovado pelo cliente e o pH na gama considerada neutra (6 a 7,5), por isso, depois de efetuada a lavagem o tecido é alvo de revista.

Inicialmente, o operador insere no monitor da ML o peso do artigo e o programa de lavagem que, previamente, foi indicado pelo responsável de acordo com o tecido a ser lavado. Os programas foram estabelecidos de acordo com o peso e a cor do artigo e indicam os caudais de água a serem utilizados, como é possível ver na **Tabela A1** do Anexo A. O tecido entra na máquina no sentido da esquerda para a direita e ultrapassa uma série de seis caixas, representadas na **Figura 12**, onde é lavado, ensaboado e neutralizado. Cada caixa, exceto a Caixa 0, tem associado um caudal de água que tende a circular no sentido contrário ao tecido, operando-se desta forma em contracorrente.



**Figura 12.** Representação esquemática das caixas de lavagem que compõem a ML  
("Benninger Textile – Washing," n.d.).

Na Caixa 1, Caixa 2 e Caixa 4 apenas são introduzidos caudais de água, no entanto na Caixa 3 adiciona-se detergente, de forma a auxiliar na remoção do corante hidrolisado, já na Caixa 5 adiciona-se ácido para neutralizar o tecido. Além dos caudais, a temperatura também é um parâmetro pré-estabelecido, no entanto, esta é igual para os diferentes programas apenas diferindo ao longo das caixas de ensaboamento, na **Tabela A2** do Anexo A é possível visualizar as temperaturas praticadas em cada caixa de lavagem.

Na **Figura 13** encontra-se a representação esquemática completa da ML onde se observa que além das caixas de lavagem este equipamento também possui um conjunto de rolos que permitem que o tecido seja seco. Desta forma consegue-se lavar, ensaboar, neutralizar e secar os artigos de uma forma contínua. A temperatura de secagem ronda os 136 °C e a velocidade de rotação é de acordo com a velocidade de funcionamento da ML que pode variar, todavia, 40 m/min é a velocidade, normalmente, utilizada na empresa. Por vezes, a alteração deste parâmetro tende a surgir devido à etapa de secagem, uma vez que artigos mais pesados necessitam de mais tempo para que fiquem totalmente secos, como tal, nesses artigos diminui-se a velocidade de funcionamento da ML.

Primeiramente, e dada a importância do valor final do pH do tecido, a otimização da ML foi realizada em função da estabilização do processo neste sentido, para tal, a quantidade de ácido adicionar e os caudais de funcionamento de cada caixa de lavagem, de acordo com o artigo a lavar, foram os parâmetros associados à ML que foram alvo de estudo. Quanto aos restantes parâmetros foram mantidos constantes e de acordo com o utilizado até ao momento em que o projeto se iniciou.

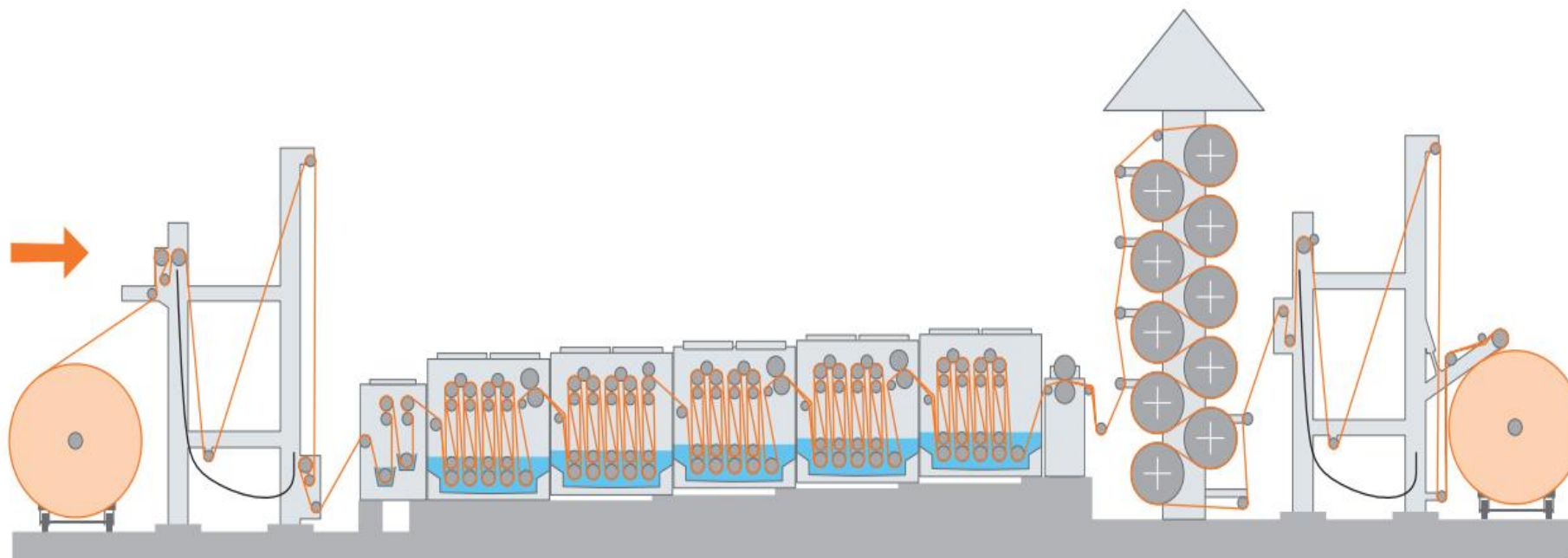


Figura 13. Representação esquemática da ML("Benninger Textile – Washing," n.d.).

### 3.3. Equipamentos

#### 3.3.1. Espectrofotômetro Datacolor SF 600

O espectrofotômetro Datacolor, representado na **Figura 14**, é um instrumento utilizado para comparação da cor das amostras tingidas e, ainda, para formulação de receitas de acordo com a cor padrão pretendida. Para tais efeitos, recorre-se a ferramentas informáticas como o Datacolor Tools e Datacolor Match, respetivamente, que auxiliam nestes processos.



**Figura 14.** Espectrofotômetro Datacolor SF 600 Plus - CT.

Este instrumento permite medir as coordenadas de cor das amostras tingidas e, deste modo, é possível conhecer a  $DE^*$  entre o padrão e a amostra pretendida, assim como, as características das amostras em termos de  $DL^*/SL$ ,  $DC^*/SC$  e  $DH^*/SH$  para três iluminantes diferentes D65, A e TL84.

Este instrumento não foi alvo de estudo, no entanto foi utilizado ao longo do projeto, principalmente, para comparar amostras cuja etapa de lavagem foi efetuada em laboratório com amostras que foram lavadas em produção.

#### 3.3.2. Potenciômetro

Na **Figura 15** encontra-se o potenciômetro utilizado na medição do pH dos tecidos. Este equipamento é um transmissor que possui um sensor de pH que quando mergulhado numa solução aquosa fornece o valor de pH, na gama de 1 a 14.

Este equipamento consegue medir o valor de pH de soluções com temperaturas até 125 °C.



**Figura 15.** Potenciômetro.

### 3.4. Metodologias

Os têxteis cujos dados do processo de lavagem em laboratório e em produção foram contabilizados para este estudo continham na sua composição 100 % fibras celulósicas, no entanto as operações de preparação às quais cada um foi sujeito variaram entre artigos. De forma a minimizar os erros e a comparação das amostras estar centralizada nas diferenças entre o processo de lavagem em produção e em laboratório, utilizou-se sempre amostras cujo tingimento foi efetuado em produção com corantes reativos do tipo vinilsulfônico.

Assim, em laboratório, os ensaios efetuados tiveram como objetivo verificar, primeiramente, as  $DE^*$  e pH final do artigo, entre o processo de lavagem utilizado laboratorialmente com o processo de lavagem na ML. Posteriormente, de forma a uniformizar ambos os processos, foram efetuadas alterações de alguns parâmetros, tais como tempo de lavagem e ensaboamento, quantidade de solução a adicionar, temperatura da água e número de amostras por cada copo de ensaboamento.

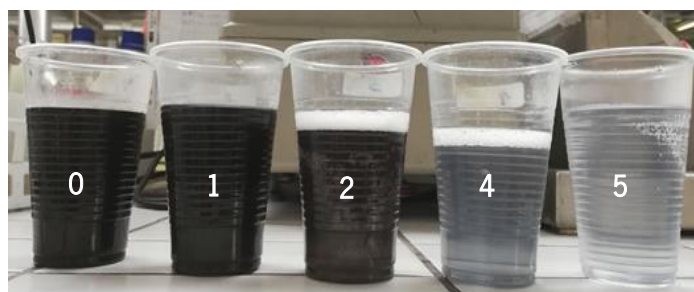
Por outro lado, em produção, todos os esforços se centralizaram na eficiência da lavagem quanto à neutralidade e uniformidade do pH ao longo do tecido e da otimização dos caudais de água sem prejudicar as especificações finais do artigo. Para tal, começou-se por fazer recolha das condições de lavagem de cada artigo durante a passagem na ML, assim como, de parâmetros inerentes aos artigos como cor e peso. Para além disto recolheu-se amostras de água das caixas de lavagem de cada vez que se retirou amostras de tecido para leitura de pH.

Por fim, com o intuito de estabilizar o processo de lavagem de forma a que após uma passagem na ML o pH do tecido se encontrasse neutro foram efetuadas alterações aos caudais das caixas de lavagem e à quantidade de ácido a adicionar.

### 3.4.1. Determinação do pH

O pH do tecido foi obtido por extração de acordo com a norma AATCC 80 (AATCC, 2015). Para tal, colocou-se 5 g do tecido pretendido em 125 mL de água destilada durante dois minutos no micro-ondas e deixa-se arrefecer até à temperatura ambiente. Após este período retirou-se o tecido e recorreu-se a um potenciómetro, devidamente calibrado. Este fornecerá o valor do pH da água que corresponderá ao pH em que o tecido se encontra.

Por outro lado, de forma a compreender qual a influência do pH da água de cada caixa de lavagem da ML no pH final do tecido, retirou-se amostras de água de cada caixa ao mesmo tempo que se retirava uma amostra de tecido. Neste caso, recorreu-se ao mesmo equipamento e procedeu-se à leitura do pH. Na **Figura 16** é possível visualizar um exemplo de amostras de água retiradas das caixas da ML. Por questões de design da própria máquina não é possível retirar amostras de água da caixa 3 onde decorre o ensaboamento.



**Figura 16.** Amostras de água retiradas das caixas da ML durante o processo de lavagem de um tecido.

### 3.4.2. Avaliação da cor

A avaliação da cor final do artigo foi realizada no espectrofotómetro onde, neste caso, se avaliou a cor de todas as amostras que resultaram dos ensaios efetuados em laboratório. A comparação destas amostras foi efetuada tendo como padrão a amostra retirada após a lavagem em produção de modo a verificar quais as alterações que tinham maior efeito na uniformização de ambos os processos. Para a avaliação de cor recorreu-se ao sistema CMC, sistema derivado de CIELAB, que fornece o  $DE^*$ , em

## Desenvolvimento Experimental

condições de luz natural, D65, luz fluorescente, TL84, e lâmpada incandescente, A. No entanto, analisou-se os resultados tendo em consideração apenas o iluminante D65.

O sistema utilizado considera que para um  $DE^*$  igual ou inferior a 0,8, a cor encontra-se próxima do padrão apresentado, já quando compreende entre 0,9 a 1, deve-se ter em consideração pois já há um desvio significativo, igual ou superior a 1 a cor está muito diferente do padrão apresentado, pelo que se deve intervir.

Apesar, de o sistema apresentado possuir uma tolerância de 1 para  $DE^*$ , para o estudo feito, considera-se apenas que a cor se encontrava válida quando o  $DE^*$  era igual ou inferior a 0,4 com a finalidade de conduzir a uma uniformização da lavagem laboratorial com menores erros associados.



## 4. Apresentação e discussão dos resultados

Neste capítulo estão apresentados os resultados que se obtiveram após realizadas as metodologias referidas na secção anterior.

### 4.1. Influência do processo de preparação e de tingimento na neutralidade final do tecido

Inicialmente, de modo a compreender se o processo de lavagem era o principal responsável pelo facto de, após passagem na ML, o valor final de pH dos artigos não ser constante ao longo do tecido, assim como, os valores se encontrarem fora da gama neutra, procedeu-se à medição do pH em etapas anteriores. Assim, em vez de se obter apenas o valor de pH após lavagem na ML, também se efetuou esta medição após o processo de preparação e após maturação. De notar que a medição foi realizada em três zonas distintas do tecido, isto é, para um artigo de 2000 m, por exemplo, a 1ª amostra correspondeu a uma amostra retirada nos primeiros 100 m, a 2ª amostra significa que foi retirada aos 1000 m e a 3ª amostra equivale à amostra retirada, aproximadamente, aos 2000 m. O procedimento foi feito, deste modo, com o intuito de verificar a existência ou não de uniformidade ao longo do mesmo artigo.

Na **Tabela 1**, estão apresentados os valores de pH obtidos nas diferentes etapas, para cinco artigos.

O tecido antes de tingir passa por uma série de etapas de modo a estar pronto para tingimento, no entanto, no final da preparação este deve possuir um valor de pH neutro de forma a não interferir na etapa seguinte. Assim, como se pode verificar pela **Tabela 1**, os artigos 13, 40 e 42 apresentaram valores de pH neutros e uniformes ao longo do tecido. Já o artigo 14 apresentou um valor de pH de 5,4 na 1ª amostra o que comparativamente às suas restantes amostras (2ª e 3ª) se registou uma diferença de 0,8. Desta forma, é notório que este artigo se encontrou relativamente ácido, na 1ª amostra, no entanto, quando se verifica as duas amostras seguintes estas já apresentaram valores de 6,2, aproximando-se da neutralidade.

Por outro lado, o artigo 29 apesar de apresentar valores de pH uniformes, ao longo das três amostras, estes estavam fora da gama de pH considerada neutra, com valores de pH não superiores a 4,8.

Dado estes valores recolhidos após preparação são visíveis algumas diferenças entre artigos e, mesmo dentro do mesmo artigo, no entanto, à exceção do artigo 29 e dos primeiros metros do artigo 14 os tecidos após preparação mantiveram o seu pH neutro. Contudo, como se observou há exceções que poderão ou não interferir nas etapas seguintes.

**Tabela 1.** Valores de pH medidos em três momentos distintos do processo de tingimento (Após preparação, Após Maturação e Após Lavagem) e em três zonas distintas do tecido (1ª amostra, 2ª amostra, 3ª amostra)

Artigo	Zona de Amostragem	pH		
		Após preparação	Após Maturação	Após Lavagem
13	1ª amostra	7,0	9,8	8,5
	2ª amostra	6,7	9,7	8,0
	3ª amostra	7,1	9,7	8,0
14	1ª amostra	5,4	9,8	4,9
	2ª amostra	6,2	9,7	6,2
	3ª amostra	6,2	9,7	8,5
29	1ª amostra	4,8	9,8	8,7
	2ª amostra	4,7	9,9	8,0
	3ª amostra	4,6	9,6	7,9
40	1ª amostra	6,1	10,1	8,5
	2ª amostra	6,2	9,9	8,8
	3ª amostra	6,7	9,8	8,2
42	1ª amostra	6,7	9,8	8,9
	2ª amostra	6,7	9,8	8,6
	3ª amostra	6,9	9,9	8,3

Na etapa seguinte, o tecido é tingido e, para tal, é adicionado alcali ao banho de tingimento, como já se referiu anteriormente, com o intuito de o alcalinizar e, desta forma, ocorrer a reação entre as fibras celulósicas e o corante. Esta solução é composta por silicato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) e hidróxido de sódio (NaOH) em proporções diferentes e, de acordo com a concentração de corante do banho de tingimento, são utilizadas composições de alcali diferentes. No entanto, são adicionados na mesma proporção ao banho de tingimento de acordo com a concentração de corante que este possui. Desta forma, o facto de existirem concentrações diferentes de alcali estas podiam interferir no valor de pH do tecido após maturação e, assim, alguns artigos entrariam na ML com pH mais alcalino que outros. Se tal acontecesse poder-se-ia justificar as variações de pH verificadas após lavagem.

Da **Tabela 1** sabe-se que os artigos 13, 14 e 29 foram tingidos com uma composição de alcali diferente dos artigos 40 e 42. No entanto, os valores de pH que os artigos possuíam, após maturação, estavam num intervalo entre 9,6 e 10,1 o que indicou que, independentemente, do alcali adicionado e do valor de pH do tecido, antes do tingimento, não ocorre discrepância nestes valores. Assim, seria de esperar que após lavagem o valor de pH se encontrasse uniforme ao longo do próprio artigo, uma vez que, o pH à entrada da ML foi sensivelmente constante, assim como, os parâmetros usados na ML, que apesar de poderem diferir entre artigos, principalmente em relação aos caudais, foram iguais ao longo do mesmo artigo. Contudo, analisando os valores após lavagem notou-se que tal não aconteceu, uma vez que, além de os artigos não se encontrarem neutros também não apresentaram valores uniformes de pH ao longo das três amostras. Isto verificou-se, principalmente, no artigo 14 em que o artigo apresentou pH ácido na 1ª amostra, pH neutro na 2ª amostra e termina com pH básico.

Dado os resultados obtidos tornou-se mais claro que o processo de lavagem era o principal responsável pelas variações de pH e, que uma reformulação dos parâmetros adjacentes a este pode indicar uma melhoria nas especificações pretendidas, nomeadamente, em relação à neutralidade do tecido.

#### 4.2. Comparação do processo de lavagem laboratorial com o processo industrial

A importância da lavagem laboratorial consiste no facto de que é através do processo em laboratório que uma cor é ou não aprovada pelo cliente. Assim, se as diferenças entre ambos os processos, laboratório e prática, forem reduzidas a reprodutibilidade laboratório-prática poderá ser aumentada.

Na **Tabela 2** estão apresentados os valores de pH de amostras de artigos lavados em produção e em laboratório, assim como, o valor de  $DE^*$  entre ambas as amostras. De notar que o padrão escolhido foi a amostra de produção, como tal, quando se mostra o valor de  $DE^*$  e a tendência de cor que a amostra apresentou refere-se à amostra de laboratório em relação à amostra de produção e não o contrário.

É de salientar que o valor de pH em laboratório é pouco relevante pois este só é importante devido à etapa de acabamento. Contudo, apesar de não ser prática na empresa a medição de pH da amostra de laboratório e, apenas se efetuar a medição espectrofotométrica, procedeu-se a esse método, neste projeto, de forma a compreender se o valor de pH do tecido influencia ou não a  $DE^*$  do mesmo.

Em relação aos valores de pH, observando a **Tabela 2**, notou-se que as cores escuras apresentaram uma diferença de pH de 0,1 a 0,7, entre as amostras de produção e de laboratório. Por outro lado, nas cores claras verificou-se uma variação na diferença de pH de 0,5 a 2,5, entre as amostras, dependendo-se assim que, em relação a estes valores, as diferenças entre os processos de lavagem, laboratorial e industrial, tiveram maior influência nas cores claras.

**Tabela 2.** Valores de pH e  $DE^*$  de amostras de artigos cuja lavagem foi realizada em produção e em laboratório

Cor	pH		$DE^*$					
	Produção	Laboratório	D65	Tendência	TL84	Tendência	A	Tendência
E12	8,9	8,7	1,25	Escuro mais vermelho mais azul	1,16	Escuro mais vermelho mais amarelo	1,1	Escuro mais vermelho mais amarelo
E13	6,6	7,3	0,47	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,48	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,46	Escuro mais vermelho mais amarelo
E14	8,2	7,9	0,39	Escuro mais verde mais azul	0,36	Escuro mais verde mais azul	0,38	Escuro mais verde mais azul
E15	8	7,9	1,11	Escuro mais vermelho mais azul	0,98	Escuro mais vermelho mais azul	1,07	Escuro mais vermelho mais azul
E16	6,9	7,3	0,47	Clara mais verde mais azul	0,51	Clara mais verde mais azul	0,51	Clara mais verde mais azul
E17	7,6	7,4	0,45	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,5	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,46	Escuro mais verde mais amarelo
C1	8,6	6,1	0,94	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,95	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,98	Escuro mais vermelho mais amarelo
C4	6,1	6,9	1,36	Escuro mais vermelho mais amarelo	1,38	Escuro mais vermelho mais azul	1,49	Claro mais vermelho mais amarelo
C7	8,3	7	0,2	Claro mais vermelho mais amarelo	0,21	Claro mais vermelho mais amarelo	0,21	Claro mais vermelho mais amarelo
C8	8,4	7,5	0,21	Clara mais verde mais azul	0,21	Clara mais verde mais azul	0,25	Clara mais verde mais azul
C9	8,6	8	0,23	Escuro mais vermelho mais azul	0,23	Escuro mais vermelho mais azul	0,24	Escuro mais vermelho mais azul
C10	8,1	7,2	0,39	Escuro mais vermelho mais azul	0,34	Escuro mais vermelho mais azul	0,47	Escuro mais verde mais azul
C11	8,2	7,7	0,63	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,61	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,75	Escuro mais vermelho mais amarelo

As diferenças no valor de pH, entre amostras, podiam influenciar a  $DE^*$  das mesmas, uma vez que quanto mais alcalino o tecido estava mais quantidade de corante hidrolisado tinha. Assim, uma maior diferença de pH, entre amostras, provocava uma maior  $DE^*$ , no entanto, isto não foi verificado pelos dados recolhidos. Depois de se observar a cor E12 verificou-se que a diferença de pH entre as amostras foi de 0,2, contudo a  $DE^*$  apresentada foi de 1,25. Na cor E15, o mesmo aconteceu, o valor de  $DE^*$  apresentado entre as amostras foi de 1,11 e a diferença de pH foi de 0,1.

Quando se observou as cores claras também não se verificou relação entre a diferença do valor de pH das amostras e a  $DE^*$ . Por exemplo, as cores C1 e C4 apresentaram  $DE^*$  de 0,94 e 1,36, respetivamente, no entanto, a primeira apresentou diferença de pH de 2,5, entre as amostras, e a segunda de 0,8. Desta forma não se conseguiu encontrar relação entre a diferença de pH e a  $DE^*$  das amostras.

De uma forma geral, as cores escuras apresentaram  $DE^*$  entre 0,39 e 1,25, para o iluminante D65 e, uma tendência para as amostras de laboratório estarem mais escuras em relação às de produção. Contudo, houve uma exceção, nomeadamente, a cor E17, em que se verificou que a amostra de laboratório estava mais clara que a amostra de produção.

Quanto às cores claras estas apresentaram  $DE^*$  entre 0,2 e 1,36, no entanto, 57 % dos casos analisados encontraram-se com  $DE^*$  dentro do limite aceite. Também nestas cores se verificou uma tendência para as amostras de laboratório estarem mais escuras que as de produção, todavia existiram duas exceções, as cores C7 e C8.

Estes resultados eram esperados, primeiramente, o facto de grande parte das amostras de laboratório se terem apresentado mais escuras que as de produção, indicou que o processo laboratorial não estava a remover a mesma quantidade de corante hidrolisado em comparação com a ML. Isto mostrou que uma forma de aproximar ambos os processos passava por aumentar o tempo do processo de lavagem em laboratório.

O facto de em cores claras se ter verificado melhores resultados advém de estas necessitarem de menos tempo de lavagem por comparação com as cores escuras.

#### 4.2.1. Alteração dos parâmetros de lavagem laboratorial

Após análise da  $DE^*$  entre amostras que foram lavadas em produção e em laboratório decidiu-se alterar os parâmetros de lavagem laboratorial, de forma a diminuir as diferenças apresentadas. Para tal, no Anexo B **Tabela B1** estão apresentados os resultados obtidos após lavagem laboratorial, de uma cor escura e de uma cor clara, em que se alteraram os parâmetros do esquema de lavagem laboratorial apresentados na **Figura 10** da secção 3.

##### 4.2.1.1. *Influência do tempo e da temperatura*

Como se depreendeu pelos resultados apresentados, anteriormente na **Tabela 2**, as mudanças efetuadas foram no sentido de aumentar o tempo de lavagem de cada etapa. No entanto também foi

verificada a influência da temperatura da água de lavagem, visto que a temperatura da água corrente proveniente da torneira em nada se assemelha à temperatura controlada que existe durante o processo industrial.

Após observação dos resultados verificou-se que as lavagens B, E, F e G para cor clara e B e F para cor escura, são aquelas onde as amostras obtiveram menor  $DE^*$  comparativamente com a lavagem A, que corresponde ao processo original, isto é, sem nenhuma alteração. Na **Tabela B2** do Anexo B estão explanadas as diferentes lavagens e as alterações que se efetuou, em cada etapa, em relação à lavagem A. De salientar que na cor clara os resultados obtidos, nas lavagens referidas anteriormente, foram melhores que na cor escura apresentando um valor de  $DE^*$  de menos 30 % a 50 % comparando com a lavagem A, enquanto que a escura apresentou uma  $DE^*$  de menos 18 % nas duas lavagens que obtiveram melhores resultados.

De notar que seria de esperar que os resultados melhorassem com o aumento do fator tempo, tal como aconteceu, uma vez que aumentando o tempo de lavagem há maior quantidade removida de corante hidrolisado. Todavia é na etapa de ensaboamento que se adiciona o detergente que auxilia na remoção do corante hidrolisado e, tal como se verificou, aumentar o tempo para 8 minutos, nesta etapa, fez com que se verificasse menor  $DE^*$ , em ambos os casos. Em produção, o tempo que o tecido está na caixa de ensaboamento ronda 1 minuto, no entanto visto que, neste caso, se trata de água contínua em contracorrente era esperado que em laboratório fosse necessário mais tempo para se assimilar à ML pois trata-se de um copo com a mesma água durante todo o período de ensaboamento.

Outro parâmetro que influenciou positivamente a  $DE^*$  diz respeito ao aumento do tempo de lavagem para 2 minutos antes do ensaboamento, pois maior tempo remove maior quantidade de corante hidrolisado. Contudo, este parâmetro não foi coerente pelo facto de que quando se aumentou para 3 minutos os resultados obtidos de  $DE^*$  foram superiores em relação aos que foram obtidos quando se aumentou para 2 minutos. Neste caso esperava-se que a  $DE^*$  diminuísse ou que a tendência de cor fosse no sentido da amostra se apresentar mais clara, no entanto, esta permaneceu mais escura em relação ao padrão.

Quanto à temperatura da água de lavagem, seria de esperar que em laboratório tivesse pouca influência, tal como verificado, apresentando mesmo piores resultados em ambas as cores relativamente à lavagem A. As temperaturas da água fria e quente não são semelhantes às praticadas em produção, visto que a temperatura mais baixa verificada na ML é de 60 °C e em laboratório nem a temperatura mais quente da água corrente se aproxima deste valor.

Perante os factos apresentados e tendo sido um dos objetivos manter o processo laboratorial comum para os diferentes tipos de cor, uma vez que sendo um processo não automatizado quanto menos variações ocorrerem menos erros associados existirão nos resultados. Posto isto, repetiu-se a lavagem F para outras amostras, uma vez que este parâmetro é aquele em que há controlo total de temperatura e de tempo e não depende do operador ou pelo menos a sua influência é menor. As restantes lavagens que, apesar de também terem melhorado os resultados quanto à  $DE^*$  são etapas em que o controlo é total pelo operador e existem diferentes variáveis a interferir, principalmente, pela razão de não ser sempre o mesmo operador a efetuar a lavagem, o caudal de água puder variar, assim como, a temperatura da mesma.

Na **Tabela 3** estão apresentados os resultados da  $DE^*$  entre amostras lavadas em produção e amostras lavadas em laboratório, para os processos de lavagem A e F, ou seja, apresenta-se a comparação entre amostras ensaboadas durante 5 min e 8 min, respetivamente. Analisando os resultados observados na **Tabela 3** verificou-se que, de uma forma geral, as amostras ensaboadas durante 8 min obtiveram um valor menor de  $DE^*$  comparativamente às amostras ensaboadas durante 5 min. Desta forma, as amostras sujeitas ao processo F apresentaram uma  $DE^*$  de menos 0,1 a 0,3 para cores claras e de menos 0,19 a 0,27 para cores escuras, em comparação com o processo A.

Particularmente, nas cores claras, como já foi possível depreender ao longo da análise de resultados deste projeto, apresentaram valores de  $DE^*$  menores mesmo quando se efetuou a lavagem A. No entanto, no caso da cor C11 verificou-se uma diminuição de 0,63 para 0,33, observando-se que houve uma passagem de um valor não aceitável, maior que 0,4, para um valor aceite.

Nas cores escuras foi também notório uma diminuição da  $DE^*$ , como já tinha sido dito, no entanto, os valores apresentados ficam aquém do pretendido, nomeadamente, na cor E12 que apresentou uma diminuição do valor de  $DE^*$  de 1,15 para 0,89. Contudo, este último continuou a ser um valor de  $DE^*$  bastante elevado levando a concluir que, neste caso, a lavagem laboratorial efetuada se afastou consideravelmente da lavagem ocorrida na ML. Por outro lado, tais resultados não foram verificados na cor E17 em que existiu a passagem de um valor não aceitável de 0,47 para um valor mais plausível de 0,26.

Dado as lavagens em laboratório terem ocorrido de forma o mais semelhante possível seria de esperar que os resultados obtidos de  $DE^*$  fossem similares entre o mesmo grupo de cores, claras e escuras. Porém, comparar os resultados mesmo pertencendo ao mesmo grupo de cores não era

totalmente correto, uma vez que, em produção, existia mais que um programa de lavagem de tecidos e, além disso, efetuavam-se alterações manuais do mesmo.

Ao verificar a **Tabela C1** no Anexo C observou-se que a cor C10 e C11 apresentaram o mesmo programa de lavagem, em produção, e os seus pesos eram semelhantes, no entanto, verificou-se que o processo de lavagem A não resultou da mesma forma para as duas cores. Porém, quando se efetuou o processo de lavagem F verificou-se que existiu uma aproximação do valor de  $DE^*$  de ambas as cores em que C10 apresentou um valor de 0,28 e C11 de 0,33.

**Tabela 3.** Comparação dos valores de  $DE^*$  para os iluminantes D65, TL84 e A para as cores E12, E17 para a lavagem F e para a lavagem A

Processo de lavagem	F		A		F		A	
Cor	E12				E17			
Iluminante	$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência
D65	0,89	Escuro mais vermelho mais azul	1,15	Escuro mais vermelho mais azul	0,26	Claro mais verde mais amarelo	0,45	Escuro mais vermelho mais amarelo
TL84	0,89	Escuro mais vermelho mais amarelo	1,16	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,29	Claro mais vermelho mais amarelo	0,5	Escuro mais vermelho mais amarelo
A	0,85	Escuro mais vermelho mais amarelo	1,1	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,27	Claro mais verde mais amarelo	0,46	Escuro mais verde mais amarelo



**Tabela 4.** Valores de  $DE^*$  para os iluminantes D65, TL84 e A para as cores C9, C10, C11, para a lavagem F e A

Processo de lavagem	F		A		F		A		F		A	
Cor	C9				C10				C11			
Iluminante	$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência
D65	0,10	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,23	Escuro mais vermelho mais azul	0,28	Claro mais vermelho mais azul	0,39	Escuro mais vermelho mais azul	0,33	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,63	Escuro mais vermelho mais amarelo
TL84	0,11	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,23	Escuro mais vermelho mais azul	0,25	Claro mais vermelho mais azul	0,34	Escuro mais vermelho mais azul	0,31	Claro mais vermelho mais amarelo	0,61	Claro mais vermelho mais amarelo
A	0,10	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,24	Escuro mais vermelho mais azul	0,36	Claro mais vermelho mais azul	0,47	Escuro mais vermelho mais azul	0,42	Claro mais vermelho mais amarelo	0,75	Claro mais vermelho mais amarelo

#### 4.2.1.2. *Influência do número de amostras por copo de ensaboamento*

Um parâmetro relevante adjacente ao processo de lavagem em laboratório prendia-se com o número de amostras que se colocava por copo de ensaboamento. Pelo facto de em simultâneo serem tingidas várias amostras cujo tempo de maturação era o mesmo faz com que a lavagem se efetuasse ao mesmo tempo. O processo efetuado pelos operadores resumia-se a separar cores claras de escuras e, colocavam-se no copo o número de amostras que este conseguia abranger, isto é, podiam ser duas ou três ou por vezes quatro, tudo dependia do número de amostras que se tinha, do tamanho destas e também do peso que poderiam ou não ocupar maior volume. Isto era feito pelo facto de se tentar cumprir o tempo estipulado de maturação e também se conseguia reduzir a quantidade de água gasta. Contudo, sendo a quantidade de água do recipiente a mesma, assim como, a quantidade de detergente, independentemente, do número de amostras por copo, depreendeu-se que o ensaboamento ocorrido com uma amostra seria diferente do que com duas ou três. Portanto decidiu-se efetuar um estudo nesse sentido de forma a verificar se era ou não necessário implementar um número máximo de amostras por cada copo de ensaboamento.

Assim, na **Tabela 5** e na **Tabela 6** estão apresentados os resultados obtidos do valor de  $DE^*$ , para cores escuras e claras, respetivamente, em função do número de amostras por cada copo de ensaboamento. O número máximo de amostras testado foi de três amostras por cada copo, pois um número superior a este achou-se demasiado elevado visto que o copo já não tinha capacidade suficiente para mais amostras. Todas as amostras foram sujeitas ao processo de lavagem A, ou seja, o processo comumente usado pela empresa.

De acordo com a **Tabela 5** verificou-se que quando se procedeu ao ensaboamento com três amostras os valores de  $DE^*$  oscilaram, isto é, existiu variação entre as diferentes amostras concluindo-se, assim, que o ensaboamento não ocorreu uniformemente. Observando a cor E12 verificou-se que houve uma variação de aproximadamente de  $DE^*$  de 0,3, entre as três amostras ensaboadas em simultâneo. Já na cor E16 a variação verificada foi mais acentuada verificando-se valores de  $DE^*$  entre 0,44 e 0,95. O mesmo sucedeu com a cor E17 onde existiu uma  $DE^*$  de 0,2 entre as amostras. Quando se comparou estas amostras com a amostra que foi ensaboada sozinha verificou-se que nas cores E12 e E16 nenhuma das três amostras apresentou um valor  $DE^*$  menor que o valor de  $DE^*$  desta. Contudo, na cor E17 duas das três amostras ensaboadas em conjunto apresentaram um valor de  $DE^*$  inferior à amostra ensaboada

isoladamente. Neste caso, conclui-se que três amostras no mesmo copo fez com que não se conseguisse obter uma lavagem uniforme nas três amostras.

Analisando de seguida os valores obtidos de  $DE^*$  das duas amostras ensaboadas, no mesmo copo, observou-se que estas diferiam entre si 0,09, 0,03 e 0,04, respetivamente para as cores E12, E16 e E17. Quando se comparou estes valores com os verificados no ensaboamento com três amostras observou-se, neste caso, uma maior uniformidade entre os valores, o que leva a concluir que a lavagem com duas amostras ocorre mais uniformemente. Ao comparar, ainda, estes valores com a amostra ensaboada sozinha verificou-se que eram ambos superiores para as cores E12 e E17, no entanto, apenas se verificou uma diferença entre 0,03 e 0,12 na primeira cor e de 0,01 e 0,03 na segunda.

A exceção verificada diz respeito à cor E17 em que os valores da  $DE^*$  das duas amostras ensaboadas em conjunto foram inferiores 0,05 e 0,09 relativamente à amostra ensaboada sozinha. Ao contrário do que se esperava e do que aconteceu nas restantes cores escuras, também se verificou, nesta cor, uma mudança na tendência das amostras, pois existiu uma alteração para tendência clara nas amostras ensaboadas em conjunto, por contraste com a tendência escura da amostra ensaboada sozinha.

Na **Tabela 6**, que diz respeito às cores claras, verificou-se que quando se ensabou três amostras no mesmo copo elas diferiram entre si em termos de  $DE^*$  0,07, 0,27 e 0,33, respetivamente, C9, C10 e C11. Os valores obtidos nestas amostras quando comparados com a amostra ensaboada sozinha, à exceção da cor C10, mostraram que foram superiores variando entre 0,02 e 0,09 para a cor C9 e entre 0,13 e 0,46 para a cor C11. No caso da cor C10 existiram duas das três amostras com  $DE^*$  inferior 0,08 e 0,07 em comparação com a amostra ensaboada sozinha.

Através da análise dos valores de  $DE^*$  das duas amostras ensaboadas em conjunto verificou-se que estas apresentaram um valor inferior 0,01 e 0,02 para a cor C9 e 0,05 e 0,08 para a cor C10, quando comparado com a amostra ensaboada isoladamente. Em contraste na cor C11 verificou-se que ambas as amostras apresentaram um valor de  $DE^*$  de 0,28 e 0,29 mais elevado do que a amostra que se ensabou sozinha. No entanto, verificou-se que a lavagem entre ambas as amostras foi sensivelmente uniforme pois apresentaram valores de  $DE^*$  semelhantes entre si.

Deste modo verificou-se tanto em cores escuras como em cores claras que o ensaboamento de três amostras em conjunto não é uniforme, uma vez que, as amostras apresentaram valores de  $DE^*$  diferentes. Assim, é uma mais valia não ensaboar três amostras em conjunto pois compromete o ensaboamento das mesmas.

## Apresentação e Discussão dos Resultados

Por outro lado, quando se ensaboou duas amostras em simultâneo notou-se que existiu uma maior uniformidade de cor entre as amostras, assim como aconteceu quando se compararam estas com a amostra isolada. Isto levou a acreditar que, de uma forma geral, duas amostras por copo de ensaboamento não comprometeu a lavagem das mesmas. Contudo existiram exceções que poderão ser justificadas pelas lavagens que ocorreram anterior e posteriormente ao ensaboamento, pois mesmo efetuadas de uma forma semelhante não se conseguiu garantir que não ocorreram diferenças.

Tabela 5. Valores da DE\* para os iluminantes D65, TL84 e A para as cores, E12, E16, E17 em função do número de amostras por copo de ensaboamento

Número de amostras por copo de ensaboamento	Tendência	E12		E16		E17	
		DE*	Tendência	DE*	Tendência	DE*	Tendência
1	D65	1,15	Escuro mais vermelho mais azul	0,47	Claro mais verde mais azul	0,45	Escuro mais vermelho mais amarelo
	TL84	1,16	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,51	Claro mais verde mais azul	0,5	Escuro mais vermelho mais amarelo
	A	1,1	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,51	Claro mais verde mais azul	0,46	Escuro mais vermelho mais amarelo
2	D65	1,27	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,48	Claro mais verde mais azul	0,36	Claro mais vermelho mais amarelo
	TL84	1,18	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,48	Claro mais verde mais azul	0,4	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	1,20	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,47	Claro mais verde mais azul	0,37	Claro mais verde mais amarelo
	D65	1,18	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,51	Claro mais verde mais azul	0,4	Claro mais verde mais amarelo
	TL84	1,05	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,44	Claro mais verde mais azul	0,38	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	1,08	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,5	Claro mais verde mais azul	0,37	Claro mais verde mais amarelo
3	D65	1,79	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,63	Claro mais verde mais azul	0,35	Claro mais verde mais amarelo
	TL84	1,68	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,71	Claro mais verde mais azul	0,33	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	1,75	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,67	Claro mais verde mais azul	0,32	Claro mais verde mais amarelo
	D65	2,10	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,95	Claro mais verde mais azul	0,52	Claro mais verde mais amarelo
	TL84	2,02	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,97	Claro mais verde mais azul	0,58	Claro mais verde mais amarelo
	A	2,02	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,97	Claro mais verde mais azul	0,52	Claro mais verde mais azul
	D65	1,13	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,44	Claro mais verde mais azul	0,29	Claro mais verde mais amarelo
	TL84	1,07	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,48	Claro mais verde mais azul	0,28	Claro mais verde mais amarelo
	A	1,12	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,47	Claro mais verde mais azul	0,22	Claro mais verde mais azul

**Tabela 6.** Valores de  $DE^*$  para os iluminantes D65, TL84 e A para as cores C9, C10 e C11 em função do número de amostras por cada copo de ensaboamento

Número de amostras por copo de ensaboamento	Tendência	C9		C10		C11	
		$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência
1	D65	0,23	Escuro mais vermelho mais azul	0,39	Escuro mais vermelho mais azul	0,63	Escuro mais vermelho mais amarelo
	TL84	0,23	Escuro mais vermelho mais azul	0,34	Escuro mais vermelho mais azul	0,61	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	0,24	Escuro mais verde mais azul	0,47	Escuro mais verde mais azul	0,75	Claro mais vermelho mais amarelo
2	D65	0,22	Escuro mais vermelho mais azul	0,31	Claro mais vermelho mais azul	0,91	Claro mais vermelho mais amarelo
	TL84	0,24	Escuro mais vermelho mais azul	0,28	Claro mais vermelho mais azul	0,96	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	0,23	Escuro mais verde mais azul	0,4	Claro mais vermelho mais azul	1,20	Claro mais vermelho mais amarelo
	D65	0,21	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,34	Escuro mais vermelho mais azul	0,92	Claro mais vermelho mais amarelo
	TL84	0,22	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,31	Escuro mais vermelho mais azul	0,93	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	0,22	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,45	Escuro mais vermelho mais azul	1,18	Claro mais vermelho mais amarelo
3	D65	0,25	Escuro mais vermelho mais azul	0,31	Claro mais vermelho mais azul	1,09	Claro mais vermelho mais amarelo
	TL84	0,25	Escuro mais vermelho mais azul	0,28	Claro mais vermelho mais azul	1,13	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	0,17	Escuro mais vermelho mais azul	0,4	Claro mais vermelho mais azul	1,42	Claro mais vermelho mais amarelo
	D65	0,28	Escuro mais vermelho mais azul	0,58	Claro mais vermelho mais azul	1	Claro mais vermelho mais amarelo
	TL84	0,18	Escuro mais vermelho mais azul	0,54	Claro mais vermelho mais azul	1,03	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	0,21	Escuro mais vermelho mais azul	0,59	Claro mais vermelho mais azul	1,29	Claro mais vermelho mais amarelo
	D65	0,32	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,32	Escuro mais vermelho mais azul	0,76	Claro mais vermelho mais amarelo
	TL84	0,36	Escuro mais vermelho mais amarelo	0,28	Escuro mais vermelho mais azul	0,77	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	0,38	Escuro mais vermelho mais azul	0,42	Escuro mais vermelho mais azul	0,99	Claro mais vermelho mais amarelo

#### 4.2.1.3. *Influência do aumento da quantidade de detergente de acordo com o número de amostras por cada copo de ensaboamento*

Na **Tabela 7** estão apresentados os valores de  $DE^*$  para cores escuras e claras em função do número de amostras por cada copo de ensaboamento tendo-se aumentado, em simultâneo, a quantidade de solução de lavagem. Como já se referiu o volume normal de solução de lavagem que se adicionava ao ensaboamento era de 50 ml, neste caso, decidiu-se aumentar este volume incluindo o copo de ensaboamento que apenas continha uma amostra. Assim, aumentou-se a quantidade de detergente, proporcionalmente, ao número de amostras por cada copo, isto é, ao copo com três amostras adicionou-se mais detergente do que ao que tinha duas e adicionou-se mais a este do que ao copo com uma amostra, sendo que em todos se adicionou uma quantidade mais elevada do que a utilizada até ao momento.

Deste modo, analisando a cor C10 verificou-se que as amostras ensaboadas em conjunto, quando comparadas com a amostra ensaboada sozinha, apresentaram valores de  $DE^*$  inferiores em 0,13 e 0,08, no caso das duas amostras num copo, e inferiores em 0,15, 0,14 e 0,05, no que diz respeito, ao copo com três amostras. Porém analisando a cor C11 percebeu-se que aconteceu o oposto, isto é, apesar do aumento da quantidade de detergente as amostras ensaboadas em conjunto apresentaram, no mínimo, uma  $DE^*$  superior à amostra ensaboada sozinha de 0,32. Comparando estes valores com os presentes na **Tabela 6** verificou-se, que na cor C10, a amostra ensaboada sozinha apresentou menor  $DE^*$ , quando não se aumentou a quantidade de solução de lavagem e os valores apresentados das amostras ensaboadas em conjunto foram semelhantes nas duas experiências. Já na cor C11 a amostra ensaboada sozinha apresentou um valor de  $DE^*$  superior em 0,04, ao mesmo valor da amostra ensaboada nas mesmas condições, mas com maior quantidade de solução de lavagem.

Quando se comparou, entre as duas experiências, para a cor C11, as amostras que ensaboaram em conjunto, verificou-se que o aumento da solução de lavagem não fez com que se obtivessem melhores resultados. Deste modo, percebeu-se que o aumento de detergente em cores claras não trouxe vantagens notórias tendo-se obtido na generalidade resultados semelhantes e mesmo piores em comparação com as amostras que ensaboaram com a quantidade de solução de lavagem, normalmente, usada.

Analisando agora os resultados obtidos para as cores escuras E16 e E17, também presentes na **Tabela 7**, verificou-se, em ambos os casos, que existiu uma variação de 0,41 e 0,23, respetivamente, entre as três amostras que ensaboaram em conjunto. Isto indicou que a lavagem não foi uniforme entre

as amostras apesar do aumento de solução de lavagem. Já no caso em que se ensaboou duas amostras juntas observou-se que o valor de  $DE^*$ , entre as amostras, apenas diferiu 0,05, em ambas as cores, verificando-se um ensaboamento relativamente uniforme. Comparando os valores das duas amostras ensaboadas em conjunto com a ensaboada sozinha verificou-se que esta apresentou um valor de  $DE^*$  superior em 0,21 e 0,26, para a cor E17.

Comparando, agora, estes valores com os apresentados na **Tabela 5**, verificou-se que para a cor E16 as amostras apresentaram resultados similares sendo que as  $DE^*$  existentes mostraram melhores resultados nas amostras ensaboadas com maior quantidade de detergente. Contudo, a amostra ensaboada sozinha apresentou um menor valor de  $DE^*$  quando não foi aumentada a quantidade de solução de lavagem.

Assim, notou-se que o aumento de detergente de uma forma geral, não melhorou o valor de  $DE^*$  das amostras ensaboadas sozinhas, assim como não permitiu que se obtivessem valores mais uniformes entre as amostras ensaboadas em conjunto, principalmente, quando se colocou três amostras no mesmo copo. As exceções verificadas a estes factos foram pouco relevantes, isto é, quando os valores de  $DE^*$  foram melhores nas amostras que ensaboaram com mais solução de lavagem face às amostras que ensaboaram com a mesma quantidade, estes não foram muito notórios, como aconteceu no caso da cor C11 em que se obteve uma diferença nos valores de  $DE^*$  apenas de 0,04.



Tabela 7. Valores da DE\* para os iluminantes D65, TL84 e A em função do número de amostras por copo de ensaboamento

Número de amostras por copo de ensaboamento	Tendência	C10		C11		E16		E17	
		DE*	Tendência	DE*	Tendência	DE*	Tendência	DE*	Tendência
1	D65	0,46	Escuro mais vermelho mais azul	0,59	Escuro mais vermelho mais azul			0,59	Claro mais verde mais azul
	TL84	0,41	Escuro mais vermelho mais azul	0,56	Claro mais vermelho mais amarelo			0,56	Claro mais verde mais azul
	A	0,54	Escuro mais verde mais azul	0,66	Claro mais vermelho mais amarelo			0,52	Claro mais verde mais azul
2	D65	0,33	Escuro mais vermelho mais azul	1,25	Claro mais vermelho mais amarelo	0,45	Escuro mais verde mais azul	0,38	Claro mais vermelho mais amarelo
	TL84	0,29	Escuro mais vermelho mais azul	1,28	Claro mais vermelho mais amarelo	0,47	Escuro mais verde mais azul	0,41	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	0,41	Escuro mais vermelho mais azul	1,61	Claro mais vermelho mais amarelo	0,49	Escuro mais verde mais azul	0,38	Claro mais verde mais amarelo
	D65	0,38	Escuro mais vermelho mais azul	0,91	Claro mais vermelho mais amarelo	0,46	Escuro mais verde mais azul	0,33	Claro mais vermelho mais amarelo
	TL84	0,31	Escuro mais vermelho mais azul	0,93	Claro mais vermelho mais amarelo	0,51	Escuro mais verde mais azul	0,41	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	0,43	Escuro mais vermelho mais azul	1,18	Claro mais vermelho mais amarelo	0,52	Escuro mais verde mais azul	0,4	Claro mais verde mais amarelo
3	D65	0,32	Escuro mais vermelho mais azul	0,98	Claro mais vermelho mais amarelo	0,38	Escuro mais verde mais azul	0,38	Escuro mais verde mais amarelo
	TL84	0,28	Escuro mais vermelho mais azul	1,05	Claro mais vermelho mais amarelo	0,41	Escuro mais verde mais azul	0,36	Escuro mais verde mais amarelo
	A	0,42	Escuro mais vermelho mais azul	1,3	Claro mais vermelho mais amarelo	0,43	Escuro mais verde mais azul	0,39	Escuro mais verde mais azul

Não se realizou a experiência.

**Tabela 7.** Valores da  $DE^*$  para os iluminantes D65, TL84 e A em função do número de amostras por copo de ensaboamento (Conclusão)

Número de amostras por copo de ensaboamento	Tendência	C10		C11		E16		E17	
		$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência
3	D65	0,31	Escuro mais vermelho mais azul	1,01	Claro mais vermelho mais amarelo	0,55	Escuro mais verde mais azul	0,47	Claro mais vermelho mais amarelo
	TL84	0,29	Escuro mais vermelho mais azul	1,07	Claro mais vermelho mais amarelo	0,59	Escuro mais verde mais azul	0,47	Claro mais verde mais amarelo
	A	0,43	Claro mais vermelho mais azul	1,32	Claro mais vermelho mais amarelo	0,6	Escuro mais verde mais azul	0,5	Claro mais verde mais azul
	D65	0,41	Claro mais vermelho mais azul	1,18	Claro mais vermelho mais amarelo	0,66	Escuro mais verde mais azul	0,17	Claro mais verde mais amarelo
	TL84	0,38	Claro mais vermelho mais azul	1,22	Claro mais vermelho mais amarelo	0,5	Escuro mais verde mais azul	0,17	Claro mais vermelho mais amarelo
	A	0,5	Claro mais vermelho mais azul	1,52	Claro mais vermelho mais amarelo	0,51	Escuro mais verde mais azul	0,21	Claro mais verde mais amarelo

#### 4.2.2. Influência dos parâmetros analisados na ML no pH final do tecido

Ao longo do acompanhamento das lavagens recolheram-se amostras de água das caixas de lavagem e, simultaneamente, mediu-se o pH do tecido. Por vezes, em função do valor de pH os parâmetros da ML eram alterados ao longo da lavagem, isto é, se na primeira amostra o pH estivesse fora da gama pretendida alteravam-se no momento os parâmetros da ML, nomeadamente, os caudais de água das caixas de lavagem. Apesar dos caudais estarem definidos consoante o peso e a cor do artigo, devido às alterações efetuadas manualmente no sistema, como já foi referido, existiam diversas variáveis a ter em atenção.

Após a compilação dos dados foi possível encontrar alguns padrões e, desse modo, compreender a forma mais eficiente de funcionamento da ML em função das especificações pretendidas no final. Os dados foram divididos entre cores claras e cores escuras e colocados por ordem decrescente de peso, e, posteriormente, foram analisados os diversos parâmetros em função do valor de pH final do tecido. Nas **Tabelas C1** e **C2** do Anexo C estão todos os artigos e os respetivos valores de pH das amostras recolhidas, assim como, os caudais de água que estavam em funcionamento no momento em que se retirou a amostra e, ainda, os valores de pH das águas de lavagem.

A importância de o tecido estar neutro reside nas etapas subsequentes, momento em que este vai para acabamento, pois entra em contacto com determinados produtos químicos essenciais para que lhe sejam dadas as características necessárias. Desta forma, o contacto destes produtos com um tecido cujo pH esteja desajustado pode danificar as fibras do mesmo, portanto, após a primeira passagem na ML se não se verificar um valor de pH aceitável este terá de voltar a passar nesta máquina. Contudo, apesar de se saber que após uma segunda passagem na ML, o pH do tecido se encontrava neutro, isto implicava o dobro dos custos, logo era uma mais valia que o pH do tecido ficasse neutro após a primeira passagem na ML.

##### *4.2.2.1. Influência dos caudais de água que prevaleciam nas caixas da ML no pH final do tecido*

Para uma melhor compreensão dos dados recolhidos construiu-se a **Tabela 8** em que se agrupou os mesmos de acordo com os caudais estabelecidos, no momento em que se retirou a amostra. Normalmente, os caudais utilizados eram os pré-definidos, ou seja, os que estão de acordo com a **Tabela A1** do Anexo A, no entanto, por vezes eram efetuadas alterações. Estas diziam respeito ao

aumento do caudal na caixa 4, ou na caixa 5 ou nas duas em simultâneo, sendo que as três caixas iniciais (1,2 e 3) não eram alteradas, isto é, os seus caudais correspondiam aos pré-definidos.

**Tabela 8.** Amostras com pH superior a 7,5, em percentagem, para cores escuras e claras de acordo com as condições de lavagem que prevaleciam no momento em que se retirou a amostra

Caudais de água que prevaleciam no momento de retirada a amostra	Amostras com pH superior a 7,5 (%)	
	Cores	
	Escuras	Claras
Pré-definidos em todas as caixas de lavagem	65	100
Aumento de caudal apenas na Caixa 4	100	85,7
Aumento de caudal apenas na Caixa 5	47	42,9
Aumento de caudal na Caixa 4 e na Caixa 5	62,5	20

Depois de analisar a **Tabela 8**, notou-se que a percentagem de amostras com pH superior a 7,5 revelou que os caudais pré-definidos não estavam a garantir a eficiência da lavagem, nomeadamente, em relação ao valor de pH do tecido. Os resultados mostraram que, 65 % das amostras de cores escuras e 100 % das amostras de cores claras, se encontravam fora da gama de valores de pH pretendida.

Os caudais estipulados de funcionamento da ML previam uma maior quantidade de água gasta, em cores escuras pesadas (> 600 g), depois cores escuras leves (< 600 g) e, por fim, cores claras. Note-se que existia uma lógica associada a estes caudais, pois como se sabe em cores escuras há, normalmente, uma necessidade de maior quantidade de água devido à solidez. Analisando os diferentes programas todos tinham associada a mesma estratégia que era caracterizada por caudais de água maiores nas primeiras caixas (1, 2 e 3), para que grande parte do alcali fosse removido, apenas com água, antes do contacto com o ácido. Por outro lado, as duas últimas caixas, 4 e 5 terminavam com caudais de 1 L/kg, pois neste momento o tecido já sofreu ensaboamento e, como tal, o corante hidrolisado já tinha sido removido e, assim, apenas tinha de contactar com o ácido para ficar neutro.

Contudo, como se viu, anteriormente, estes caudais já não surgiam efeito em vários casos, independentemente, de serem tecidos mais leves ou mais pesados e mesmo sendo escuros ou claros. Desta forma, não se encontrou um grupo de tecidos que fosse favorável a estes caudais, portanto chegou-se à conclusão que já não eram os mais indicados, visto que não permitiam que se atingisse as especificações pretendidas. Isto foi notório depois de se observar os dados recolhidos, que estão nas **Tabelas C1 e C2** no Anexo C, pois em diversas situações já não eram utilizados estes programas na sua forma original.

Por um lado, as alterações dos caudais aconteciam, de certa forma, por tentativa o que, permitiu uma recolha intensa de dados, onde foram observadas diferentes variações do mesmo parâmetro e, assim, conseguiu-se perceber qual a melhor estratégia a utilizar. Por outro lado, foi seguida uma estratégia já utilizada, em que se aproveitou o facto da ML funcionar em contracorrente. Assim, o facto de se aumentar o caudal na caixa 5 permitiu que a água transbordasse para as caixas anteriores e, desta forma, o tecido entrava em contacto com o ácido, na caixa 4 e, possivelmente, já na caixa 3. Deste modo, o tempo de contacto entre o ácido e o tecido era maior o que, teoricamente, levava à diminuição do pH deste. No entanto, o caudal a colocar na caixa 5 tinha de ser suficiente para acontecer o transbordo, assim, começou-se com um valor de 10 L/kg. De notar que, nem sempre esta estratégia resultou, uma vez que houve situações em que o pH continuou alcalino, tal como se comprovou pelos artigos 10, 11, 12, 13, 15, 40 e 42. Isto levou em consideração que apenas as alterações dos caudais das caixas de lavagem não seriam suficientes para se conseguir atingir os objetivos pretendidos.

#### 4.2.2.2. Quantidade de ácido

Na **Tabela 9** agrupou-se as amostras retiradas de acordo com o valor de pH que se colocava no potenciómetro da ML.

**Tabela 9.** Amostras com pH superior a 7,5, para cores claras e escuras, em função do valor de pH pedido no potenciómetro da ML

Valor de pH no potenciómetro da ML no momento de retirada a amostra	Amostras com pH superior a 7,5 (%)	
	Cores	
	Escuras	Claras
3,6	70	82
2,6	22	29
2,2	0	37

A quantidade de ácido que se introduz na máquina é controlada pelo valor de pH que se coloca no potenciómetro desta, ou seja, o ácido entra na ML de forma a manter constante, na caixa de lavagem, o valor de pH que se introduz no potenciómetro.

O valor que se colocava, independentemente, das características do tecido era de 3,6, um valor que garantia que o tecido não ficava ácido, ou seja, um valor seguro que não causasse problemas no tecido por valores de pH demasiado baixos, como pH de 5,0. Isto porque com um tecido alcalino com uma segunda passagem na ML consegue-se, em princípio, neutralizá-lo, no entanto, com um tecido ácido

já se torna mais complicada a resolução. Este objetivo era concretizado pois problemas de elevada acidez não eram comuns, contudo este valor de pH do potenciômetro não se revelava o mais apropriado, uma vez que em 70 % para cores escuras e 82 % para cores claras das amostras analisadas apresentavam pH alcalino. No entanto, este valor já era em situações específicas alterado, nomeadamente, em artigos cuja especificação do valor de pH final do artigo se encontrava em 6,0. Nestes casos, valores de pH entre 6,5 e 7,5 poderiam já não ser aceites, assim, diminuía-se o valor de pH do potenciômetro para que entrasse uma maior quantidade de ácido na ML e, dessa forma, existisse uma diminuição do valor de pH do tecido. O valor colocado era uma vez mais por experiência e, de certa forma, por tentativa, no entanto, nestas situações existia um controlo mais apertado ao longo da lavagem do tecido, pois não era garantido que o valor de pH final estivesse fora da gama pretendida, nomeadamente, demasiado ácido, nem que este se mantivesse relativamente estável ao longo de todo o tecido.

Depois de analisar as amostras retiradas com maior quantidade de ácido, verificou-se que 22 % e 29 % destas para cores escuras e cores claras, respetivamente, quando o valor de pH se encontrava em 2,6 no potenciômetro da ML, apresentavam pH superior a 7,5. Por outro lado, verificou-se que quando se aumentava, ainda mais, a quantidade de ácido e, se colocava 2,2 no potenciômetro, todas as amostras de cores escuras apresentavam pH conforme, já em cores claras, existiram 37 % de amostras com pH fora da gama pretendida.

Note-se que os valores apresentados foram calculados levando em conta as amostras com pH superior a 7,5, o que indicou que, se se contabilizasse o número de amostras com pH superior a 6,5, que era a gama pretendida nestas situações, como se referiu anteriormente, a percentagem de amostras com pH fora da gama pretendida iria aumentar. No entanto, nem foi necessária essa contabilização para se compreender que mesmo com maior quantidade de ácido nem sempre se conseguiu atingir o valor de pH pretendido, uma vez que mesmo com essa quantidade se obtiveram valores de pH superiores a 7,5.

#### *4.2.2.3. Mudança de águas da ML*

Um aspeto relevante que se verificou negativo para a neutralidade do tecido correspondeu à mudança de águas, momento em que a máquina é lavada e a água das caixas renovada. Na **Tabela 10** estão explanadas as percentagens de amostras, retiradas após a mudança de águas da ML, que apresentaram pH superior a 7,5.

**Tabela 10.** Amostras com pH superior a 7,5, para cores claras e escuras, em amostras retiradas após mudança de águas da ML

Amostra retirada depois da lavagem de águas	Amostras com pH superior a 7,5 (%)	
	Cores	
	Escuras	Claras
	66	100

Efetivamente é uma tarefa obrigatória e que tem de ser realizada, assim que necessário, nomeadamente, quando se passa de tecidos escuros para tecidos claros ou em casos que se verifique que a água está muita contaminada ou mesmo noutras situações que se revelem importantes.

Após analisar os resultados da **Tabela 10** verificou-se que o primeiro artigo que se introduzia na ML, após mudança de águas, apenas conseguia estabilizar o valor de pH após, aproximadamente, 1000 m e a primeira amostra apresentava valor de pH maior que 7,5 em 100 % dos casos para cores claras e 66 % para escuras. Tal foi comprovado pelos dados da **Tabela C1** do Anexo C em que o artigo 2 apresentou pH de 7,7, na primeira amostra, e de 6,6 e 6,3 nas amostras dois e três, respetivamente. O mesmo aconteceu com o artigo 10 que apresentou, inicialmente, um valor de pH de 8,7 e nas amostras seguintes valores de 8,2 e 8,0. Notou-se que, neste caso, o artigo não passou de alcalino para neutro, como tal, foi necessário que todo o tecido passasse na ML uma segunda vez. No entanto, no primeiro caso, verificou-se que o artigo apresentou uma diminuição do valor de pH, da primeira para a segunda amostra, de 1,1, verificando-se que o valor de pH do tecido estava instável. Este facto tinha como consequência, por vezes, a passagem de somente uma parte do tecido uma segunda vez na ML, pois o restante já se encontrava com um valor de pH considerado neutro.

De certa forma, era de esperar que tal acontecesse, uma vez que o ácido apenas começava a entrar na máquina aquando da entrada do tecido e, deste modo, os primeiros metros não entravam em contacto com a quantidade de ácido suficiente para o neutralizar.

#### 4.2.3. Alteração aos parâmetros da ML

Tendo em atenção os dados analisados nas secções anteriores, foi perceptível que só uma conjugação entre os caudais de água e a quantidade de ácido permitia obter melhores resultados em relação ao pH final do tecido. Desta forma, era necessário encontrar um valor para colocar no potenciómetro da ML que garantisse a neutralidade do tecido, mas que não fosse demasiado arriscado e que levasse a um valor de pH final ácido. Ou seja, um valor que, por um lado, permitisse a entrada de

mais ácido e fosse possível reduzir a percentagem de amostras com pH superior a 7,5 e, por outro lado, um valor que não aumentasse a probabilidade de artigos com pH menor que 6,0. Por conseguinte, o valor que se utilizou foi de 3,0, um valor intermédio entre os valores usados durante a recolha de dados, contudo só com a recolha de dados que foi efetuada, posteriormente, é que foi possível perceber se este valor era o mais acertado.

Quanto aos caudais a estabelecer para cada caixa de lavagem levou-se em atenção os dados recolhidos e compreendeu-se que o aumento do caudal na caixa 5 era a melhor estratégia a seguir, porque além de se aumentar o tempo de contacto entre o tecido e o ácido, também, desta forma, se conseguia reutilizar a água e reduzir o consumo desta por Kg de tecido a lavar.

Na **Tabela 11** encontram-se os caudais estabelecidos para cada caixa de lavagem a utilizar em todos os tecidos, provenientes da maturação após tingimento com corantes reativos. Não foram estabelecidos programas diferentes de acordo com o peso e a cor do artigo, uma vez que os programas empregados, anteriormente, já não eram utilizados de acordo com o artigo para o qual foram instituídos. Portanto estabeleceu-se um programa para incorporar todos os casos, contudo poderá ser dividido posteriormente.

Globalmente aumentou-se o caudal da caixa 5 para 5 L/kg e diminuiu-se um litro de água por Kg de tecido nas caixas 1,2 e 3, visto que um dos propósitos também era reduzir a quantidade de caudal gasto. Dos caudais analisados, anteriormente, percebeu-se que o facto de utilizar uma maior quantidade de água não permitiu que se obtivessem melhores resultados, ou seja, o valor de pH do tecido encontrava-se na mesma alcalino. Assim, como a água introduzida no início é logo descartada e como se aumentou o caudal na última caixa, o total gasto em L/Kg não era penalizado e, desta forma, neutralizava-se o tecido mais facilmente.

O método utilizado permitiu, assim, que houvesse uma reutilização da água, uma vez que a água que se introduziu na caixa 5 transbordou para as caixas anteriores e, desta modo, foi continuamente reaproveitada.

A quantidade de água que se reduziu nas caixas iniciais não colocou em causa a remoção inicial do alcali, que tem de ocorrer antes do contacto com o ácido, pois não foram detetadas consequências nos tecidos que poderiam advir deste facto.

Após estabelecidas as novas condições e depois de analisados os dados recolhidos, a partir desse momento, que se encontram na **Tabela C3 e C4** no Anexo C verificou-se que, a percentagem de amostras com pH superior a 7,5, em cores escuras, diminuiu de 60 % para 13,6 % verificando-se, assim,



uma redução de 46,4 % de número de casos com pH fora da gama pretendida, como se observou pela **Tabela 12**. Da mesma forma, em cores claras, também se verificou que as mudanças nos parâmetros tiveram efeito positivo na medida em que existiu uma redução de 41,5 %, de amostras em que o pH do tecido era superior a 7,5, para 18,8 %.

**Tabela 11.** Caudais de água a utilizar em cada caixa de lavagem da ML

Caixas	1	2	3	4	5
Caudal (L/kg)	3	2	2	1	5

De notar que as amostras que se encontraram, ainda, fora da gama pretendida apresentaram valores de pH entre 7,6 e 8,1, tanto para cores claras como escuras. Isto mostrou que estas amostras estão apenas 0,6 acima do valor pretendido o que, em comparação com amostras retiradas, anteriormente às alterações efetuadas, em que por diversas vezes se deparou com valores superiores a 8,5, se verificou, de facto, uma maior consistência no processo.

**Tabela 12.** Amostras com pH superior a 7,5, em cores escuras e em cores claras, antes e após efetuadas as alterações. aos caudais e ao pedido de pH

Cores	Amostras com pH superior a 7,5 (%)	
	Antes	Depois
Escuras	60	13,6
Claras	41,5	18,8

Por outro lado, como foi referido, a mudança de águas era um ponto relevante, nomeadamente, devido ao facto do tecido lavado após esta situação se apresentar na 1ª amostra com pH alcalino. No entanto, observou-se que as alterações efetuadas também tiveram um efeito positivo nesse sentido, visto que, ao se observar as primeiras amostras dos artigos 57 e 62 verificou-se que estas estavam dentro da gama de pH pretendido, uma vez que apresentaram valores, na 1ª amostra, de 7,3 e 6,6, respetivamente. Comparando estes valores com os valores das amostras retiradas nesta situação, aquando ainda não vigoravam estes parâmetros verificou-se uma melhoria praticamente na totalidade. A exceção foi o artigo 58 que apresentou pH superior a 7,5, no entanto o valor de pH de 7,8 obtido na

1ª amostra, confrontado com valores obtidos anteriormente, após mudança de águas, concluiu-se que apesar deste valor estar fora da gama pretendida, dista apenas 0,3.

Por outro lado, em cores escuras, não se conseguiu retirar nenhuma conclusão acerca do valor de pH obtido a seguir à mudança de águas, pois não se conseguiu obter dados nesse sentido, contudo como já foi referido, normalmente, a lavagem da máquina tende, maioritariamente, a acontecer quando de seguida, vão ser lavados tecidos com cores claras de forma a que a cor destes não seja danificada.

Um aspeto notório, tanto em cores claras como em cores escuras, verificado nos últimos dados recolhidos, prendeu-se com o facto de se ter conseguido obter uma maior estabilidade no valor de pH ao longo do próprio artigo. Depois de visualizar a **Tabela C3 e C4** no Anexo C verificou-se que de entre as amostras recolhidas de cada artigo a maior diferença de valor de pH observada entre a 1ª amostra, a 2ª amostra e a 3ª amostra de um artigo foi de 0,6 para cores claras e de 0,5 para cores escuras. Mais uma vez comparando estes valores com os presentes na **Tabela C1 e C2** no Anexo C observou-se que as mudanças efetuadas fizeram com que o processo se tornasse mais estável e as variações de pH ao longo do mesmo artigo diminuíssem consideravelmente. Pois anteriormente tinham-se verificado diferenças de pH entre as amostras do mesmo artigo superiores a 1 e em casos mais extremos até de 2,7 e 3,7 nos artigos 8 e 14, respetivamente.

De facto, além desta estratégia ter resultado e todo o processo na prática ter ficado mais estável, que era um dos principais objetivos, também em simultâneo se conseguiu reduzir o caudal médio de água gasto por Kg de tecido.

Na **Tabela 13** estão apresentados os valores do caudal médio de água gasto em cores escuras e claras, antes e depois, de fixar o programa de lavagem de acordo com a **Tabela 11**.

**Tabela 13.** Caudal médio de água gasto em cores claras e escuras antes e após efetuar as alterações

Cores	Caudal médio de água gasto (L/kg)	
	Antes	Depois
Escuras	20	13
Claros	19	13

Pela análise da **Tabela 13** verificou-se que a quantidade média de água utilizada nas lavagens dos artigos, presentes na **Tabela C1 e C2** no Anexo C, atingia os 20 L/kg em cores escuras e 19 L/Kg em cores claras. De salientar que esta média apenas considerou a primeira passagem de cada artigo na ML, não se contabilizando a segunda passagem dos artigos reprovados por valores finais de pH

superiores a 7,5, o que aumentaria esta média. Porém após estabelecido o novo programa reduziu-se em 35 % e 31,5 %, em cores escuras e claras, respetivamente, os litros médios de água gastos por Kg de tecido lavado. De facto, foi uma mais valia conseguir-se esta redução pois significou não só uma redução nos custos associados ao gasto de água, mas também se traduziu em menos quantidade de efluente alcalino a ser tratado. Contudo, as vantagens não são apenas a nível económico, mas também a nível ambiental, pois nos dias de hoje qualquer redução no gasto de água é uma mais valia no futuro do planeta.

## 5. Conclusão e Trabalhos Futuros

O projeto desenvolvido tinha como foco a otimização do processo de lavagem tanto em produção como em laboratório. Os resultados obtidos permitiram tornar o processo de lavagem em produção mais estável, nomeadamente, em relação à uniformização do valor de pH final do tecido. No que diz respeito ao estudo do processo laboratorial os resultados verificados não foram tão favoráveis ficando, ainda, distantes do pretendido.

Em relação ao valor de pH do tecido obtido nas etapas precedentes à etapa de lavagem, concluiu-se que o alcali utilizado alcalinizou uniformemente o tecido, independentemente, do pH deste após preparação. Também se verificou que os diferentes alcali utilizados não provocaram valores de pH diferentes entre os artigos verificando-se uniformidade no valor de pH do tecido à entrada da ML.

A comparação entre os dois processos, laboratório e prática, permitiu concluir que as amostras lavadas em laboratório tendiam a ser mais escuras comparativamente às amostras lavadas em produção. Por outro lado, não se conseguiu estabelecer comparação entre a diferença de pH e a diferença de cor que as amostras apresentaram.

Em relação ao processo laboratorial concluiu-se que a alteração ao tempo de ensaboamento e ao número de amostras a colocar em cada copo deviam ser alterados, em relação ao processo normalmente utilizado, pois diminuía as diferenças até então verificadas. Assim, percebeu-se que o facto de se colocar mais que duas amostras em cada copo não permitia que a lavagem fosse efetuada uniformemente entre as amostras. Por outro lado, concluiu-se que o aumento da quantidade de detergente não permitiu obter melhores resultados nem aumentar o número de amostras por copo de ensaboamento. Ainda se verificou que em cores escuras o processo de lavagem laboratorial é menos favorável existindo uma maior diferença, entre os processos, nestas cores do que em cores claras.

Relativamente ao estudo da máquina de lavar através dos dados obtidos, concluiu-se que os programas de lavagem utilizados até ao momento não eram os mais favoráveis, assim como, a quantidade de ácido utilizada. Por outro lado, também se observou que aproveitar o funcionamento da máquina de lavar em contracorrente foi uma mais valia para se conseguir um processo estável em relação à uniformidade e neutralização do tecido. Simultaneamente, conseguiu-se também reutilizar a água o que permitiu reduzir o caudal médio de água gasto por Kg de tecido. Ainda se concluiu que a quantidade de ácido a adicionar à lavagem tinha de aumentar pois apenas a alteração dos caudais não era suficiente para se conseguir um tecido neutro.

Para trabalho futuro é pretendido continuar o estudo do processo de lavagem laboratorial de forma a conseguir aumentar a reprodutibilidade entre o laboratório e a prática, pois apesar de se ter conseguido alcançar estratégias para diminuir a diferença verificada, entre os dois processos, os resultados obtidos ficaram aquém deste objetivo.

No caso da máquina de lavar é uma mais valia continuar o estudo do programa implementado de forma a reduzir ainda mais os caudais de água em cores claras e em tecidos mais leves. Por outro lado, é importante compreender a influência da quantidade de detergente e dos caudais de água na solidez do artigo.

## Referências Bibliográficas

- AATCC. (2015). pH of the Water-Extract from Wet Processed Textiles. *AATCC Test Method 81-2012 pH, 1996*, 2015.
- Amiri, A., Ulven, C.A., Huo, S. (2015). Effect of Chemical Treatment of Flax Fiber and Resin Manipulation on Service Effect of Chemical Treatment of Flax Fiber and Resin Manipulation on Service Life of Their Composites Using Time-Temperature Superposition. *Polymers*, 7(10), 1965-1978.
- ATP - Associação Têxtil e Vestuário de Portugal. (n.d.). Consultado a 29 de abril, 2019, em <http://www.atp.pt/>
- Benninger Textile – Washing. (n.d.). Consultado a 21 de maio, 2019, em <http://www.benningergroup.com/en/textile-finishing/washing/>
- Broadbent, A.D. (2001). Basic principles of textile coloration. *Color Research & Application*, 28(3).
- Broadbent, A.D. (2016). Colorimetry, Methods. In *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* (3rd ed., Vol. 7).
- Chakraborty, J.N. (2011a). Assessment of fastness of dyeings. *Fundamentals and Practices in Colouration of Textiles*, 326–339.
- Chakraborty, J.N. (2011b). Dyeing with reactive H-E dye. *Fundamentals and Practices in Colouration of Textiles*, 1, 76–86.
- Chattopadhyay, D.P. (2011). Chemistry of dyeing. In *Handbook of textile and industrial dyeing: Principles, processes and types of dyes*, Woodhead Publishing.
- Choudhury, A.K.R. (2014). *Principles of colour appearance and measurement, Vol. 1: Object Appearance, Colour Perception and Instrumental Measurement*, Woodhead Publishing.
- Clark, M. (2011). Fundamental principles of dyeing. In *Handbook of textile and industrial dyeing: Principles, processes and types of dyes* (Vol. 1).
- Figueiredo, José Miguel; Rodrigues, Francisco; Correia, Anabela; Barros, Marina (2000). *Guia Técnico - Sector Têxtil*. INETI, Lisboa.
- Gilchrist, A., Nobbs, J. (2017). Colorimetry, Theory. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry*, 328–333.
- Gomes, J.I.N. Rocha (2000). *Química da Cor e dos Corantes*. Universidade do Minho.
- Gomes, J.I.N. Rocha (2016). *Tingimento e Ultimação I -Curso Química da Qualidade*. Universidade do Minho.

- Gonçalves, R. A. M. (2017). *Otimização do tingimento de fibras de algodão com corantes reativos bifuncionais*.
- Goodman, T.M. (2017). International standards for colour. In *Colour Design: Theories and Applications: Second Edition*.
- Gordon, S., Hsieh, Y.L. (2006). Cotton: Science and technology. *Cotton: Science and Technology*. Woodhead Publishing.
- Henrique, P., Pereira, F., De, M., Rosa, F., Odila, M., Cioffi, H., ... Mulinari, D. R. (2015). Vegetal fibers in polymeric composites: a review. *Polimeros*, 25(1), 9–22.
- Karmakar, S. R. (1999). *Chemical Technology in the Pre-treatment Processes of Textiles* (Volume 12). Elsevier Science.
- Khatri, A., Peerzada, M.H., Mohsin, M., & White, M. (2015). A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution. *Journal of Cleaner Production*, 87(1), 50–57.
- Koh, J. (2011). Dyeing of cellulosic fibres. In *Handbook of textile and industrial dyeing: Applications of dyes* (Vol. 2).
- Kumar, P.S. & Pavithra, K.G. (2019). Water and Textiles. In *Water in Textiles and Fashion*.
- Madhav, S., Ahamad, A., Singh, P., Mishra, P.K. (2018). A review of textile industry: Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods. *Environmental Quality Management*, 27(3), 31–41.
- Mondal, M., Islam, M. (2015). Synthesis of Reactive Dyes Containing Acrylamido Group and Their Application to Cotton Fabric. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 6(3), 135–145.
- Muthu, S.S. (2014). Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing. Eco-friendly Raw Materials, Technologies, and Processing Methods. In *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing: Eco-friendly Raw Materials, Technologies, and Processing Methods*.
- Richards, P.R. (2014). Fabric Finishing. In *Textiles and Fashion*.
- Roy, C. K. (2011). Pre-treatment and preparation of textile materials prior to dyeing. In *Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes*.
- Siddiqua, U.H., Ali, S., Iqbal, M., Hussain, T. (2017). Relationship between structure and dyeing properties of reactive dyes for cotton dyeing. *Journal of Molecular Liquids*, 241, 839–844.

## Referências Bibliográficas

- Tzanov, T., Costa, S.A., Gübitz, G.M., Cavaco-Paulo, A. (2002). Hydrogen peroxide generation with immobilized glucose oxidase for textile bleaching. *Journal of Biotechnology*, 93(1), 87–94.
- Valdeperas-Morell, J., Carrillo-Navarrete, F. (2012). Colour fastness. *Understanding and Improving the Durability of Textiles*, 82–103.



## Anexos

### Anexo A – Caudais pré-definidos da Máquina de lavar

Na **Tabela A1** estão descritos os caudais definidos pela empresa, que prevaleciam aquando do início do projeto, para cada caixa de lavagem da ML, de acordo com os programas pré-estabelecidos em função do peso e da cor de cada artigo a lavar.

**Tabela A1.** Descrição dos caudais pré-definidos para cada caixa de lavagem de acordo com o programa a utilizar

Programa	Caixas				
	1	2	3	4	5
	Caudais (L/kg)				
<b>1</b>	8	8	4	2	1
<b>2</b>	4	3	3	1	1
<b>3</b>	6	4	5	1	1

O programa 1 foi elaborado para tecidos escuros, com peso superior a 600 g/m<sup>2</sup>. Já ao programa 2 recorria-se quando se tratava de tecidos claros e, por fim, o programa 3 era utilizado para tecidos escuros, neste caso com peso inferior a 600 g/m<sup>2</sup>.

Na **Tabela A2** encontram-se as temperaturas praticadas em cada caixa de lavagem da ML durante o processo de lavagem.

**Tabela A2.** Temperaturas praticadas em cada caixa de lavagem da ML

Caixas	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	70	70	90	70	70

## Anexo B – Dados obtidos em laboratório

Na **Tabela B1** estão apresentados os valores de  $DE^*$ , para os três iluminantes D65, TL80 e A, de duas cores distintas, C8 e E14. As várias amostras de cada cor foram sujeitas, individualmente, ao processo de lavagem laboratorial, sendo que para cada amostra se alterou um parâmetro adjacente ao processo laboratorial explanado na **Figura 10**.

**Tabela B1.** Valores de  $DE^*$  e respetiva tendência de cor para os diferentes processos de lavagem para as cores C8 e E14

Processo de Lavagem	Iluminante	C8		E14	
		$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência
A	D65	0,21	Clara mais verde mais azul	0,39	Escura mais verde mais azul
	TL80	0,21	Clara mais verde mais azul	0,36	Escura mais verde mais azul
	A	0,25	Clara mais verde mais azul	0,38	Escura mais verde mais azul
B	D65	0,11	Escura mais vermelho mais azul	0,32	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,10	Escura mais vermelho mais azul	0,34	Escura mais verde mais azul
	A	0,11	Clara mais verde mais azul	0,36	Escura mais verde mais azul
C	D65	0,52	Escura mais vermelho mais amarelo	0,54	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,54	Escura mais vermelho mais amarelo	0,6	Escura mais verde mais azul
	A	0,58	Escura mais vermelho mais amarelo	0,59	Escura mais verde mais azul
D	D65	0,31	Escura mais vermelho mais amarelo	0,45	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,27	Escura mais vermelho mais amarelo	0,48	Escura mais verde mais azul
	A	0,26	Escura mais vermelho mais amarelo	0,5	Escura mais verde mais azul
E	D65	0,15	Escura mais vermelho mais amarelo	0,68	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,13	Escura mais vermelho mais amarelo	0,73	Escura mais vermelha mais azul
	A	0,1	Escura mais vermelho mais amarelo	0,76	Escura mais verde mais azul
F	D65	0,11	Clara mais verde mais amarelo	0,32	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,14	Clara mais verde mais amarelo	0,32	Escura mais verde mais azul
	A	0,14	Clara mais verde mais azul	0,39	Escura mais verde mais azul
G	D65	0,12	Escura mais vermelho mais amarelo	0,44	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,08	Escura mais vermelho mais amarelo	0,45	Escura mais vermelha mais azul
	A	0,02	Escura mais vermelho mais amarelo	0,51	Escura mais verde mais azul
H	D65	0,56	Escura mais vermelho mais amarelo	0,76	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,55	Escura mais vermelho mais amarelo	0,79	Escura mais verde mais azul
	A	0,55	Escura mais vermelho mais amarelo	0,8	Escura mais verde mais azul
I	D65	0,69	Escura mais vermelho mais azul	0,65	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,7	Escura mais verde mais azul	0,72	Escura mais verde mais azul
	A	0,7	Escura mais vermelho mais azul	0,74	Escura mais verde mais azul
J	D65	0,63	Escura mais vermelho mais azul	0,59	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,62	Escura mais vermelho mais amarelo	0,64	Escura mais verde mais azul
	A	0,62	Escura mais vermelho mais amarelo	0,66	Escura mais verde mais azul

**Tabela B1.** Valores de  $DE^*$  e respetiva tendência de cor para os diferentes processos de lavagem para as cores C8 e E14 (Conclusão)

Processo de Lavagem	Iluminante	C8		E14	
		$DE^*$	Tendência	$DE^*$	Tendência
K	D65	0,49	Escura mais vermelho mais amarelo	0,4	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,49	Escura mais vermelho mais amarelo	0,35	Escura mais verde mais azul
	A	0,48	Escura mais vermelho mais amarelo	0,39	Escura mais verde mais azul
L	D65	0,58	Escura mais vermelho mais amarelo	0,86	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,55	Escura mais vermelho mais amarelo	0,9	Escura mais verde mais azul
	A	0,58	Escura mais vermelho mais amarelo	0,92	Escura mais verde mais azul
M	D65	0,65	Escura mais vermelho mais amarelo	0,72	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,64	Escura mais vermelho mais amarelo	0,82	Escura mais vermelha mais azul
	A	0,66	Escura mais vermelho mais amarelo	0,78	Escura mais verde mais azul
N	D65	0,7	Escura mais vermelho mais amarelo	0,52	Clara mais verde mais azul
	TL84	0,7	Escura mais vermelho mais amarelo	0,52	Clara mais verde mais azul
	A	0,69	Escura mais vermelho mais amarelo	0,55	Clara mais verde mais azul
O	D65	0,75	Escura mais vermelho mais amarelo	0,56	Escura mais verde mais azul
	TL84	0,75	Escura mais vermelho mais amarelo	0,6	Escura mais vermelha mais azul
	A	0,75	Escura mais vermelho mais amarelo	0,6	Escura mais verde mais azul

Na **Tabela B2** estão descritas as etapas do processo de lavagem laboratorial assim como o tempo previsto para cada uma em função de cada processo de lavagem.

**Tabela B2.** Esquemática das alterações efetuadas em cada etapa do processo de lavagem laboratorial

Processo de lavagem	Tempo (min)				
	Lavagem frio	Lavagem quente	Ensaboamento	Lavagem quente	Lavagem frio
A	1	1	5	1	1
B	2	1	5	1	1
C	1	2	5	1	1
D	3	1	5	1	1
E	1	3	5	1	1
F	1	1	8	1	1
G	1	1	10	1	1
H	1	1	5	2	1
I	1	1	5	1	2
J	1	1	5	3	1
K	1	1	5	1	3
L	1	1	5	0	2
M	2	0	5	1	1
N	0	2	5	1	1
O	1	1	5	2	0

## Anexo C – Dados obtidos em produção

No presente anexo estão apresentados os dados recolhidos da ML, durante o projeto. Ao longo das diferentes tabelas que compõem o Anexo C é de notar que para cada artigo se apresenta a respetiva cor e peso, assim como, a indicação do número de amostras de cada artigo, que diferem de acordo com o número total de metros que cada um é composto. Note-se que os dados estão divididos em cores claras e cores escuras e por ordem decrescente de peso, desta forma, a sequência de dados não está apresentada pela ordem em que a lavagem ocorreu.

Assim, na **Tabela C1** e **C2** estão apresentados os dados recolhidos da ML para cores claras e cores escuras, respetivamente, tal como os caudais e pH das caixas de lavagem que vigoravam no momento em que as amostras foram retiradas, bem como, o respetivo valor de pH que estas apresentaram.

Já na **Tabela C3** e **C4** também se encontram explanados os dados recolhidos para cores claras e escuras, respetivamente, assim como os parâmetros de lavagem praticados no momento em que a amostra foi retirada. Porém, este conjunto de dados diz respeito aquando da estabilização do processo em que se colocou o valor do pH do potenciômetro da ML em 3,0 e os caudais de água de lavagem de acordo com a **Tabela 12**.

**Tabela C1.** Valores de pH final do tecido e respectivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra em cores clara

Artigo	Cor	Peso (g/m <sup>2</sup> )	Valor de pH no potenciômetro	Caudal (L/Kg)					pH					Tecido
				Caixa					Caixa					
				1	2	3	4	5	0	1	2	4	5	
Mudança de águas														
1	C1	255	2,6	9	3	3	1	1	11,1	10,2	8,7	4,9	3,2	8,6
Mudança de águas														
2 (1 <sup>a</sup> Amostra)	C1	255	2,6	4	3	3	1	5	11	10	8,1	3,9	2,7	7,7
2 (2 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	4	3	3	1	7	10,9	10,1	7,8	3,5	2,6	6,6
2 (3 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	4	3	3	1	7	11,4	11,2	10,5	4,7	3	6,3
3 (1 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	4	-	-	-	4,4	3,2	5,2
3 (2 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	3	-	-	-	4,2	3,5	5,5
3 (3 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	3	11,6	11,3	10,6	4,4	3,4	5,5
4 (1 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	3	-	-	-	4,5	3,5	6,1
4 (2 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	3	-	-	-	4,2	3,2	6,6
4 (3 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	3	11,1	11	10,5	4,7	3,2	5,7
5 (1 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	3	-	-	-	4,9	4	5,9
5 (2 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	3	-	-	-	4,5	3,4	6,6
5 (3 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	3	11,2	10,9	10,4	4,3	3	5,9
6 (1 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	3	-	-	-	4,5	3,3	5,1
6 (2 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	3	-	-	-	4,7	3,5	5,5
6 (3 <sup>a</sup> Amostra)		255	2,6	2	3	3	1	3	11,1	10,2	8,7	4,9	3,2	6
7	C2	285	2,2	6	4	5	1	10	10,5	10	8,8	4,7	3,4	5,7

- Não foram retiradas amostras de água

Anexos

**Tabela C1.** Valores de pH final do tecido e respetivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra em cores clara (Continuação)

Artigo	Cor	Peso (g/m <sup>2</sup> )	Valor de pH no potenciómetro	Caudal (L/Kg)					pH					Tecido
				Caixa					Caixa					
				1	2	3	4	5	0	1	2	4	5	
8 (1ª Amostra)	C3	285	2,2	6	4	5	1	10	10,7	10,2	9,8	4,4	3,3	8,5
8 (2ª Amostra)		285	2,2	6	4	5	1	10	10,6	9,9	9,2	4,3	3,3	7,5
8 (3ª Amostra)		285	2,2	6	4	5	1	10	8,1	6,3	5,1	3,7	3,1	5,8
9	C5	285	2,2	6	4	5	1	8	10,7	10	8,8	4,4	3,2	6,1
<b>Mudança de águas</b>														
10 (1ª Amostra)	C4	285	2,2	6	4	5	1	10	10,6	10,1	9,7	6,1	3,7	8,7
10 (2ª Amostra)		285	2,2	6	4	5	1	10	10,4	9,9	9,3	4,4	3,4	8,0
11 (1ª Amostra)	C3	285	2,2	6	4	5	1	10	10,3	9,4	7,8	4,4	3,5	8,2
11 (2ª Amostra)		285	2,2	6	4	5	1	10	-	-	-	-	3,2	8,5
11 (3ª Amostra)		285	2,2	6	4	5	1	10	10,2	9,6	8,9	4,5	3,4	8,4
12		285	2,2	6	4	5	6	12	10,3	9,7	9,2	4,5	3,4	8,5
13 (1ª Amostra)	C4	285	2,2	6	4	5	1	10	10,7	10,3	9,6	4,3	3,5	8,5
13 (2ª Amostra)		285	2,2	6	4	5	1	10	10,6	10,2	9,7	4,3	3,5	8,0
13 (3ª Amostra)		285	2,2	6	4	5	1	10	10,6	10,3	9,6	4,3	3,4	8,0
14 (1ª Amostra)		285	2,2	6	4	5	1	10	8,1	7,4	5,5	3,9	3,4	4,9
14 (2ª Amostra)		285	2,2	6	4	5	1	10	9,8	9,1	6,6	3,9	3,3	6,2
14 (3ª Amostra)	285	2,2	6	4	5	1	10	10	9,2	6,9	4	3,4	8,5	
<b>Mudança de águas</b>														

- Não foram retiradas amostras de água

**Tabela C1.** Valores de pH final do tecido e respetivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra em cores clara (Continuação)

Artigo	Cor	Peso (g/m <sup>2</sup> )	Valor de pH no potenciômetro	Caudal (L/Kg)					pH					Tecido
				Caixa					Caixa					
				1	2	3	4	5	0	1	2	4	5	
15	C3	285	2,2	4	3	3	1	10	10,4	9,9	9,7	5,4	3,6	8,8
16 (1 <sup>a</sup> Amostra)	C6	287	2,2	4	3	3	1	10	10,7	10,5	10,1	4	2,7	6,1
16 (2 <sup>a</sup> Amostra)		287	2,2	4	3	3	1	10	10,1	8,9	5,4	3,3	3,1	6
16 (3 <sup>a</sup> Amostra)		287	2,2	4	3	3	1	8	9,9	8,1	5	3,4	3,2	6,4
17		287	2,2	6	4	5	1	10	11	10,7	10,2	4,7	3,6	7,2
18		287	2,2	6	4	5	1	8	10,8	10,2	6,8	3,9	3,2	6,4
19		287	2,2	6	4	5	1	6	10,6	10	6,6	4	3,2	6,1
20		287	2,2	6	4	5	5	3	10,6	10	8,1	5,4	3,6	7,4
21		287	2,2	6	4	5	5	3	10,7	10,2	7,2	4,3	3,6	7,2
22		287	2,2	6	4	5	5	3	10,7	10,2	7,2	4,3	3,6	6,9
23		287	2,2	6	4	5	1	8	10,4	9,5	6	4,6	3,7	7,1
24 (1 <sup>a</sup> Amostra)	C7	320	3,6	4	3	3	1	1	11,3	10,9	10,3	9,7	4,3	8,5
24 (2 <sup>a</sup> Amostra)		320	3,6	4	3	3	3	1	11	10,6	9,8	8	4,3	8,8
24 (3 <sup>a</sup> Amostra)		320	3,6	4	3	3	3	3	11,1	10,4	9,7	8,2	4,1	7,5
<b>Mudança de águas</b>														
25 (1 <sup>a</sup> Amostra)	C8	369	3,6	4	3	3	1	1	11,1	10,7	10,5	8,8	4,4	9,2
25 (2 <sup>a</sup> Amostra)		369	3,6	4	3	3	2	1	11	10,6	10,4	9,5	4,2	8,2
25 (3 <sup>a</sup> Amostra)		369	3,6	4	3	3	3	1	-	-	-	9,7	4,1	9,2
25 (4 <sup>a</sup> Amostra)		369	3,6	4	3	3	4	1	-	-	-	9,5	4,1	7,8

- Não foram retiradas amostras de água

Anexos

**Tabela C1.** Valores de pH final do tecido e respectivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra em cores claras (Conclusão)

Artigo	Cor	Peso (g/m <sup>2</sup> )	Valor de pH no potenciômetro	Caudal (L/kg)					pH					Tecido
				Caixa					Caixa					
				1	2	3	4	5	0	1	2	4	5	
26 (1ª Amostra)	C8	369	3,6	4	3	3	4	1	11,1	10,9	10,7	9,3	3,9	8,3
26 (2ª Amostra)		369	3,6	4	3	3	4	1	11	10,8	10,6	9,1	4,2	7,3
27	C9	470	3,6	4	3	3	1	4	11,8	11,4	10,9	6,8	4,6	8,6

- Não foram retiradas amostras de água



**Tabela C2.** Valores de pH final do tecido e respetivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra, em cores escuras

Artigo	Cor	Peso (g/m <sup>2</sup> )	Valor de pH no potenciómetro	Caudal (L/Kg)					pH					Tecido
				Caixa					Caixa					
				1	2	3	4	5	0	1	2	4	5	
28	E1	465	3,6	4	3	3	3	3	10,7	10,4	9,9	7,3	4,3	7,5
29 (1ª Amostra)	E2	450	3,6	4	3	3	1	1	10,8	10,5	10	8,8	4,5	8,7
29 (2ª Amostra)		450	3,6	4	3	3	1	1	11,0	10,7	10,4	9,4	4,2	8,0
29 (3ª Amostra)		450	3,6	4	3	3	1	1	11,0	10,7	10,4	9,7	4,3	7,9
30	E3	440	3,6	4	3	3	1	1	10,9	10,8	10,5	8,9	4,5	7,1
31	E4	434	3,6	6	4	5	1	1	11,3	11,1	10,8	10,4	5,0	8,5
32 (1ª Amostra)		434	3,6	6	4	5	1	1	10,5	10,3	10,0	7,5	4,2	9,3
32 (2ª Amostra)		434	3,6	6	4	5	10	10	10,7	10,5	10,2	6,6	4,1	8,6
32 (3ª Amostra)		434	3,6	6	4	5	10	10	10,7	10,3	9,6	5,7	4,2	8,4
33	E5	405	3,6	4	3	3	1	1	11,4	11,1	10,1	8,8	5,0	6,6
34	E6	380	3,6	6	4	5	1	1	10,5	10,0	9,5	6,8	4,4	8,8
35	E7	369	3,6	4	3	3	1	1	10,5	10,3	9,8	6,1	4,3	6,5
36		369	3,6	4	3	3	1	1	10,9	10,3	9,7	6,4	4,5	6,8
37 (1ª Amostra)		369	3,6	6	4	5	1	1	11,7	11,4	11,0	9,9	4,2	7,5
37 (2ª Amostra)		369	3,6	6	4	5	1	1	-	-	-	9,29	4,3	7,8
38 (1ª Amostra)		369	3,6	6	4	5	1	1	11,5	11,4	11,2	9,3	4,4	7,0
38 (2ª Amostra)		369	3,6	6	4	5	1	1	-	-	-	9,3	4,2	6,8
39		369	3,6	6	4	5	1	1	11,2	11,1	10,3	7,6	4,3	7,2
40 (1ª Amostra)		E8	350	3,6	6	4	5	1	1	10,5	10,2	9,6	8,5	5,5

- Não foram retiradas amostras de água

Anexos

**Tabela C2.** Valores de pH final do tecido e respectivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra, em cores escuras (Continuação)

Artigo	Cor	Peso (g/m <sup>2</sup> )	Valor de pH no potenciômetro	Caudal (L/kg)					pH					Tecido
				Caixa					Caixa					
				1	2	3	4	5	0	1	2	4	5	
40 (2 <sup>a</sup> Amostra)	E8	350	3,6	6	4	5	1	10	10,8	10,3	10,1	9,3	6,0	8,8
40 (3 <sup>a</sup> Amostra)		350	2,6	6	4	5	1	10	11,1	10,2	9,8	7,0	4,9	8,2
41		350	2,6	6	4	5	3	10	11,1	10,3	9,8	7,9	4,5	6,8
42 (1 <sup>a</sup> Amostra)		350	2,6	6	4	5	3	10	11,1	10,1	9,6	6,2	4,7	8,9
42 (2 <sup>a</sup> Amostra)		350	2,6	6	4	5	3	10	11,0	10,1	9,5	6,0	4,5	8,6
42 (3 <sup>a</sup> Amostra)		350	2,6	6	4	5	3	3	11,1	10,3	9,7	5,9	4,6	8,3
43		350	2,6	6	4	5	3	3	10,7	10,3	9,6	6,1	4,2	7,5
<b>Mudança de águas</b>														
44 (1 <sup>a</sup> Amostra)	E8	350	2,6	6	4	5	3	3	10,5	9,7	8,9	6,6	5,6	8,9
44 (2 <sup>a</sup> Amostra)		350	2,6	6	4	5	2	3	-	-	-	6,1	5,8	9,0
44 (3 <sup>a</sup> Amostra)		350	2,6	6	4	5	2	3	10,4	9,8	9,0	6,5	5,5	8,7
45	E9	250	3,6	6	4	5	3	1	11,1	10,8	10,4	9,7	4,1	7,7
46	E10	250	3,6	6	4	5	3	1	11,0	10,7	10,4	9,7	4,0	8,5
<b>Mudança de águas</b>														
47 (1 <sup>a</sup> Amostra)	E11	244	3,6	6	4	5	1	2	-	-	-	-	-	8,1
47 (2 <sup>a</sup> Amostra)		244	3,6	6	4	5	1	2	11,7	11,3	10,6	9,5	4,7	8,7
47 (3 <sup>a</sup> Amostra)		244	3,6	6	4	5	3	1	-	-	-	9,9	4,1	8,2
48 (1 <sup>a</sup> Amostra)	E12	230	3,6	6	4	5	1	5	11,3	10,9	10,2	6,3	4,4	8,5
48 (2 <sup>a</sup> Amostra)		230	3,6	6	4	5	1	5	11,0	10,5	10,0	6,1	4,1	7,5

- Não foram retiradas amostras de água

**Tabela C2.** Valores de pH final do tecido e respetivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra, em cores escuras (Conclusão)

Artigo	Cor	Peso (g/m <sup>2</sup> )	Valor de pH no potenciômetro	Caudal (L/kg)					pH					Tecido
				Caixa					Caixa					
				1	2	3	4	5	0	1	2	4	5	
48 (3 <sup>a</sup> Amostra)	E12	230	3,6	6	4	5	1	5	11,1	10,3	10,1	5,8	4,2	7,4
49	E13	210	2,2	6	4	5	1	10	10,6	9,8	6,4	4,2	3,4	6,6
50		210	2,2	6	4	5	1	10	10,0	9,3	6,6	4,2	3,5	7,0
51 (1 <sup>a</sup> Amostra)		210	2,2	6	4	5	1	10	9,6	7,7	5,2	3,1	3,0	6,0
52		210	2,2	6	4	5	1	10	9,6	8,6	5,9	3,5	3,1	6,3
53 (1 <sup>a</sup> Amostra)		210	2,2	6	4	5	1	10	10,6	10,4	9,9	5,1	3,2	6,4
53 (1 <sup>a</sup> Amostra)	E13	210	2,2	6	4	5	1	10	10,6	10,4	9,9	5,1	3,2	6,4
53 (2 <sup>a</sup> Amostra)		210	2,2	6	4	5	1	5	10,6	10,4	9,9	4,8	3,1	5,8
53 (3 <sup>a</sup> Amostra)		210	2,2	6	4	5	1	10	10,3	10,2	9,7	4,2	3,2	6,0
54 (1 <sup>a</sup> Amostra)	E14	200	3,6	6	4	5	3	1	10,7	10,5	10,2	9,6	4,1	7,7
54 (2 <sup>a</sup> Amostra)		200	3,6	6	4	5	2	1	10,6	10,3	9,9	9,1	4,3	7,6
55 (1 <sup>a</sup> Amostra)		200	3,6	6	4	5	2	1	10,6	10,4	9,7	9,3	4,9	8,4
55 (2 <sup>a</sup> Amostra)		200	3,6	6	4	5	3	1	10,7	10,3	9,9	9,4	4,6	8,8
55 (3 <sup>a</sup> Amostra)		200	3,6	6	4	5	3	3	10,7	10,4	10,1	9,3	4,3	7,7

- Não foram retiradas amostras de água

Anexos

**Tabela C3.** Valores de pH final do tecido e respetivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra, em cores claras

Artigo	Cor	Peso (g/m <sup>2</sup> )	Valor de pH no potenciómetro	Caudal (L/Kg)					pH					Tecido
				Caixa					Caixa					
				1	2	3	4	5	0	1	2	4	5	
56 (1ªAmostra)	C10	490	3	3	2	2	1	5	11,0	10,4	9,8	-	-	7,8
56 (2ªAmostra)		490	3	3	2	2	1	5	-	-	-	-	-	7,4
56 (3ªAmostra)		490	3	3	2	2	1	5	-	-	-	-	-	7,2
<b>Mudança de águas</b>														
57	C11	440	3	3	2	2	1	5	10,9	10,5	9,7	4,2	3,1	6,6
<b>Mudança de águas</b>														
58 (1ªAmostra)	C12	410	3	3	2	2	1	5	10,8	10,3	9,7	4,0	3,6	7,8
58 (2ªAmostra)		410	3	3	2	2	1	5	11,1	10,6	9,9	4,2	3,4	7,7
58 (3ªAmostra)		410	3	3	2	2	1	5	10,6	10,1	9,8	4,0	3,2	7,4
59 (1ªAmostra)		410	3	3	2	2	1	5	10,7	10,5	9,7	4,1	3,1	7,4
59 (2ªAmostra)		410	3	3	2	2	1	5	10,6	10,3	9,8	3,9	3,3	7,4
60 (1ªAmostra)	C13	400	3	3	2	2	1	5	10,6	10,3	9,6	5,4	4,1	6,9
60 (2ªAmostra)		400	3	3	2	2	1	5	10,4	10,1	9,4	5,2	3,8	6,9
61	C14	379	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,2	3,2	6,8
<b>Mudança de águas</b>														
62	C15	358	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,0	3,2	7,3
63 (1ªAmostra)	C16	358	3	3	2	2	1	5	10,8	10,5	9,9	4,0	3,3	7,5
63 (2ªAmostra)		358	3	3	2	2	1	5	11,1	10,4	9,6	4,1	3,5	7,2
63 (3ªAmostra)		358	3	3	2	2	1	5	10,6	10,2	9,6	4,0	3,2	6,9

- Não foram retiradas amostras de água

**Tabela C4.** Valores de pH final do tecido e respetivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra, em cores escuras

Artigo	Cor	Peso (g/m <sup>2</sup> )	Valor de pH no potenciômetro	Caudal (L/Kg)					pH					Tecido
				Caixa					Caixa					
				1	2	3	4	5	0	1	2	4	5	
64	E15	580	3	3	2	2	1	5	11,7	10,1	9,1	4,7	4,1	7,4
65	E16	521	3	3	2	2	1	5	-	-	-	-	-	7,3
66	E17	483	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,0	3,0	6,2
67	E18	452	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,1	3,1	7,4
68	E19	429	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,1	3,2	6,2
69	E20	405	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,2	3,1	6,4
70 (1 <sup>a</sup> Amostra)	E21	375	3	3	2	2	1	5	10,7	10,3	9,7	4,0	3,1	8,1
70 (2 <sup>a</sup> Amostra)		375	3	3	2	2	1	5	10,6	10,4	9,6	4,2	3,2	7,6
71 (1 <sup>a</sup> Amostra)	E22	358	3	3	2	2	1	5	-	-	-	-	-	7,3
72 (1 <sup>a</sup> Amostra)	E23	350	3	3	2	2	1	5	11,2	10,6	9,8	4,1	3,3	7,4
72 (2 <sup>a</sup> Amostra)		350	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,0	3,3	7,3
73 (1 <sup>a</sup> Amostra)	E24	332	3	3	2	2	1	5	10,9	10,7	9,8	4,3	3,5	6,4
73 (2 <sup>a</sup> Amostra)		332	3	3	2	2	1	5	-	-	-	-	-	6,5
81 (1 <sup>a</sup> Amostra)	E25	235	3	3	2	2	1	5	11,0	10,4	9,4	5,0	3,6	6,7
81 (2 <sup>a</sup> Amostra)		235	3	3	2	2	1	5	-	-	-	-	-	6,6
82 (1 <sup>a</sup> Amostra)	E26	195	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,0	3,0	6,5
82 (2 <sup>a</sup> Amostra)		195	3	3	2	2	1	5	-	-	-	3,9	3,0	6,8
82 (3 <sup>a</sup> Amostra)		195	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,0	3,1	7
82 (4 <sup>a</sup> Amostra)		195	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,1	3,2	7,2

- Não foram retiradas amostras de água

Anexos

**Tabela C4.** Valores de pH final do tecido e respetivos parâmetros obtidos da ML no momento de retirada a amostra, em cores escuras (Conclusão)

Artigo	Cor	Peso (g/m <sup>2</sup> )	Valor de pH no potenciómetro	Caudal (L/Kg)					pH					
				Caixas					Caixas					Tecido
				1	2	3	4	5	0	1	2	4	5	
83 (1ªAmostra)	E26	195	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,1	3,2	7
83 (2ªAmostra)		195	3	3	2	2	1	5	-	-	-	-	-	6,8
84 (1ªAmostra)		195	3	3	2	2	1	5	10,7	10,4	9,6	3,9	3,1	7
84 (2ªAmostra)		195	3	3	2	2	1	5	-	-	-	3,9	3,0	6,8
84 (3ªAmostra)		195	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,0	3,0	6,7
85	E27	180	3	3	2	2	1	5	-	-	-	4,0	3,2	6,1

- Não foram retiradas amostras de água