



# Desenvolvimento e testagem de uma base de dados de pigmentos para formulações de cor

CATARINA DA CUNHA SOUSA

Julho de 2022

# Desenvolvimento e testagem de uma base de dados de pigmentos para formulações de cor

**Autor:**

Catarina da Cunha Sousa

**Orientadores:**

Jessica Rocha (Empresa)

Paulo Silva (ISEP)

Dissertação Submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Química, área de especialização: Qualidade



Julho de 2022



# Agradecimentos

À TMG Automotive e seus administradores, pela oportunidade de realização do projeto curricular na empresa e pelo apoio financeiro disponibilizado.

Ao Doutor César Águia, diretor do departamento IDI, pela oportunidade de realizar o estágio numa empresa de prestígio, pela ajuda, acompanhamento e conselhos ao longo do processo.

À Engenheira Helena, coordenadora do Laboratório de Cores, pela preocupação e prontidão demonstradas.

À minha orientadora na empresa, Jessica Rocha, pelo apoio e dedicação com que sempre encarou este projeto mesmo quando os resultados não eram os pretendidos e, essencialmente, pela sua amizade.

Ao José Luís Lamego (TMG Automotive), pelo acompanhamento e disponibilidade de resposta para as minhas dúvidas diárias.

À Marisa Matos (TMG Automotive), agradeço toda a ajuda na execução das amostras, a simpatia, os conselhos e a amizade.

A todos os funcionários da TMG Automotive que de algum modo contribuíram para este trabalho, principalmente, aos meus colegas de trabalho: Ana Margarida, Ana Sequeira, André Silva, André Vale, Adriana, Catarina, Filipa Andrade, Filipa Veloso, Luís e Tiago, pelo acolhimento e pela colaboração no trabalho desenvolvido.

Ao meu orientador do Instituto Superior de Engenharia do Porto, Doutor Paulo Silva, agradeço o tempo disponibilizado, as orientações fornecidas e todo o conhecimento que me transmitiu durante esta jornada.

Aos meus pais, Carla Cunha e Eduardo Silva, e à restante família, por todo o amor e apoio durante a minha vida e pela oportunidade de poder frequentar o ensino superior.

Aos meus amigos, em especial à Lara Silva e à Mariana Babo, pelo apoio incondicional nos momentos mais difíceis.

A todos, o meu muito obrigado.



## Resumo

O setor automóvel é um dos mais competitivos e tem a obrigação de cumprir requisitos exigentes, ao nível da cor e do metamerismo dos artigos.

A presente dissertação foi realizada na empresa TMG Automotive e teve como objetivo a criação e testagem de uma base de dados de pigmentos para formulações de cor. A pesquisa de informação sobre o funcionamento *software* representou a etapa inicial do trabalho, que foi fundamental para o desenvolvimento do mesmo.

Para criar a base de dados colorimétrica foi necessária a produção de amostras de PVC com diferentes concentrações dos diversos pigmentos existentes e, posteriormente, procedeu-se à introdução dos dados espectrais obtidos pela leitura desses filmes.

De seguida, para testar a funcionalidade da base de dados melhoraram-se receitas de cor já existentes, criaram-se novas formulações de cor e auxiliaram-se os acertos da produção corrente. A partir da base de dados criada, o *software* permitiu, de um modo geral, obter formulações dentro das especificações impostas, com custo um aceitável e uma opacidade suficiente.

No futuro, sugere-se a continuidade do estudo para a resolução das limitações encontradas e conseqüente melhoria do desempenho da base de dados criada. Para além disso, aconselha-se a criação e testagem de uma base de dados semelhante para tintas aplicadas em lacas, que possa auxiliar os acertos na etapa de lacagem.

Com o trabalho desenvolvido a empresa pode economizar consideravelmente o tempo e os recursos investidos na formulação e nas correções das cores dos artigos produzidos, que antes da base de dados existir eram realizadas por tentativas. Por outro lado, o desperdício será reduzido significativamente, o que provoca um aumento do rendimento da empresa.

**Palavras-chave:** base de dados, pigmentos, PVC, metamerismo, custo, opacidade.



# Abstract

The automotive industry is one of the most competitive sectors worldwide and has the need to meet demanding requirements regarding the colour and metamerism of the finished materials.

The present thesis was realized at TMG Automotive company and aimed to create and test a database of pigments for colour formulations. The search for information about the functioning of the software represented the initial step of the work which was fundamental for all development.

To create the colorimetric database, it was necessary to produce PVC samples with different concentrations of existing pigments and after that these films were measured and all the colour information was saved.

Then, to test the functionality of the database, existing colour recipes were improved, new colour formulations were created, and colour adjustments for the current production were made. Overall, with the database created, the software made it possible to obtain formulations within the imposed specifications, with sufficient opacity and acceptable cost.

As a future work, the continuity of the study to solve the limitations found in the created database is suggested. In addition, it is advisable to create and test a similar database for inks (pigment applied to lacquers), which can help with adjustments in lacquering.

With the work developed, the company can considerably save the time and resources invested in the study of formulations and colour adjustments of the materials produced, which, before the existence of the database, were carried out by work experience and trials. On the other hand, waste will be significantly reduced, which leads to an increase in the company's income.

**Keywords:** database, pigments, PVC, metamerism, cost, opacity.



# Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Estrutura do relatório .....	2
2. Descrição da empresa .....	5
2.1. Grupo TMG.....	5
2.2. TMG Automotive .....	6
2.2.1. Descrição do processo produtivo.....	8
3. Estado da arte .....	13
3.1. Pigmentos.....	13
3.1.1. Propriedades e características dos pigmentos .....	14
3.1.2. Dispersão e estabilização dos pigmentos .....	17
3.1.3. Comportamento dos pigmentos.....	20
3.2. Cor e colorimetria .....	22
3.2.1. Coordenadas de cor.....	24
3.2.2. Espaço de cor CIELAB.....	25
3.3. Espectrofotometria de cor .....	27
3.3.1. Geometria de medição dos espectrofotômetros de cor.....	28
3.4. Química e propriedades dos polímeros.....	30
3.4.1. Materiais de policloreto de vinilo.....	31
4. Materiais e métodos .....	35
4.1. Pastas de PVC.....	37
4.2. Empastados.....	37
4.2.1. Empastados em estudo.....	39
4.3. Pastas pigmentadas .....	41

4.4.	Condições de medição .....	42
4.5.	Criação da base de dados .....	43
5.	Testagem da base de dados .....	47
5.1.	Melhorias de formulações de cor.....	48
5.1.1.	Receita de cor 3390A.....	49
5.1.2.	Receita de cor 4009B.....	52
5.1.3.	Receita de cor 4969A.....	54
5.1.4.	Receita de cor 4981A.....	57
5.2.	Criação de formulações de cor .....	59
5.2.1.	Receita de cor 7552A.....	60
5.2.2.	Receita de cor 7128A.....	61
5.3.	Acertos de formulações de cor .....	63
5.3.1.	Receita de cor 3720A.....	64
5.3.2.	Receita de cor 4580A.....	65
5.4.	Limitações da base de dados .....	66
6.	Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.....	67
	Bibliografia.....	71
	Anexos.....	75
	Anexo A – Substrato de calibração por defeito .....	75
	Anexo B – Criação de um ficheiro de pigmentos .....	76
	Anexo C – Criação de um pigmento no ficheiro.....	77
	Anexo D – Lista dos empastados estabilizados .....	79
	Anexo E – Folha de controlo estético.....	80
	Anexo F – Procedimento para a medição da transmitância de um filme flexível de PVC. .....	81

## Índice de figuras

Figura 2. 1 – Localização da TMG Automotive 1 (Auto 1).....	7
Figura 2. 2 – Certificações da TMG Automotive [2].....	8
Figura 2. 3 – Parceiros da TMG Automotive [3].....	8
Figura 2. 4 – Aplicações de interior de automóveis de PVC, TPO/TPE e PUR/TPU [6].	9
Figura 2. 5 – Estrutura das camadas que um couro artificial produzido na TMG Automotive contém [6].	9
Figura 2. 6 – Fluxograma do processo produtivo desenvolvido na TMG Automotive (adaptado de [6]).	10
Figura 3. 1 – Influência da dimensão das partículas nas propriedades dos pigmentos [9].	15
Figura 3. 2 – Tamanho das partículas dos pigmentos [6].	16
Figura 3. 3 – Ilustração das morfologias assumidas pelas partículas de pigmentos, em que: (a) partícula primária; (b) agregado de partículas; (c) aglomerados de partículas [10].	16
Figura 3. 4 – Fenómenos de dispersão e floculação [11].	17
Figura 3. 5 – Etapas associadas à dispersão e estabilização dos pigmentos [6].	17
Figura 3. 6 – Gammas de trabalho dos equipamentos de dispersão [6].	18
Figura 3. 7 – Mecanismos de estabilização por repulsão electrostática e por impedimento estérico (adaptado de [11]).	19
Figura 3. 8 – Ilustração do fenómeno de metamerismo, em função da fonte de luz/iluminante [17].	21
Figura 3. 9 – Cores do espectro visível e respetivos comprimentos de ondas (nm).	22
Figura 3. 10 – Ilustração simplificada da teoria de Kubelka-Munk [24].	23
Figura 3. 11 – Significado geométrico das coordenadas colorimétricas ( $L^*$ $a^*$ $b^*$ e $L^*$ $C^*$ $H^*$ ) [31].	26
Figura 3. 12 – Funcionamento de um espectrofotómetro de cor [34].	28
Figura 3. 13 – Método <i>Specular Component Excluded</i> (SCE) para medição da cor [36].	29
Figura 3. 14 – Método <i>Specular Component Included</i> (SCI) para medição da cor [36].	29
Figura 3. 15 – Geometrias de medição de cor $45^\circ/0^\circ$ e $0^\circ/45^\circ$ e $45^\circ/0^\circ$ circunferencial [34].	30

Figura 3. 16 – Cloreto de vinilo e policloreto de vinilo [38].....	31
Figura 4. 1 – Esquemática do processo de formação de um filme flexível de PVC. 35	
Figura 4. 2 – Procedimento para a produção de pastas de PVC.....	37
Figura 4. 3 – Procedimento para a produção de empastados. ....	38
Figura 4. 4 – Equipamentos de dispersão utilizados na produção de empastados [6]. ...	38
Figura 4. 5 – Valores da absorção (K) em função do comprimento de onda, para cada amostra lida do empastado 5PG004150.....	45
Figura 4. 6 – Valores da dispersão (S) em função do comprimento de onda, para cada amostra lida do empastado 5PG004150.....	46
Figura 4. 7 – Percentagem de refletância (%R) em função do comprimento de onda, para cada amostra lida do empastado 5PG004150.....	46
Figura 5. 1 – Transmitância do artigo 3390A em função do comprimento de onda, das receitas desenvolvidas pela produção e pelo software depois da introdução dos novos empastados (5PG003120, 5PG004182 e 5PG004191) na base de dados. ....	51
Figura 5. 2 – Transmitância do artigo 4009B em função do comprimento de onda, das receitas desenvolvidas pela produção e pelo software.....	54
Figura 5. 3 – Transmitância do artigo 4969A em função do comprimento de onda, das receitas desenvolvidas pela produção e pelo software.....	56
Figura 5. 4 – Transmitância do artigo 4981A em função do comprimento de onda, das receitas desenvolvidas pela produção e pelo software.....	59
Figura 5. 5 – Transmitância do artigo 7552A produzido com a ajuda do software, em função do comprimento de onda.....	61
Figura 5. 6 – Transmitância do artigo 7128A produzido com a ajuda do software, em função do comprimento de onda.....	62
Figura A. 1 – Substrato de calibração por defeito, denominado por Leneta.....	75
Figura B. 1 – Procedimento a seguir para a criação de um ficheiro de pigmentos no Set Maintenance. ....	76
Figura C. 1 – Procedimento a seguir para a criação de um pigmento no ficheiro gerado. ....	77
Figura F. 1 – Procedimento para a medição da transmitância de um filme flexível de PVC. ....	81

## Índice de tabelas

Tabela 2. 1 – Ordem cronológica dos marcos do Grupo TMG [1].....	5
Tabela 3. 1 – Principais aditivos e respectivos efeitos nos materiais de PVC [6].....	32
Tabela 4. 1 – Equipamentos e materiais utilizados nas metodologias empregues no Laboratório de Cores da TMG Automotiva. ....	36
Tabela 4. 2 – Lista dos pigmentos estudados e respetivo <i>color index</i> (CI).....	40
Tabela 4. 3 – Massas medidas para a execução dos cortes nos empastados estudados. .	41
Tabela 4. 4 – Massas medidas para a execução dos cortes nas pastas de PVC estudadas. ....	42
Tabela 5. 1 – Receita da cor 3390A, formulada pela produção.....	49
Tabela 5. 2 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 3390A, indicados pela produção. ....	49
Tabela 5. 3 – Resultados obtidos pela produção, relativos à receita da cor 3390A (sem os empastados 5PG003120, 5PG004182 e 5PG004191). ....	50
Tabela 5. 4 – Receita da cor 3390A, fornecida pelo software (sem os empastados 5PG003120, 5PG004182 e 5PG004191). ....	50
Tabela 5. 5 – Resultados obtidos da receita da cor 3390A, fornecida pelo software (sem os empastados 5PG003120, 5PG004182 e 5PG004191). ....	50
Tabela 5. 6 – Receita da cor 3390A, fornecida pelo software (com os novos empastados 5PG004182 e 5PG004191).....	51
Tabela 5. 7 – Resultados obtidos da receita da cor 3390A, fornecida pelo software (com os novos empastados 5PG004182 e 5PG004191). ....	51
Tabela 5. 8 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 4009B, indicados pela produção. ....	52
Tabela 5. 9 – Receita da cor 4009B, formulada pela produção.....	52
Tabela 5. 10 – Resultados obtidos pela produção, relativos à receita da cor 4009B. ....	53
Tabela 5. 11 – Receita da cor 4009B, fornecida pelo software.....	53
Tabela 5. 12 – Resultados obtidos da receita da cor 4009B, fornecida pelo software....	53
Tabela 5. 13 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 4969A, indicados pela produção. ....	55
Tabela 5. 14 – Receita da cor 4969A, formulada pela produção.....	55
Tabela 5. 15 – Resultados obtidos pela produção, relativos à receita da cor 4969A. ....	55

Tabela 5. 16 – Receita da cor 4969A, fornecida pelo software.....	56
Tabela 5. 17 – Resultados obtidos da receita da cor 4969B, fornecida pelo software....	56
Tabela 5. 18 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 4981A, indicados pela produção. ....	57
Tabela 5. 19 – Receita da cor 4981A, formulada pela produção.....	57
Tabela 5. 20 – Resultados obtidos pela produção, relativos à receita da cor 4981A.....	58
Tabela 5. 21 – Receita da cor 4981A, fornecida pelo software.....	58
Tabela 5. 22 – Resultados obtidos da receita da cor 4981B, fornecida pelo software....	58
Tabela 5. 23 – Resultados que se pretendem obter nos estudos iniciais para a criação de uma formulação de cor.....	60
Tabela 5. 24 – Receita da cor 7552A, fornecida pelo software.....	60
Tabela 5. 25 – Resultados obtidos da receita da cor 7552A, fornecida pelo software. ..	60
Tabela 5. 26 – Receita da cor 7128A, fornecida pelo software.....	62
Tabela 5. 27 – Resultados obtidos da receita da cor 7128A, fornecida pelo software. ..	62
Tabela 5. 28 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 3720A, indicados pela produção. ....	64
Tabela 5. 29 – Receita da cor 3720A, formulada pela produção.....	64
Tabela 5. 30 – Resultados obtidos, pela produção corrente e pelo recurso ao software, relativos à cor 3720A. ....	64
Tabela 5. 31 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 4580A, indicados pela produção. ....	65
Tabela 5. 32 – Receita da cor 4580A, formulada pela produção.....	65
Tabela 5. 33 – Resultados obtidos, pela produção corrente e pelo recurso ao software, relativos à cor 4580A. ....	66
Tabela C. 1 – Método de calibração a definir para cada produto.....	78
Tabela D. 1 – Lista dos empastados estabilizados.....	79
Tabela E. 1 – Exemplo de ficha de controlo estético.....	80

# Nomenclatura

$a^*$  – conteúdo de vermelho a verde

$b^*$  – conteúdo de amarelo a azul

$C^*$  – croma

$\coth bSx$  – Cotangente hiperbólica de  $bSx$

$dx$  – Espessura da camada do material opaco

$\Delta E^*$  – valor total da diferença de cor

$H^*$  – tonalidade

$I$  – Feixe incidente de luz (fluxo)

$(I \cdot K \cdot dx)$  – Frações parcialmente absorvidas

$(I \cdot S \cdot dx)$  – Frações parcialmente dispersas

$[I (1 - S - K) \cdot dx]$  – Frações parcialmente transmitidas

$K$  – Coeficiente de absorção

$L^*$  – luminosidade

$R$  – Fator de refletância espectral

$R_G$  – Fundo de refletância

$S$  – Coeficiente de dispersão

$T_g$  – Temperatura de transição vítrea

$\%T$  – Percentagem de transmitância (T)



## Lista de abreviaturas

CI – *Color index*

CIE – *Commission Internationale de l’Eclairage*

CIELAB – espaço de cor  $L^*$   $a^*$   $b^*$

DBMS – *Data Base Management System*

EATS – *European Automotive Trim Suppliers Association*

LI – Limite inferior

LS – Limite superior

MEK – Metiletilcetona

OEM – *Original Equipment Manufacturer*

PVC – policloreto de vinilo

PUR – poliuretano

RSB/RSN – leitura sobre branco e preto da Leneta

SCE – *Specular Component Excluded*

SCI – *Specular Component Included*

SPE – Sociedade de Produção de Eletricidade e Calor, S.A.

SQL – *Structured Query Language*

TMG – Têxtil Manuel Gonçalves, S.A.

TPE – termoplástico elastómero

TPO – termoplástico olefínico

TPU – termoplástico de poliuretano



# **1. Introdução**

Ao longo do primeiro capítulo será feito um enquadramento acerca do propósito do desenvolvimento da dissertação em causa e uma descrição dos objetivos da mesma. Posteriormente, também será descrita a estrutura do relatório.

## **1.1. Enquadramento**

A presente dissertação surgiu no seguimento do plano de estudos do Mestrado em Engenharia Química, no ramo opcional de Qualidade, desenvolvido no Instituto Superior de Engenharia do Porto em associação com a TMG Automotive.

O tema proposto pela TMG Automotive intitula-se por “Desenvolvimento e testagem de uma base de dados de pigmentos para formulações de cor” e surgiu com o objetivo de melhorar a qualidade e produtividade da mesma.

Na empresa em causa ocorrem, constantemente, variações no processo e no produto, que resultam em desvios de cor do produto acabado. Por outro lado, surge também a constante procura de novas cores, o que causa um aumento da carga de trabalho do Laboratório de Cores da TMG Automotive. A resposta a estes problemas deve ser rápida e não deve estar suportada na experiência empírica dos operadores.

Posto isto, surgiu a necessidade de respostas rápidas ao nível do desenvolvimento interno e da produção, o que resultou na necessidade de exploração e desenvolvimento de uma base de dados interna para formulações de cor. Para tal, utiliza-se um espectrofotómetro de refletância que permite determinar a cor de um padrão ou de uma amostra, de maneira precisa e com uma velocidade de análise elevada. Além disso, através de ferramentas próprias, é possível obter formulações de cor, com eficiência e confiança, que dão origem à cor desejada, otimizar a qualidade e o custo das receitas e, por fim, economizar tempo. Desta forma, na TMG Automotive há necessidade de explorar os pigmentos existentes e avaliar possíveis alternativas, de modo a reunir o máximo de informação colorimétrica. Os dados recolhidos são posteriormente introduzidos no espectrofotómetro e automaticamente processados pelo mesmo, de modo a que reúna informação suficiente. Esta informação é depois empregue para gerar uma formulação de cor, quando esta for solicitada.

Assim, futuramente, sempre que haja necessidade de estudar uma nova cor ou acertar uma cor para os limites do padrão, o espectrofotômetro cruzará toda a informação e disponibiliza a receita de cor indicada para se conseguir a cor estipulada.

De modo a alcançar os objetivos propostos foi realizado um acompanhamento diário do funcionamento da empresa. Esta inclusão no dia-a-dia da TMG Automotive proporcionou uma maior assimilação e consolidação dos conhecimentos da área e ainda permitiu melhorar os processos implementados na empresa.

## **1.2. Objetivos**

O principal objetivo da dissertação em causa consiste em, a partir dos pigmentos existentes na TMG Automotive e possíveis alternativas, caracterizá-los de modo a conseguir o máximo de informação colorimétrica destes, desde coordenadas de cor, opacidade, curvas de refletância, características importantes dos pigmentos, entre outros. Estas informações serão utilizadas para formular receitas de cor e acertar produções de cor.

É de notar que, para uma melhor compreensão da parte experimental, é necessário começar por fazer um estado de arte do pigmento e, também é crucial compreender a construção de um empastado de pigmento, de pastas pigmentadas e respetivas características técnicas.

Por fim, de modo a concretizar o projeto em causa, é de extrema importância a criação e o desenvolvimento da base de dados requisitada e, ainda, a testagem da mesma.

## **1.3. Estrutura do relatório**

O presente capítulo consiste num enquadramento acerca do tema da dissertação, onde são também referidos os objetivos que se pretendem alcançar com o desenvolvimento da mesma.

De seguida, no capítulo 2, é realizada uma descrição da empresa TMG Automotive, onde são apresentados o seu processo produtivo e respetivos produtos.

Segue-se, no capítulo 3, o estado da arte, que compreende temas como os pigmentos e as respectivas características, a cor e a colorimetria, coordenadas de cor, espaço CIELAB, espectrofotometria de cor e, por fim, a química e as propriedades dos polímeros utilizados na produção de pastas de PVC.

Posteriormente, no capítulo 4, é possível encontrar os materiais e métodos com os procedimentos adotados para a produção de filmes flexíveis de PVC, de pastas de PVC, de empastados e de pastas pigmentadas. São também apresentadas as concentrações dos cortes executados, que serão utilizados para atribuir informação ao espectrofotômetro, e as respectivas condições de medição. Neste capítulo também é descrito o processo de criação da base de dados.

O capítulo 5 corresponde à testagem da base de dados criada e também são descritos os testes executados para averiguar a funcionalidade da mesma. Este capítulo finaliza com a apresentação das limitações encontradas ao longo dos estudos.

Por fim, no capítulo 6, é realizada a conclusão e reflexão acerca da dissertação desenvolvida e são apresentadas sugestões para trabalhos futuros.



## 2. Descrição da empresa

No capítulo que se segue é realizada uma descrição da empresa onde a Dissertação foi desenvolvida, bem como o seu processo produtivo e respetivos produtos.

### 2.1. Grupo TMG

A empresa TMG, Têxtil Manuel Gonçalves, inicialmente com a designação de Fábrica de Fiação e Tecidos do Vale, foi fundada por Manuel Gonçalves em 1937, em São Cosme do Vale, Vila Nova de Famalicão. Em 1965 a empresa é transformada numa sociedade anónima onde adquire a designação atual e, posteriormente, sofre uma reestruturação, divergindo em várias áreas de negócio independentes [1].

Na tabela 2.1 é possível visualizar a ordem cronológica dos acontecimentos e das mudanças da empresa [1].

Tabela 2. 1 – Ordem cronológica dos marcos do Grupo TMG [1].

Ano	Marco
1937	Fundação da TMG Fábrica de Fiação e Tecidos do Vale de Manuel Gonçalves, com 6 teares manuais
1942	Início da produção de fio, com 2500 fusos
1950	Início da produção de PVC (Couro Artificial)
1951	Ampliação da capacidade produtiva de fiação para 10000 fusos
1960	Fundação de uma das mais modernas fábricas de tinturaria e acabamento da Europa
1964	Fundação, em conjunto com outra empresa têxtil, de uma das mais modernas fábricas de acabamentos da Europa
1965	A empresa passa a designar-se Têxtil Manuel Gonçalves
1971	Primeiro fornecimento de tecidos revestidos de PVC para a indústria automóvel
1986	Início da diversificação para outras áreas de negócio
1994	Estabelecimento de parceria com a <i>Sommer Allibert International</i> para a constituição da SAIP – <i>Sommer Allibert Industrie Portugal</i>
1995	Constituição da Empresa Geradora de Energia Elétrica e Calor – SPE
1996	Reestruturação total nas unidades estratégicas de negócio
2006	Aquisição conjunta com o Grupo José de Mello de 100% da EFACEC
2007	Diversificação no negócio de distribuição de vestuário
2017	Expansão da capacidade de produção da unidade de negócios automotivos

Tendo em conta a dimensão do grupo, existe uma elevada notoriedade da participação da TMG em outras atividades, sendo que atualmente é um grupo industrial e financeiro, constituído pelas seguintes empresas [1]:

- Têxtil Manuel Gonçalves, S.A.
- TMG – Tecidos para Vestuário e Decoração, S.A.
- TMG – Acabamentos Têxteis, S.A.
- TMG – Tecidos Plastificados e Outros Revestimentos para a Indústria Automóvel, S.A.
- SPE – Sociedade de Produção de Eletricidade e Calor, S.A. (Unidade de Cogeração)
- GPSA – Têxteis, S.A. (Confeção)
- Têxtil Manuel Gonçalves, SGPS, S.A. – Gestão de Participações
- Têxtil Manuel Gonçalves – Manutenção, S.A.
- *Lightning Bolt Europe*, S.A. (Distribuição)

O grupo TMG ocupa uma área total de cerca de 475517 m<sup>2</sup>, sendo a área construção industrial de aproximadamente 212826 m<sup>2</sup>, é constituído por 1400 funcionários e está presente em 40 mercados distintos [1].

## **2.2. TMG Automotive**

A TMG Automotive teve origem em 1952 na Divisão de Tecidos Plastificados e em 1971 já era fornecedor das principais empresas construtoras de automóveis. Atualmente, está inserida no EATS (*European Automotive Trim Suppliers Association*), detendo uma relevante quota no mercado [2].

A Empresa adotou o nome TMG – Tecidos Plastificados e Outros Revestimentos para a Indústria Automóvel, S.A., em 1997 e as suas instalações fabris estão localizadas na Rua Comendador Manuel Gonçalves, nº 25, freguesia de São Cosme do Vale, concelho de Vila Nova de Famalicão e no Largo Comendador Manuel Gonçalves, Campelos, freguesia de Ponte, concelho de Guimarães [2].

Na figura 2.1 é possível visualizar a localização da TMG Automotive 1 (Auto 1), local onde se realiza a presente dissertação.



Figura 2. 1 – Localização da TMG Automotive 1 (Auto 1).

A posição da TMG Automotive no mercado automóvel é suportada pela inovação, evolução tecnológica e pelo crescimento sustentado, realçando a filosofia do seu fundador, que se define como “Tecnologia e Qualidade são inseparáveis”, o que contribuiu para o aumento da notoriedade da empresa em causa [2].

A TMG Automotive está posicionada no nível 2 (*Tier 2*) em termos em termos de hierarquia de produção de peças automóveis e os principais clientes da empresa estão no nível 1 (designados por *Tier 1*). Estes clientes transformam os materiais fornecidos pelo *Tier 2* nas diversas peças para o automóvel, e depois vendem às grandes produtoras de automóveis, designadas por OEM (*Original Equipment Manufacturer*), como a Daimler, a BMW, Volvo, Toyota, entre outras [2].

É de notar que, no seu setor de atuação, a TMG Automotive é considerada o segundo mais produtor e fornecedor europeu [2].

Atualmente, a TMG Automotive é certificada em Gestão da Qualidade (NP EN ISO 9001:2008), Gestão do Ambiente (NP EN ISO 14001:2004), Sistemas de Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional (ISO 45001:2018), Investigação, Desenvolvimento e Inovação (NP 4457:2007), e Qualidade Específica da Indústria Automóvel (ISO TS 16949:2002). Na figura 2.2 estão presentes as certificações da empresa em causa [2].



Figura 2. 2 – Certificações da TMG Automotive [2].

A TMG Automotive também tem como prática estabelecer parcerias com centros universitários e centros de engenharia, como é possível visualizar na figura 2.3 [3].



Figura 2. 3 – Parceiros da TMG Automotive [3].

### 2.1.1. Descrição do processo produtivo

As principais atividades da TMG Automotive são o revestimento de tecidos, o fabrico de folhas em materiais plastificados, com tecnologias de recobrimento e de extrusão, e a confeção de componentes para interiores de automóveis com base nos tecidos plastificados. Estes artigos são principalmente aplicados em componentes automóveis, o que faz com que a empresa atualmente trabalhe com a maioria das linhas de montagem europeias.

Dos diversos materiais utilizados na indústria automóvel salientam-se o policloreto de vinilo (PVC), o termoplástico olefínico (TPO), o termoplástico elastómero (TPE), o poliuretano (PUR) e o termoplástico de poliuretano (TPU). Estes podem ser empregues das mais variadas formas, tais como em fibras, em componentes injetados ou em componentes espumados. Na figura 2.4 é possível visualizar de que modo é que as matérias-primas referidas estão aplicadas nas partes interiores de um automóvel, onde se

destacam o painel de instrumentos, o painel de portas, assentos, inserções, apoios de braço, alavancas, cobertura de travão de mão e a cobertura de capô [2] [4] [5].



Figura 2. 4 – Aplicações de interior de automóveis de PVC, TPO/TPE e PUR/TPU [6].

Frequentemente existem três tipos de camadas no couro artificial produzido na TMG Automotive, independentemente do processo e do material utilizado no fabrico, nomeadamente a camada superficial, a camada intermédia e a camada do avesso, como é possível visualizar na figura 2.5.

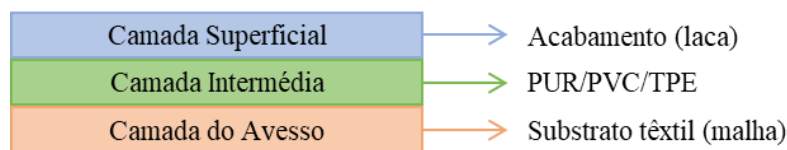


Figura 2. 5 – Estrutura das camadas que um couro artificial produzido na TMG Automotive contém [6].

A camada intermédia corresponde a uma camada compacta, que pode ser PUR, PVC ou TPE, e tem como objetivo assegurar a resistência mecânica, a elasticidade e a aparência do artigo produzido. Nesta camada também se pode incluir uma camada de espuma, normalmente da mesma matéria-prima da camada compacta, que promove a estrutura do artigo e adiciona-lhe espessura.

A camada do avesso consiste num substrato têxtil, também designado por malha, e tem como função conferir integridade ao artigo em produção.

Por fim, a camada superficial corresponde à laca, que possui propriedades termoplásticas e confere uma maior resistência à abrasão do artigo, controla o brilho e fornece um acabamento mais resistente e duradouro ao produto. O processo de lacagem consiste na deposição da laca no artigo, que atravessa um conjunto de rolos e segue para as estufas de aquecimento.

Para além do tipo de couro artificial com suporte têxtil apresentado, pode também ser produzido couro artificial sem suporte têxtil, em que o modo de construção é alterado.

Na figura 2.6 está representado o fluxograma a seguir para a produção de folhas em materiais plastificados e, posteriormente, serão explicadas todas as etapas do processo.

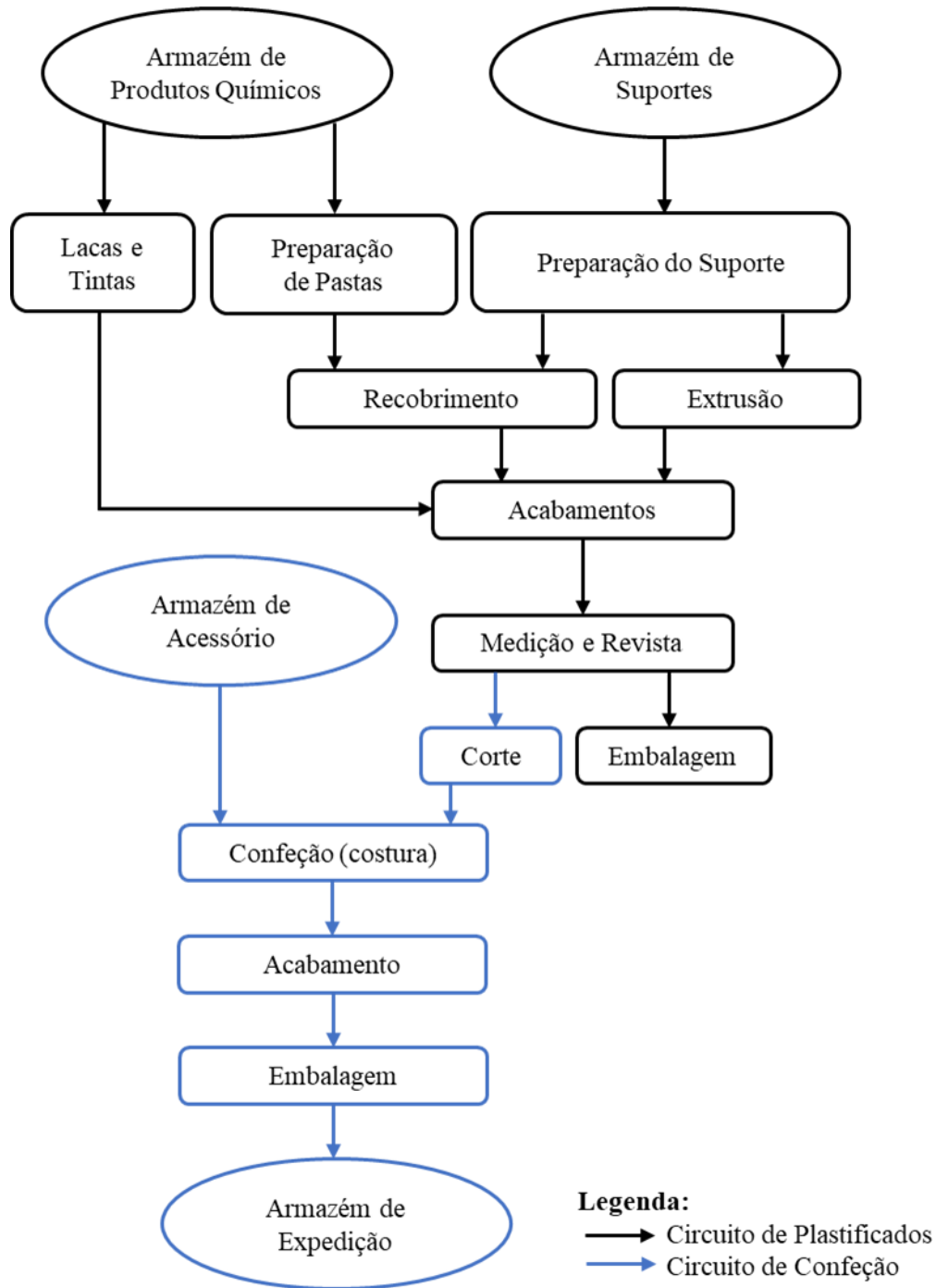


Figura 2. 6 – Fluxograma do processo produtivo desenvolvido na TMG Automotive (adaptado de [6]).

Segue-se agora a explicação de cada etapa do processo anteriormente apresentado:

- **Armazém de Suportes** – Corresponde ao armazenamento dos suportes utilizados na produção de artigos plastificados. Esses suportes são têxteis e espumas, que irão servir de base de reforço do material plástico e abastecem tanto a etapa de extrusão como o recobrimento.
- **Armazém de Produtos Químicos** – Consiste no armazenamento de produtos químicos que irão ser utilizados no processo de fabrico de pastas que, subsequentemente, serão recobertas. Neste local também são armazenados produtos químicos que servirão para produção de lacas e tintas na cozinha de lacas e que irão posteriormente abastecer as máquinas de lacagem.
- **Armazém de Acessórios** – Corresponde ao armazenamento de acessórios, nomeadamente peças plásticas, linhas e agrafos, que se incorporarão em peças de confeção, servindo de suporte a materiais confeccionados.
- **Preparação do Suporte** – Esta operação consiste na preparação do suporte têxtil para que este possa ser utilizado na produção.
- **Preparação de Pastas** – É a operação que consiste na adição e mistura de produtos químicos, de acordo com a especificação técnica, de modo a produzir uma pasta que dará origem a um substrato plastificado. Este substrato plastificado, posteriormente, será consumido na máquina de recobrimento.
- **Recobrimento** – Operação que consiste na deposição de camadas de pastas sobre um papel de transporte, produzindo assim filmes plásticos por ação de altas temperaturas (180°C – 220°C).
- **Extrusão** – Consiste no aquecimento de polímeros até à fusão dos mesmos que, de seguida, serão solidificados sob a forma de filme na calandra.
- **Acabamentos** – Operação que compreende a lacagem e a gravação, que são efetuadas sobre o artigo para lhe conferirem o efeito estético pretendido. No processo de lacagem são introduzidas até um máximo de quatro camadas de laca ou tinta para alterar o efeito visual e de tato do artigo. No processo de gravação o artigo é aquecido e passa por um cilindro com um gravado específico que transmite o desenho pretendido pelo cliente. Após acabamentos e antes da etapa de medição, pode ainda ser incluída uma etapa de flamagem e/ou de perfuração.
- **Medição e Revista** – Esta operação consiste na inspeção visual da superfície do artigo, sendo corrigidas ou eliminadas as parcelas de artigo não-conformes de

acordo com especificações. Nesta etapa também é realizada a operação de medição sobre o artigo. Após esta operação o artigo, caso não seja confeccionado, fica pronto para enviar ao respetivo cliente.

- **Corte** – Operação que consiste no corte do artigo que vai ser usado na confeção.
- **Confeção (costura)** – Junção das variadas porções que compõem a peça confeccionada, através do processo de aplicação de costuras.
- **Acabamento** – Consiste na inspeção, eliminação de pontas de linhas e limpeza dos artigos confeccionados.
- **Embalagem** – Esta operação corresponde à embalagem do produto de acordo com a ficha técnica aplicável.
- **Armazém de Expedição** – Corresponde ao armazenamento do produto acabado proveniente da embalagem, procedendo-se depois ao seu envio para o cliente.

### **3. Estado da arte**

No presente capítulo é possível encontrar uma breve explicação dos conceitos base da dissertação.

Ao longo do Estado da Arte serão abordados temas como as propriedades, as características e o comportamento dos pigmentos, a cor e a colorimetria, coordenadas de cor, espaço CIELAB, espectrofotometria de cor e, por fim, a química e as propriedades dos polímeros utilizados na produção de pastas de PVC.

#### **3.1. Pigmentos**

O conceito de pigmento está muitas vezes associado a corante, mas estas substâncias diferem entre si em variadas características. Os corantes são substâncias solúveis ou que se dissolvem durante o processo de aplicação e conferem cor ao produto pela absorção seletiva da luz. Por outro lado, os pigmentos podem ser orgânicos ou inorgânicos e correspondem a compostos sólidos que podem ser coloridos, incolores ou particulados fluorescentes. Os pigmentos são geralmente insolúveis e essencialmente não são quimicamente afetados pelo meio onde estão incorporados [7].

São diversas as aplicações dos pigmentos, podendo ser empregues em indústrias de tintas, de plásticos, de cerâmicas, de cosméticos, automóveis, entre outras.

Tal como referido anteriormente, os pigmentos podem ser orgânicos ou inorgânicos, mas também podem ser classificados como sintéticos ou naturais, apresentando diferenças entre si no que concerne à opacidade, resistência, facilidade de dispersão e moagem [8].

Os pigmentos inorgânicos naturais são, comumente, óxidos que possuem uma menor cobertura, uma maior dificuldade de dispersão e uma menor força corante. Já os pigmentos inorgânicos sintéticos, produzidos através de um processo industrial controlado, apresentam algumas vantagens, uma vez que proporcionam maior opacidade, uniformidade da cor, uma força corante mais elevada e uma maior dispersão, resultando numa maior estabilidade durante a sua aplicação [8].

Relativamente aos pigmentos orgânicos, estes são substâncias sintéticas com uma estrutura química composta por grupos designados por cromóforos, que são responsáveis

por lhes conferir cor. Os pigmentos orgânicos podem ser agrupados em dois grupos, designados por: família do grupo azo e os policíclicos. Maioritariamente, os pigmentos da família do grupo azo não apresentam resistência à meteorização, o que faz com que este tipo de substância não possa ser utilizado em pinturas externas. Em alternativa, os policíclicos possuem resistência à meteorização, podendo ser empregues na produção de tintas imobiliárias e automotivas [8].

De um modo geral, os pigmentos inorgânicos exibem maior opacidade e são mais resistentes às interpéries do que os pigmentos orgânicos. No entanto, o que muitas vezes, persuade a escolha dos pigmentos orgânicos, apesar de terem mais brilho e transparência e serem menos resistentes (o que muitas vezes pode ser uma desvantagem) é o custo associado e a maior força corante destes pigmentos [8].

### **3.1.1. Propriedades e características dos pigmentos**

Os pigmentos utilizados na formulação de materiais poliméricos devem possuir um conjunto de propriedades que permitem obter um artigo com as tonalidades, brilho e grau de opacidade pretendidas e estabelecidas como requisito pelo cliente. Para além disto, também se deve assegurar a estabilidade da cor à ação da luz, da temperatura, abrasões e dos meios químicos envolventes [9].

Das diversas características dos pigmentos destacam-se a cor, a resistência química, a resistência à luz, a resistência ao calor e à abrasão e a migração do pigmento. Outras características importantes do pigmento a ter em conta são:

- Densidade;
- Tamanho das partículas;
- Tratamento superficial
- Absorção de óleo, g/100 g;
- Área de superfície específica, m<sup>2</sup>/g;
- Energia de superfície
- pH
- Viscosidade
- Força corante
- Opacidade

É de notar que, quanto mais denso o pigmento, mais fácil é a sua sedimentação e, por outro lado, também é importante salientar, que a viscosidade afeta a dispersão e a cor [9].

Tal como se pode compreender pela figura 3.1, o tamanho e a forma das partículas de um pigmento têm influência nas características do mesmo [9].

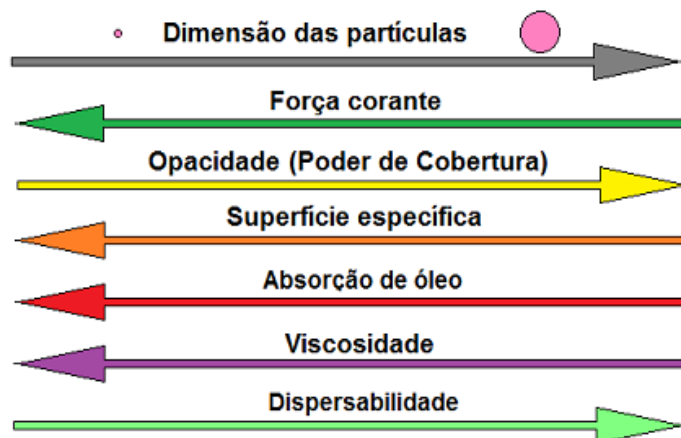


Figura 3. 1 – Influência da dimensão das partículas nas propriedades dos pigmentos [9].

A força corante, também designada de força de tingimento, define-se como a capacidade que um pigmento possui para mudar a cor de um pigmento padrão branco, em condições específicas. É de notar que as partículas de menor dimensão proporcionam uma maior força corante [9].

A opacidade, ou poder de cobertura, aumenta com a dimensão das partículas e consiste na capacidade de um pigmento conferir opacidade à substância [9].

A área de superfície específica é expressa em metros quadrados por grama de pigmento, e define-se como a soma das superfícies de cada partícula constituinte. Este parâmetro diminui com o aumento do tamanho das partículas [9].

Relativamente ao parâmetro denominado por absorção de óleo, este corresponde à quantidade necessária de óleo até se obter uma pasta do pigmento, e é tanto maior quanto maior a superfície molhável. Sendo assim, a absorção de óleo diminui com o aumento do tamanho das partículas [9].

Por fim, as partículas de menor dimensão exibem uma maior viscosidade e, em contrapartida exigem um maior trabalho de dispersão.

Os tamanhos das partículas dos pigmentos podem ser divididos nos três intervalos representados na figura 3.2.

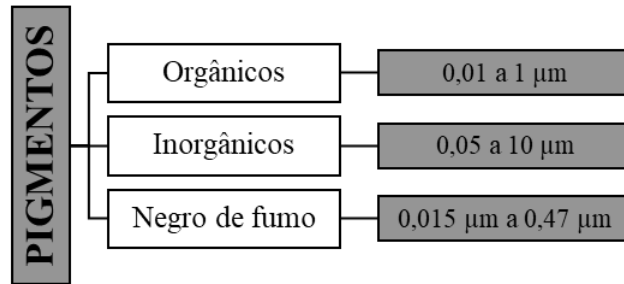


Figura 3. 2 – Tamanho das partículas dos pigmentos [6].

A forma das partículas elementares é determinada pelas estruturas química e cristalina e pelo método de obtenção do pigmento, no caso de este ser obtido sinteticamente. As partículas elementares podem apresentar-se das diversas formas primárias, desde nódulos, esferas, cubos, prismas, lamelas, entre outras [9].

É de salientar que as partículas estão associadas umas às outras, lado a lado ou face a face, formando agregados. Por outro lado, as partículas podem apresentar-se unidas umas às outras por vértices ou arestas, originando aglomerados. A formação deste tipo de estrutura pode dever-se a forças de natureza electrostática, à presença de humidade, a mudanças de temperatura ou a ações mecânicas de compactação. Na figura 3.3 é possível associar a formação de agregados e aglomerados às formas das partículas primárias [9].

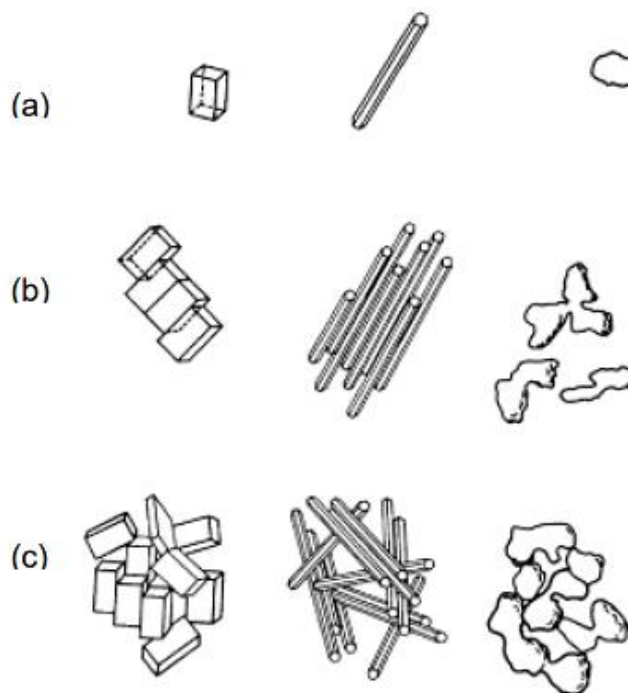


Figura 3. 3 – Ilustração das morfologias assumidas pelas partículas de pigmentos, em que: (a) partícula primária; (b) agregado de partículas; (c) aglomerados de partículas [10].

### 3.1.2. Dispersão e estabilização dos pigmentos

Os pigmentos consistem em aglomerados de partículas primárias que necessitam de ser quebrados, estabilizados e distribuídos uniformemente no meio em que se encontram. Por essa razão, surge a necessidade de recorrer ao processo de dispersão, em que os aglomerados são idealmente quebrados em partículas primárias, com o menor tamanho possível, de modo a possuir uma maior força corante e sem prejudicar o poder de cobertura, uma vez que quanto mais pequena a partícula, menos opacidade apresenta. Posteriormente, recorre-se ao processo de estabilização dos pigmentos, para que não ocorra a floculação dos mesmos. Na figura 3.4 estão representados os fenómenos antagónicos de dispersão e floculação [11].

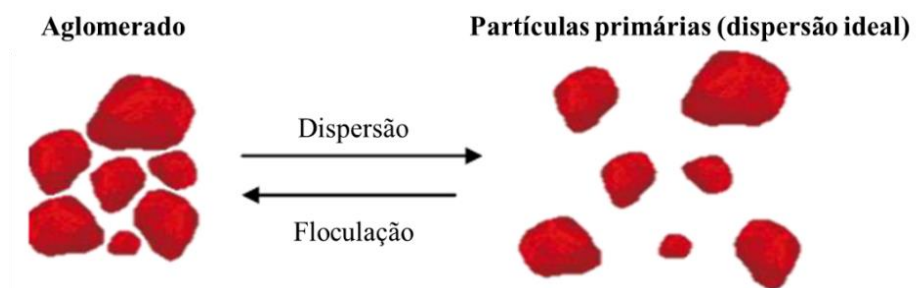


Figura 3. 4 – Fenómenos de dispersão e floculação [11].

A dispersão e estabilização de um pigmento é um processo que é realizado para que se obtenha um desenvolvimento ideal da cor, com ótimo poder de cobertura, força corante, estabilidade e reduzindo os custos associados. Este processo ocorre em três etapas distintas, denominadas por molhamento do material pulverulento seco, quebra dos aglomerados e estabilização do pigmento [11].

Na figura 3.5 é possível visualizar um esquema das três etapas referidas.

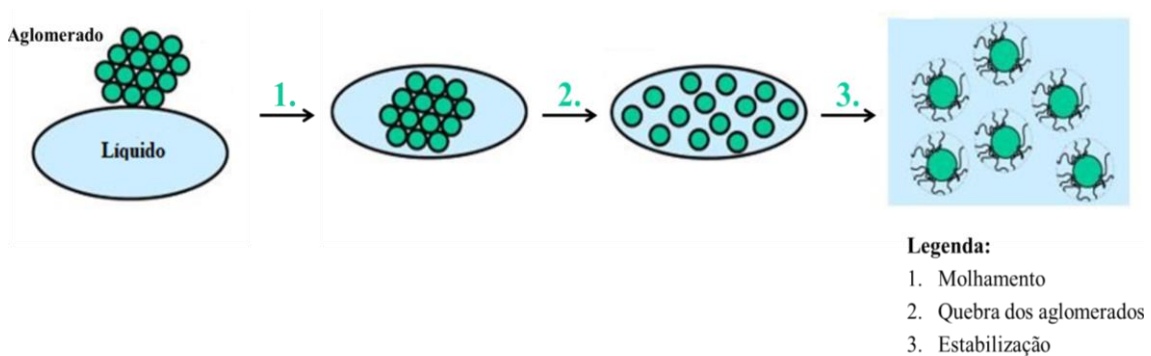


Figura 3. 5 – Etapas associadas à dispersão e estabilização dos pigmentos [6].

A etapa de molhamento (1.<sup>a</sup> etapa) é onde se dá o envolvimento do pigmento em pó com a fase líquida, que pode ser constituída por aditivos, consoante a receita adequada. Nesta etapa a fase líquida penetra-se nos espaços intersticiais do aglomerado, transformando a interface sólida/gasosa (pigmento/ar) numa interface sólida/líquida (solução de pigmento). A interface sólida/líquida é chamada, na TMG Automotive, de empastado [11].

Para que o pigmento tenha um bom molhamento, a tensão superficial da fase líquida tem de ser inferior à energia livre de superfície do pigmento. Para tal, são adicionados dispersantes que diminuem a tensão superficial da fase líquida, facilitando o processo em causa [12].

De seguida, é crucial proceder à quebra dos aglomerados de pigmento (2.<sup>a</sup> etapa). Esta etapa ocorre por ação da energia mecânica e os pigmentos aglomerados são reduzidos a partículas mais pequenas [11].

Um dos equipamentos de dispersão mais utilizados é o agitador de *Cowles*, no entanto, se for necessário atingir um maior grau de dispersão do pigmento, é recomendável a utilização de um moinho de esferas, de um moinho tricilíndrico ou de uma extrusora. Na figura 3.5 estão representadas as gamas de viscosidade em função do tamanho inicial dos aglomerados de cada equipamento de dispersão.

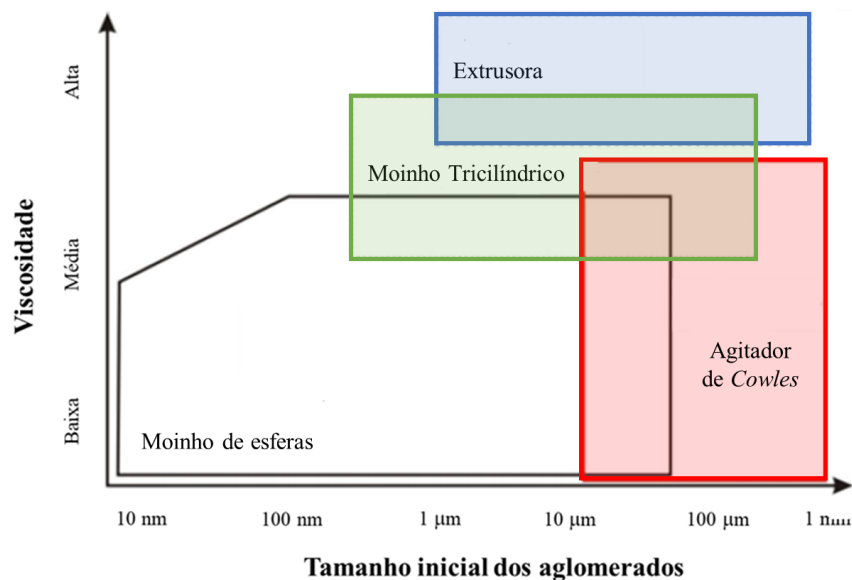


Figura 3. 6 – Gamas de trabalho dos equipamentos de dispersão [6].

Concluído o processo de dispersão é necessário recorrer à etapa de estabilização do pigmento (3.ª etapa), evitando que ocorra a floculação do mesmo. Esta etapa é realizada com o auxílio de aditivos de dispersão, também denominados de dispersantes, que adsorvem na superfície do pigmento e separam as partículas através de mecanismos de repulsão eletrostática e/ou impedimento estérico [11].

O mecanismo de repulsão eletrostática suporta-se no facto de as partículas de pigmento possuírem uma superfície eletricamente carregada. Com a adição de dispersantes é possível atribuir a mesma carga a todas as partículas e reforçar o seu valor, reduzindo assim a tendência de floculação das partículas [11] [13].

O outro mecanismo de ação dos dispersantes é denominado por estabilização por impedimento estérico. Os dispersantes adicionados possuem um grupo compatível com o plastificante e outro grupo compatível com o pigmento o que promove a criação de um “envelope” à volta de cada partícula. Esta proteção faz com que cada partícula se mantenha restrita na sua conformação, o que resulta numa redução na entropia do sistema e, conseqüentemente, acaba por resultar na dispersão e estabilização dos pigmentos. [11] [13].

Na figura 3.7 é possível visualizar a distinção entre os fenómenos de estabilização referidos.

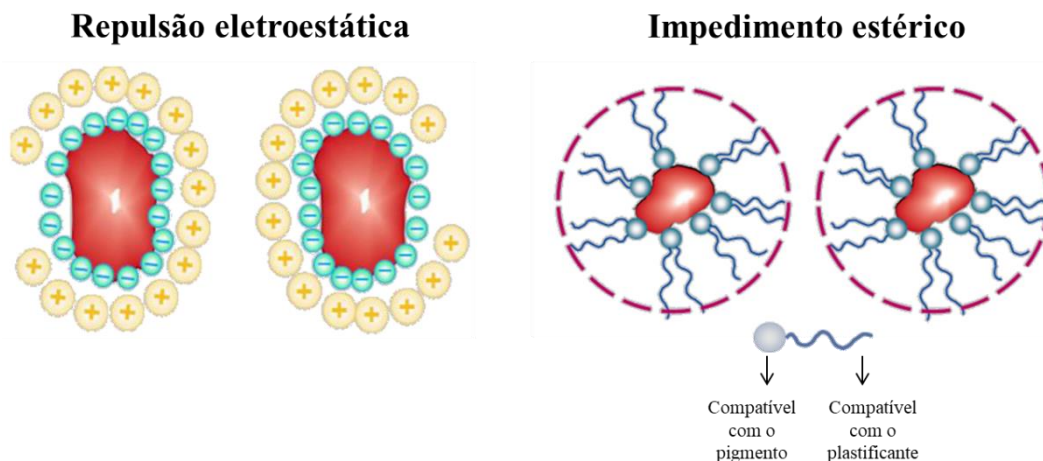


Figura 3. 7 – Mecanismos de estabilização por repulsão electrostática e por impedimento estérico (adaptado de [11]).

### 3.1.3. Comportamento dos pigmentos

Aplicados a polímeros, os pigmentos exibem-se como modificadores das propriedades óticas do mesmo, fornecendo-lhe cor, brilho, variadas tonalidades e proporcionando a estética pretendida ao material polimérico, de modo a que este, quando aplicado, exponha uma boa aparência, tal como requisitado pelo cliente [14].

Além das referidas características, este aditivo influencia as propriedades do polímero, atuando na estabilidade do material à radiação UV, estabilidade térmica, ou até mesmo influenciando as características reológicas do material em processos de transformação, tais como extrusão, onde poderá originar o surgimento de defeitos reológicos. Dos diversos exemplos de pigmentos destacam-se o dióxido de titânio ou o negro de fumo, seguidos os óxidos de ferro, zinco, chumbo, crómio, entre outros [15].

A aparência dos pigmentos está intimamente ligada à cor da fonte de luz incidida na mesma. A luz solar possui uma elevada temperatura de cor e um espectro uniforme, sendo por isso considerada como padrão para a luz branca, mas, por outro lado, as fontes artificiais tendem a possuir picos e vales profundos em algumas áreas do espectro. É de notar que, consoante a fonte de luz incidida na amostra, a visualização varia, ou seja, os pigmentos exibem cores diferentes [16].

Os espaços de cores, usados para representar numericamente as cores, têm que especificar o seu iluminante ou fonte de luz. Uma fonte de luz pode ser definida como um objeto que emite luz e, formando a curva de distribuição de energia espectral de uma luz, é possível averiguar que esta emite diferentes quantidades de energia em cada comprimento de onda do espectro. Ao contrário de uma fonte de luz, um iluminante não é um objeto físico, consistindo numa representação da curva de distribuição de energia espectral de uma luz em forma numérica [16].

Os iluminantes definidos e implementados no Laboratório de Cores da TMG Automotive são os seguintes [15] [16]:

- Iluminante D65 – consiste na representação numérica da luz do dia média (incluindo a região de comprimento de onda ultravioleta) com uma temperatura de cor correlacionada de 6504 K. Este iluminante é normalmente empregue na avaliação visual e instrumental, em conformidade com as normas Europeias e Japonesas.

- Iluminante A – consiste na representação numérica da luz incandescente com filamento de tungstênio, cuja temperatura de cor gira em torno de 2856 K. Este iluminante apresenta uma cor amarelada e avermelhada.
- Iluminante TL84 – consiste na representação numérica de um iluminante fluorescente de banda estreita, com uma temperatura de 4100 K. o iluminante em causa simula uma típica luz de escritório ou loja na Europa.

É de notar que tanto o iluminante A como o iluminante TL84 são utilizados em testes de metamerismo. O metamerismo é um aspeto muito importante na tecnologia da cor e define-se como a situação onde duas amostras de cores parecem iguais sob uma condição de iluminação ou observador, mas diferente sob outra. Na figura 3.5 é possível visualizar uma ilustração do metamerismo pela fonte de luz/iluminante [17].

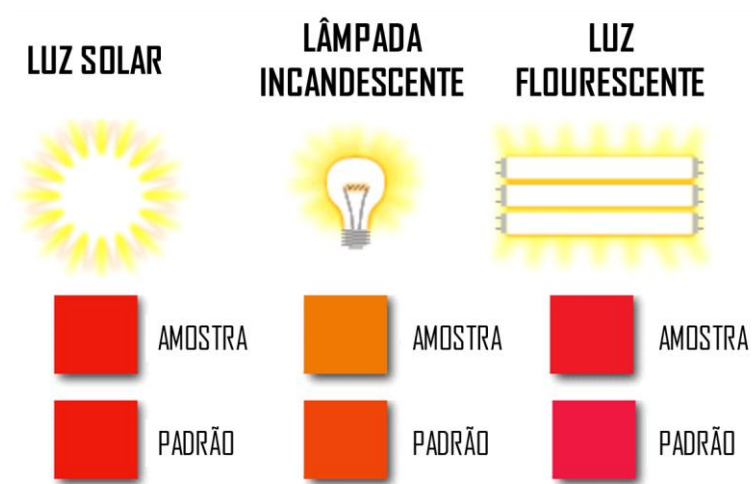


Figura 3. 8 – Ilustração do fenómeno de metamerismo, em função da fonte de luz/iluminante [17].

O metamerismo é crucial para as indústrias do setor têxtil, de plásticos, automóvel e gráfica. Um exemplo representativo deste conceito é o seguinte: uma parte de um carro pode ser pintada com uma cor que parece combinar com o resto do veículo quando visto à luz do dia, mas a mesma não é igual quando vista sob uma iluminação distinta [16].

Na prática, o espectrofotómetro permite ver os dados de refletância das duas cores (amostra e padrão) em cada iluminante. Se o metamerismo for superior ao espectável é necessário tomar ações de modo a aperfeiçoar o processo [16].

### 3.2. Cor e colorimetria

A cor é um importante atributo nos objetos do dia-a-dia, sendo, muitas vezes, um indicativo da qualidade ou, até mesmo, do valor do produto. No entanto, as percepções humanas sobre as cores tornam-nas de caráter altamente subjetivo e pessoal, fazendo com que a sensação da cor seja única após complexas operações, que vão desde a recepção e registo por parte da retina e posterior processamento dos estímulos recebidos pelo cérebro [18] [19].

Do ponto de vista científico, o termo “cor” pode ser definido como uma propriedade que os corpos têm de absorver e refletir luz. Este é um aspeto gerado pelas percepções do órgão visual em radiação eletromagnética visível, com um comprimento de onda entre cerca de 380 e 750 nm, como é possível observar pela figura 3.6 [18].

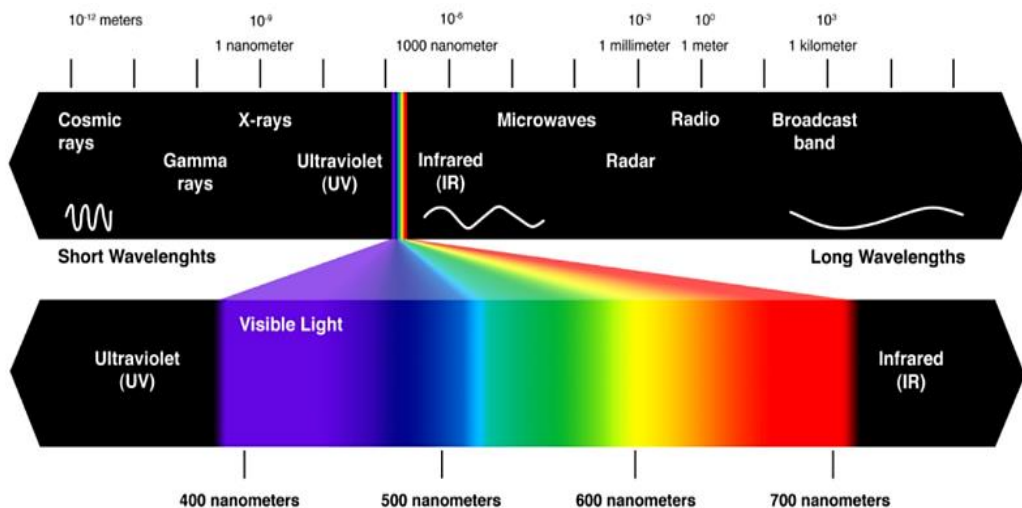


Figura 3. 9 – Cores do espectro visível e respetivos comprimentos de ondas (nm) [20].

De modo a aferir a cor, esta subdivide-se em três características específicas: o tom, que também pode ser designado por matriz ou tonalidade; a luminosidade ou claridade; e a saturação, apelidada também por pureza ou vivacidade. O tom define-se fisicamente como o intervalo de comprimentos de onda entre no qual se pode escrever uma determinada cor. A luminosidade é a característica que faz com que uma cor aparente ser mais clara ou mais escura, quando comparada com outra, independentemente de sua saturação. Por fim, a saturação é um atributo da cor que indica o seu grau de saturação em termos do seu conteúdo cromático [21].

A colorimetria é a ciência que descreve, quantifica e simula a percepção da cor e é essencial para a tecnologia de reprodução de cores. Esta ciência cria padrões para a medição de cores, usando técnicas matemáticas e *softwares* que otimizam e garantem a fidelidade em toda a gama, permitindo assim que se proceda à mistura precisa de cores [21] [22].

Em termos de análise química, a colorimetria define-se como a medição da concentração de um determinado composto (soluto) presente numa solução (solvente). A metodologia da análise em causa consiste em passar um raio de luz por uma determinada solução, que irá absorver uma parte da radiação luminosa e, a restante, será transmitida pela mesma [23].

A cor de um material opaco é função das suas propriedades de absorção e de dispersão da luz visível e, enquanto a dispersão modifica a direção dos feixes de luz, a absorção converte-os em calor. Neste seguimento, em 1939, surgiu uma teoria desenvolvida Paul Kubelka e Franz Munk, que permite determinar o coeficiente de absorção por meio da medição da refletância difusa [24].

A teoria de Kubelka-Munk baseia-se no princípio da aditividade entre as propriedades óticas dos diversos componentes de uma tinta, por exemplo. Esta teoria é bastante utilizada nos setores que lidam com impressões visuais, como o de tintas e o de produtos têxteis, e tem em consideração o efeito do espalhamento no comprimento do caminho de propagação da luz. Na figura 3.7 encontra-se uma ilustração simplificada da teoria em causa, em que um feixe incidente de luz,  $I$ , penetra em uma camada de material opaco com cor, de espessura  $dx$  [24].

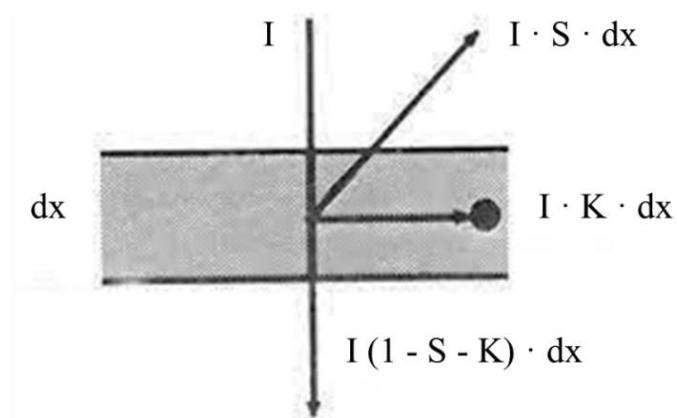


Figura 3. 10 – Ilustração simplificada da teoria de Kubelka-Munk [24].

As frações parcialmente absorvidas ( $I \cdot K \cdot dx$ ), parcialmente dispersas ( $I \cdot S \cdot dx$ ) e parcialmente transmitidas [ $I(1 - S - K) \cdot dx$ ] são proporcionais ao fluxo,  $I$ , e à espessura da camada,  $dx$ . Posto isto, o fator de refletância espectral,  $R$ , de um filme de espessura  $x$  colocado sobre um fundo de refletância é dado pela equação 3.1 [25].

$$R = \frac{1 - R_G (a - b \coth bSx)}{a - R_G + b \coth bSx} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Em que,  $a$  e  $b$  são calculados pelas equações 3.2 e 3.3, respetivamente [25].

$$a = 1 + \frac{K}{S} \quad (\text{Equação 3.2})$$

$$b = \sqrt{a^2 - 1} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Nas equações apresentadas,  $R_G$  é o fator de refletância espectral do fundo,  $K$  é o coeficiente de absorção,  $S$  é o coeficiente de dispersão e  $\coth bSx$  é a cotangente hiperbólica de  $bSx$  [25].

É de notar que, para uma camada de espessura “infinita”, designada como aquela em que toda a luz é refletida ou absorvida, o fator de refletância é dado pela equação 3.4 [25].

$$R_\infty = 1 + \frac{K}{S} - \sqrt{\left(\frac{K}{S}\right)^2 + 2\left(\frac{K}{S}\right)} \quad (\text{Equação 3.4})$$

Por fim, resolvendo a equação anterior em função de  $\frac{K}{S}$ , é possível obter a expressão família de Kubelka-Munk, representada pela equação 3.5 [25].

$$\frac{K}{S} = \frac{1 - R^2}{2R} \quad (\text{Equação 3.5})$$

### 3.2.1. Coordenadas de cor

Um espaço de cor pode ser descrito como um método para se expressar uma cor de um determinado objeto utilizando, por exemplo, notação numérica [26].

A diferença de cor pode ser definida por comparação numérica da cor de uma amostra com o padrão. As fórmulas que determinam a diferença entre estas duas cores permitem identificar inconsistências e ajudar os usuários a controlar a cor de seus produtos com uma maior eficácia [27].

A CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*) é uma organização sem fins lucrativos, com autoridade na ciência de luz e cor, e desenvolveu o Sistema CIE que é empregue para a descrição de uma cor [26].

Em 1931, com o surgimento do Sistema CIE, a CIE definiu o espaço tridimensional XYZ (valores triestímulos) e as coordenadas de cromaticidade xy. No entanto, como os valores X, Y e Z definem um espaço psicofísico que não é real, a CIE recomendou, em 1976, o uso de espaços de cor alternativos, CIELAB ou CIELUV, que incluem o fator de luminância num plano de cromaticidade [28].

Os espaços de cor desenvolvidos em 1931 e 1976 partilham dos mesmos princípios, que são os seguintes [29]:

- A cor é uma sensação resultante da combinação de uma luz, de um objeto e de um observador;
- Uma fonte de luz ilumina o objeto;
- O objeto reflete/transmite a luz incidida para um observador;
- O observador sente a luz refletida;
- Os valores de triestímulos são coordenadas de sensação de cor, calculados a partir dos dados CIE.

Em relação aos espaços de cor desenvolvidos inicialmente pela entidade CIE, o espaço CIELAB é mais perceptível e uniforme. Embora o sistema de 1931 tenha sido útil e evolutivo, a sua aplicação foi limitada porque as diferenças entre as cores geralmente não eram consistentes com os valores numéricos e com as informações disponíveis no sistema [29].

### **3.2.2. Espaço de cor CIELAB**

O espaço de cor  $L^* a^* b^*$ , também nomeado como espaço de cor CIELAB, é, presentemente, o mais usado dos espaços de cores uniformes, que são empregues com o intuito de avaliar as cores. Este espaço de cor é amplamente utilizado pois correlaciona os valores de cor com a perceção visual, avalia os atributos da cor analisada e identifica inconsistências ou desvios relativamente ao padrão. O espaço CIELAB é rotineiramente aplicado em indústrias que controlam a cor, como é o caso de têxteis, tintas, plásticos, papel, materiais impressos, entre outros [26] [29].

O espaço de cor CIELAB foi criado segundo a teoria de cores opostas, que defende que duas cores não podem ser verdes e vermelhas ou amarelas e azuis ao mesmo tempo. Neste sistema,  $L^*$  indica a luminosidade e  $a^*$  e  $b^*$  são as coordenadas cromáticas. A coordenada cromática  $a^*$  em valor positivo refere-se ao vermelho e em valor negativo à cor verde. Já a coordenada  $b^*$  indica amarelo, quando positiva, e azul, quando em valor negativo [30].

Um instrumento de medição, como por exemplo um espectrofotómetro ou um colorímetro, faz facilmente a quantificação desses atributos de cor, quantificando os dados espectrais, de modo a determinar as coordenadas de cor do objeto no espaço de cor  $L^* a^* b^*$  e apresenta a informação obtida em termos numéricos.

No espaço psicométrico CIELAB há duas formas de descrever as cores: ou pelas coordenadas  $L^*$  (luminosidade),  $a^*$  (conteúdo de vermelho a verde) e  $b^*$  (conteúdo de amarelo a azul), como já referido anteriormente; ou pelo uso das coordenadas cilíndricas, que se definem como, luminosidade ( $L^*$ ), tonalidade ( $H^*$ ) e croma ( $C^*$ ). As coordenadas cilíndricas estão diretamente relacionadas com as coordenadas de Munsell.

De modo a haver uma melhor compreensão dos conceitos introduzidos, na figura 3.8 é possível encontrar uma ilustração representativa do significado geométrico destes conjuntos de coordenadas colorimétricas.

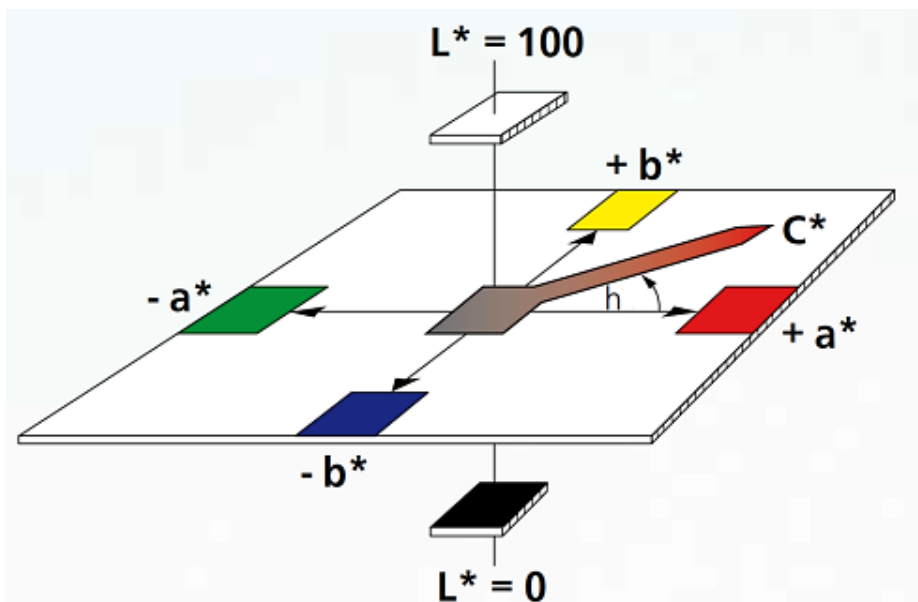


Figura 3. 11 – Significado geométrico das coordenadas colorimétricas ( $L^* a^* b^*$  e  $L^* C^* H^*$ ) [31].

No espaço CIELAB é possível quantificar as diferenças em termos psicométricos, através de DL, Da, Db e DE ou DL, DC, DH e DE, em que DE se denomina de valor total da diferença de cor [23].

A diferença de cor entre dois estímulos (por exemplo, padrão e amostra) pode ser quantificada pela equação 3.5.

$$DE_{ab} = \sqrt{(DL)^2 + (Da)^2 + (Db^*)^2} \quad (\text{Equação 3.5})$$

As restantes diferenças psicométricas, que fisicamente representam as diferenças entre a amostra analisada e o padrão estabelecido, são calculadas pelas equações 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10.

$$DL = L^*_{amostra} - L^*_{padr\tilde{a}o} \quad (\text{Equação 3.6})$$

$$Da = a^*_{amostra} - a^*_{padr\tilde{a}o} \quad (\text{Equação 3.7})$$

$$Db = b^*_{amostra} - b^*_{padr\tilde{a}o} \quad (\text{Equação 3.8})$$

$$DC_{ab} = C^*_{ab, amostra} - C^*_{ab, padr\tilde{a}o} \quad (\text{Equação 3.9})$$

$$DH_{ab} = \sqrt{(DE_{ab})^2 - (DL)^2 - (DC_{ab})^2} \quad (\text{Equação 3.10})$$

### 3.3. Espectrofotometria de cor

A espectrofotometria é a ciência que estuda quantitativamente as radiações através de métodos óticos. Este método baseia-se na medição quantitativa da absorção de luz pelas soluções, em que a concentração da substância absorvente na solução é proporcional à quantidade de radiação absorvida pela mesma [32].

Relativamente à cor, esta só pode ser medida por instrumentos especializados, que possuam sensores responsáveis por medir a luz refletida ou transmitida, como é o caso do colorímetro e do espectrofotómetro [33].

O espectrofotómetro é o aparelho mais eficaz na medição de cores e é capaz de obter informações colorimétricas mais completas, como os valores de intensidade de refletância dentro de uma determinada faixa do espectro. Este aparelho possui uma fonte de luz que incide na amostra e ao ser refletida é separada consoante o comprimento de onda, o que faz com que os sensores (matriz de díodos) meçam a quantidade de radiação

recebida em diversas regiões de comprimento de onda. Na figura 3.9 encontra-se uma ilustração do funcionamento de um espectrofotômetro de cor [33] [34].

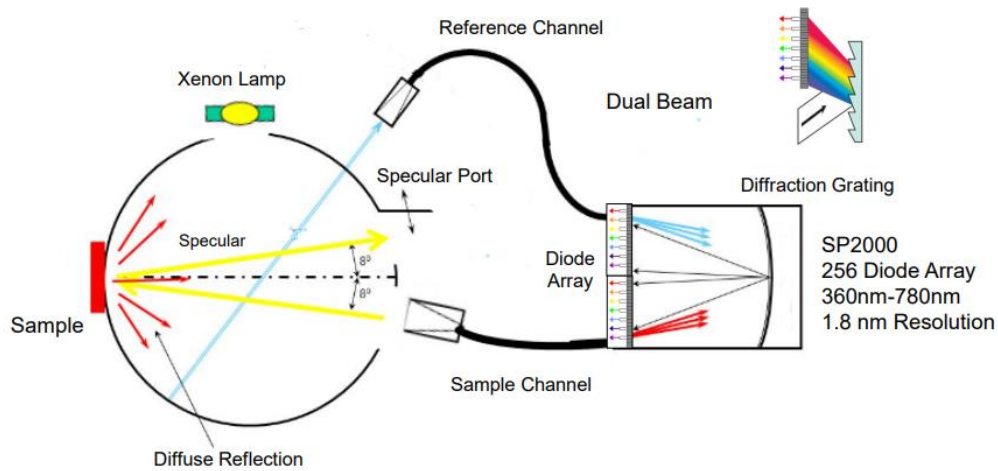


Figura 3. 12 – Funcionamento de um espectrofotômetro de cor [34].

### 3.3.1. Geometria de medição dos espectrofotômetros de cor

A geometria de medição é a condição de iluminação/observação que descreve o ângulo ou a maneira na qual o espectrofotômetro de cor ilumina a amostra e recebe a luz refletida resultante dessa iluminação [35].

A indústria de medição da cor utiliza distintos modelos de medição, nomeadamente: as geometrias  $d/8^\circ$  (difusa/normal) e  $8^\circ/d$  (normal/difusa) nos métodos SCE (*Specular Component Excluded*) e SCI (*Specular Component Included*); e as geometrias  $45^\circ/0^\circ$ ,  $0^\circ/45^\circ$  e  $45^\circ/0^\circ$  circunferencial [36].

As geometrias  $d/8^\circ$  e  $8^\circ/d$  utilizam um sistema de iluminação difusa com uma esfera de integração. A esfera em causa é normalmente revestida internamente por sulfato de bário, de modo a que a luz permaneça uniformemente difusa em todas as direções para iluminar a amostra. Um instrumento com geometria  $d/8^\circ$  ilumina a amostra difusamente e deteta a luz na direção normal, já um instrumento com geometria  $8^\circ/d$  ilumina a amostra com um ângulo normal de  $8^\circ$  e deteta a luz em todas as direções [36].

No método SCE a luz especular (corresponde à luz que é refletida no mesmo ângulo que foi emitida, mas numa direção oposta) não é incluída durante a medição da cor, como é possível visualizar pela análise da figura 3.10. Este tipo de método é adequado para comparação de cores em salas de inspeção ou em linhas de produção [36].

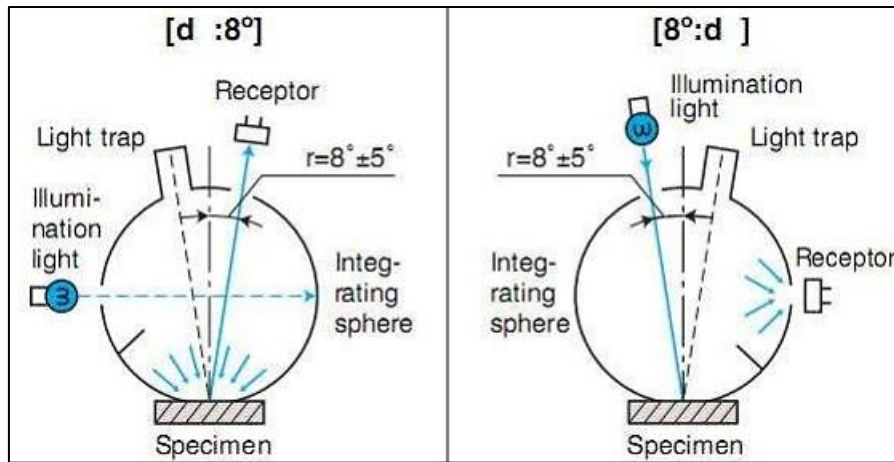


Figura 3. 13 – Método *Specular Component Excluded* (SCE) para medição da cor [36].

Relativamente ao método SCI a luz especular já é incluída na medição, o que faz com que esta técnica seja apropriada para áreas de desenvolvimento de cor. Na figura 3.11 encontra-se um esquema ilustrativo do método em estudo [36].

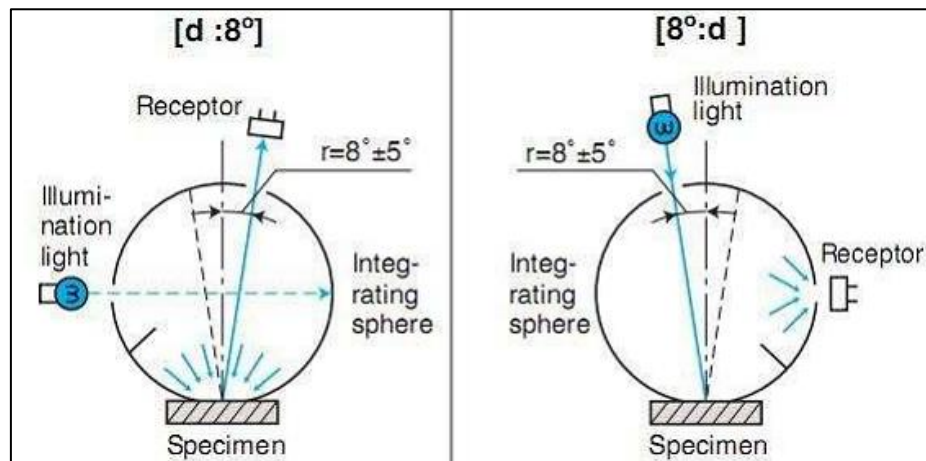


Figura 3. 14 – Método *Specular Component Included* (SCI) para medição da cor [36].

As geometrias  $45^\circ/0^\circ$  e  $0^\circ/45^\circ$  utilizam um método de iluminação com apenas um ângulo de direção. Na geometria  $45^\circ/0^\circ$  a amostra é iluminada com um ângulo de  $45^\circ$  relativamente à direção normal e o sensor recebe a informação na direção normal ( $0^\circ$ ) e, na geometria  $0^\circ/45^\circ$ , a amostra é iluminada pela direção normal e o sinal é recebido pelo sensor num ângulo de  $45^\circ$  [34].

No que concerne à geometria  $45^\circ/0^\circ$  circunferencial, a iluminação é realizada num ângulo de  $45^\circ$  através de múltiplos locais e a deteção é executada num ângulo de  $0^\circ$  [34].

Na figura 3.12 estão representadas as geometrias  $45^\circ/0^\circ$  e  $0^\circ/45^\circ$  e  $45^\circ/0^\circ$  circunferencial [34].

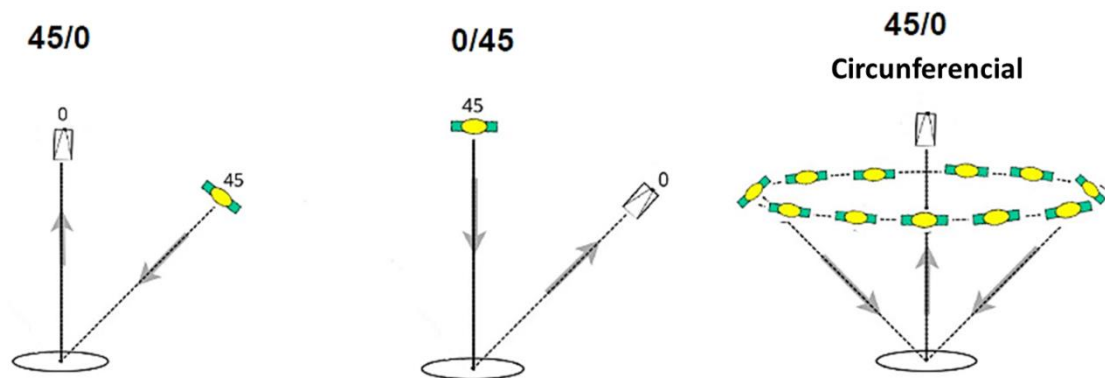


Figura 3. 15 – Geometrias de medição de cor 45°/0° e 0°/45° e 45°/0° circunferencial [34].

### 3.4. Química e propriedades dos polímeros

Um polímero é definido como um componente macromolecular obtido através de reações químicas de polimerização e constituído por unidades estruturais repetitivas, designadas de monómeros, unidas entre si por ligações covalentes [37].

Quando um polímero é constituído apenas por um tipo de monómero chama-se de homopolímero e, quando existem mais do que um tipo de monómeros na sua constituição, este é nomeado por copolímero. Adicionalmente os polímeros podem ser classificados em diversos grupos, de acordo com outras características que possam apresentar [38].

Relativamente à configuração das cadeias, os polímeros podem estar organizados em estruturas lineares, ramificadas ou reticuladas. Nas estruturas reticuladas as cadeias de polímeros encontram-se unidas umas às outras por ligações químicas cruzadas e, esse tipo de ligações, impedem o deslizamento entre as cadeias poliméricas, o que faz com que seja necessário a aplicação de cargas de maior magnitude para que ocorram deformações plásticas [39].

Tendo em consideração a estabilidade térmica do material, os polímeros podem ser termoplásticos ou termoendurecíveis. Os termoplásticos suportam diversos ciclos térmicos, possibilitando a sua moldagem sem que haja alteração significativa das suas propriedades. Já os termoendurecíveis apenas podem ser sujeitos a um ciclo térmico e são formados por estruturas poliméricas fortemente ramificadas, garantindo assim a coesão intermolecular [40].

Este tipo de materiais também pode ser categorizado como cristalino, no caso de os átomos assumirem posições definidas e organizadas no espaço, ou amorfos, quando os átomos não adotam posições definidas espacialmente [40] [41].

Por fim, no que diz respeito ao comportamento mecânico, os materiais poliméricos podem ser catalogados como elastômeros, plásticos ou fibras. Um elastômero apresenta uma estrutura macromolecular composta por longas cadeias, enroladas e torcidas entre si, o que lhe confere uma grande flexibilidade e possui um elevado grau de elasticidade quando sujeito a um processo de reticulação. Os plásticos são materiais sólidos à temperatura ambiente e podem ser classificados como termoplásticos ou termoendurecíveis, como já explicado anteriormente. Por fim, as fibras são constituídas por cadeias orientadas, apresentando assim uma alta resistência mecânica [37] [41].

Na presente dissertação os estudos são realizados apenas a materiais de policloreto de vinilo.

### 3.4.1. Materiais de policloreto de vinilo

O policloreto de vinilo, também conhecido como PVC, é um polímero obtido a partir da reação de poliadição de monómeros de cloreto de vinilo. Na figura 3.13 é possível visualizar o monómero e o homopolímero em estudo [42].

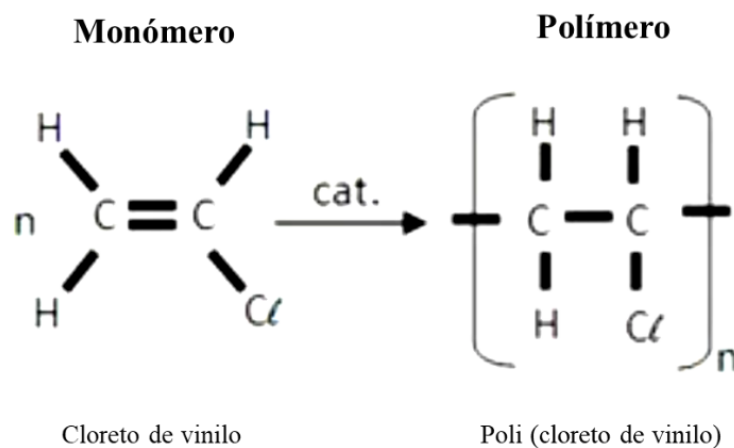


Figura 3. 16 – Cloreto de vinilo e policloreto de vinilo [38].

O PVC é um termoplástico amorfo que pertence aos polímeros vinílicos e apresenta uma temperatura de transição vítrea na ordem dos 81° C. É dos materiais

poliméricos mais versáteis e as suas características podem ser melhoradas, de acordo com a aplicação final, com a incorporação de aditivos [42].

Os principais aditivos utilizados pela TMG Automotive e respetivos efeitos nas formulações de materiais de PVC encontram-se na Tabela 3.1.

Tabela 3. 1 – Principais aditivos e respetivos efeitos nos materiais de PVC [6].

<b>Aditivo</b>	<b>Efeito no material de PVC</b>
<b>Plastificante</b>	Substância adicionada para promover flexibilidade e modificar a dureza.
<b>Estabilizante</b>	Inibe as reações de degradação pelo calor, pela radiação UV e por agentes oxidantes.
<b>Retardante à chama</b>	Reduz a velocidade de propagação da chama.
<b>Pigmento</b>	Adicionado para colorar o material.
<b>Agente de expansão</b>	Forma uma estrutura celular no PVC e diminui a densidade.
<b>Carga</b>	Aumenta o volume, a opacidade e resistência ao impacto do material. Diminui os custos e modifica as propriedades mecânicas, térmicas e dielétricas.
<b>Dispersante</b>	Garante a homogeneidade do empastado.

A adição de plastificante à matriz polimérica proporciona uma redução da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) do material em causa, que se acentua com o aumento da quantidade de plastificante. A incorporação deste aditivo também reduz as forças intermoleculares das cadeias poliméricas e aumenta a mobilidade molecular, o que provoca um aumento do volume livre e do movimento das cadeias. Em resultado disso, dá-se um aumento da flexibilidade, redução do módulo de elasticidade e do alongamento na rutura, o que melhora a resistência ao impacto do material polimérico [43].

A incorporação de estabilizante no polímero permite retardar a degradação proveniente da ação da temperatura e da radiação UV, atribuindo a capacidade de o material manter a sua forma sob várias condições atmosféricas e/ou ambientais [44].

O PVC contém a presença do átomo de cloro, que proporciona ao material uma resistência à chama natural. No entanto, podem ser adicionados retardantes à chama que são aditivos responsáveis por retardar a degradação por influência de chama [42].

Tal como já referenciado anteriormente, um pigmento define-se como um modificador das propriedades óticas de um polímero, conferindo-lhe cor, brilho e tonalidade, de modo a que este aparente a estética pretendida. Para além disso, a adição de pigmento atua ao nível da estabilidade térmica, da estabilidade à radiação UV e influencia as características reológicas do material [45].

O agente de expansão proporciona uma melhor homogeneidade no processo de formação da espuma, que se pode realizar através de processos físicos (temperaturas elevadas ou pressões baixas) ou químicos (por reações com a geração de um gás). A formação de espuma confere características importantes, ao nível do isolamento térmico e elétrico, densidade baixa, peso reduzido e moldagem simplificada [42].

No que diz respeito às cargas, estas são incorporadas na formulação com o intuito de reduzir o custo do material e de fomentar algumas propriedades no material, como por exemplo, a estabilidade térmica, a rigidez e a dureza.

Por fim, a adição de dispersantes promove uma diminuição da viscosidade do empastado, devido à redução das forças intermoleculares entre as partículas do pigmento. A seleção do dispersante adequado tem de ter em conta a área de superfície, o pH e o tratamento de superfície, de modo a averiguar todas as informações necessárias relativas à afinidade deste com o meio e à facilidade de humedecimento [46].



## 4. Materiais e métodos

Ao longo do presente capítulo serão apresentadas as metodologias adotadas para a concretização do trabalho proposto, que consiste na criação e testagem de uma base de dados interna para formulações de cor. Para isso foi necessária a produção de filmes flexíveis de PVC com os diversos pigmentos existentes e através dos dados espectrais obtidos pela leitura desses filmes foi criada a base de dados colorimétrica.

A produção de filmes flexíveis de PVC resulta da gelificação por ação da temperatura de uma pasta pigmentada, após a aplicação da mesma sobre um papel. A pasta pigmentada referida é constituída por pasta de PVC (sem cor) e por um ou mais empastados. Na figura 4.1 encontra-se a esquematização do processo de formação de um filme flexível de PVC.

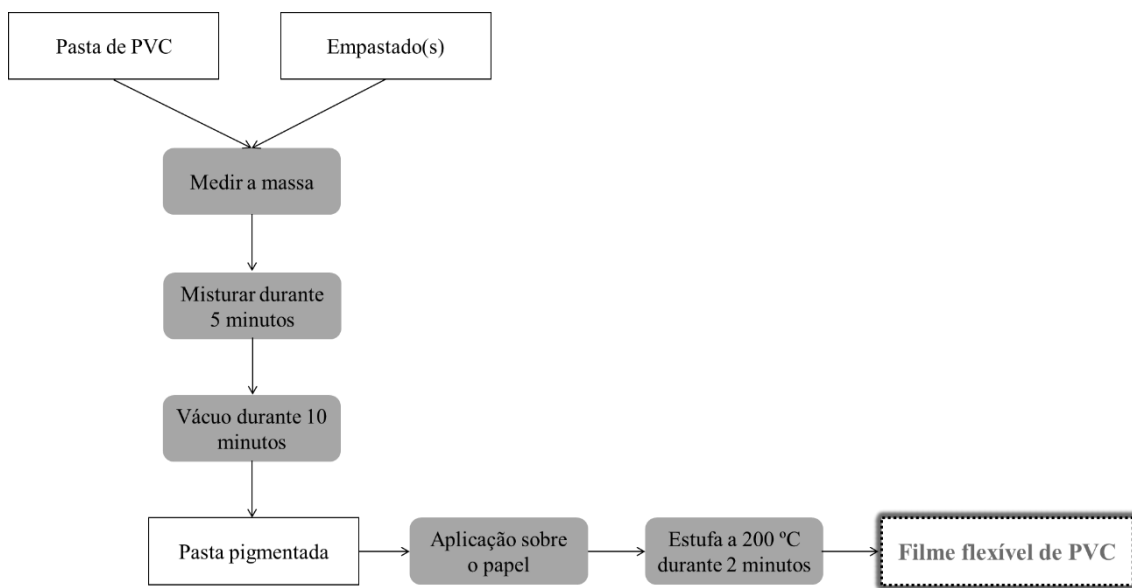


Figura 4. 1 – Esquematização do processo de formação de um filme flexível de PVC.

Os filmes de PVC são produzidos com o recurso a um filmógrafo, que contém 4 posições correspondentes a diferentes espessuras. É importante referir que os filmes para este trabalho foram produzidos na posição III do filmógrafo, o que corresponde a uma espessura de aproximadamente 0,52 milímetros. No total, para o desenvolvimento do presente trabalho, foram produzidas cerca de 500 amostras de filmes flexíveis de PVC.

A pasta de PVC é uma mistura da resina de PVC com aditivos, como é o caso de plastificantes e estabilizantes, e um empastado é uma a mistura de pigmento em pó, com

plastificante e, em alguns casos, também com dispersante, dependendo da estabilidade do mesmo.

Na tabela 4.1 estão apresentados os equipamentos e materiais utilizados no processo.

Tabela 4. 1 – Equipamentos e materiais utilizados nas metodologias empregues no Laboratório de Cores da TMG Automotive.

<b>Equipamento ou Material</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Espetrofotómetro	Datacolor	DC 850
Balança	Mettler Toledo	ME204Y/00
Misturador	Oliver Battle	Dispermix
Moinho de dispersão	Exakt	80E PLUS
Vácuo	(construído pela TMG Automotive e opera a cerca de 0,8 psi)	
Estufa	Memmert	UF 55
Caixa de luz	X-Rite	SpectraLight III
Filmógrafo	Erichsen	286 / 100 mm
Substrato de calibração por defeito	Leneta	Form 2C – Opacity
Cronómetro	Electronic	Timer Clock
Papel	Release	S/K EHR

Para além dos equipamentos e materiais apresentados na tabela anterior são também necessários os equipamentos de proteção individual (EPI), com o intuito de proteger os operadores contra possíveis riscos ameaçadores da sua saúde ou segurança.

De modo a manter o local de trabalho sempre limpo, evitando assim contaminações, são necessárias soluções de limpeza, como a Metiletilcetona, mais conhecida como MEK e um solvente aromático, denominado por C9+ tipo I.

De seguida serão apresentados os procedimentos empregues ao longo da parte experimental da dissertação e, é importante salientar que, devido a questões de confidencialidade, não é possível detalhar as formulações aplicadas no Laboratório de Cores, nem os nomes dos pigmentos utilizados.

## 4.1. Pastas de PVC

As pastas de PVC que são apresentadas neste projeto foram produzidas na unidade industrial da TMG Automotive, tendo por base as formulações internas da empresa.

A produção de uma pasta de PVC pode dividir-se nas etapas representadas na figura 4.2, em que, inicialmente se medem as quantidades necessárias do PVC em pó e dos aditivos adequados, mistura-se, filtra-se e, por fim, armazena-se num recipiente adequado.

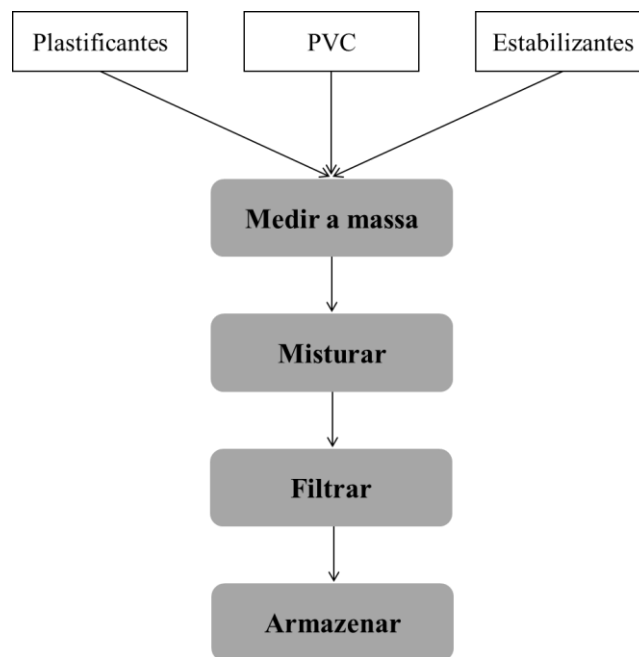


Figura 4. 2 – Procedimento para a produção de pastas de PVC.

Das diversas pastas de PVC existentes, a pasta designada por 2PLDB serviu de base para o estudo em causa, sendo a pasta utilizada na formulação dos cortes que se introduziram na base de dados. Por essa mesma razão, a pasta 2PLDB é denominada por pasta mãe. Por outro lado, também se tornou necessário inserir na base de dados as diversas pastas de PVC utilizadas nas receitas de cor estudadas na testagem.

## 4.2. Empastados

Podem existir 3 possíveis procedimentos para a produção de empastados, em que a quantidade e o número de aditivos adicionados varia. Na figura 4.3 estão representados os possíveis procedimentos a seguir para a produção de empastados.

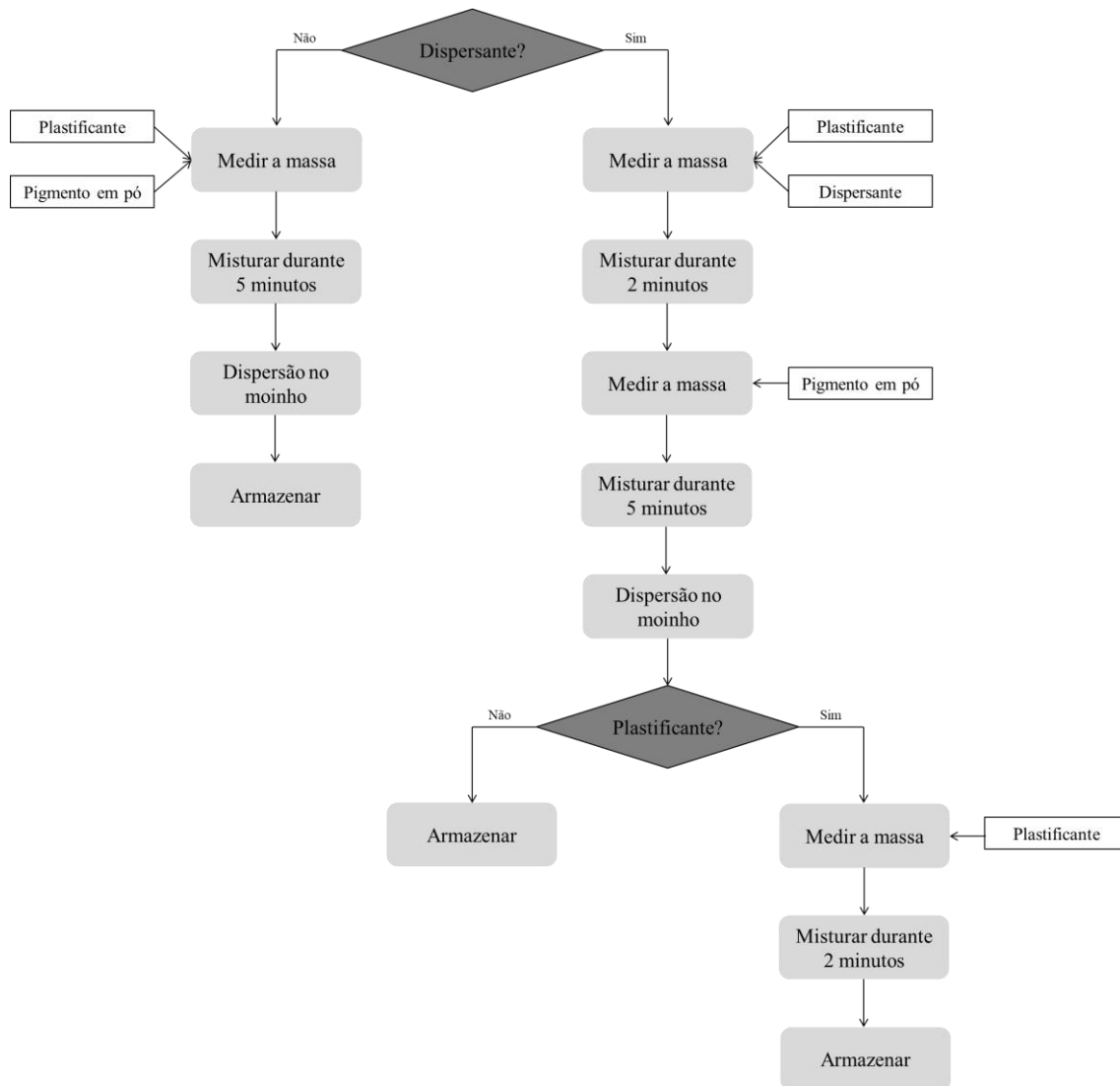
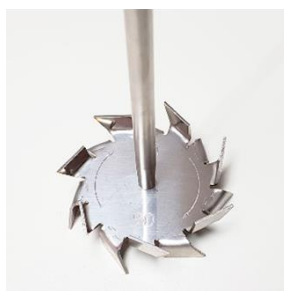


Figura 4. 3 – Procedimento para a produção de empastados.

A dispersão dos pigmentos é iniciada aquando da homogeneização da mistura do pigmento em pó com os aditivos, utilizando um agitador de *Cowles*. No entanto, como se pretende um maior grau de dispersão, recorre-se também à utilização de um moinho tricilíndrico. Na figura 4.4 estão representados os equipamentos de dispersão utilizados na produção de empastados.

**Agitador de Cowles**



**Moinho tricilíndrico**



Figura 4. 4 – Equipamentos de dispersão utilizados na produção de empastados [6].

A estabilização do pigmento é realizada com a adição de dispersantes e, no fim de todo este processo, o empastado é controlado e fica assim apto a ser utilizado na produção da empresa em causa.

#### **4.2.1. Empastados em estudo**

No presente trabalho, foram estudados 45 empastados, que podem ser distinguidos segundo o código estético definido internamente e pelo *color index* associado ao pigmento em causa.

O código estético corresponde a uma sequência de números e letras – 5PG00ABCD – cujo dígito representado pela letra A indica a cor fundamental do empastado e pode variar entre 1 e 7. Relativamente ao *color index*, este define-se como um padrão internacionalmente reconhecido de classificação de pigmentos e facilita a pesquisa de um pigmento, agregando a matriz de um pigmento a um número de série exclusivo [6] [47].

Na tabela 4.2 estão listados os pigmentos estudados agrupados pelo *color index* e pelo código estético associado.

Tabela 4. 2 – Lista dos pigmentos estudados e respetivo *color index* (CI).

	<i>Color index</i> (CI)	Código estético
<b>Branços</b>	PW 6	5PG001000
	PW 6	5PG001100
	PW 6	5PG001110
<b>Amarelos</b>	PY 24	5PG002000
	PY 95	5PG002100
	PY 24	5PG002125
	PY 184	5PG002145
	PY 53	5PG002155
	PY 95	5PG002175
	PY 95	5PG002176
	PY 42	5PG002185
	PY 42	5PG002200
<b>Castanhos</b>	PR 101 / PY 42 / PBk 11	5PG003000
	PBr 23	5PG003100
	PY 164	5PG003120
	PR 101 / PY 42 / PBk 11	5PG003135
	PBr 23	5PG003140
<b>Vermelhos</b>	PR 221	5PG004000
	PR 144	5PG004150
	PR 144	5PG004151
	PR 101	5PG004165
	PR 221	5PG004170
	PR 221	5PG004171
	PO 61	5PG004182
	PV 19	5PG004191
	PR 254	5PG004195
	PR 101	5PG004200
PR 144	5PG004400	
<b>Azuis</b>	PB 15:3	5PG005000
	PB 15	5PG005125
	PB 28	5PG005130
	PB 60	5PG005140
	PB 15:3	5PG005150
	PB 28	5PG005200
<b>Verdes</b>	PG 7	5PG006000
	PG 7	5PG006150
	PG 26	5PG006160
	PG 26	5PG006200
<b>Pretos</b>	PBk 7	5PG007000
	PBk 7	5PG007100
	PBk 7	5PG007130
	PBk 7	5PG007135
	PBk 30	5PG007140
	PBk 7	5PG007200
	PBk 30	5PG007300

### 4.3. Pastas pigmentadas

As pastas pigmentadas correspondem à junção de uma pasta de PVC com um ou mais empastados e, para cada empastado estudado, realizaram-se diversas misturas. As misturas, designadas por cortes, são executadas variando a concentração de empastados e de pasta mãe numa determinada pasta pigmentada.

É de notar que, para a realização dos cortes de um empastado e para a introdução da informação do mesmo na base de dados, é necessária a presença de um empastado padrão na pasta pigmentada. Existe um empastado padrão branco e um empastado padrão preto, com os códigos estéticos 5PG001000 e 5PG007000, respetivamente.

Na tabela 4.3 encontram-se as massas dos cortes realizados.

Tabela 4. 3 – Massas medidas para a execução dos cortes nos empastados estudados.

		Massa de pasta mãe (2PLDB) (g)	Massa de empastado em estudo (g)	Massa de empastado padrão branco (5PG001000) (g)	Massa de empastado padrão preto (5PG007000) (g)
<b>Empastados brancos</b>	<b>Corte B1</b>	90,00	10,00	-	-
	<b>Corte B2</b>	99,00	1,00	-	-
	<b>Corte B3</b>	99,50	0,50	-	-
<b>Empastados pretos</b>	<b>Corte P1</b>	99,00	1,00	-	-
	<b>Corte P2</b>	97,00	3,00	-	-
	<b>Corte P3</b>	97,00	1,50	1,50	-
	<b>Corte P4</b>	97,00	1,20	1,80	-
	<b>Corte P5</b>	97,00	1,00	2,00	-
	<b>Corte P6</b>	97,00	0,80	2,20	-
	<b>Corte P7</b>	97,00	0,60	2,40	-
	<b>Corte P8</b>	97,00	0,40	2,60	-
	<b>Corte P9</b>	97,00	0,20	2,80	-
<b>Empastados de cor</b>	<b>Corte C1</b>	99,00	1,00	-	-
	<b>Corte C2</b>	90,00	10,00	-	-
	<b>Corte C3</b>	90,00	5,00	5,00	-
	<b>Corte C4</b>	90,00	4,00	6,00	-
	<b>Corte C5</b>	90,00	3,00	7,00	-
	<b>Corte C6</b>	90,00	2,00	8,00	-
	<b>Corte C7</b>	90,00	1,00	9,00	-
	<b>Corte C8</b>	90,00	0,50	9,50	-
	<b>Corte C9</b>	90,00	0,25	9,75	-
	<b>Corte C10</b>	90,00	9,50	-	0,50

Realizam-se os 3 cortes denominados pela letra B, quando se pretende estudar um empastado branco, os 7 cortes correspondentes à letra P, quando o empastado em estudo é preto ou, no caso de se tratar de um empastado de cor, realizam-se os 10 cortes representados pela letra C.

Tal como referido anteriormente, o comportamento da pasta mãe 2PLDB é averiguado a partir dos cortes apresentados na tabela 4.3. No entanto são necessárias outras pastas de PVC para estudos de cor. Para introduzir os dados espectrais das restantes pastas de PVC são realizados os cortes apresentados na tabela 4.4.

Tabela 4. 4 – Massas medidas para a execução dos cortes nas pastas de PVC estudadas.

<b>Corte</b>	<b>Massa de pasta de PVC (g)</b>	<b>Massa de empastado padrão branco (5PG001000) (g)</b>	<b>Massa de empastado padrão preto (5PG007000) (g)</b>
<b>R1</b>	100,00	-	-
<b>R2</b>	90,00	10,00	-
<b>R3</b>	99,00	1,00	-
<b>R4</b>	99,50	-	0,50

Com a introdução dos cortes denominados pela letra R, o espectrofotómetro consegue fornecer receitas de cor com diferentes pastas PVC.

#### **4.4. Condições de medição**

Os espectros dos filmes flexíveis de PVC são recolhidos pelo espectrofotómetro da marca *Datacolor*, modelo DC 850, utilizando o método SCI na geometria 8º/d. O modelo de abertura selecionado para a realização das medições foi o LAV, que corresponde a uma abertura de 30 cm de diâmetro na superfície do filme flexível de PVC.

A utilização deste equipamento permite a medição dos espectros numa larga gama de comprimentos de onda, desde os 360 aos 700 nanómetros, com intervalos de 10 nanómetros.

A medição das coordenadas de cor de uma dada amostra é executada no iluminante D65, no iluminante A e no iluminante TL84, em que os últimos dois iluminantes são utilizados para averiguar o metamerismo da amostra analisada.

Tendo em conta que algumas das amostras produzidas não são totalmente opacas, tornou-se necessária a realização de leituras duplicadas. O filme flexível de PVC é colocado sobre um substrato de calibração por defeito e são executadas duas medições, uma na zona do branco e outra na zona do preto. O substrato de calibração por defeito está representado no Anexo A e também pode ser designado por Leneta.

#### **4.5. Criação da base de dados**

As bases de dados são coleções organizadas de dados e/ou informações que se relacionam entre si e o seu armazenamento é, normalmente, efetuado eletronicamente num sistema computacional. Tendo em conta que aumentam a eficiência de uma pesquisa ou estudo científico, as bases de dados são uma peça fundamental nos sistemas de informação e segurança, tornando-se cruciais para as operações empresariais [48].

Os conjuntos de arquivos, pertencentes a uma base de dados, são controlados pelos sistemas de gestão de bases de dados (DBMS, abreviatura de *Data Base Management System*), que também podem ser designados por *softwares* de bases de dados. Normalmente, estes *softwares* utilizam uma linguagem de consulta estruturada (SQL, abreviatura de *Structured Query Language*) para gravar e consultar dados. Os *softwares* de bases de dados também abrangem o armazenamento de dados, *backup*, relatórios, controlo de acesso múltiplo e segurança [48].

O *software* simplifica a gestão dos dados, permitindo que os utilizadores os armazenem de forma estruturada e que, posteriormente, lhes possam aceder de forma simplificada e rápida [48].

*Datacolor Match Pigment* é um pacote de *software* de última geração desenvolvido pela *Datacolor* para fabricantes de produtos com cor, como tintas, plásticos, materiais impressos, cosméticos, entre outros, de modo a avaliar, combinar e corrigir a cor dos produtos. Este *software* pode ser usado em todas as etapas do processo de fabrico, desde o início da formulação ao produto acabado.

O programa consiste em um conjunto de módulos de programa, em que cada um é adaptado a uma função incluída no *software*.

- *Formula Central* – é usado para todas as atividades de correspondência de cores no laboratório e na produção.

- *System Administration* – controla todos os padrões de seleções do sistema e disponibiliza a opção de personalizar os perfis dos utilizadores de acordo com as suas necessidades e requisitos.
- *Navigator* – fornece recursos para gerir o armazenamento e a recuperação de dados.
- *Ingredient Maintenance* – fornece o acesso a informações sobre as propriedades físicas das matérias-primas, e informações como custo, nome do lote, etc.
- *Set Maintenance* – é usado para criar e editar os dados óticos das matérias-primas.
- *Schedule Maintenance* – autoriza opções avançadas de enfileiramento, permitindo criar e editar agendas, que possibilitam incorporar vários modelos de trabalho em uma única fila.
- *Queue Maintenance* – este programa é dedicado à construção e edição de filas, e fornece todas as funções necessárias para suportar uma fila.

O ponto de partida da criação da base de dados dá-se no *Ingredient Maintenance*, onde são introduzidas informações sobre as propriedades físicas das matérias-primas, como densidade, custo e prioridade. É também neste módulo que se associa o nome ao tipo de produto introduzido.

Nesta etapa, associa-se o tipo de material a introduzir a um conceito definido pelo *software*, que pode ser: “resina”, “cor”, “branco”, “preto”, “base”, “diluyente” ou “auxiliar”. A “resina” corresponde a uma pasta de PVC sem cor, o conceito de “cor” está associado às diversas pastas pigmentadas e os conceitos “branco” e “preto” relacionam-se apenas com as pastas pigmentadas brancas e pretas, respetivamente. Por outro lado, os termos “base”, “diluyente” e “auxiliar” são mais aplicados a tintas e, por essa razão, não foram utilizados ao longo deste projeto.

Depois de introduzida a informação física do produto no *Ingredient Maintenance*, é no *Set Maintenance* que se introduz a informação colorimétrica dos filmes flexíveis de PVC. Para tal, é necessário, inicialmente, criar um ficheiro e classificar o tipo de produtos inseridos, que podem ser transparentes, opacos ou translúcidos. Na sucessão de algumas testagens, averiguou-se que o mais adequado seria a criação de um ficheiro para produtos

translúcidos, uma vez que nem todos os filmes produzidos são totalmente opacos. No anexo B está presente o procedimento a seguir para a criação de um ficheiro de pigmentos.

Após a criação do ficheiro é necessário adicionar a informação colorimétrica de cada empastado. É nesta etapa que se introduzem as quantidades de cada pigmento utilizado em cada amostra e se realiza a leitura duplicada do filme flexível de PVC (contra o branco e contra o preto da Leneta). No anexo C encontra-se uma descrição das etapas a seguir para a criação de um pigmento no ficheiro criado.

De seguida, é necessário seleccionar um método de agrupamento das misturas, que utiliza os dados de mistura inseridos para calcular níveis para cada empastado. Inicialmente seleccionou-se o método CC (pares), mas, posteriormente, alterou-se para o método combinado. O método de agrupamento CC (pares) calcula níveis a partir de um par de misturas e o método de agrupamento combinado envolve um processo de otimização para determinar as propriedades óticas das amostras. Posto isto, verificou-se que o método combinado é o mais adequado para materiais poliméricos e calcula em média 1 ou 2 níveis para cada pigmento.

Por fim, depois de lidas as amostras contra o substrato por defeito, o espectrofotómetro calcula os valores de absorção (K), dispersão (S) e as percentagens de refletância (%R) em função do comprimento de onda, para cada corte inserido, traçando gráficos como os que estão representados nas figuras 4.5, 4.6 e 4.7, respetivamente.

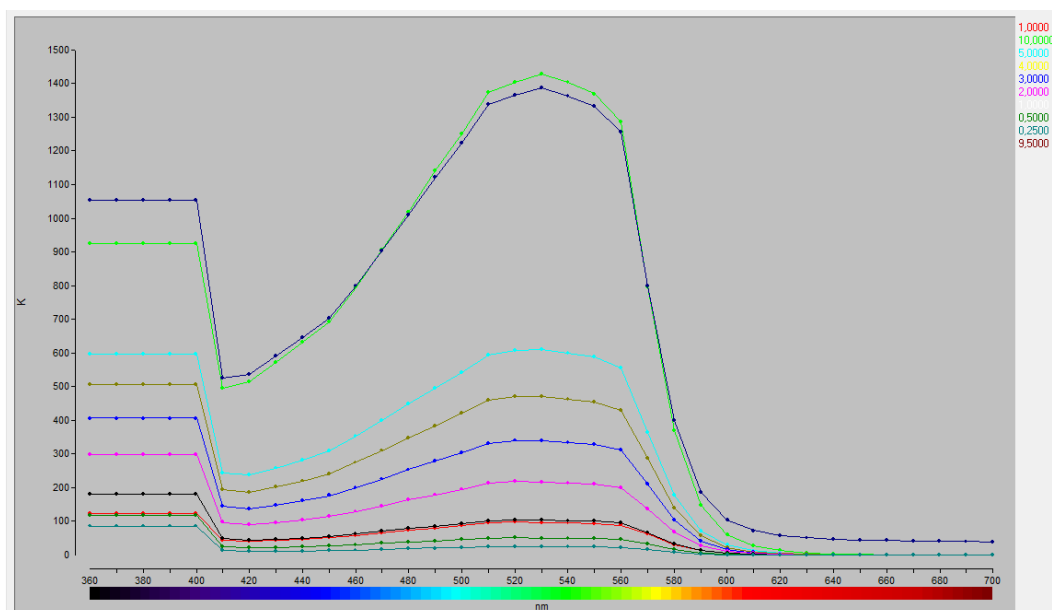


Figura 4. 5 – Valores da absorção (K) em função do comprimento de onda, para cada amostra lida do empastado 5PG004150.

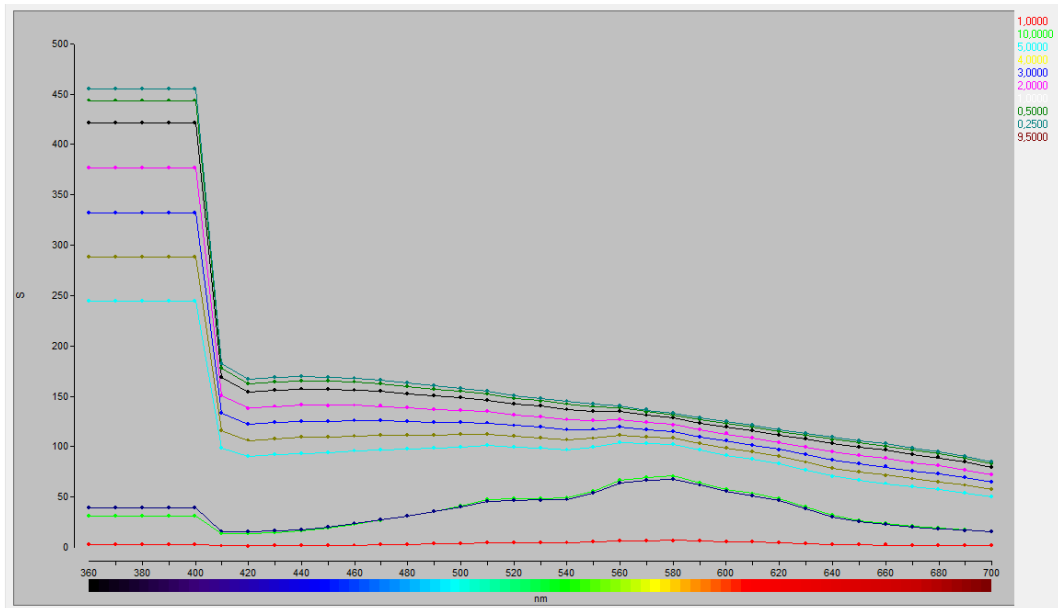


Figura 4. 6 – Valores da dispersão (S) em função do comprimento de onda, para cada amostra lida do empastado 5PG004150.

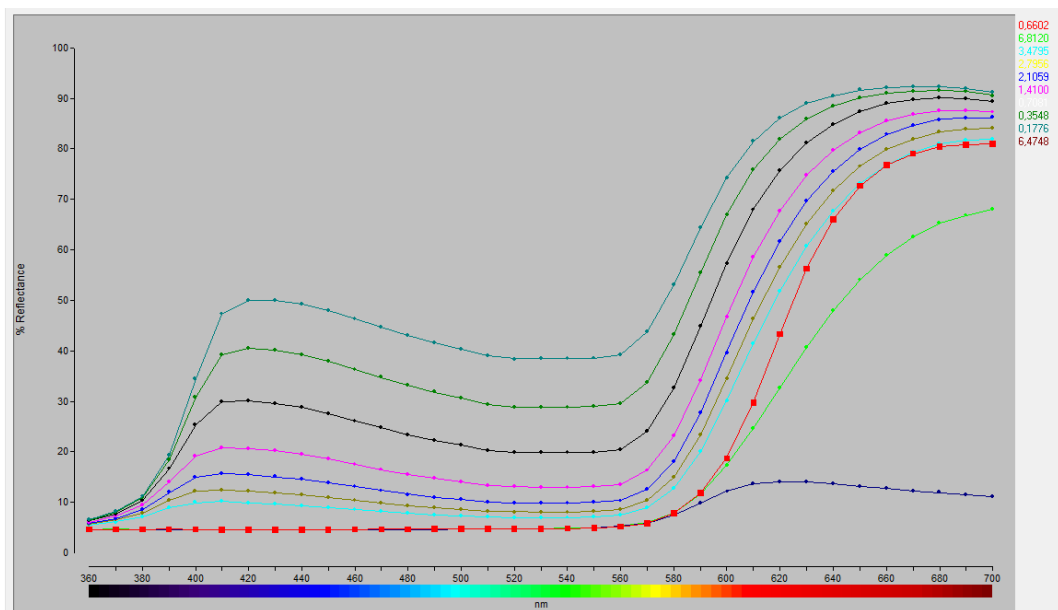


Figura 4. 7 – Percentagem de refletância (%R) em função do comprimento de onda, para cada amostra lida do empastado 5PG004150.

A etapa que segue o longo processo de criação da base de dados é a testagem da mesma, no módulo *Formula Central*, através de formulações de cor.

## 5. Testagem da base de dados

Depois de criada e completada a base de dados é crucial proceder-se à sua testagem para verificar se esta está ou não apta para ser utilizada no dia-a-dia da TMG Automotive. Para tal, recorre-se à utilização do módulo *Formula Central*.

De modo a verificar a operacionalidade da base de dados, procedeu-se à realização de 3 tipos de testagem:

- Melhorias de receitas de cor já existentes;
- Criação de receitas de cor a partir do padrão fornecido pelo cliente;
- Acompanhamento e apoio à produção, em tempo real, através de acertos de formulações de cor.

Antes da existência da base de dados criada, as receitas de cor eram formuladas por tentativa-erro, com base na vasta experiência dos operadores do Laboratório de Cores. No entanto, este modo de trabalho, para além de demorado, está mais suscetível a erros, podendo levar ao desperdício e conseqüente prejuízo no rendimento da empresa. Com o desenvolvimento do presente trabalho, foi possível encontrar novas formulações de cor, mais rigorosas (nas diferenças de coordenadas de cor e no metamerismo), com menor custo, e/ou selecionando apenas os pigmentos que se pretende utilizar na formulação.

Para que fosse possível a elaboração de uma base de dados mais fidedigna, antes desta dissertação, foi realizado um estudo que permitiu a estabilização dos empastados existentes. Sendo assim, as receitas de cor estudadas ao longo deste capítulo, terão como principal objetivo a priorização do uso dos empastados estabilizados. No anexo D encontra-se a lista dos empastados estabilizados disponíveis.

Por outro lado, das variadas formulações que o *software* exhibe para um dado padrão, priorizam-se as receitas com menor metamerismo e com menor custo de produção.

É importante referir que, no processo industrial em causa, existem várias etapas, onde são avaliadas as diferenças de cor do artigo comparativamente ao respetivo padrão (fornecido pelo cliente). A cor do artigo sofre alterações nas diversas etapas, o que faz com que seja necessário, previamente, executar o processo ocorrido na fábrica, numa

escala mais reduzida (escala piloto), para que se definam os limites das diferenças de cor em cada etapa do processo.

Inicialmente, a receita de cor é formulada de modo a que as diferenças de cor entre o padrão e a amostra produzida sejam nulas. De seguida, ao executar o processo na escala piloto, averiguam-se as diferenças de cor obtidas nas etapas do processo. Posteriormente, definem-se os limites das diferenças de cor entre a amostra e o padrão em cada etapa do processo, de modo que, no produto acabado, o artigo possua uma diferença de cor para o padrão nula. Por fim, o processo de formulação de uma receita termina quando esta é reformulada para os limites de saída de máquina (pasta pigmentada depois de executado o vácuo). Pretende-se assim que, no final da produção, o artigo possua a informação colorimétrica e as propriedades óticas exigidas pelo cliente.

Os limites das diferenças de cor definidos são informatizados numa “Folha de controlo estético” (Anexo E), e são consultados ao longo do processo produtivo pelos operadores. Os valores das diferenças de cor que devem ser verificados correspondem apenas ao iluminante D65 e os valores do metamerismo dos iluminantes A e TL84 relativamente ao iluminante D65 devem ser inferiores a 0,30, caso seja um requisito do cliente.

As receitas de cor informatizadas são distinguidas por um código estético semelhante ao dos empastados, constituído por quatro dígitos e uma letra (exemplo: 1234A), em que o primeiro dígito define a cor fundamental do artigo (1 – branca; 2 – bege ou amarela; 3 – castanha; 4 – vermelha; 5 – azul; 6 – verde; 7 e 8 – preta ou cinzenta).

Por fim, ao formular e/ou melhorar receitas de cor é necessário averiguar se o artigo mantém opacidade suficiente para ser trabalhado. Para tal, mede-se a transmitância do filme flexível de PVC para verificar se esta é inferior a 5%. No anexo F é possível encontrar o procedimento a seguir para a medição da percentagem de transmitância de uma amostra.

## **5.1. Melhorias de formulações de cor**

Num primeiro passo, para testar a funcionalidade da base de dados, estudaram-se receitas de cor que apresentavam problemas/dificuldades na sua produção. As receitas de cor estudadas para melhoria da sua formulação foram: 3390A, 4009B, 4969A e 4981A.

### 5.1.1. Receita de cor 3390A

O principal problema enfrentado para a receita de cor com o código estético 3390A é o metamerismo, que deve ser inferior a 0,30. O estudo desta receita de cor, antes da existência da base de dados, prolongou-se por meses e chegou-se à conclusão de que eram necessários pigmentos novos, uma vez que os pigmentos existentes na TMG Automotive não permitiriam alcançar os valores de metamerismo pretendidos. Assim, em conjunto com os fornecedores e com a ajuda da sua base de dados, encomendaram-se os pigmentos necessários para produzir os empastados denominados por 5PG003120, 5PG004182 e 5PG004191. A receita de cor formulada pela produção, sem recurso ao *software* e com os novos pigmentos, está indicada na tabela 5.1.

Tabela 5. 1 – Receita da cor 3390A, formulada pela produção.

Componente	Quantidade (kg)
5PG001000	0,06
5PG007000	0,16
5PG004191	0,40
5PG004182	0,50
5PG003120	4,30
2PLDB	113,27

Os limites, superior (LS) e inferior (LI), das diferenças de cor para a qual a receita foi estudada e o valor máximo aceitável do metamerismo estão indicados na tabela 5.2.

Tabela 5. 2 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 3390A, indicados pela produção.

	DL	Da	Db	Metamerismo
LS	-0,50	-0,60	-0,45	< 0,30
LI	-0,60	-0,70	-0,55	

Os resultados obtidos para a formulação estão indicados na tabela 5.3, em que os valores do DL, Da e Db foram obtidos para o iluminante D65 e o metamerismo corresponde à comparação das diferenças de cor obtidas nos iluminantes A e TL84 para o iluminante D65.

Tabela 5. 3 – Resultados obtidos pela produção, relativos à receita da cor 3390A (sem os empastados 5PG003120, 5PG004182 e 5PG004191).

DL	Da	Db	Metamerismo
-0,60	-0,71	-0,60	0,22 <sup>(1)</sup> / 0,31 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

O cliente que solicitou este artigo reprovou a formulação em causa por esta possuir um metamerismo superior a 0,30 no iluminante TL84, o que desencadeou a necessidade da melhoria da receita de cor.

Na tabela 5.4 está indicada a formulação fornecida pelo *software* e na tabela 5.5 estão descritos os resultados obtidos com essa mesma receita de cor.

Tabela 5. 4 – Receita da cor 3390A, fornecida pelo *software* (sem os empastados 5PG003120, 5PG004182 e 5PG004191).

Componente	Quantidade (kg)
5PG005000	0,21
5PG001000	0,28
5PG003100	0,52
5PG005200	2,62
5PG004000	3,95
5PG002000	4,76
2PLDB	113,27

Tabela 5. 5 – Resultados obtidos da receita da cor 3390A, fornecida pelo *software* (sem os empastados 5PG003120, 5PG004182 e 5PG004191).

DL	Da	Db	Metamerismo
-0,57	-0,61	-0,45	0,30 <sup>(1)</sup> / 0,69 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

Com a existência da base de dados, provou-se em apenas um dia de trabalho, que não era possível obter uma formulação com as especificações exigidas pelo cliente, sem a introdução dos novos empastados na base de dados. Se a base de dados já existisse, poupar-se-iam meses de trabalho e concluir-se-ia rapidamente que os pigmentos existentes não eram suficientes para produzir a formulação pretendida.

Posteriormente, foi solicitada uma nova receita de cor ao espectrofotómetro, incluindo os empastados estabilizados e os novos empastados 5PG004182 e 5PG004191. A formulação obtida está indicada na tabela 5.6.

Tabela 5. 6 – Receita da cor 3390A, fornecida pelo *software* (com os novos empastados 5PG004182 e 5PG004191).

Componente	Quantidade (kg)
5PG005000	0,08
5PG001000	0,34
5PG004182	0,39
5PG002200	0,68
5PG004191	1,08
2PLDB	113,27

Os resultados obtidos relativamente às diferenças de cor, entre a amostra produzida e o padrão, e o respetivo metamerismo estão representados na tabela 5.7.

Tabela 5. 7 – Resultados obtidos da receita da cor 3390A, fornecida pelo *software* (com os novos empastados 5PG004182 e 5PG004191).

DL	Da	Db	Metamerismo
-0,60	-0,70	-0,48	0,21 <sup>(1)</sup> / 0,29 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

Por fim, foi necessário verificar se o artigo produzido apresentava opacidade suficiente para ser trabalhado. No gráfico da figura 5.1 é possível visualizar que a nova receita de cor apresenta uma transmitância inferior a 5%.

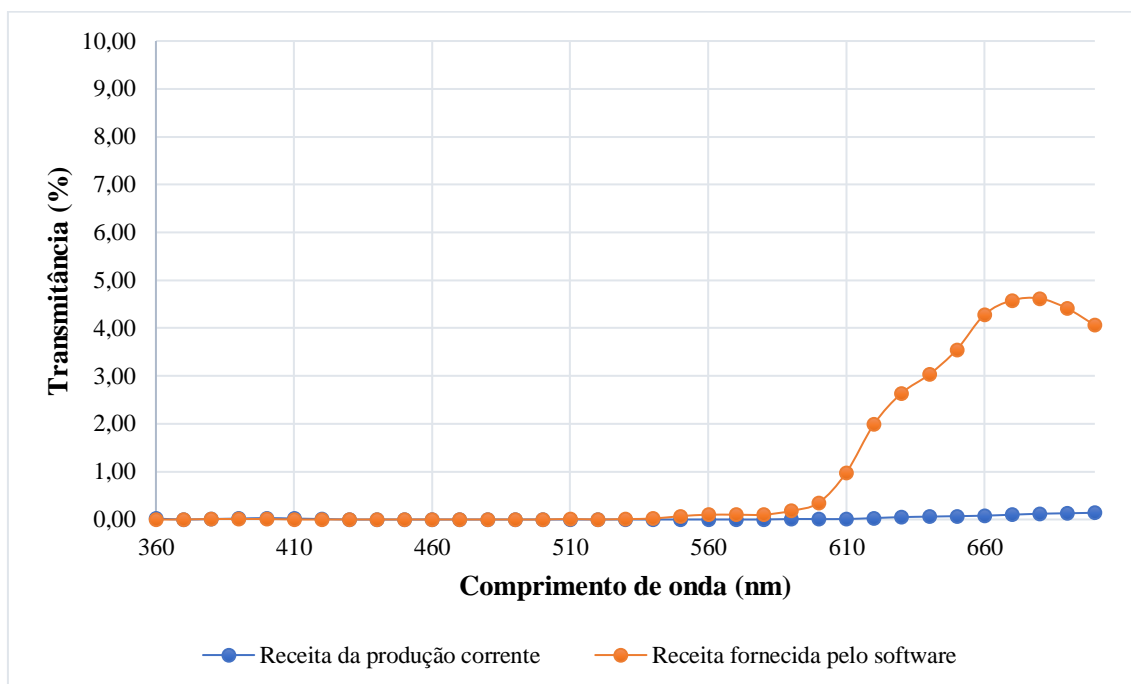


Figura 5. 1 – Transmitância do artigo 3390A em função do comprimento de onda, das receitas desenvolvidas pela produção e pelo software depois da introdução dos novos empastados (5PG003120, 5PG004182 e 5PG004191) na base de dados.

Com o auxílio da base de dados e com a introdução de novos empastados, foi possível, em apenas 5 dias de trabalho, formular uma receita que cumprisse as especificações do cliente. Por outro lado, foi também possível manter a opacidade do artigo adequada e, ainda, reduzir o custo associado à produção de 100 kg de pasta pigmentada em 33,81€.

### 5.1.2. Receita de cor 4009B

A receita de cor 4009B foi um dos grandes problemas da empresa, uma vez que foram investidos meses de estudo para resolver problemas ao nível da opacidade. Depois de obtida uma opacidade aceitável, a receita formulada pela produção, apresentava um custo de produção significativamente elevado. Por essa mesma razão, o principal objetivo da melhoria desta receita consistiu em criar uma formulação com os empastados estabilizados, diminuindo o custo de fabrico e mantendo a opacidade suficiente.

Excepcionalmente, este artigo foi estudado na posição IV do filmógrafo (aproximadamente 0,70 mm) por apresentar problemas de opacidade, o que torna os filmes flexíveis de PVC muito instáveis e com valores da medição de cor muito irregulares. Os limites de diferenças de cor estipulados na “Folha de controlo estético” para a etapa de saída de máquina estão indicados na tabela 5.8.

Tabela 5. 8 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 4009B, indicados pela produção.

	<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>	<b>Metamerismo</b>
<b>LS</b>	-1,40	-1,40	-1,00	< 0,30
<b>LI</b>	-1,80	-1,80	-1,10	

A receita que estava implementada na produção corrente está descrita na tabela 5.9.

Tabela 5. 9 – Receita da cor 4009B, formulada pela produção.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade (kg)</b>
5PG007110	0,06
5PG001110	0,50
5PG002176	1,60
5PG004151	6,00
2PLDR	108,00

Para a receita apresentada anteriormente os resultados obtidos pela produção corrente estão representados na tabela 5.10.

Tabela 5. 10 – Resultados obtidos pela produção, relativos à receita da cor 4009B.

<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>	<b>Metamerismo</b>
-1,26	-2,15	-1,41	1,02 <sup>(1)</sup> / 0,74 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

É de notar que, preferencialmente o metamerismo deve ser inferior a 0,30, mas uma vez que não é um requisito do cliente, o artigo pode apresentar um metamerismo ligeiramente superior. Por outro lado, a receita que se encontrava em produção corrente na empresa não estava a apresentar diferenças de cor entre a amostra e o padrão dentro dos limites estabelecidos.

Sendo assim, com recurso à base de dados, conseguiu-se obter uma nova receita de cor com os empastados estabilizados, como se pode verificar na tabela 5.11.

Tabela 5. 11 – Receita da cor 4009B, fornecida pelo *software*.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade (kg)</b>
5PG007000	0,05
5PG001000	0,18
5PG002100	0,52
5PG004400	5,08
2PLDR	108,00

Com esta formulação já foi possível obter valores de diferenças de cor dentro dos limites impostos e reduziu-se ligeiramente o metamerismo comparativamente à receita da produção corrente. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 5.12.

Tabela 5. 12 – Resultados obtidos da receita da cor 4009B, fornecida pelo *software*.

<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>	<b>Metamerismo</b>
-1,46	-1,57	-1,05	0,99 <sup>(1)</sup> / 0,37 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

Por fim, mediu-se a transmitância da amostra produzida, uma vez que o artigo apresenta problemas relativamente ao nível de opacidade. Na figura 5.2 é possível comparar os resultados obtidos para a percentagem da transmitância da amostra da produção corrente comparativamente à amostra produzida com recurso à base de dados criada.

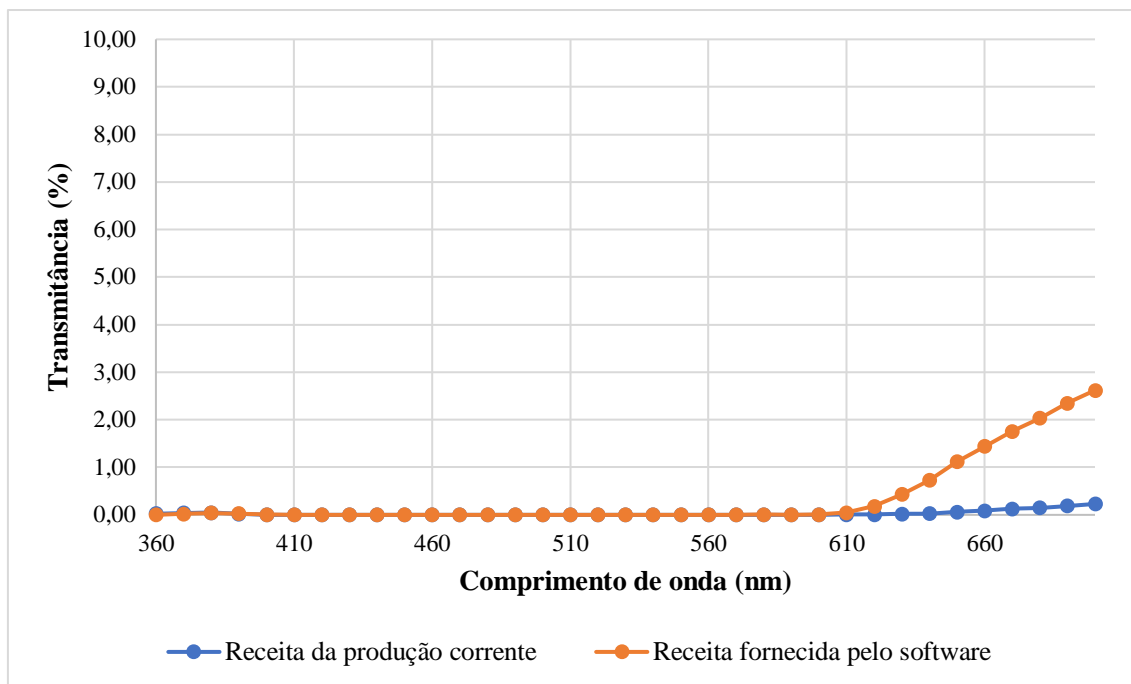


Figura 5. 2 – Transmitância do artigo 4009B em função do comprimento de onda, das receitas desenvolvidas pela produção e pelo *software*.

Os valores de transmitância obtidos para a receita fornecida pelo *software* apesar de serem superiores aos da receita da produção corrente continuam abaixo do limiar dos 5%, o que faz com que o artigo produzido possa ser integrado na empresa em causa.

Este estudo permitiu obter uma receita com pigmentos mais estabilizados, dentro dos limites impostos para a cor, com metamerismo inferior, com uma opacidade trabalhável e com uma redução de custo de 17,85€/100 kg de pasta pigmentada.

Tal como já foi referido anteriormente, antes da existência da base de dados, a cor 4009B proporcionou inúmeros problemas na empresa, fazendo com que os operadores investissem muito tempo (cerca de 2 anos) e recursos no seu estudo e desenvolvimento. Atualmente, com o *software* operacional foi possível a obtenção dos resultados apresentados num espaço de tempo muito mais reduzido (cerca de 2 semanas).

### 5.1.3. Receita de cor 4969A

Tendo em conta que a receita de cor 4969A dispõe de um custo de produção elevado, recorreu-se à utilização da base de dados para formular uma receita que fosse menos dispendiosa, mas que garantisse valores de diferenças de cor dentro dos limites estipulados, e com uma opacidade aceitável.

Recorrendo ao módulo *Formula Central*, estudou-se uma receita de cor para os limites apresentados na tabela 5.13. O metamerismo deve ser inferior a 0,30, mas, à semelhança do caso de estudo anterior, pode ser ligeiramente superior por não se tratar de um requisito exigido pelo cliente.

Tabela 5. 13 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 4969A, indicados pela produção.

	<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>	<b>Metamerismo</b>
<b>LS</b>	1,10	-1,15	-0,70	< 0,30
<b>LI</b>	0,80	-1,25	-0,80	

Os empastados que constituem a receita de cor da produção corrente estão indicados na tabela 5.14.

Tabela 5. 14 – Receita da cor 4969A, formulada pela produção.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade (kg)</b>
5PG001110	0,64
5PG002145	1,69
5PG003135	3,36
5PG005130	4,33
5PG004171	11,01
2PLDJ	125,30

Os resultados obtidos para a receita anteriormente apresentada, na etapa de saída de máquina estão descritos na tabela 5.15.

Tabela 5. 15 – Resultados obtidos pela produção, relativos à receita da cor 4969A.

<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>	<b>Metamerismo</b>
1,06	-1,25	-0,71	0,43 <sup>(1)</sup> / 0,31 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

Com a ajuda do *software* foi possível obter, em apenas duas tentativas, a receita de cor apresentada na tabela 5.16.

Tabela 5. 16 – Receita da cor 4969A, fornecida pelo *software*.

Componente	Quantidade (kg)
5PG001000	0,51
5PG002145	0,69
5PG003000	3,07
5PG005130	3,72
5PG004171	11,29
2PLDJ	125,30

Os resultados da receita de cor apresentada na tabela anterior encontram-se dentro das especificações estipuladas, tal como representado na tabela 5.17.

Tabela 5. 17 – Resultados obtidos da receita da cor 4969B, fornecida pelo *software*.

DL	Da	Db	Metamerismo
0,89	-1,19	-0,88	0,41 <sup>(1)</sup> / 0,24 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

Por fim, os resultados relativos à percentagem de transmitância das duas formulações estão apresentados na figura 5.3.

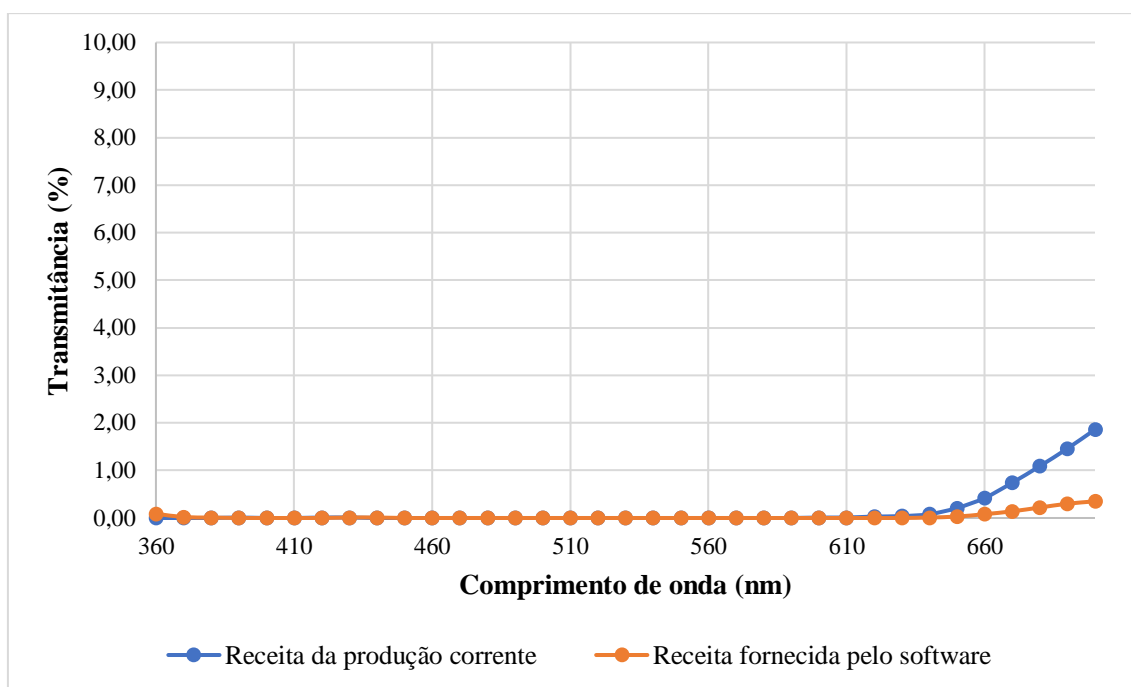


Figura 5. 3 – Transmitância do artigo 4969A em função do comprimento de onda, das receitas desenvolvidas pela produção e pelo *software*.

Tal como já foi referido, com a implementação da base de dados, em apenas duas tentativas, foi possível obter uma receita para a cor 4969A dentro das especificações exigidas, com um metamerismo ligeiramente inferior, com uma opacidade superior e com uma redução de custo de 20,73€ por cada 100 kg de pasta pigmentada produzida.

#### 5.1.4. Receita de cor 4981A

Ao longo do processo produtivo, verificou-se que o empastado com o código estético 5PG005125 estava a causar complicações da receita da cor 4981A, no teste NOx. Este teste verifica se há alterações da cor do artigo, quando este é submetido, durante 120 horas, a um ambiente saturado de óxidos de azoto, à temperatura ambiente.

Posto isto, o objetivo deste estudo foi desenvolver uma nova formulação sem a utilização do empastado 5PG005125.

Os limites da etapa de saída de máquina, para os quais se estudou a formulação de cor fundamental vermelha, estão representados na tabela 5.18.

Tabela 5. 18 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 4981A, indicados pela produção.

	<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>	<b>Metamerismo</b>
<b>LS</b>	1,30	-1,70	-1,10	< 0,30
<b>LI</b>	1,10	-1,80	-1,30	

A receita empregue, antes da substituição referida, está indicada na tabela 5.19.

Tabela 5. 19 – Receita da cor 4981A, formulada pela produção.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade (kg)</b>
5PG007140	0,07
5PG005125	0,24
5PG001100	0,40
5PG006160	0,47
5PG002145	1,00
5PG004195	1,40
5PG004171	2,75
2PLDJ	125,30

Os resultados obtidos pela receita da produção corrente (tabela 5.20) não cumprem os limites das diferenças de cor estabelecidos inicialmente.

Tabela 5. 20 – Resultados obtidos pela produção, relativos à receita da cor 4981A.

<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>	<b>Metamerismo</b>
1,47	-1,56	-1,16	0,54 <sup>(1)</sup> / 0,84 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

Recorrendo à informação introduzida na base de dados, foi possível formular uma receita sem a integração do empastado 5PG005125. No entanto, a receita inicialmente não apresentava opacidade suficiente, pelo que teve de sofrer um ajuste (reforço da quantidade de pigmentação) baseado no conhecimento dos operadores da empresa. A receita ajustada é mais dispendiosa, apesar de incluir um menor número de empastados, e está descrita na tabela 5.21.

Tabela 5. 21 – Receita da cor 4981A, fornecida pelo *software*.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade (kg)</b>
5PG001000	0,45
5PG007300	0,67
5PG005200	1,08
5PG002145	1,97
5PG004000	6,35
2PLDJ	125,30

Os resultados obtidos com a receita ajustada (tabela 5.22) já se encontram dentro dos limites de saída de máquina estabelecidos e, no geral, foram melhorados. No entanto, o metamerismo obtido foi ligeiramente superior para o iluminante A.

Tabela 5. 22 – Resultados obtidos da receita da cor 4981B, fornecida pelo *software*.

<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>	<b>Metamerismo</b>
1,10	-1,79	-1,12	0,59 <sup>(1)</sup> / 0,02 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

Finalmente, para averiguar se o artigo ostenta uma opacidade trabalhável, mediu-se a percentagem de transmitância de ambas as formulações, cujos dados estão representados na figura 5.4.

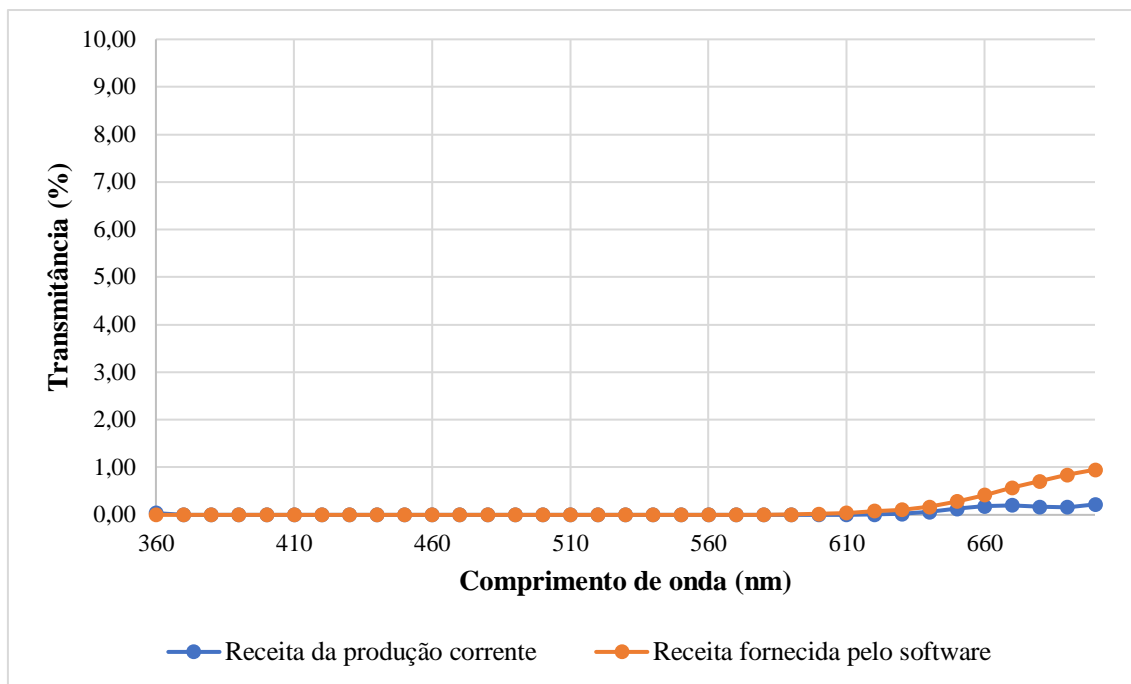


Figura 5. 4 – Transmitância do artigo 4981A em função do comprimento de onda, das receitas desenvolvidas pela produção e pelo software.

Com a junção do conhecimento dos operadores e da ajuda proporcionada pela existência da base de dados, foi possível reformular uma receita já existente substituindo um empastado. A receita obtida cumpre as especificações estabelecidas, apresenta um metamerismo inferior para o iluminante TL84 e apresenta uma percentagem de transmitância máxima inferior a 1%, o que permite a sua integração da produção da empresa. No entanto, esta alteração resultou num aumento do custo de produção em 54,02€/100 kg de pasta pigmentada. Apesar de haver um acréscimo do custo, poupar-se-á a longo prazo, reduzindo a não-qualidade do artigo.

## 5.2. Criação de formulações de cor

Quando um certo padrão (fornecido pelo cliente) dá entrada na empresa, antes da criação da “Folha de controlo estético”, é necessário fazer um estudo inicial da receita, de modo que as diferenças de cor verificadas entre a amostra e o padrão sejam aproximadamente nulas.

Para verificar se a base de dados criada é capaz de corresponder a esta necessidade, estudaram-se diversas receitas de cor, em que se pretendiam obter os resultados indicados na tabela 5.23.

Tabela 5. 23 – Resultados que se pretendem obter nos estudos iniciais para a criação de uma formulação de cor.

DL	Da	Db	Metamerismo
0,00	0,00	0,00	0,00 <sup>(1)</sup> / 0,00 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

Dos variados estudos realizados, apresentam-se os resultados obtidos para as cores cujos códigos estéticos são 7552A e 7128A.

### 5.2.1. Receita de cor 7552A

A formulação 7552A apresenta cor fundamental preta e a receita fornecida pelo *software*, para diferenças de cor entre a amostra e o padrão nulas, está apresentada na tabela 5.24.

Tabela 5. 24 – Receita da cor 7552A, fornecida pelo *software*.

Componente	Quantidade (kg)
5PG004200	0,15
5PG002000	1,22
5PG001000	2,65
5PG007000	3,3
2PPPK	109,8

Os resultados obtidos para a receita fornecida pelo *software* estão descritos na tabela 5.25.

Tabela 5. 25 – Resultados obtidos da receita da cor 7552A, fornecida pelo *software*.

DL	Da	Db	Metamerismo
-0,04	-0,03	0,07	0,03 <sup>(1)</sup> / 0,02 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

De modo a verificar se a formulação desenvolvida pode integrar a produção da empresa, mediu-se a percentagem de transmitância do artigo produzido (figura 5.5).

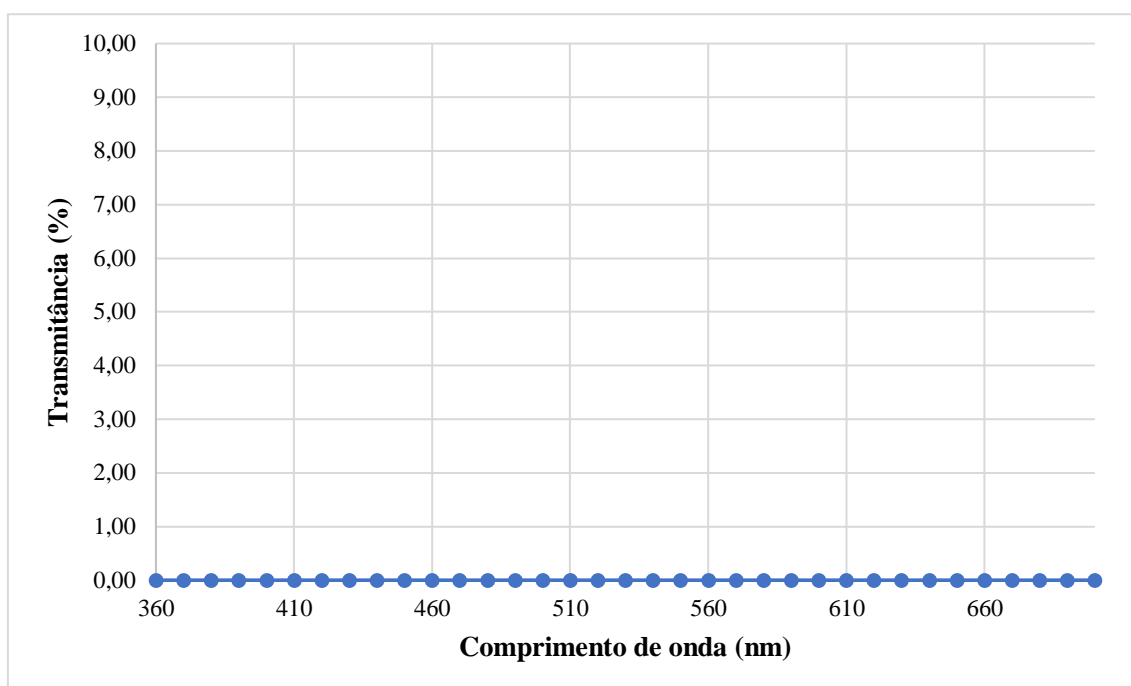


Figura 5. 5 – Transmitância do artigo 7552A produzido com a ajuda do *software*, em função do comprimento de onda.

Com o trabalho desenvolvido foi possível obter uma formulação com diferenças de cor entre a amostra e o padrão praticamente nulas e com um metamerismo baixo. Por fim, foi também possível verificar que o artigo produzido possui uma opacidade ótima, ou seja, apresenta uma percentagem de transmitância igual a zero em toda a gama de comprimentos de onda varrida. Este estudo foi concluído em apenas 2 dias de trabalho.

### 5.2.2. Receita de cor 7128A

Outro exemplo de criação de uma formulação de cor, através da informação colorimétrica de um padrão, foi o da cor cinzenta com código estético 7128A.

Impondo ao *software* uma diferença entre as coordenadas de cor da amostra e do padrão iguais a zero, a formulação fornecida foi a indicada na tabela 5.26.

Tabela 5. 26 – Receita da cor 7128A, fornecida pelo *software*.

Componente	Quantidade (kg)
5PG004195	0,02
5PG005140	0,07
5PG003000	0,26
5PG006200	0,5
5PG001000	3,62
2PPPK	109,8

Ao produzir uma pasta pigmentada com as quantidades anteriormente apresentadas obtiveram-se os resultados descritos na tabela 5.27.

Tabela 5. 27 – Resultados obtidos da receita da cor 7128A, fornecida pelo *software*.

DL	Da	Db	Metamerismo
-0,01	-0,14	-0,08	0,03 <sup>(1)</sup> / 0,04 <sup>(2)</sup>

Nota: (1) Iluminante A; (2) Iluminante TL84.

Finalmente, também foi possível verificar que o artigo produzido possui uma percentagem de transmitância para cada comprimento de onda inferior a 5%. Os resultados relativos à transmitância do artigo 7128A estão apresentados na figura 5.6.

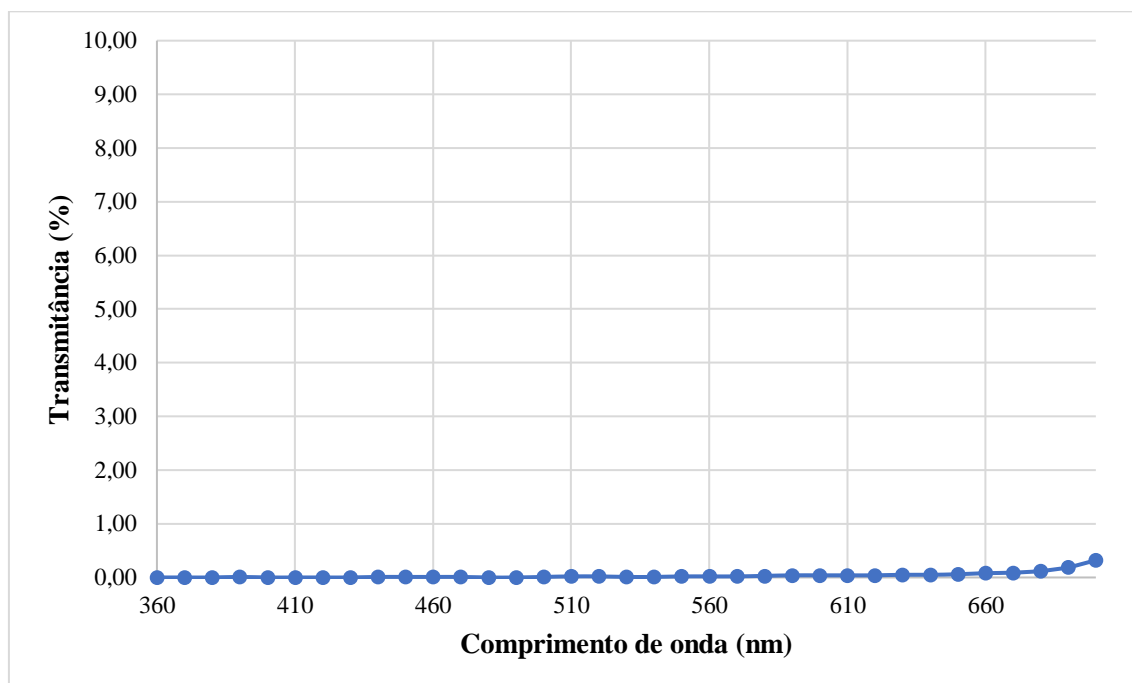


Figura 5. 6 – Transmitância do artigo 7128A produzido com a ajuda do *software*, em função do comprimento de onda.

Com a informação introduzida na base de dados, foi possível criar uma formulação (em apenas 1 dia de trabalho), cujas diferenças de cor entre o artigo 7128A e o respetivo padrão se encontram muito próximas dos zeros e com um metamerismo bastante reduzido. Por outro lado, esta formulação, apresenta opacidade suficiente para poder integrar o processo de produção da empresa.

### **5.3. Acertos de formulações de cor**

Um dos principais objetivos deste trabalho fundamenta-se na poupança de tempo e de recursos associados aos acertos de cores em tempo real.

Depois de uma receita estar informatizada, quando se vai proceder à sua produção, podem existir discrepâncias nos valores das diferenças de cor obtidas, que podem estar associadas a variações existentes ao longo do processo ou a erros associados à mão humana. Nestes casos é necessário, em tempo real, fazer acertos de cor, adicionando empastados à formulação, para que esta passe a cumprir os requisitos impostos na “Folha de controlo estético”. No entanto, é importante reforçar que a empresa em questão tem em curso a implementação de normas corretivas como a utilização de balanças com tolerâncias bem definidas e a estabilização dos empastados, de modo a reduzir esta variabilidade nos valores de diferenças de coordenadas de cor obtidos na produção.

Com o *software* operacional é possível introduzir a informação colorimétrica do estado inicial da formulação e solicitar a quantidade de empastados a adicionar, para que as diferenças de coordenadas de cor entre o artigo e o padrão sejam ajustadas para os limites estabelecidos.

Tal como referido, um “acerto” corresponde à adição de um ou mais empastados à cuba que contém a pasta pigmentada em análise. Pretende-se que o número de acertos seja o mínimo e o mais rápido possível, uma vez que implica paragens de máquinas e atrasos na produção, que podem resultar num elevado prejuízo para a empresa.

Nesta etapa, os testes foram realizados em paralelo com a produção corrente, executando-se a simulação numa quantidade mais reduzida de pasta pigmentada. Das formulações corrigidas apresentam-se os resultados das cores cujos códigos estéticos são 3720A e 4580A.

É de notar que, nos testes realizados, só se verificaram as diferenças das coordenadas de cor para o iluminante D65, uma vez que a receita já está formulada para a obtenção de uma opacidade e de um metamerismo aceitável nos iluminantes A e TL84.

### 5.3.1. Receita de cor 3720A

Os limites da cor na etapa de saída de máquina para o artigo em causa estão apresentados na tabela 5.28 e a receita informatizada está indicada na tabela 5.29.

Tabela 5. 28 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 3720A, indicados pela produção.

	<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>
<b>LS</b>	0,50	-0,50	-0,90
<b>LI</b>	0,40	-0,70	-1,10

Tabela 5. 29 – Receita da cor 3720A, formulada pela produção.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade (kg)</b>
5PG001000	0,36
5PG007130	0,73
5PG002185	1,65
5PG003140	3,20
2PACZ	102,64

A produção corrente conseguiu alcançar valores de diferenças de cor aceitáveis ao fim de 7 acertos, demorando aproximadamente 2 horas e 5 minutos. Em paralelo, recorrendo ao *software*, foi possível corrigir a cor em apenas 2 acertos e o tempo gasto foi, aproximadamente, 45 minutos. Os resultados obtidos, pela produção corrente e pela simulação auxiliada pelo *software*, estão representados na tabela 5.30.

Tabela 5. 30 – Resultados obtidos, pela produção corrente e pelo recurso ao *software*, relativos à cor 3720A.

	<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>
<b>Estado inicial da amostra (sem acertos)</b>	0,12	-0,52	-0,86
<b>Resultados obtidos, pela produção corrente, ao fim de 7 acertos</b>	0,32	-0,64	-0,88
<b>Resultados obtidos, recorrendo ao <i>software</i>, ao fim de 2 acertos</b>	0,43	-0,70	-0,92

Caso o recurso ao *software* já estivesse devidamente integrado na dinâmica da empresa poder-se-ia reduzir significativamente o tempo de correção de uma formulação.

### 5.3.2. Receita de cor 4580A

A cor cujo código estético é 4580A, possui os limites de coordenadas de cor na etapa de saída de máquina apresentados na tabela 5.31.

Tabela 5. 31 – Limites das diferenças de cor da receita da cor 4580A, indicados pela produção.

	<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>
<b>LS</b>	0,60	-1,20	-1,60
<b>LI</b>	0,30	-1,40	-1,80

A receita da cor em causa é replicada em grande escala pela produção corrente e está descrita na tabela 5.32.

Tabela 5. 32 – Receita da cor 4580A, formulada pela produção.

<b>Componente</b>	<b>Quantidade (kg)</b>
5PG007140	0,08
5PG002145	0,90
5PG002155	1,70
5PG004195	2,30
5PG002185	4,20
2PAAJ	114,20

Ao executar a medição das coordenadas de cor da pasta pigmentada produzida, verificou-se que os resultados obtidos estavam fora dos limites impostos. A produção corrente alcançou o objetivo pretendido com 3 acertos, enquanto o *software* necessitou apenas de executar com uma adição. Os resultados obtidos, por ambas as partes, estão indicados na tabela 5.33.

Tabela 5. 33 – Resultados obtidos, pela produção corrente e pelo recurso ao *software*, relativos à cor 4580A.

	<b>DL</b>	<b>Da</b>	<b>Db</b>
<b>Estado inicial da amostra (sem acertos)</b>	0,58	-0,35	-1,26
<b>Resultados obtidos, pela produção corrente, ao fim de 3 acertos</b>	0,14	-1,25	-1,72
<b>Resultados obtidos, recorrendo ao <i>software</i>, com apenas 1 acerto</b>	0,30	-1,23	-1,60

O recurso à base de dados permitiu o ajuste das diferenças de cor obtidas em apenas meia hora de trabalho. Por outro lado, a produção corrente investiu 1 hora e 30 minutos nas adições executadas.

#### **5.4. Limitações da base de dados**

Com o decorrer do trabalho desenvolvido foi possível notar algumas limitações que a base de dados criada apresenta.

Ao formular receitas de cor, o módulo *Formula Central* exibe dificuldades semelhantes às sentidas pelos operadores da empresa em cores fundamentais vermelhas e castanhas, principalmente. Nestes casos há necessidade de um maior número de tentativas para se alcançar as especificações pretendidas.

Apesar de as formulações de cores serem solicitadas para uma opacidade elevada, isso nem sempre se verifica, como foi o caso do estudo apresentado para a cor com o código estético 4981A, em que foi crucial o recurso aos conhecimentos do operador.

Também neste módulo, a introdução de limites nas diferenças de coordenadas de cor, em relação ao padrão, causa problemas adicionais nas formulações de cor. O *software* apresenta melhor performance quando formula receitas para diferenças de coordenadas de cor entre a amostra e o padrão iguais a zero, em comparação com limites descentrados.

Por último, no módulo *Set Maintenance* foram encontrados problemas na introdução dos empastados brancos 5PG001100 e 5PG001110, o que piora o desempenho do módulo *Formula Central* em receitas de cor que incluem estes empastados. Este aspeto terá de ser discutido com o técnico do *software*.

## 6. Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

O objetivo principal do presente trabalho consistia na criação de uma base de dados de pigmentos para formulações de cor e, para tal, foi necessário um estudo prévio, seguido de exploração, do *software* em uso.

Para introduzir a informação colorimétrica dos 45 empastados existentes na empresa em causa, foi necessária a realização de pastas pigmentadas em diversos cortes, variando as concentrações do empastado em estudo, dos empastados padrão e da pasta mãe de PVC (2PLDB). Para além disso, também foram inseridas as características de outras pastas de PVC, que posteriormente integraram as receitas de cor estudadas.

O processo de criação e testagem da base de dados foi realizado em 3 módulos distintos do *software*, nomeadamente, *Ingredient Maintenance*, *Set Maintenance* e *Formula Central*. No módulo *Ingredient Maintenance* foram inseridas as propriedades físicas dos materiais utilizados, tais como densidade, custo e prioridade. De seguida, no *Set Maintenance*, introduziram-se as quantidades de cada material utilizado na pasta pigmentada e realizou-se a leitura duplicada do filme flexível de PVC respetivo. Por fim, no *Formula Central*, procedeu-se à testagem da base de dados criada, de modo a averiguar a funcionalidade da mesma.

Para testar a funcionalidade da base de dados, começou-se por estudar receitas de cor que causavam dificuldades na sua produção. As receitas de cor 3390A, 4009B, 4969A foram melhoradas, obtendo-se um custo menor, um metamerismo aceitável e uma opacidade trabalhável, o que permite a sua integração no processo de produção da empresa. Por outro lado, a receita formulada para a cor 4981A, possui valores dentro dos exigidos pelo cliente, apresenta opacidade suficiente, mas o custo de produção obtido é mais elevado. Este aumento do custo de produção a longo prazo vai compensar, uma vez que vai permitir a redução do desperdício.

O segundo passo consistiu em criar formulações a partir dos padrões fornecidos pelos clientes, de modo que as diferenças de coordenadas de cor entre o artigo produzido e o padrão fossem praticamente nulas. As formulações obtidas para as cores cujos códigos estéticos são 7552A e 7128A, cumprem os requisitos impostos, possuem um metamerismo bastante reduzido e apresentam opacidade suficiente para posterior

integração no processo de produção da empresa. Esta funcionalidade é imensamente vantajosa para a produtividade do Laboratório de Cores, uma vez que, antes da existência da base de dados, os operadores tinham de formular uma receita baseada em receitas semelhantes já existentes e realizar inúmeras tentativas até alcançar o resultado pretendido, podendo demorar semanas ou meses.

Com o *software* operacional foi também possível acompanhar os acertos de receitas de cor, em tempo real. De um modo geral, os acertos realizados nas cores 3720A e 4580A permitiram uma poupança considerável de tempo, o que, a longo prazo, pode resultar num menor desperdício e, conseqüentemente, num maior rendimento.

Ao longo da criação e testagem da base de dados encontraram-se diversos problemas que tiveram de ser solucionados e, tendo em conta que o tema desenvolvido na presente dissertação é pioneiro na empresa, não havia histórico das problemáticas, o que dificultou o processo. Inicialmente a base de dados começou a ser construída para materiais opacos, mas foi alterada para materiais translúcidos, uma vez que eram introduzidas amostras com opacidade reduzida. Com esta alteração tiveram de ser redefinidas as quantidades, os componentes integrantes e o número de cortes mais adequados, a gama de trabalho e o método de agrupamento das misturas. Posteriormente, nos testes iniciais executados, tiveram de se contornar problemas como obtenção de receitas com pigmentação excessiva ou com baixa opacidade e a estabilização das discrepâncias entre os valores esperados e os valores efetivamente obtidos.

No entanto, é importante referir que a base de dados construída possui algumas limitações que devem ser resolvidas, tais como, a baixa performance para limites de coordenadas de cor descentrados e o baixo desempenho em receitas de cor que possuem os empastados 5PG001100 e 5PG001110.

A principal dificuldade encontrada durante a realização desta dissertação, relaciona-se com o fator tempo, já que teria sido interessante explorar, com mais profundidade, estratégias para a resolução dos problemas encontrados.

Sugere-se como trabalhos futuros, a continuidade do estudo para a resolução das limitações encontradas e conseqüente melhoria do desempenho da base de dados criada. Para além disso, aconselha-se a introdução da informação colorimétrica das restantes pastas de PVC existentes na TMG Automotive.

Outro complemento sugerido é a introdução de outras características dos materiais no módulo *Ingredient Maintenance*, tais como combustibilidade, envelhecimento térmico, resistência UV, força corante, entre outros. Ainda neste módulo é possível relacionar os empastados existentes quanto à sua compatibilidade, fazendo com que as receitas formuladas no módulo *Set Maintenance* apresentem uma maior estabilidade. Para tal, é necessário um estudo prévio para averiguar a compatibilidade entre os materiais disponíveis.

Por fim, denota-se que um dos principais problemas da empresa é a correção da cor na etapa de lacagem. Quando o artigo não apresenta as especificações colorimétricas pretendidas é necessário executar uma correção, adicionando-se tintas à laca depositada no artigo. Posto isto, recomenda-se também a criação e testagem de uma base de dados, semelhante à apresentada na dissertação em causa, que possa auxiliar nos acertos das tintas aplicadas em lacas.

Para a empresa TMG Automotive, o trabalho desenvolvido permitirá uma economia considerável de tempo e de recursos, assim que seja devidamente empregue na dinâmica dos trabalhadores do Laboratório de Cores. Com a base de dados operacional, a correção das formulações deixa de estar dependente da experiência e capacidade do operador. Para além disso, os operadores são aliviados de alguma pressão e stress, podendo dedicar o tempo economizado noutras tarefas importantes para a empresa.

A nível pessoal, a elaboração de uma dissertação em ambiente empresarial, permitiu não só o planeamento e a realização autónoma de trabalhos laboratoriais, mas também a perceção do funcionamento diário de uma empresa. Para além disso, tendo em conta que a empresa fornece materiais para um dos setores mais competitivos, o setor automóvel, tem a obrigação de cumprir requisitos exigentes, o que proporcionou uma motivação extra.



## Bibliografia

- [1] “TMG - Driving Prosperity,” [Online]. Available: <https://www.tmg.pt/>. [Acedido em 10 dezembro 2021].
- [2] “TMG Automotive,” [Online]. Available: <https://www.tmgautomotive.pt/>. [Acedido em 13 dezembro 2021].
- [3] Alvito, P., “TMG: liderar a empresa Rumo ao Futuro,” 2017.
- [4] Maxwell, J., *Plastics in the Automotive Industry*, Woodhead Publishing Limited Cambridge, 1970.
- [5] F. Rodriguez, C. K. Ober, C. Cohen, and L. A. Archer, *Principles of Polymer Systems*, CRC Press, 2015.
- [6] *Documentação interna da TMG Automotive*.
- [7] Gürses, A., Açıkyıldız, M., Güneş, K., & Gürses, M. S., “Classification of dye and pigments,” *Dyes and pigments*, pp. 31-45, 2016.
- [8] “Pigment Definition & Classification,” 2021. [Online]. Available: <https://www.additivesforpolymer.com/pigment-definition-classification/>. [Acedido em 4 dezembro 2021].
- [9] Caetano, M., “Propriedades de pigmentos (inorgânicos e orgânicos) e corantes,” CTB, 2019. [Online]. Available: <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-primas/pigmentos-corantes/propriedades-de-pigmentos-e-corantes/>. [Acedido em 25 novembro 2021].
- [10] K. V. Velde, V. Wassenhove, P. Kiekens, “Optical analyses of pigment particles in colour concentrates and polypropylene yarns,” *Polymer testing*, pp. 675-689, 2002.
- [11] “Wetting and Dispersing Additives,” BYK, [Online]. Available: <https://ebooks.byk.com/en/wetting-and-dispersing/>. [Acedido em 19 abril 2022].

- [12] Brock, T., Groteklaes, M., Mischke, P., European Coatings Handbook, Vincentz Network GmbH & Co KG, 2000.
- [13] Bernardo, M., Oliveira, R., “Dispersão de pigmentos no processo de fabricação por moagem e sua umectação,” Centro de Pós-Graduação Oswaldo Cruz.
- [14] Nicholson, J. W., Chemistry of polymers, Kent, UK: RSC Publishing, 2006.
- [15] Schiller, M., PVC Additives, Hanser Publishers, 2015.
- [16] “Understanding Standard Illuminants in Color Measurement”. *Konica Minolta Sensing*.
- [17] Neto, A. M., Ferroa, A., & Bergmann, C. P., “Estudo do Fenômeno de Metamerismo em Revestimentos Cerâmicos,” *Cerâmica Industrial*, pp. 33-39.
- [18] Byrne, A., & Hilbert, D. R., Colors and reflectances, 1997.
- [19] Camargos, J. A. A., & Gonzalez, J. C., “A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira,” *Brasil Florestal*, Nº 71, 2001.
- [20] “The visible light spectrum,” *Once Inc*, 2020.
- [21] Ohta, N., & Robertson, A., Colorimetry: fundamentals and applications, John Wiley & Sons, 2006.
- [22] Wiskur, Sheryl L., “Using a Synthetic Receptor to Create an Optical-Sensing Ensemble for a Class of Analytes: A Colorimetric Assay for the Aging of Scotch.,” *Journal of the American Chemical Society*, 2001.
- [23] “Colorimetry - a comprehensive guide for your color science,” *Conduct Science*, 2019.
- [24] Yang, L., & Kruse, B., “Revised Kubelka–Munk theory. I. Theory and application.,” *JOSA A*, pp. 1933-1941, 2004.
- [25] Gonçalves, Í., “Determinação da concentração de contaminantes no Caolim através da Teoria de Kubelka-Munk,” Dissertação de Mestrado em Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

- [26] “Understanding the CIE L\*C\*h Color Space”. *Konica Minolta Sensing*.
- [27] “Identifying Color Differences Using L\*a\*b\* or L\*C\*H\* Coordinates”. *Konica Minolta Sensing*.
- [28] Silva, G. B., “Colorimetria - Propagação de erros e cálculo da incerteza de medição nos resultados espectrofotométricos.” Dissertação de Mestrado em Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2004.
- [29] “Colorimetric Fundamentals CIE 1976 L\*a\*b\*,” *Datacolor*, 2009.
- [30] Matarazzo, F., “Entendendo o Espaço de Cor L\*a\*b\*”.
- [31] Judd, D. B., & Wyszecki, G., *Colour in business and industry*, 1975.
- [32] Morris, R., “Espectrofotometria,” *Current Protocols Essential Laboratory Techniques*, 2015.
- [33] “Colorímetro x Espectrofotômetro,” *X da cor*, 2019.
- [34] “Guidance & Training,” [Online]. Available: <https://www.datacolor.com/business-solutions/academy/guidance-training/>. [Acedido em 10 janeiro 2022].
- [35] Régula, L. M., “Padrões virtuais e tolerâncias colorimétricas no controle instrumental das cores,” Dissertação de Mestrado em PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2004.
- [36] Minolta, K., “Precise color communication: color control from perception to instrumentation,” Japan: Konica Minolta, 2007.
- [37] Mano, E. B., & Mendes, L. C., “Introdução a Polímeros,” Edgard Blucher Ltda., São Paulo, 1999.
- [38] Callister, W., *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*, Grupo Gen-LTC, 2000.
- [39] Canevarolo Jr, S. V., *Ciência dos polímeros*, São Paulo: Artiliber editora, 2002.
- [40] Blackadder, D. A., *Some aspects of basic polymer science*, 1975.

- [41] Billmeyer, F. W., Textbook of polymer science, John Wiley & Sons, 1984.
- [42] Rodolfo Jr, A., Nunes, L. R., & Ormanji, W., Tecnologia do PVC, São Paulo: Proeditores, 2006.
- [43] Fink, J. K., A Concise Introduction to Additives for Thermoplastic Polymers, John Wiley & Sons, 2010.
- [44] Nicholson, J. W. , Chemistry of polymers, Kent, UK: RSC Publishing, 2006.
- [45] N. K. Akafuah, S. Poozesh, A. Salaimah, G. Patrick, K. Lawler, K. Saito, “Evolution of the automotive body coating process-A review,” *Coatings*, vol. 6, nº 24, 2016.
- [46] Murphy, J., Additives for plastics handbook, Elsevier, 2001.
- [47] “Color of Art Pigment Database,” [Online]. Available: [http://www.artiscreation.com/Color\\_index\\_names.html#.YnKgIdrMLrd](http://www.artiscreation.com/Color_index_names.html#.YnKgIdrMLrd). [Acedido em 19 abril 2022].
- [48] “What Is a Database?,” OCI, [Online]. Available: <https://www.oracle.com/pt/database/what-is-database/>. [Acedido em 19 abril 2022].

# Anexos

## Anexo A – Substrato de calibração por defeito

Na figura A.1 está representado o substrato de calibração por defeito, denominado por Leneta, utilizado para a realização das medições duplicadas dos filmes flexíveis de PVC.

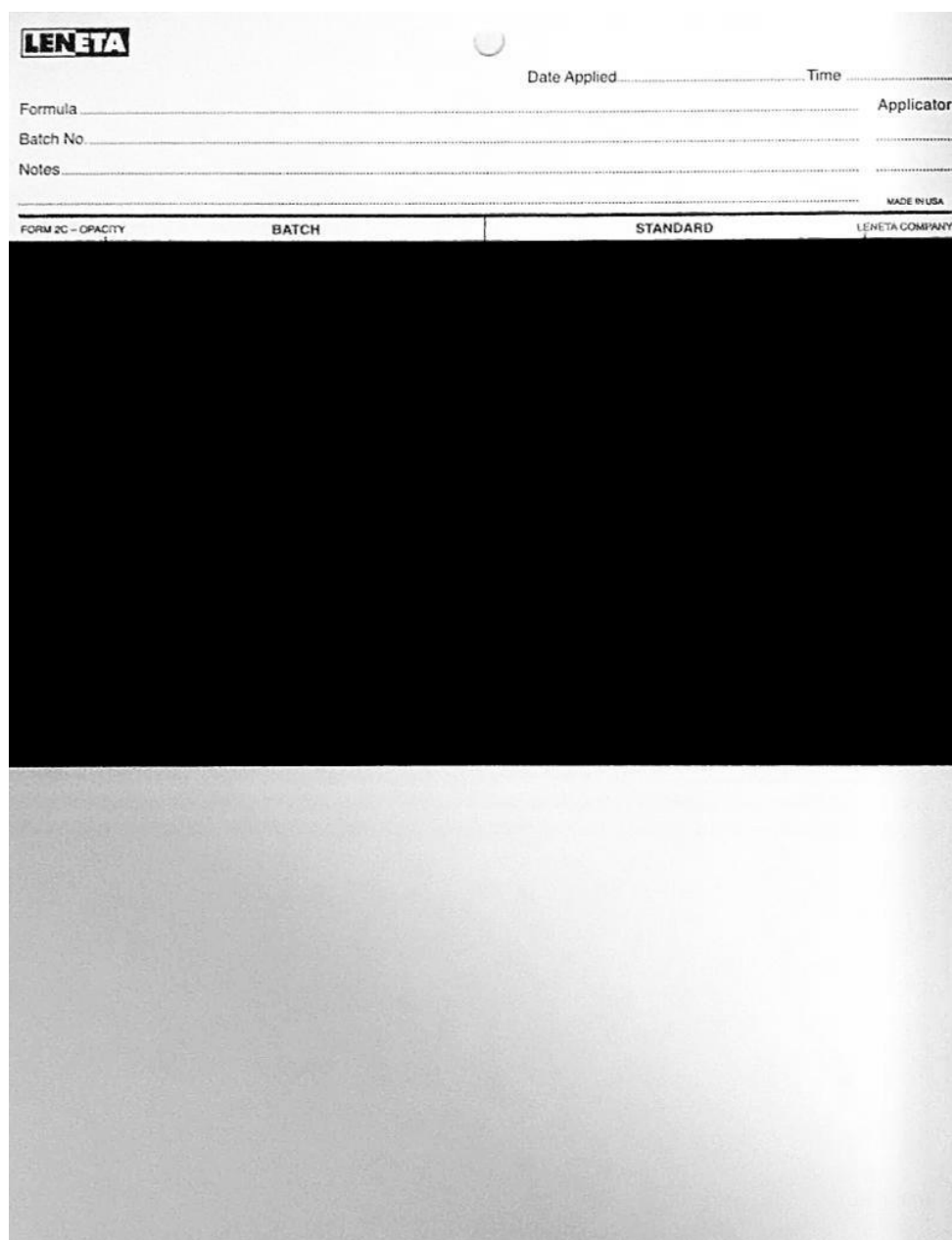


Figura A. 1 – Substrato de calibração por defeito, denominado por Leneta.

## Anexo B – Criação de um ficheiro de pigmentos

Na figura B.1 está esquematizado o procedimento seguido para a criação de um ficheiro de pigmentos translúcidos.



Figura B. 1 – Procedimento a seguir para a criação de um ficheiro de pigmentos no *Set Maintenance*.

Relativamente às definições de manuseamento, selecionou-se o modo de apresentação das quantidades de produtos das misturas em massa e o modo de fórmula em percentagem de peso (% peso) para posteriores cálculos, realizados pelo *software* do espectrofotómetro. O método de medição selecionado foi SCI (*Specular Component Included*) sobre o branco e o preto (RSB/RSN).

Quanto ao método de calibração, definiu-se que o pigmento era calibrado com branco ou preto e com resina, que neste caso é a pasta mãe (2PLDB).

## Anexo C – Criação de um pigmento no ficheiro

Para adicionar a informação colorimétrica de cada pigmento, no *software Set Maintenance*, é necessário seguir a ordem de etapas representadas na figura C.1.



Figura C. 1 – Procedimento a seguir para a criação de um pigmento no ficheiro gerado.

É de extrema relevância a seleção do tipo de pigmento, uma vez que é este que vai definir o tipo de cortes que se vão aplicar ao empastado em estudo. Existem os seguintes tipos de materiais que podem ser gerados:

- Resina – corresponde à pasta mãe e apenas permite a leitura de um filme constituído pela pasta 2PLDB.
- Resina com dispersão – associado às restantes pastas existentes no Laboratório de Cores. Permite adicionar vários cortes com o empastado padrão branco ou preto.

- Branco principal – corresponde ao empastado padrão branco (5PG001000) e podem ser adicionados apenas cortes, em diferentes concentrações de pasta mãe e do empastado em causa.
- Branco alternativo – associado aos restantes empastados brancos e permite a adição de cortes em diferentes concentrações de pasta mãe e do empastado em causa.
- Preto – associado a todos os empastados pretos e podem ser adicionados vários cortes, constituídos pelo empastado preto em estudo, pelo empastado padrão branco (5PG001000) e pela pasta mãe (2PLDB).
- Cor – pigmento com cortes, em diferentes concentrações, que podem ser constituídos pelo empastado em estudo, empastado padrão branco ou preto e pela pasta mãe (2PLDB).
- Base – termo utilizado para tintas e não aplicado no projeto em causa.
- *Special Effects Pigment* – opção não aplicada no projeto em causa.

Nesta etapa definem-se o nome do produto em causa, as opções de manuseamento do mesmo, o método de calibração e os produtos usados na mesma. O método de calibração definido depende do tipo de pigmento selecionado e é o que vai definir os cortes executados nas pastas pigmentadas, tal como descrito na tabela C.1.

Tabela C. 1 – Método de calibração a definir para cada produto.

<b>Produto a inserir</b>	<b>Designação pelo <i>software</i></b>	<b>Método de calibração</b>
Pasta de PVC sem cor	Resina com ou sem dispersão	Sem misturas
Empastado branco	Branco principal ou alternativo	Mistura de pasta mãe (2PLDB) e empastado branco em estudo
Empastado preto	Preto	Mistura de pasta mãe (2PLDB), empastado padrão branco e empastado preto em estudo
Empastado de cor	Cor	Mistura de pasta mãe (2PLDB), empastado padrão branco ou preto e empastado de cor em estudo

## Anexo D – Lista dos empastados estabilizados

Um estudo prévio desenvolvido na empresa otimizou e estabilizou alguns dos empastados existentes. Na tabela D.1 encontra-se a associação entre os empastados antigos e os empastados estabilizados.

Tabela D. 1 – Lista dos empastados estabilizados.

<b>Empastado antigo</b>	<b>Empastado estabilizado</b>
5PG001100	5PG001000
5PG001110	
5PG002125	5PG002000
5PG002126	
5PG002175	5PG002100
5PG002176	
5PG002185	5PG002200
5PG003135	5PG003000
5PG003140	5PG003100
5PG004150	5PG004400
5PG004151	
5PG004165	5PG004200
5PG004170	5PG004000
5PG004171	
5PG005130	5PG005200
5PG005150	5PG005000
5PG006150	5PG006000
5PG006160	5PG006200
5PG007100	5PG007000
5PG007110	
5PG007130	5PG007200
5PG007140	5PG007300

Os empastados estabilizados além de serem mais estáveis (tal como o nome indica), são menos viscosos e também apresentam valores de força corante mais elevados. Ao apresentarem uma força corante mais elevada é necessário utilizar menos pigmento, permitindo assim uma diminuição do custo de fabrico.

## Anexo E – Folha de controlo estético

A folha de controlo estético define as diferenças de cor entre a amostra analisada e o respetivo padrão, ao longo das diversas etapas do processo. Os operadores devem preencher este documento com as diferenças de cor obtidas para cada lote produzido.

Na tabela E.1 está esquematizada uma folha de controlo estético.

Tabela E. 1 – Exemplo de ficha de controlo estético.

FICHA DE CONTROLO ESTÉTICO																		
Artigo:						Pasta:						Padrão n°:						
1ª amostra			Mistura			Saída de máquina			Recobrimento			Lacagem			Produto acabado			
DL	Da	Db	DL	Da	Db	DL	Da	Db	DL	Da	Db	DL	Da	Db	DL	Da	Db	
LSR			0,30	-0,80	0,75	0,30	-0,80	0,75	0,50	-0,50	0,90	0,40	-0,75	1,00	0,30	0,20	0,20	
LIR			0,00	-1,00	0,55	0,00	-1,00	0,55	0,30	-0,65	0,70	-0,10	-1,50	0,50	-0,30	-0,20	-0,20	
Observações:																		

As linhas representadas na tabela a sombreado são destinadas ao preenchimento, por parte dos operadores, das diferenças de cor obtidas para cada amostra de um lote produzido.

Para um dado lote são preenchidas as diferenças de cor da “1ª amostra” que corresponde à pasta pigmentada sem nenhum acerto por parte da produção e da “mistura”, que se refere à mesma pasta pigmentada com acerto, caso necessário, para estar dentro dos limites estipulados. A “saída de máquina” refere-se à pasta pigmentada depois de executado o vácuo e imediatamente antes da próxima etapa do processo. Posteriormente, são anotadas as diferenças de cor entre o artigo produzido e o respetivo padrão, ao longo das restantes etapas do processo, nomeadamente, “recobrimento” e “lacagem”. Por fim, registam-se os valores finais das diferenças de cor do artigo final, ou seja, “produto acabado”.

## **Anexo F – Procedimento para a medição da transmitância de um filme flexível de PVC.**

A medição da transmitância consiste na análise e quantificação da passagem de um feixe de luz através de um dado artigo. Para a execução deste procedimento é necessário o espectrofotómetro e uma amostra de dimensão considerável. Os resultados obtidos são expressos em pontos percentuais em função do comprimento de onda.

Na figura F.1 encontram-se os passos a seguir para a medição da transmitância no espectrofotómetro utilizado ao longo do presente trabalho.

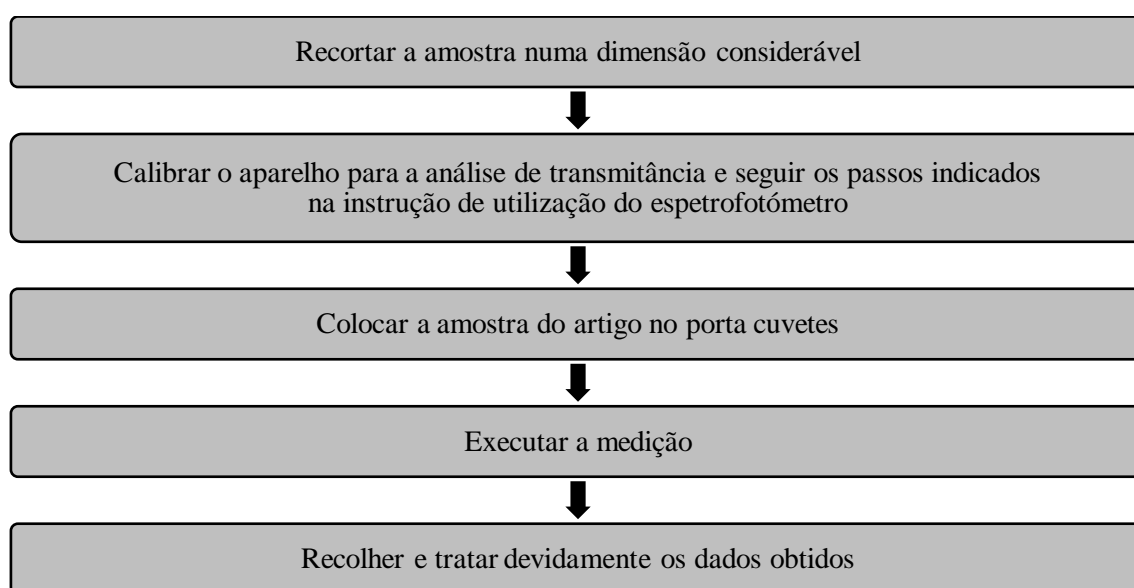


Figura F. 1 – Procedimento para a medição da transmitância de um filme flexível de PVC.