



**Fani Andreína
Paradinha de Sousa**

**Desenvolvimento de formulações e de um processo
de pintura à pistola para obtenção de efeito
cromado.**



**Fani Andreína
Paradinha de Sousa**

**Desenvolvimento de formulações e de um processo
de pintura à pistola para obtenção de efeito
cromado.**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, realizada sob a orientação científica do Engenheiro Bruno Garrido, técnico de I&D da empresa Rikor-Tintas e Vernizes Lda e coorientação da Doutora Carmen Sofia da Rocha Freire Barros, Investigadora Principal do Instituto de Materiais de Aveiro (CICECO) da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho aos meus pais e irmão pela motivação, apoio e compreensão.

o júri

presidente

Prof. Doutor Carlos Manuel Santos da Silva
professor auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Ana Margarida Madeira Viegas de Barros Timmons
professora auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

Engenheiro Bruno Miguel Alegria Garrido
Rikor – Tintas e Vernizes Lda

agradecimentos

Gostaria de agradecer ao meu orientador Bruno Garrido, por toda a paciência, ajuda, dedicação e excelente orientação ao longo deste trabalho.

Gostaria também de agradecer à minha co-orientadora, Doutora Carmen Freire pela dedicação, orientação científica e disponibilidade. Agradeço também à Professora Maria Rute Ferreira André e à Vânia Freitas pela ajuda e disponibilidade no teste de espectroscopia UV-vis.

A todo o pessoal integrante da Rikor, mais especificamente às engenheiras Sandra, Fátima, Ângela e Elsa pela rápida e calorosa integração, pelos ensinamentos, disponibilidade e simpatia com que sempre me trataram.

Ao Eng. José Ferraz por me ter concedido esta oportunidade de realizar a dissertação na Rikor-Tintas e Vernizes Lda. e pelo fornecimento das matérias-primas necessárias.

Gostaria de agradecer à Rita Lemos, companheira de tese, pelo companheirismo incansável, boa disposição e paciência diárias. Obrigada pela amizade e por todo o apoio.

Agradeço ao Francisco, por ser um apoio fundamental, pela amizade e infinita compreensão, por todo o carinho e presença nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos de curso que tornaram este percurso académico mais fácil e alegre. Ao Pedro, um colega incansável, brilhante e um grande amigo.

Às minhas amigas, Rita e Sara, por todos os momentos de alegria, pelo incansável apoio e motivação infinita transmitida. De sempre para sempre.

Por fim, e não menos importante, aos meus pais pelos sacrifícios realizados para garantir que eu tivesse um futuro melhor, pelo incentivo e preocupação diários, por terem feito de mim a pessoa que sou hoje. Ao meu irmão por todas as risadas, picardias e pelo desejo de me ver triunfar.

palavras-chave

Sistema de pintura, efeito cromado, aplicação à pistola, formulações, revestimento, alumínio.

resumo

O processo de metalização em vácuo permite a obtenção de revestimentos semelhantes ao efeito cromado, sendo utilizado essencialmente na indústria automóvel e de decoração. Neste processo, um substrato é revestido com uma camada fina de um metal através de vaporização. O processo apresenta elevadas taxas de revestimento e é ambientalmente inofensivo, no entanto, o revestimento de peças com área elevada é limitado às dimensões da câmara de vácuo e, o de peças irregulares resulta em revestimentos deficientes e irregulares.

Na presente dissertação, como alternativa à metalização em vácuo, desenvolveu-se um processo de pintura, para obtenção de um efeito semelhante, por aplicação à pistola. Neste sentido, foi concebido um sistema de pintura constituído por um fundo de poliéster, um revestimento acrílico base de alto brilho, um revestimento de alumínio com efeito cromado e por um revestimento de poliuretano de topo de dois componentes de alto brilho e transparente. Este sistema de pintura foi aplicado em amostras de MDF (painel de aglomerado de fibras de densidade média) e ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), excluindo-se a aplicação do fundo poliéster neste último.

O MDF sofreu previamente um processo de lixagem e aplicação de um fundo branco ou de poliéster transparente.

Numa primeira fase, foram realizados estudos sobre a influência da cor do fundo (no caso do MDF) e do revestimento acrílico base no efeito desejado. Posteriormente, desenvolveram-se formulações com diferentes pigmentos de alumínio por forma a seleccionar o que permitisse a maximização do efeito cromado e, por último, foi formulado um verniz de alto brilho de topo transparente de dois componentes para proteção do revestimento de alumínio, que não sofresse amarelecimento nem afetasse em demasia o efeito cromado, e que garantisse dureza e resistência ao risco.

Por fim, algumas amostras de MDF revestidas com este esquema de pintura foram estudadas por espectroscopia de ultravioleta-visível, obtendo-se resultados a nível da refletância total e da refletância difusa.

A realização deste trabalho permitiu desenvolver um sistema de pintura e um revestimento de alumínio que maximizasse o efeito cromado. O sistema de pintura final é constituído por um fundo de poliéster branco ou transparente, um revestimento acrílico negro de alto brilho, um revestimento de alumínio com o pigmento metalizado em vácuo LPG046 e um revestimento de poliuretano de topo de dois componentes de alto brilho e transparente, com valor de brilho de 157 GU, dureza suficiente e baixa resistência ao risco. Através do estudo de espectroscopia verificou-se que o revestimento de topo aumenta a refletância difusa em cerca de 18%, o que se traduz numa diminuição do efeito cromado.

keywords

Paint system, chrome effect, spray gun application, formulations, coating, aluminium.

abstract

Vacuum metallizing process allows obtaining coatings similar to chrome effect, being mainly used in the automotive and decoration industries. In this process, a substrate is coated with a thin layer of a metal through vaporization. This process has high coating rates and is environmentally harmless, however, the coating of pieces with high area is limited to the dimensions of the vacuum chamber and, the coating of irregular pieces leads to an uneven and irregular coating.

In this work, as an alternative to vacuum metalizing, it was developed a painting system to achieve a similar effect, through spray gun application. As such, it was developed a painting system that consists in a polyester background coat, a high gloss acrylic base coat, an aluminum chrome effect coating and two component high gloss and clear polyurethane top coat. The referred paint system was applied to MDF (medium density fiberboard) and ABS (acrylonitrile butadiene styrene) samples, with exclusion of the application of the polyester background coat is the latter case.

MDF was previously submitted to a sanding process and coated with a white or clear polyester coating.

In a first stage, the influence of the background coat (for MDF) and acrylic base coat color, on the desired effect, were studied. Afterwards, formulations with different aluminum pigments were tested in order to select the one that allowed the maximization of the chrome effect and, finally, it was formulated a high gloss two component clear top coat for protection that would not suffer yellowing nor affect, in a great extent, the chrome effect and ensure hardness and scratch resistance.

Finally, some MDF samples coated with this paint system were studied by ultraviolet-visible spectroscopy, aiming to obtain results of total reflectance and diffuse reflectance.

This work allowed us to develop a paint system and an aluminum coating that would maximize chrome effect. The final paint system is constituted by a white or clear polyester background coat, a high gloss acrylic black coating, an aluminum coating with the LPG046 vacuum metallized pigment and a high gloss two component clear top coat, with a gloss value of 157 GU, sufficient hardness and low scratch resistance. Based on the spectroscopy study it was found that the top coat increases the diffuse reflectance by about 18%, which leads to a reduction of the chrome effect.

ÍNDICE

1	Enquadramento e objetivos propostos.....	1
2	Introdução teórica.....	3
2.1	Tecnologias e processos de deposição em vácuo.....	3
2.1.1	Evaporação em vácuo.....	3
2.2	Etapas da metalização em vácuo.....	5
2.3	Componentes envolvidos no esquema de pintura.....	8
2.3.1	Pigmentos metálicos.....	8
2.3.2	Substratos.....	12
2.3.3	Vernizes.....	17
3	Materiais e métodos.....	21
3.1	Preparação dos substratos.....	21
3.1.1	ABS.....	21
3.1.2	MDF.....	21
3.2	Produção das formulações.....	22
3.2.1	Fundos poliéster para MDF.....	22
3.2.2	Revestimentos acrílicos de alto brilho.....	23
3.2.3	Desenvolvimento do revestimento com efeito cromado.....	25
3.2.4	Revestimento de topo.....	27
3.3	Aplicação das formulações.....	29
3.3.1	Fundos poliéster para MDF.....	29
3.3.2	Revestimentos acrílicos de alto brilho.....	30
3.3.3	Revestimentos com efeito cromado.....	31
3.3.4	Revestimento de topo.....	31
3.4	Caracterização das formulações e amostras.....	32
3.4.1	Determinação da viscosidade.....	32
3.4.2	Medição do brilho.....	33

3.4.3	Determinação da dureza do filme por passagem de lápis.....	33
3.4.4	Espectroscopia de UV-vis	34
4	Apresentação e discussão dos resultados	35
4.1	Estudo da influência da cor do revestimento acrílico de alto brilho	35
4.2	Estudo do efeito dos vários pigmentos de alumínio para obtenção do efeito cromado....	39
4.3	Estudo da influência da quantidade da formulação de alumínio aplicada.....	40
4.4	Seleção do revestimento de topo adequado.....	42
4.5	Aplicação do esquema de pintura desenvolvido num substrato plástico	47
4.6	Espectroscopia de UV-vis	49
5	Conclusões	53
6	Bibliografia	55
7	Anexo A.....	61
7.1	Propriedades e características das matérias-primas utilizadas	61
7.2	Resultados dos testes/estudos realizados.....	66
7.2.1	Estudo da influência da quantidade da formulação de alumínio aplicada.....	66
7.2.2	Análise da incorporação de aditivos.....	66
7.2.3	Medição da viscosidade em copo DIN 4.....	67
7.2.4	Medição do brilho dos revestimentos de topo.....	67
7.2.5	Testes de dureza e resistência ao risco consoante a passagem de lápis.....	67
7.3	Condições de aplicação	69
7.3.1	Amostras de MDF	69
7.3.2	Amostras de Vidro	70
7.3.3	Amostras de ABS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-Exemplo de produtos revestidos por metalização em vácuo, adaptado de [8], [14].....	5
Figura 2-Câmara de evaporação a vácuo, adaptado de [16].....	7
Figura 3-Representação do esquema de pintura para obtenção do efeito cromado, adaptado de [7].	8
Figura 4-Representação esquemática dos vários tipos de reflexão: efeito cromado (a), reflexão especular (b) e reflexão difusa (c), adaptado de [20].	9
Figura 5-Flocos lamelares (a), flocos lenticulares (b) e VMPs (c). Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varrimento (SEM) [22].	10
Figura 6-Esquema da distribuição do pigmento <i>leafing</i> no revestimento, adaptado de [22].	11
Figura 7-Esquema da distribuição do pigmento <i>non-leafing</i> no revestimento, adaptado de [22]. ...	12
Figura 8-Estrutura do poliestireno (a), poli(cloreto de vinilo) (b), poli(tereftalato de etileno) (c), polietileno (d) e polipropileno (e).	12
Figura 9-Representação esquemática do processo de produção de MDF [39].....	16
Figura 10-Estrutura química do poliéster (a), do poliuretano (b) e de uma resina de co-polímero acrílico (c), adaptado de [45]–[48].....	18
Figura 11-Capacete de ABS utilizado para posterior revestimento.	21
Figura 12-Placa de MDF virgem utilizada no trabalho e o equipamento de lixagem utilizado.....	22
Figura 13-Pistola aerográfica utilizada e identificação dos seus componentes mais importantes. ...	30
Figura 14-Copo DIN utilizado para medição da viscosidade.....	32
Figura 15-Brilhómetro micro-TRI-gloss utilizado para medição do brilho.	33
Figura 16-Aplicador quadrangular de revestimentos.	33
Figura 17-Escala de dureza, por ordem decrescente, e sua conversão para escala numérica.....	34
Figura 18-Amostras de MDF, revestidas com fundo poliéster branco e com os revestimentos acrílicos de alto brilho.	36
Figura 19-Amostras de MDF, revestidas com fundo poliéster transparente e com os revestimentos acrílicos de alto brilho.	36
Figura 20-Amostras de MDF, revestidas com fundo poliéster branco, com os revestimentos acrílicos de alto brilho e, posteriormente, com a formulação P2.....	37
Figura 21-Amostras de MDF, revestidas com fundo poliéster transparente, com os revestimentos acrílicos de alto brilho e, posteriormente com a formulação P2.	37
Figura 22-Amostras de MDF revestidas com P2, após eliminação do efeito <i>overspray</i>	39
Figura 23-Peça de ABS revestida com alumínio por metalização em vácuo (PMV).....	39
Figura 24-Amostras de MDF revestidas com fundo poliéster branco, revestimento acrílico negro de alto brilho e as formulações, Pi.	40

Figura 25-Amostra A_0,5.	41
Figura 26-Reação de adição de um diisocianato com um polioliol, formando poliuretano [47], [48]. .	42
Figura 27-Amostra revestida onde ocorreu ataque da camada P2.	43
Figura 28-Resultados da média dos valores de viscosidade em copo DIN 4 obtidos para cada formulação e comparação da média dos valores de viscosidade das formulações com a mesma resina de isocianato.....	44
Figura 29-Resultados da medição de brilho de cada revestimento e comparação do brilho das formulações com a mesma resina de isocianato.....	44
Figura 30-Resultados do teste de dureza para cada revestimento e comparação dos resultados de dureza para formulações com a mesma resina de isocianato.	45
Figura 31-Resultados do teste de resistência ao risco para cada revestimento e comparação dos resultados para formulações com a mesma resina de isocianato.....	46
Figura 32-Amostra de MDF final, A_P2_TCA3_2.....	46
Figura 33-Amostra de ABS revestida com o revestimento acrílico negro de alto brilho (à esquerda) e, com o revestimento P2 (à direita).....	47
Figura 34-Amostra de ABS em que metade deste encontra-se revestido com TCA3_2 (lado esquerdo) e zona do capacete revestido com TCA3_2, com mais detalhe (lado direito).	47
Figura 35-Espectro da refletância total da peça PMV (1) e das amostras A_FBB_P2 (2), A_FBBB_P2 (3), A_FBBN_P2 (4) e A_P2_TCA3_2 (5).....	49
Figura 36-Espectro da refletância difusa da peça PMV (1) e das amostras A_FBB_P2 (2), A_FBBB_P2 (3), A_FBBN_P2 (4) e A_P2_TCA3_2 (5).	51
Figura 37-Influência da espessura do revestimento de topo (a azul) na reflexão da luz, adaptado de [61]......	52
Figura A.1-Amostras A_i em que foi variada a quantidade da formulação de alumínio aplicada...	66
Figura A.2-Amostras A_Ci em que foram testados dois tipos de ceras.	66
Figura A.3-Resultados do teste de dureza e resistência ao risco para A_TCA1_2 utilizando uma ampliação de 75x.....	67
Figura A.4-Resultados do teste de dureza e resistência ao risco para A_TCA2_2 utilizando uma ampliação de 75x.....	68
Figura A.5-Resultados do teste de dureza e resistência ao risco para A_TCA3_2 utilizando uma ampliação de 75x.....	68
Figura A.6-Resultados do teste de dureza e resistência ao risco para A_TCA4_2 utilizando uma ampliação de 75x.....	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1-Proporção das misturas do fundo poliéster branco e do fundo poliéster transparente aplicados.....	22
Tabela 2-Composição do revestimento acrílico não pigmentado de alto brilho, RWVAC1065.	23
Tabela 3-Composição do revestimento negro de alto brilho, RWVAC1066.....	24
Tabela 4-Composição do revestimento acrílico branco de alto brilho, RWVAC1067.	25
Tabela 5-Formulações do revestimento metálico para escolha do pigmento mais adequado.	26
Tabela 6-Formulações do revestimento metálico para escolha do aditivo orientador das partículas de pigmento.....	27
Tabela 7-Formulações das misturas que contém o componente A.	28
Tabela 8-Formulação das misturas que contém o componente B.....	28
Tabela 9-Nomenclatura das formulações realizadas.	29
Tabela 10-Formulações ajustadas das misturas que contém o componente B.....	29
Tabela 11-Nomenclatura das formulações do componente B ajustadas.	29
Tabela 12-Referências para identificação do copo de escoamento[54].	32
Tabela A.1-Teor de não voláteis (NV), valor de d50 e solvente dos pigmentos de alumínio existentes em amostras pedidas aos fornecedores [22], [61].	61
Tabela A.2-Principais características dos pigmentos de alumínio [22], [61].....	61
Tabela A.3-Teor de não voláteis (NV), solventes presentes, tipo de isocianato, quantidade de monómero, de NCO, viscosidade e cor de Gardner máxima das resinas de isocianato existentes em armazém [65].	62
Tabela A.4-Principais características das resinas de isocianato [65].	62
Tabela A.5-Teor de não voláteis (NV), solvente presentes, tipo de resina, teor de -OH , viscosidade e cor de Hazen das resinas acrílicas existentes em armazém [66], [67].....	63
Tabela A.6-Principais características das resinas acrílicas [66], [67].	63
Tabela A.7-Teor de não voláteis (NV), solventes presentes e densidade dos aditivos existentes em armazém [68]–[70].....	64
Tabela A.8-Principais características dos aditivos [68]–[70].....	64
Tabela A.9-Teor de não voláteis (NV), composição da mistura, solventes presentes na mistura e viscosidade das ceras [71], [72].	65
Tabela A.10-Principais características das ceras [71], [72].	65
Tabela A.11-Teor de não voláteis (NV) e solventes presentes nos outros químicos existentes em armazém.	65
Tabela A.12-Principais características de outros químicos.....	65

Tabela A.13-Número de voltas da válvula de ajuste e pressão do ar da pistola aerográfica para cada amostra e, dimensões características das placas revestidas.....	66
Tabela A.14-Resultados da medição de viscosidade para cada formulação.	67
Tabela A.15-Resultados da medição de brilho a 20°.	67
Tabela A.16-Condições de aplicação do fundo poliéster e posterior revestimentos acrílico de alto brilho.	69
Tabela A.17-Condições das formulações Pi nas amostras.	69
Tabela A.18-Condições de aplicação de P2 nas amostras em que se variou a quantidade de P2 aplicado.	70
Tabela A.19-Condições de aplicação das formulações C1 e C2 nas amostras.....	70
Tabela A.20-Condições de aplicação das formulações TCAi_2 nas amostras de vidro e de MDF.	70
Tabela A.21-Condições de aplicação de P2 na amostra de ABS.	70
Tabela A.22-Condições de aplicação de TCA3_2 na amostra de ABS.	70

NOMENCLATURA

ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno
CVD	Deposição química de vapor
EMI	Interferências eletromagnéticas
GU	Unidades de brilho (<i>Gloss unit</i>)
HDI	Diisocianato de hexametileno
HR	Humidade relativa
iK	Verniz monocomponente se $i=1$ e verniz multicomponente para $i>1$
LAD	Aditivos
LPG	Pigmentos
MDF	Painel de aglomerado de fibras de densidade média (<i>Medium density fiberboard</i>)
MDI	Diisocianato de difenilmetileno
MPOQ	Outros químicos
MPPG	Pigmentos
MPRS	Resinas
MPSO	Solventes
NV	Teor de não voláteis (%)
PECVD	Deposição química de vapor assistida por plasma
PVD	Deposição física de vapor
RFI	Frequências de rádio
<i>T</i>	Temperatura (°C)
TDI	Diisocianato de tolueno
UV	Ultravioleta
VMPs	Pigmentos metalizados em vácuo
wt	Percentagem mássica (<i>percentage by weight</i>) (%)

1 ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS PROPOSTOS

O efeito cromado caracteriza-se como sendo brilhante e com aspeto metálico, permitindo a reflexão da luz incidente e tem diversas aplicações nas indústrias automóvel e de decoração. Um dos processos utilizados para conferir este efeito é a metalização em vácuo, em que um substrato (por exemplo plástico) é revestido com metal vaporizado, no entanto, o revestimento de peças de maior área encontra-se limitado pela dimensão da câmara de vácuo.

Neste sentido, o principal objetivo desta dissertação centra-se no desenvolvimento de um sistema de pintura, para aplicação com uma pistola aerográfica, que permita recriar o efeito cromado, obtido pelo processo de metalização em vácuo. Este instrumento é versátil, acessível, adequado para todos os revestimentos, não sendo necessário recorrer a equipamentos específicos. Para o efeito, foram preparados revestimentos de base para conferir enchimento, brilho e nivelar a superfície, desenvolvido um revestimento de alumínio de base solvente e revestimento de topo que garantisse a durabilidade e resistência do produto final, sem afetar o efeito desejado. Os substratos escolhidos foram o MDF (painel de aglomerado de fibras de densidade média) e o ABS (acrilonitrilo butadieno estireno). Foi estudada a influência que o esquema de pintura, desde o revestimento base até ao revestimento de topo, tem no efeito cromado.

Este processo apresenta vantagens quando comparado à metalização em vácuo, visto que permite o revestimento de peças de grande dimensão e com geometria irregular. Pretende-se que o processo seja utilizado para efeitos de decoração na indústria de mobiliário, em revestimento de peças de plástico, em decoração em geral ou em peças de pequena dimensão.

Esta dissertação encontra-se organizada em 3 capítulos. No primeiro capítulo encontram-se descritas resumidamente, as tecnologias e processos de deposição em vácuo e as características dos componentes nesta dissertação como os pigmentos, substratos e vernizes. No segundo capítulo são descritas as formulações desenvolvidas e aplicadas, e os métodos usados. Por fim, no terceiro capítulo encontram-se sumariados os resultados obtidos, a sua discussão e análise.

O trabalho descrito nesta dissertação foi realizado na empresa Rikor-Tintas e Vernizes Lda. A Rikor é uma empresa sediada em Sever do Vouga, distrito de Aveiro, pertencente ao Grupo Lusoverniz. A sua especialidade é a prestação de serviço técnico customizado e produção de tintas e vernizes para diferentes substratos como madeira, metal, vidro e plástico [1]. Os seus produtos apresentam-se como sendo uma solução para tratamento, proteção e decoração, sendo que estes poderão ser de base solvente ou base aquosa [1].

2 INTRODUÇÃO TEÓRICA

Um dos objetivos deste trabalho consiste na recriação do efeito cromado obtido pela metalização em vácuo, através de um processo de pintura alternativo. Neste sentido, começa-se por introduzir o processo de metalização em vácuo e descrevem-se resumidamente as outras tecnologias e processos de deposição em vácuo.

2.1 TECNOLOGIAS E PROCESSOS DE DEPOSIÇÃO EM VÁCUO

Existem diversas tecnologias e processos de deposição de revestimentos em vácuo, nomeadamente a deposição química de vapor (CVD), a implantação de iões e a deposição física de vapor (PVD).

A CVD, caracteriza-se como sendo um processo em que é usado um gás ou vários gases precursores reativos, numa câmara que contém o substrato a ser revestido, em que este se encontra aquecido. Nesta superfície aquecida ocorrem reações químicas entre a superfície do substrato e o gás em que, este último, reage e se deposita na forma de um componente sólido formando uma camada fina [2]–[4]. Uma variante do processo referido anteriormente é a deposição química de vapor assistida por plasma (PECVD), em que o fator diferenciador é o facto de este processo ocorrer a temperaturas significativamente mais baixas e com uma maior velocidade de deposição [2], [5].

Outro processo utilizado é a implantação de iões, em que o substrato é submetido a um bombardeamento de iões altamente energéticos, antes e durante a deposição, que causa mudanças no processo de formação do filme e nas suas propriedades [2], [6].

Por fim, dentro da PVD encontram-se diferentes processos, entre eles a evaporação em vácuo (onde se inclui a metalização em vácuo), a deposição por pulverização catódica e a deposição por arco catódico. A deposição por pulverização catódica é um processo em que o pigmento metálico sólido é bombardeado com iões com elevada energia, levando à sua vaporização, ao invés da evaporação em vácuo que usa calor [2], [6]–[8]. Outro dos processos de PVD é a deposição por arco catódico. Este método consiste na utilização de um arco catódico de baixa voltagem e de elevada corrente para vaporizar o material que se pretende usar como revestimento [4], [8], [9].

2.1.1 EVAPORAÇÃO EM VÁCUO

Na evaporação em vácuo, também referida na literatura como deposição em vácuo, o material escolhido para o revestimento é aquecido até à sua temperatura de ebulição, através da utilização de uma resistência elétrica, por indução ou por outros métodos. O material a ser depositado é vaporizado sob vácuo, se se encontrar no estado líquido, ou sublimado, se for um sólido. Este percorre uma

trajetória em linha reta desde a origem onde ocorreu a vaporização, até ao substrato. Seguidamente, entra em contato com o substrato, condensa e forma uma camada fina, normalmente com uma espessura de 100 nm, que é depositada neste último. O material escolhido para o revestimento deposita-se na zona do substrato que se encontra na “linha de visão” da origem. Neste contexto, surge a designação de metalização em vácuo que consiste na aplicação de uma película fina de um metal num substrato, que poderá ser de natureza metálica, plástica (como por exemplo, acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) e polipropileno (PP)) ou de madeira [2], [7], [10], [11].

Um dos aspetos diferenciadores deste processo é o facto de ocorrer numa atmosfera de vácuo, com pressões entre 10^{-3} - 10^{-5} mbar [2], o que permite a redução de contaminações com outros gases. A baixa pressão do sistema evita também colisões das moléculas entre si, fazendo com que não percam energia antes da sua deposição, tornando a velocidade de deposição superior quando comparada com outros métodos [8]. Neste sentido, é importante controlar determinados parâmetros aquando da operação referida, nomeadamente o caudal do gás, a composição (isto é, a pressão parcial) dos inertes e dos gases reativos e a densidade das partículas de gás [12].

Neste processo podem ser utilizados diversos pigmentos como cobre, prata, zinco ou alumínio em que, o alumínio é o mais utilizado visto que apresenta elevada capacidade refletiva, não é tão caro como a prata e o cobre e fornece proteção contra a corrosão, no caso do substrato ser metálico.

De notar que este método apenas permite usar pigmentos puros, não sendo aconselhável utilizar ligas para deposição no substrato, visto que o metal com menor temperatura de ebulição deposita-se primeiro no substrato fazendo com que, em vez de ocorrer a deposição da liga, se dê a deposição de diferentes camadas metálicas [13].

Este método é tipicamente utilizado para conferir um revestimento metálico e brilhante a artigos de bijutaria, cujos substratos mais utilizados são o plástico e o metal, a brinquedos de plástico e a componentes metálicos e plásticos para a indústria automóvel (nomeadamente puxadores, manetes e componentes eletrónicos). Este tipo de revestimento também poderá servir como proteção contra interferências eletromagnéticas (EMI) e de frequências de rádio (RFI) em plásticos, vidro, metais, produtos à base de papel e fibra de vidro. A proteção contra a EMI e a RFI é utilizada para impedir interferências entre equipamentos eletrónicos, sendo aplicado um revestimento metálico que tem a capacidade de refletir a radiação interferente. Na Figura 1 encontram-se alguns exemplos de produtos revestidos por metalização em vácuo [8], [11].

Este processo apresenta diversas vantagens quando comparado com outros métodos, como por exemplo, a capacidade de conferir o aspeto cromado, poder ser usado em diversos substratos, apresentar elevadas velocidades de deposição, a monitorização do processo ser relativamente

simples, ser uma técnica relativamente barata quando comparada com outras técnicas de PVD e, o material a ser vaporizado poder encontrar-se em pó, *pellets*, ou outras formas.



Figura 1-Exemplo de produtos revestidos por metalização em vácuo, adaptado de [8], [14].

Por fim, uma das vantagens mais importantes deste processo é o facto de ser pouco prejudicial para o meio ambiente, visto que ocorre apenas dentro da câmara de vácuo e pode-se reciclar o material metálico, porque a espessura da camada de metal é muito pequena e, não são usados componentes químicos perigosos, nem é realizado nenhum tipo de tratamento químico, pelo que, o processo não produz resíduos prejudiciais para o meio ambiente. Contudo, este método apresenta também algumas desvantagens como, não se poderem utilizar ligas metálicas para deposição, a trajetória reta do material vaporizado poder conferir pouca uniformidade na deposição do material aquando do revestimento de uma área grande ou de geometria mais irregular e uma reduzida utilização do pigmento vaporizado. Adicionalmente, os substratos não devem ser sensíveis à temperatura, e, caso o substrato não apresente uma camada base de verniz uniforme e adequada, as propriedades do filme metálico podem ser afetadas, verificando-se nestes casos o aparecimento de cavidades [3], [14]. A principal desvantagem do processo de metalização em vácuo que se pretende contornar nesta dissertação é o facto de esta apenas permitir o revestimento de substratos de pequena dimensão, devido à estrutura e tamanho da câmara de metalização em vácuo.

2.2 ETAPAS DA METALIZAÇÃO EM VÁCUO

A metalização em vácuo, incluída na categoria de evaporação em vácuo, será o processo que irá ser abordado em maior detalhe nesta secção. Tendo em conta que esta dissertação tem como objetivo a obtenção do efeito cromado, obtido por metalização em vácuo, utilizando uma pistola aerográfica para aplicação do revestimento metálico, por exemplo, num substrato plástico ou MDF, considerou-se importante abordar as diferentes etapas da metalização em vácuo assim como ocorre o processo dentro da câmara de vácuo.

O processo de metalização em vácuo envolve uma sequência de várias operações, nomeadamente:

- 1) Limpeza do substrato;
- 2) Aplicação de um verniz base;

- 3) Metalização da superfície;
- 4) Aplicação de um verniz de topo.

Em detalhe, numa primeira etapa, o substrato é limpo, por forma a eliminar humidade, oleosidade, poeiras, sujidade e outros contaminantes. Para remoção destes contaminantes, recorre-se, por exemplo, a uma linha de limpeza à base de água ou de químicos leves, e de uma linha de desengorduramento à base de solventes como álcool ou acetona. O substrato poderá ser limpo através de imersão e/ou pulverização do substrato [2], [3], [15].

Seguidamente, é aplicada uma camada de um verniz base. Este passo é bastante importante porque sela a superfície, promove a aderência entre o substrato e o revestimento posterior e confere uma superfície regular e lisa, que é imprescindível para obter o efeito cromado desejado, ou seja, para obter um resultado final de maior qualidade. Na ausência desta camada, as imperfeições que possam existir no substrato tornam-se bastante visíveis após a aplicação da camada metálica. Nesta etapa do processo devem-se controlar determinados parâmetros como o teor de sólidos do verniz, que influencia a cobertura do substrato e o brilho, o tempo de secagem ou de cura (se for o caso), que poderá afetar a flexibilidade da camada, e a espessura do verniz base, que, quando em excesso, tende a conferir um acabamento baço [2], [11].

Posteriormente, ocorre a etapa fulcral do processo, a metalização em vácuo. A câmara de vácuo, representada na Figura 2, contém duas unidades rotacionais que giram os suportes, que são os componentes móveis utilizados para suportar os substratos, ou seja as peças a serem metalizadas.

Em cada suporte encontram-se vários instrumentos de fixação, designados de “aranhas” devido à sua estrutura, onde são colocadas as peças a revestir. Geralmente, existem entre seis a dez acessórios de fixação em cada “aranha”. Anexada às unidades rotacionais encontra-se uma barra metálica que conduz eletricidade, normalmente composta por filamentos de tungsténio que estão em contato com “tiras” do pigmento a vaporizar. Os substratos quando colocados nesta estrutura, devem estar prontos para serem metalizados, ou seja, já deverão estar limpos, ter passado pelo processo de remoção de algum tipo de eletricidade estática e devem possuir uma camada de verniz de base já curada. Os suportes são colocados dentro da câmara, e rodam mais que uma vez para que toda a superfície do substrato seja revestida.

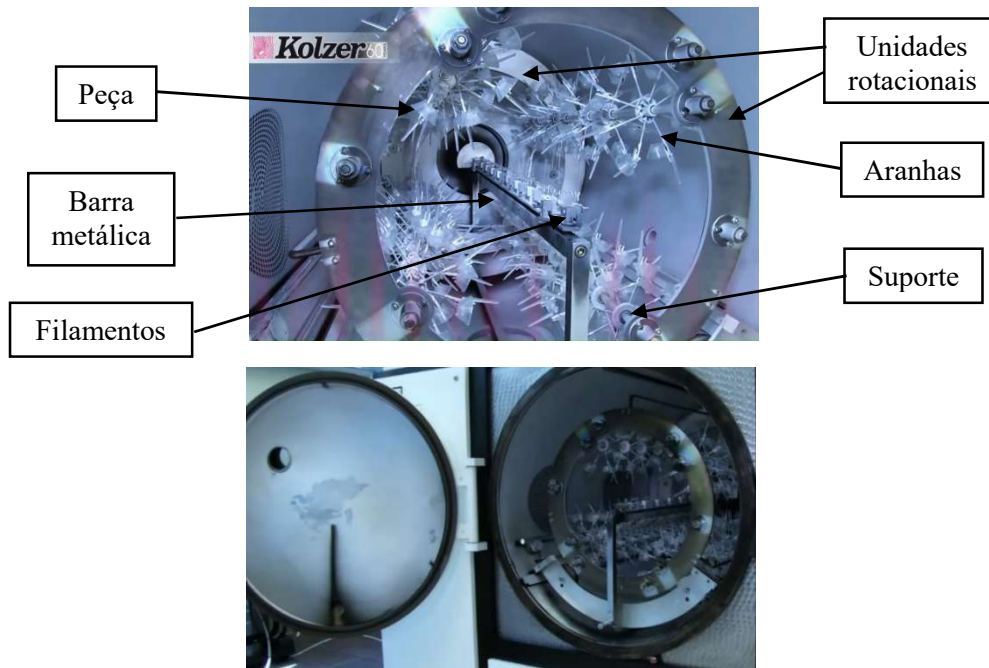


Figura 2-Câmara de evaporação a vácuo, adaptado de [16].

De notar que se deve ter especial cuidado na colocação do substrato, uma vez que o metal vaporizado apresenta uma trajetória reta até este último. Seguidamente, dá-se início à verificação da rotação das “aranhas”, e finalmente, utilizando uma bomba, cria-se o vácuo. O passo seguinte consiste na vaporização do metal, através de uma resistência elétrica, ou por indução. O metal vaporizado condensa em contato com a superfície do substrato que se encontra virada para o local de onde provém o metal vaporizado. Nesta etapa obtém-se uma superfície seca, brilhante e com efeito cromado. Por fim, é desligada a resistência elétrica, é fornecido ar à câmara, a rotação das aranhas é cessada e as peças metalizadas são descarregadas [2], [17].

Por último, é aplicada uma camada de verniz de topo, à qual podem ser adicionados pigmentos para conferir acabamento similar a bronze, prata ou ouro. Esta camada permite também proteger a camada metálica de riscos, abrasão, desgaste e corrosão. É de extrema importância realizar uma correta formulação do verniz, por forma a evitar o “amarelecimento” ou escurecimento da superfície. Tal como na camada base, esta camada de topo deverá secar à temperatura ambiente e, seguidamente, se for o caso, poderá ser curada por radiação UV [3], [10]. A cura por radiação UV baseia-se numa reação de fotopolimerização que tipicamente envolve fotoiniciadores e monómeros. Quando os fotoiniciadores são expostos à radiação UV, originam radicais livres que interatuam com os monómeros, convertendo rapidamente a formulação num revestimento seco e sólido [18], [19].

Após a sequência de operações descrita, obtém-se o esquema de pintura presente na Figura 3.

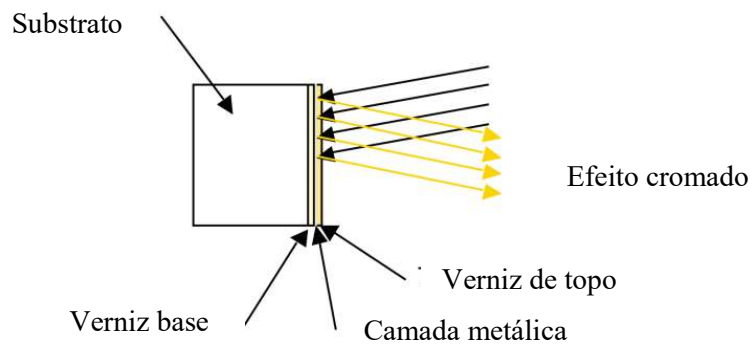


Figura 3-Representação do esquema de pintura para obtenção do efeito cromado, adaptado de [7].

2.3 COMPONENTES ENVOLVIDOS NO ESQUEMA DE PINTURA

Sendo o principal objetivo deste trabalho a obtenção do efeito cromado, através da pintura por pulverização, considerou-se necessário reunir informações relativamente aos principais componentes do processo. Assim sendo, encontram-se sumariadas algumas características e propriedades importantes sobre os substratos (plásticos e MDF), os vernizes de base e de topo, e sobre os pigmentos metálicos utilizados, mais especificamente o alumínio.

2.3.1 PIGMENTOS METÁLICOS

Os pigmentos têm como função conferir cor e sensações visuais ao revestimento. Estes podem ser divididos em pigmentos inorgânicos, orgânicos, organometálicos e metálicos, em que, estes últimos são os utilizados na metalização em vácuo. Os pigmentos metálicos mais usados são o alumínio, o cobre, o zinco, e ligas de zinco-cobre, em que esta última não é utilizada no processo em estudo.

2.3.1.1 EFEITO CROMADO

O efeito cromado é causado pela reflexão da luz à superfície do revestimento. Este efeito depende em grande parte do tipo de reflexão obtida, o que por si depende da regularidade da superfície. A reflexão pode ser do tipo difusa, quando a luz incidente é refletida em diversos ângulos, o que acontece quando a luz incide numa superfície irregular. Outro tipo de reflexão da luz é a reflexão especular, em que o raio de luz incidente é refletido apenas numa direção. Dentro deste tipo de reflexão verifica-se o efeito cromado quando o ângulo de reflexão da luz é igual ao ângulo incidente, o que depende da regularidade da superfície. Na Figura 4 encontram-se representados os vários tipos de reflexão.

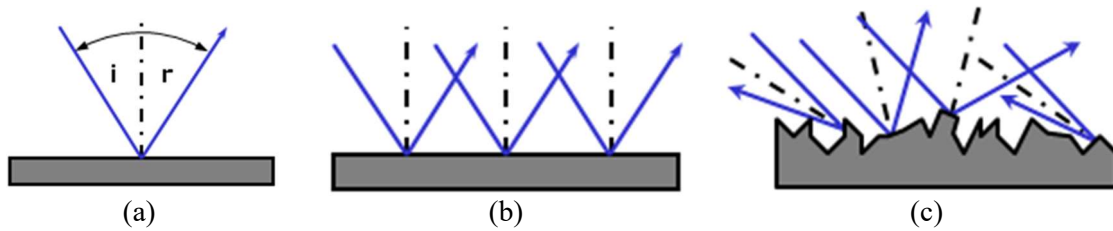


Figura 4-Representação esquemática dos vários tipos de reflexão: efeito cromado (a), reflexão especular (b) e reflexão difusa (c), adaptado de [20].

Como o processo de pintura neste trabalho consiste na utilização de uma pistola aerográfica que permite a pulverização da mistura, o alumínio deverá encontrar-se disperso num solvente ou mistura de solventes. Como tal, o efeito metálico pretendido depende não só da regularidade da superfície, mas também de outros fatores como o tamanho das partículas do pigmento, distribuição do tamanho das partículas, orientação dos flocos de metal no filme e a forma das partículas de pigmento, etc. [21].

Quanto maior for a partícula de pigmento, isto é, a superfície refletora, maior será o brilho e o efeito metálico será atingido mais eficazmente. Quanto mais pequena for a partícula de pigmento, mais homogêneo, baço e escuro será o efeito [22]. O tamanho das partículas é descrito pelo valor d_{50} , que avalia o tamanho médio da partícula, sendo que, os pigmentos metálicos tendem a possuir um tamanho médio de partícula entre 3-50 μm .

Estes pigmentos podem ser utilizados para pintura por pulverização, mas também para impressão *offset*. A impressão *offset* consiste na impressão de uma imagem, por transferência desta, num substrato, através da utilização de rolos. Para a impressão *offset*, utiliza-se um valor d_{50} de 3 μm e, quando se pretende obter um efeito com elevado brilho, utiliza-se um d_{50} de 50 μm . Quando se utiliza alumínio em revestimentos para automóveis ou componentes eletrónicos, o valor d_{50} mais utilizado é de 8-25 μm [22].

Relativamente à distribuição do tamanho da partícula, verifica-se que uma distribuição mais “estreita” de valores médios de tamanho da partícula, ou seja, um intervalo de valores mais pequeno, gera um efeito mais brilhante. Isto prende-se com o facto de que, quanto maior a quantidade de partículas pequenas, maior é dispersão da luz incidente, o que gera uma diminuição do efeito metálico e uma aparência mais opaca [22].

Para a obtenção de um efeito metálico máximo, a orientação dos pigmentos é de extrema importância, verificando-se que estes devem encontrar-se paralelos uns aos outros no filme do revestimento. Um fator que desempenha um papel importante na otimização da orientação dos pigmentos é a utilização de um solvente adequado ou de uma mistura de solventes, e a utilização de ceras e/ou acetato butirato de celulose. Por outro lado, a orientação dos pigmentos é influenciada

pela percentagem de sólidos no revestimento, sendo que, um baixo teor de sólidos é o mais desejável (cerca de 10%) [22], [23].

Outro fator que afeta o efeito metálico é a forma das partículas de alumínio. As partículas podem ser divididas essencialmente em dois grupos: flocos lamelares, com formato irregular chamados de “flocos de milho” (*cornflake*) e flocos lenticulares, com um formato semelhante a moedas (*silverdollar*). Verifica-se que os flocos lenticulares maximizam a reflexão da luz visto que conferem uma superfície mais regular. De salientar que também é referida na literatura outro tipo de pigmento, designado como pigmentos metalizados em vácuo (VMPs), que se distinguem pela sua forma e pelo seu processo de produção. Na Figura 5 encontram-se representados as diferentes formas das partículas de alumínio [22].

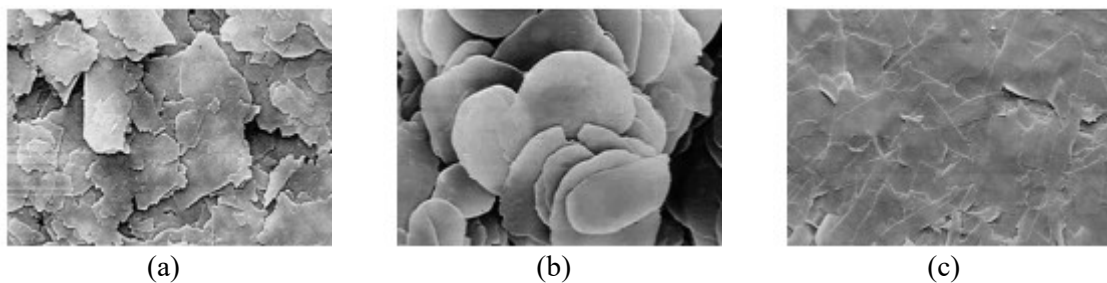


Figura 5-Flocos lamelares (a), flocos lenticulares (b) e VMPs (c). Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varrimento (SEM) [22].

Considerando que se pretende obter a aparência obtida por metalização em vácuo através de um processo alternativo, a pintura através de pulverização utilizando uma pistola aerográfica, o pigmento utilizado terá de ser pulverizado na forma de suspensão. O pigmento, mais especificamente o alumínio, é comercializado em várias formas como pasta, em pó, em *pellets* ou numa dispersão de VMPs, em que, as três primeiras carecem de anterior mistura com um solvente para fácil aplicação com a pistola aerográfica [22].

Quando o pigmento se encontra em forma de pó é constituído por cerca de 100% de metal, no entanto, quando se encontra na forma de pasta, *pellets* ou dispersão de VMPs, o teor de pigmento presente na mistura é diferente. A pasta é constituída por um solvente, pelo metal e por uma resina, em que o teor de metal é cerca de 60 a 70% da mistura. É referido na literatura que o teor de resina quando comparado com o de solvente é diminuto. Um dos solventes utilizados como agente dispersante é o metoxipropanol. Os *pellets* são constituídos também por um solvente e pelo metal, sendo que, o metal representa entre 80 a 95% da mistura, em que o solvente é escolhido consoante o processo de pintura e o substrato escolhido [22].

A dispersão de VMPs é particularmente distinta das outras formas de comercialização de pigmentos. Na produção dos VMPs é utilizado um substrato, normalmente plástico, que é revestido

com um agente de “libertação” que evita a aderência entre as duas superfícies que se encontram em contacto. Após o revestimento do substrato com o agente de “libertação”, é realizada a evaporação em vácuo do pigmento, em que, este se deposita numa camada muito fina no substrato. Seguidamente, o filme do pigmento formado é separado do substrato e transformado numa dispersão de pigmento em solvente e resina, através da redução do tamanho da partícula, obtendo-se os VMPs, com forma de “flocos”, muito mais finos quando comparados com as outras formas. A dispersão destes “flocos” pode ser por exemplo em acetato de metoxipropilo. Quando a dispersão é aplicada de forma correta, os flocos alinham-se numa monocamada, dando origem a um revestimento altamente refletivo originando o efeito cromado [22], [24].

Com exceção dos VMPs, no processo de fabrico dos pigmentos de alumínio, mais especificamente de alumínio, a moagem do pigmento é feita na presença de um solvente e de um lubrificante, em que este último é utilizado para evitar a formação de aglomerados. A escolha do lubrificante determina o comportamento dos “flocos” do pigmento, ou seja, se o efeito será *leafing* ou *non-leafing*.

Os pigmentos de alumínio do tipo *leafing* produzem o efeito metálico, e até o efeito cromado desejado em que, os pigmentos se dispõem na superfície do revestimento, dando origem a um filme superficial composto por uma camada de pigmento. Estes pigmentos são produzidos usando um ácido gordo, nomeadamente o ácido esteárico, como lubrificante que é absorvido na superfície do pigmento. Este ácido causa uma elevada tensão interfacial, fazendo com que o pigmento migre para a superfície adquirindo uma orientação paralela entre si, como ilustrado na Figura 6. Os pigmentos do tipo *leafing* são usados em revestimentos decorativos e anticorrosivos, no entanto, o efeito *leafing* não apresenta resistência à abrasão nem ao toque, pelo que, esta camada deverá ser revestida com um verniz de topo. Os revestimentos com pigmentos de alumínio deste tipo apresentam um teor de pigmento entre 8-20% [21], [22], [25], [26].

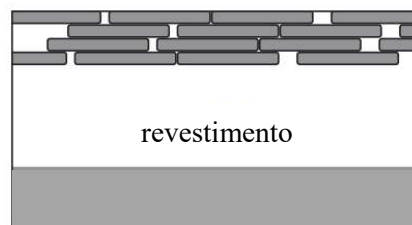


Figura 6-Esquema da distribuição do pigmento *leafing* no revestimento, adaptado de [22].

Os pigmentos *non-leafing* são completamente “molhados” e distribuídos uniformemente pelo revestimento. Estes pigmentos utilizam lubrificantes que consistem em ácidos gordos insaturados ou de cadeia ramificada, como por exemplo, o ácido oleico. O resultado obtido é uma distribuição homogênea do pigmento, em contraste com os pigmentos *leafing* que têm tendência para se

alinham na superfície (Figura 7). Estes pigmentos metálicos são utilizados para fins anticorrosivos e são resistentes à abrasão, podem ser misturados com outros pigmentos para obtenção de efeito metálico colorido, no entanto, como não possuem elevada capacidade refletora, não conseguem conferir um efeito cromado à superfície como os *leafing*. Os revestimentos com pigmentos de alumínio deste tipo apresentam um teor de pigmento desde 4% para partículas mais finas com d50 cerca de 12 μm , até 15% para partículas espessas com d50 cerca de 40 μm [21], [22], [25], [26].

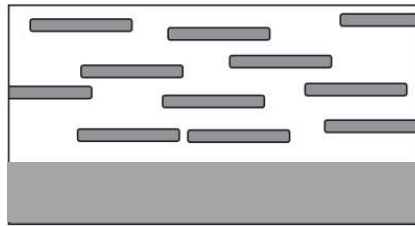


Figura 7-Esquema da distribuição do pigmento *non-leafing* no revestimento, adaptado de [22].

2.3.2 SUBSTRATOS

2.3.2.1 POLÍMEROS

Como já referido anteriormente, os polímeros podem ser usados como substratos para posterior revestimento. Os polímeros são divididos em dois grandes grupos, os termoplásticos e os termoendurecíveis. A maior parte dos polímeros usados, quer na indústria, quer em uso doméstico, pertencem à família dos termoplásticos (também designados vulgarmente como plásticos) [27]. Os polímeros de uso comum, como o polietileno (PE), o poli(tereftalato de etileno) (PET), o poli(cloreto de vinilo) (PVC), o polipropileno (PP) e o poliestireno (PS), são fabricados em elevadas quantidades e perfazem cerca de dois terços das vendas globais de polímeros. Estes polímeros são usados na maior parte das indústrias, para acondicionamento, embalagens, brinquedos, etc. As estruturas dos polímeros referidos anteriormente encontram-se representadas na Figura 8 [27].

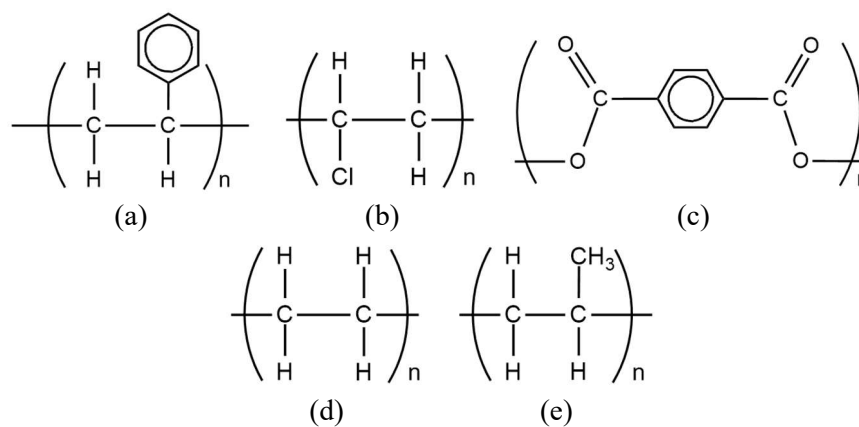


Figura 8-Estrutura do poliestireno (a), poli(cloreto de vinilo) (b), poli(tereftalato de etileno) (c), polietileno (d) e polipropileno (e).

Os polímeros de engenharia destacam-se por apresentarem uma elevada resistência ao calor e ao impacto. Estes polímeros apresentam como característica o facto de manterem a sua dimensão original e as suas propriedades, quando sujeitos a temperaturas abaixo dos 0°C e acima dos 100°C. De notar que os polímeros referidos podem ser termoplásticos ou termoendurecíveis.

As famílias de polímeros que se enquadram neste grupo são os policarbonatos, nylon, acetais, poli(estireno acrilonitrilo) (SAN), acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), poliestireno de elevado impacto (SB) e poliamidas. Por outro lado, os plásticos de elevado desempenho, são plásticos de engenharia, como por exemplo as poliimidas, polissulfonas e poliéter-éter-cetonas (PEEK), e que apenas se diferenciam por possuírem propriedades mecânicas superiores. Por fim, os plásticos funcionais, como por exemplo, o co-polímero de etileno e álcool vinílico, com elevado teor de unidades de álcool vinílico são usados para uma aplicação em específico. Este tipo de plásticos é tipicamente utilizado em optoelectrónica e resistências [27]–[29].

2.3.2.1.1 TERMOENDURECÍVEIS

Os termoendurecíveis sofrem um processo de cura em que são endurecidos através de reações químicas de reticulação entre as cadeias do polímero, em que, as reticulações são ligações químicas fortes que consistem na interligação de cadeiras poliméricas por ligações covalentes. Os reticulantes usados, são normalmente de baixo peso molecular, originando uma molécula de elevado peso molecular. No processamento dos polímeros termoendurecíveis, é utilizado um agente de cura, como por exemplo uma amina, que, por ação do calor, desencadeia uma reação química que leva à formação de uma matriz altamente reticulada. Após a cura, quando o material é sujeito a elevadas temperaturas, irá simplesmente arder, mas não irá fundir. Estes materiais, devido às propriedades já referidas, são usados quando é necessária robustez e elevada resistência [27]–[31].

As famílias das resinas epóxi, ureia-formaldeído, melamina-formaldeído, fenólicos, poliuretanos, poliimidas e poliésteres insaturados pertencem ao grupo dos polímeros termoendurecíveis. Estes polímeros são normalmente usados como adesivos, componentes eletrónicos, laminados e isolantes em materiais compósitos, etc. [29].

2.3.2.1.2 TERMOPLÁSTICOS

Como referido anteriormente, a maior parte dos plásticos usados globalmente pertencem à família dos termoplásticos, em que estes são moldáveis acima de uma determinada temperatura e quando sujeitos a arrefecimento, solidificam. Caracterizam-se também por serem polímeros que são formados por reações de polimerização de adição, como no caso do PVC ou policondensação, como no caso do policarbonato ou transformação do polímero. Podem também ser usados em materiais

compósitos, uma vez que a sua utilização permite o reprocessamento do produto, tornando-o moldável mais do que uma vez [30].

Estes polímeros fundem por aquecimento tornando-se fluidos, podendo assim ser processados com o formato desejado, depois, por arrefecimento, voltam ao estado sólido. Os polímeros referidos podem ser submetidos a múltiplos ciclos de aquecimento-arrefecimento. No entanto, durante a etapa de aquecimento, deve-se ter cuidado para o polímero não se degradar.

Os termoplásticos podem apresentar cadeias ramificadas ou lineares, em que, os polímeros ramificados são amorfos e os lineares podem ser amorfos ou semicristalinos [27]–[30].

À medida que se aumenta a temperatura, é conferida energia cinética às cadeias moleculares. Uma das temperaturas características dos termoplásticos amorfos e semicristalinos é a temperatura de transição vítrea (T_g) em que, abaixo desta temperatura, o termoplástico é rígido. No caso dos termoplásticos amorfos, quando a sua temperatura é superior à T_g , o plástico adquire um comportamento elastomérico [27]–[30].

Relativamente aos termoplásticos semicristalinos, estes apresentam duas temperaturas características: a temperatura de transição vítrea, T_g , e a temperatura de fusão, T_m . Quando a temperatura do polímero semicristalino é superior à T_g , mas inferior à T_m , o polímero é sólido e simultaneamente apresenta um comportamento semelhante a borracha. Quando é superior à T_m , o polímero comporta-se como um fluido viscoso [27]–[30].

Os polímeros semicristalinos normalmente são transparentes ou opacos enquanto os amorfos costumam apresentar uma aparência vítrea e transparente. Os polímeros semicristalinos mais abundantes no mercado são o polietileno e o polipropileno enquanto que os polímeros amorfos mais predominantes são poliestireno e o poli(metacrilato de metilo) (PMMA) [27]–[30].

2.3.2.2 MDF

Outro substrato utilizado ao longo deste trabalho foi o MDF (do inglês - *Medium Density Fiberboard*), painel de aglomerado de fibras de média densidade, que é descrito como sendo um produto de madeira de engenharia. O MDF apresenta um valor elevadíssimo na indústria da madeira. Por exemplo, a sua produção em 2014 foi cerca de 100 milhões de m^3 , e o seu crescimento médio, desde 2010 até 2014, foi entre 6 a 10%/ano [32] [33].

O MDF é formado por via seca, a partir de fibras lenhocelulósicas que são combinadas com uma resina, através da ação de calor e pressão. Numa primeira fase da produção dos painéis, começa-se por descascar (no caso de a matéria-prima ser madeira virgem) e fragmentar (com recurso a destrojadores) a matéria-prima, por forma a reduzir e a uniformizar o seu tamanho. Esta poderá ser madeira “virgem” ou resíduos de madeira, como serradura ou aparas de madeira. Posteriormente,

procede-se a uma lavagem para remoção de impurezas (terra, areia, etc.) e um tratamento à base de vapor [34]–[36].

Partindo do conhecimento que a madeira é composta por fibras, as placas de aglomerados de fibras tomam partido da sua robustez. Como tal, para se poder obter as fibras da madeira “virgem”, as ligações existentes entre as fibras deverão ser quebradas realizando-se a desfibração da matéria-prima, obtendo-se uma pasta com fibras com cerca de 1,5 mm [37].

O passo seguinte consiste na adição de uma resina que tem como principal função atuar como uma “cola”. As resinas usadas, para a produção de placas de aglomerados de fibras via seca, costumam ser do tipo poliuretano (PU), fenol-formaldeído (PF) ou ureia-formaldeído (UF), em quantidades que variam entre os 4 a 10% em relação ao peso da mistura [35].

A resina é também escolhida por forma a obter, a força específica e a durabilidade pretendidas, para o painel. Outro dos fatores a ter em conta aquando da seleção das resinas no fabrico das placas de MDF é o impacto ambiental que estas poderão causar. Em primeiro lugar, o manuseamento do adesivo poderá carecer de uso de equipamento de proteção, e, em segundo lugar, as reações que a resina sofre na prensa quente poderão levar à emissão de voláteis. Tendo isto em conta, um dos objetivos traçados pelas indústrias produtoras de MDF é a redução de emissões de formaldeído, visto que as resinas à base de formaldeído são das mais utilizadas e provocam elevados impactos no ambiente e na saúde [32].

Também se podem adicionar aditivos para conferir características específicas às placas de MDF, nomeadamente aditivos retardantes de fogo, agentes hidrofóbicos ou antifúngicos [35].

Posteriormente, espalha-se o produto em formato de folha numa esteira, sendo esta prensada a quente, convertendo-a num painel. Por último, o painel está pronto para ser cortado com as dimensões padrão [34], [35].

Como produto final, obtém-se uma placa de aglomerado de fibras de média densidade de baixa espessura, rígida e densa, com uma superfície lisa e homogénea. As placas de MDF podem ser revestidas com um verniz de acabamento ou com tinta. Recomenda-se o uso de uma camada fina de qualquer um destes acabamentos [38].

Na Figura 9 encontra-se a representação esquemática do processo de produção de MDF.

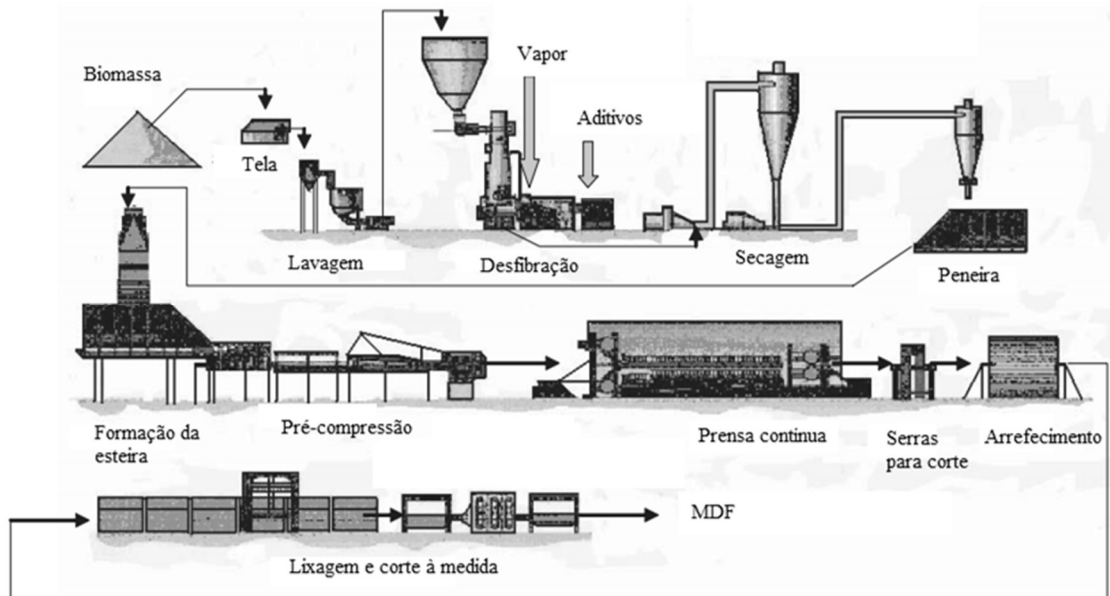


Figura 9-Representação esquemática do processo de produção de MDF [39].

Para a obtenção da espessura e características desejadas, a placa é comprimida onde a densidade da placa pode variar entre aproximadamente 610 a 800 kg/m^3 . De notar que esta densidade é variável, consoante a espessura desejada. A redução da espessura da placa, que resulta num crescimento da densidade do material, tem um efeito positivo na resistência à flexão e, o controlo da distribuição da densidade ao longo da espessura do painel permite que as propriedades relativamente à resistência mecânica sejam preservadas [32].

A espessura das placas comercializadas encontra-se sensivelmente entre 2 a 35 mm e a sua composição é cerca de 82% de madeira, 10% de resina, 7% de água, menos que 1% de parafina e menos que $0,05\%$ de silicone [40].

Este substrato é também bastante funcional devido à sua densidade uniforme, humidade controlada, estabilidade dimensional e estabilidade a temperaturas de processamento até 140°C . Estes painéis apresentam como vantagem o facto de possuírem uma boa resistência à flexão e à tração, de serem produzidos a partir de matérias-primas renováveis, incluindo resíduos de madeira de outros processos, a sua superfície ser lisa e homogênea, apresentarem elevada estabilidade dimensional e poderem ser facilmente cortados [38].

O MDF consegue atingir as especificações que muitas vezes a madeira “virgem” não consegue, utilizando resíduos do seu processamento. Normalmente, é usado em substituição da madeira “virgem”, do contraplacado ou dos aglomerados de partículas na indústria do mobiliário, pavimentos, embalagens, decoração, entre outras [32].

2.3.3 VERNIZES

Os vernizes são designados pela norma ISO 4618:2004 como sendo um “material de revestimento transparente”, ou seja, “um material de revestimento que, quando aplicado a um substrato, forma um filme sólido transparente com propriedades técnicas de proteção, decoração ou mais específicas”. O revestimento poderá encontrar-se na forma de líquido, pasta ou pó. De notar que, quando o revestimento é pigmentado, denomina-se de tinta [41].

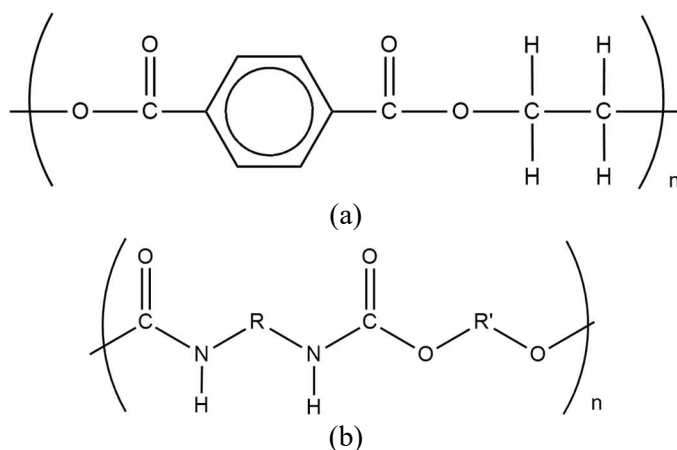
Relativamente à composição de um verniz ou tinta, podemos considerar dois grandes grupos: o extrato seco e o veículo volátil. Dentro do grupo do extrato seco encontra-se o veículo fixo, os aditivos, pigmentos e cargas e, no grupo do veículo volátil, encontram-se os solventes.

2.3.3.1 CONSTITUINTES DE UM VERNIZ

2.3.3.1.1 VEÍCULO FIXO

O veículo fixo é constituído pelo ligante, que corresponde ao conjunto de componentes dos vernizes (ou tintas) que permitem a formação do revestimento. O ligante é normalmente referido no meio industrial como resina. Este componente desempenha um papel de extrema importância, pois é o componente, responsável pela aglomeração de pigmentos e cargas, e que continua presente após a evaporação do solvente. É o componente que aquando da formação do revestimento, determina o método de aplicação do verniz, e é responsável por propriedades importantes como dureza, flexibilidade, rápida secagem, aderência ao substrato, entre outros [42], [43].

Existem diversos tipos de ligantes como os derivados celulósicos, derivados de borracha, poliuretanos (PU), amínicos, epóxi, fenólicos, poliésteres, alquídicos, vinílicos e acrílicos, em que os mais utilizados na indústria são os PU, os poliésteres e os acrílicos (Figura 10) [44].



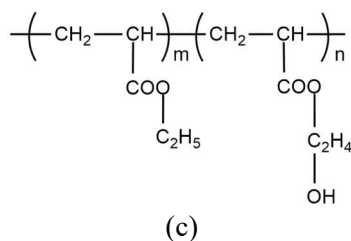


Figura 10-Estrutura química do poliéster (a), do poliuretano (b) e de uma resina de co-polímero acrílico (c), adaptado de [45]–[48].

Segundo a norma ISO 4618:2004 os ligantes acrílicos “são produtos de uma reação de polimerização ou co-polimerização de monómeros acrílicos e/ou metacrílicos, normalmente com outros monómeros” [41]. Os ligantes acrílicos são normalmente usados na formulação de primários, revestimentos para exterior e interior e revestimentos de base aquosa, etc. Estes ligantes conferem ao verniz elevada resistência química, transparência e brilho e não são degradados pela radiação UV (desde que não contenha na sua composição compostos aromáticos). A escolha do co-polímero a usar irá influenciar as propriedades que se deseja conferir ao revestimento. Por exemplo, a utilização de um co-polímero de éster acrílico e metacrílico é aconselhada em aplicações para exterior, os co-polímeros de acetato de vinilo acrílicos utilizam-se para aplicações para interior e os co-polímeros estireno-acrílicos na formulação de primários [42], [49].

2.3.3.1.2 ADITIVOS

Os aditivos são adicionados à mistura, em pequenas quantidades com o intuito de controlar determinadas propriedades do revestimento e prevenir o aparecimento de defeitos. Como tal, existem diferentes tipos de aditivos, tais como os agentes dispersantes, agentes anti-espuma, reguladores de pH, aditivos tixotrópicos, bactericidas, agentes secantes, agentes molhantes, acelerantes, agentes mateantes, entre outros [41], [42], [44].

2.3.3.1.3 CARGAS

As cargas consistem normalmente em partículas inorgânicas, insolúveis nos ligantes, que tem como principal função influenciar determinadas propriedades físicas como o brilho, resistência mecânica, reologia, dureza, permeabilidade, entre outras. Estas partículas não conferem cor, no entanto, conferem “corpo” ao verniz. As cargas mais utilizadas são o carbonato de cálcio (CaCO_3), o talco ($\text{H}_2\text{Mg}_3(\text{SiO}_3)$) e a sílica (SiO_2), devido ao seu baixo preço, elevada opacidade e resistência química [41], [42], [50].

2.3.3.1.4 SOLVENTES

Os solventes são normalmente líquidos, voláteis, e tem como objetivo dissolver a resina presente e diluir a mistura, o que resulta numa diminuição da sua viscosidade, facilitando a sua aplicação. Os solventes podem ser orgânicos, nomeadamente hidrocarbonetos alifáticos e

aromáticos, cetonas, álcoois, éteres e ésteres glicólicos, ou água, para a produção de vernizes de base aquosa. Consoante o solvente escolhido, este irá influenciar a dureza do verniz, o seu cheiro, a sua toxicidade e o tempo de secagem ao toque [41], [42], [44].

2.3.3.2 FUNÇÕES E CARACTERÍSTICAS DE UM VERNIZ

Um verniz poderá conferir diferentes propriedades como proteção do substrato, boa aderência, dureza, ou um efeito decorativo mais específico, em que, a formulação deste irá ser diferente consoante a sua função. Como tal, os vernizes podem pertencer à categoria dos vernizes de acabamento ou à dos vernizes de fundo, em que os últimos, são denominados de primário quando o substrato é plástico ou metálico e de selantes quando o substrato é madeira. O verniz de fundo para metais é também denominado no meio industrial de “aparelho de enchimento” [44], [50], [51].

Os vernizes de fundo, que são aplicados como uma primeira demão, promovem a aderência ao substrato e às camadas de verniz posteriormente aplicadas, protegem contra a corrosão (caso o substrato seja metálico férreo), uniformizam a absorção, devem possuir elevada capacidade de cobertura e devem ser compatíveis com os vernizes de cobertura [44], [50], [51].

Os vernizes de acabamento, são a última demão a ser aplicada, pelo que este verniz é a camada que se encontra em contato com o meio envolvente. Este revestimento tem como objetivo conferir o efeito decorativo desejado (mate, acetinado ou brilhante), protegê-lo, oferecendo resistência ao risco, ao impacto e resistência química [44], [50], [52].

Relativamente ao efeito decorativo do verniz, este pode ser personalizado consoante o tipo de acabamento desejado. Como referido anteriormente, existem três grandes tipos de acabamento: mate, acetinado ou brilhante. O acabamento mate caracteriza-se por não apresentar brilho ao contrário do brilhante, e o acetinado apresenta um ligeiro nível de brilho. Relativamente à formulação do verniz, o seu acabamento varia com a quantidade de ligante e de cargas. Contudo, o tipo de acabamento escolhido influencia a resistência ao desgaste e a capacidade do revestimento de ocultar imperfeições. Quanto menor for o brilho do revestimento, maior será a sua capacidade de disfarçar as imperfeições e quando maior for o brilho, maior será a sua resistência ao desgaste [50], [53].

Por fim, os vernizes podem ainda ser classificados como monocomponentes (1K) e como multicomponentes (2K,...,iK), em que, os monocomponentes não necessitam da adição de um endurecedor ou catalisador e têm como característica a secagem ao ar livre. Já os vernizes multicomponentes consistem na mistura de um verniz com um endurecedor, normalmente um isocianato, em que, após o seu endurecimento, o verniz apresenta maior resistência química e mecânica. Um exemplo de uma tinta multicomponente é o fundo poliéster branco utilizado no MDF [51].

2.3.3.3 FORMAÇÃO DA PELÍCULA DE VERNIZ

Por último, a secagem do verniz é um processo bastante importante pois leva à formação da película do revestimento. No caso de um verniz, aquando da sua secagem, as moléculas de ligante ficam mais próximas umas das outras, formando um filme contínuo. Este processo de secagem pode ser um processo de natureza física ou de natureza química [42], [44].

A secagem física envolve a secagem por evaporação do solvente ao ar, formando um filme de revestimento. Normalmente, este tipo de secagem aplica-se a vernizes com resinas com elevadas massas moleculares, o que lhes confere elevada flexibilidade. Também se pode forçar a secagem, colocando os vernizes numa estufa, sujeitando o verniz a gamas de elevadas temperaturas. A formação do filme por este processo só é possível se os componentes que fiquem no substrato, após a secagem, sejam sólidos e não pegajosos [42], [44].

Relativamente à secagem química, esta poderá ocorrer por oxidação, por poliadição ou por polimerização radicalar. Estes processos levam à formação de estruturas reticuladas através de uma reação química entre cadeias poliméricas levando à formação de polímeros reticulados. No primeiro processo, a reação ocorre à temperatura ambiente e um dos intervenientes é o oxigénio do ar, em que este reage com os óleos secativos ou éteres de epóxido presentes. Na secagem por poliadição, que ocorre à temperatura ambiente, ocorre uma reação química em que polímeros com baixo peso molecular reagem com poliisocianatos ou resinas epóxi, formando moléculas reticuladas. Neste processo, encontra-se incluída a policondensação que leva à eliminação de moléculas de água, ácido ou álcool. Por último, na secagem por polimerização radicalar, a reticulação ocorre por ação de radiação UV, na presença de um fotoiniciador, ou por bombardeamento por eletrões [42], [44].

Tendo em conta que o processo de metalização em vácuo tem como principal característica a obtenção de um revestimento brilhante e com efeito cromado, propõe-se, nesta tese de mestrado, a obtenção deste efeito, através de uma técnica alternativa de pintura, utilizada industrialmente, a pulverização, utilizando uma pistola aerográfica e como substratos um plástico (ABS) e o MDF. Foi usado o MDF em vez de madeira maciça visto que este apresenta uma superfície mais lisa, é fácil de lascar e porque, normalmente, a madeira maciça é usada para realçar a sua beleza natural, e não para ser coberta. Utilizou-se o alumínio como pigmento para o efeito refletor, e foi avaliada a influência que a cor do revestimento acrílico aplicado antes do revestimento efeito cromado, teria no efeito desejado. Por fim, foi desenvolvido um revestimento de topo com um acabamento brilhante.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo consiste na descrição dos materiais e métodos utilizados ao longo do trabalho, discriminando-se todos os materiais e produtos químicos, os procedimentos experimentais e equipamentos utilizados. De notar que, antes da utilização dos diversos reagentes, foram consultadas as suas fichas de segurança (MSDS) e as fichas técnicas (TDS) para a sua manipulação correta e segura.

3.1 PREPARAÇÃO DOS SUBSTRATOS

A aplicação de um revestimento com efeito cromado carece do tratamento prévio do substrato, nomeadamente da aplicação de um revestimento de base. Todos os revestimentos foram aplicados numa cabine de pintura provida de insuflação e aspiração, para renovação do ar, e para evitar problemas de heterogeneidade durante a aplicação.

3.1.1 ABS

O ABS (Figura 11) foi um dos substratos utilizados, devido ao seu preço reduzido, superfície lisa, fator de amortecimento e dureza associados. Este substrato não necessita de nenhum estágio de lixagem visto que apresenta uma superfície lisa e regular, sendo apenas necessário ser limpo com solvente de limpeza.



Figura 11-Capacete de ABS utilizado para posterior revestimento.

3.1.2 MDF

Antes da aplicação de qualquer revestimento sobre MDF, este deve ser lixado. Esta lixagem confere uma certa rugosidade ao substrato, promovendo a aderência do revestimento, no entanto confere uma superfície lisa e nivelada. Numa primeira etapa, recorrendo a um equipamento de lixagem (Figura 12) lixaram-se as placas de MDF de 20x30 cm. Quanto menor for o número da lixa, mais grosso é o seu grão, e quanto maior o número da lixa, mais fino é o seu grão. Geralmente, em

primeiro lugar utilizam-se as lixas de menor número e aumenta-se sequencialmente o número da lixa. Este método permite uma gestão inteligente do tempo e do esforço a dispensar, obtendo-se um trabalho mais aprimorado. Relativamente à lixagem das placas de MDF, inicialmente utilizou-se uma lixa de grão 100, sendo de seguida limpo o serrim recorrendo a uma pistola de ar comprimido.

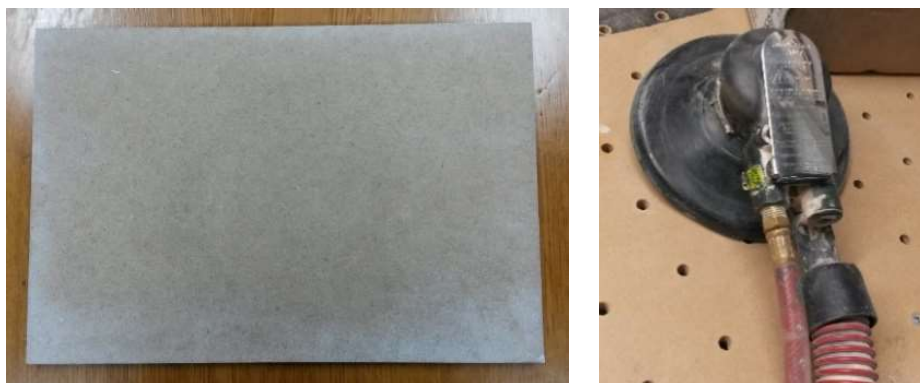


Figura 12-Placa de MDF virgem utilizada no trabalho e o equipamento de lixagem utilizado.

3.2 PRODUÇÃO DAS FORMULAÇÕES

3.2.1 FUNDOS POLIÉSTER PARA MDF

Após uma primeira lixagem das placas de MDF, metade destas foram revestidas com um fundo poliéster branco e outra metade com um fundo poliéster transparente, por forma a avaliar o impacto da cor do fundo no efeito cromado. Por último, cortaram-se as placas de MDF revestidas de 20x30 cm em três partes iguais.

Para a aplicação dos fundos poliéster nas placas de MDF, procedeu-se à preparação das misturas, em que a mistura final será designada como RWFPU1000 para o fundo poliéster branco e como RWFPU2000 para o fundo poliéster transparente. Estes fundos conferem boa cobertura, boa lixagem e aderência ao substrato. Os dois fundos poliéster, tricomponentes são compostos pelo catalisador poliacrílico RK300, pelo acelerante poliacrílico RK300 e pelo componente principal. Seguindo as indicações presentes nas fichas técnicas do produto, para a preparação das misturas, utilizaram-se as proporções presentes na Tabela 1.

Tabela 1-Proporção das misturas do fundo poliéster branco e do fundo poliéster transparente aplicados.

Componente	Designação da formulação	
	RWFPU1000	RWFPU2000
RWFPU1148 (wt%)	65,79	-
RWFPU2222 (wt%)	-	65,79
catalisador poliacrílico RK300 (wt%)	3,95	3,95
acelerante poliacrílico RK300 (wt%)	3,95	3,95
MPSO018 (wt%)	26,32	26,32

Uma das recomendações mais importantes na preparação desta mistura é que não se pode misturar o catalisador diretamente com o acelerante porque origina uma reação química altamente exotérmica, dando-se uma grande libertação de calor, podendo originar um incêndio ou uma explosão. Seguindo a recomendação referida, num copo de polipropileno misturou-se metade do componente principal, RWFPU1148 ou RWFPU2222, com o acelerante e com metade da quantidade de MPSO018. Seguidamente, noutro copo, misturou-se a outra metade de RWFPU1148 ou RWFPU2222 com o catalisador e com a outra metade de MPSO018. Por último, juntaram-se as duas misturas e agitou-se com uma espátula de madeira até a mistura ficar homogénea.

3.2.2 REVESTIMENTOS ACRÍLICOS DE ALTO BRILHO

Para efeitos de avaliação da influência que a cor e o brilho do revestimento base poderão ter no efeito cromado, procedeu-se à preparação e aplicação de três tipos diferentes de revestimento: revestimento acrílico não pigmentado de alto brilho, revestimento acrílico branco de alto brilho e revestimento acrílico negro de alto brilho.

3.2.2.1 REVESTIMENTO ACRÍLICO NÃO PIGMENTADO DE ALTO BRILHO

Algumas das placas de MDF com fundo poliéster branco ou fundo poliéster transparente, foram revestidas com o revestimento acrílico não pigmentado de alto brilho, Brillhocryl. Numa primeira etapa procedeu-se à formulação deste revestimento denominado de RWVAC1065, de acordo com os dados da Tabela 2.

Utilizando uma lata de folha de flandres de 1 L, pesou-se a resina MPRS088. Seguidamente, adicionaram-se os diversos solventes, MPSO, pela ordem apresentada na Tabela 2.

Tabela 2-Composição do revestimento acrílico não pigmentado de alto brilho, RWVAC1065.

Componente	Designação da formulação RWVAC1065
MPRS088 (wt%)	55,00
MPSO008 (wt%)	13,85
MPSO018 (wt%)	12,50
MPSO014 (wt%)	1,70
MPSO002 (wt%)	4,50
MPSO024 (wt%)	10,00
MPSO016 (wt%)	1,70
MPAD102 (wt%)	0,15
MPAD149 (wt%)	0,30
MPOQ013 (wt%)	0,30

No passo seguinte, colocou-se a mistura sob agitação a 600 rpm, usando um agitador mecânico, durante aproximadamente 10 minutos. Passado este tempo, parou-se a agitação e foram

adicionados os aditivos, MPAD e outros químicos, MPOQ, à mistura. Esta foi novamente colocada sob agitação, durante 10 minutos a 600 rpm.

O revestimento não pigmentado é composto pelo revestimento acrílico não pigmentado de alto brilho, RWVAC1065, que é misturado com um catalisador específico, o RWEPUI382, numa proporção de 2 para 1. De notar que o catalisador apenas deverá ser adicionado na altura da aplicação porque o tempo durante o qual o catalisador reage com a mistura é curto (*potlife*). Como tal, pesou-se num copo de polipropileno a quantidade de RWEPUI382 a adicionar à formulação preparada anteriormente, com o auxílio de uma espátula de madeira. Finalmente, diluiu-se a mistura obtida com 5% de MPSO018 para diminuir a viscosidade da mistura por forma a facilitar a aplicação da mesma, e mexeu-se novamente a mistura com uma espátula de madeira.

3.2.2.2 REVESTIMENTO ACRÍLICO NEGRO DE ALTO BRILHO

O revestimento acrílico negro, Brillhocryl negro, também deverá ser brilhante para que o revestimento metálico aplicado posteriormente mantenha o efeito cromado desejado e não se torne baço. Este revestimento foi utilizado em ambos os substratos estudados (ABS e MDF). O revestimento negro é composto pelo revestimento acrílico não pigmentado de alto brilho, RWVAC1065, que é misturado com um pigmento negro, MPPG225 e com o catalisador específico RWEPUI382, como descrito anteriormente. Foram utilizadas as proporções presentes na Tabela 3.

Tabela 3-Composição do revestimento negro de alto brilho, RWVAC1066.

Componente	Designação da formulação RWVAC1066
RWVAC1065 (wt%)	90,00
MPPG225 (wt%)	10,00

Relativamente à preparação da mistura, numa lata de folha de flandres de 0,25 L colocou-se metade da quantidade de RWVAC1065 e metade da quantidade de MPPG225 e deixou-se sob agitação, num agitador mecânico, a 770 rpm durante 10 minutos. Após a agitação da mistura, foram adicionadas a restante quantidade de RWVAC1065 e de MPPG225 e, colocou-se a mistura em agitação durante 10 minutos a 770 rpm. A mistura obtida denominou-se de RWVAC1066.

O passo seguinte consistiu na adição do catalisador. Novamente, este só deve ser adicionado na altura da aplicação. Como tal, pesou-se num copo de polipropileno, uma quantidade aproximada a aplicar na peça, 100 g, e adicionaram-se 50 g de RWEPUI382, ou seja, numa proporção de 2 para 1. Após a adição do RWEPUI382, envolveu-se a mistura com o auxílio de uma espátula de madeira. Por fim, diluiu-se a mistura com 5% de MPSO018 e, envolveu-se novamente a mistura com uma espátula de madeira.

3.2.2.3 REVESTIMENTO ACRÍLICO BRANCO DE ALTO BRILHO

Algumas das placas de MDF com fundo poliéster branco ou fundo poliéster transparente foram revestidas com o revestimento acrílico branco de alto brilho, Brilhocryl Branco, designado daqui em diante por RWVAC1067. Este revestimento é constituído pelo revestimento acrílico não pigmentado de alto brilho, RWVAC1065, que é misturado com um pigmento branco, MPPG126, e com um catalisador específico para o RWVAC1065 que é o RWEPU1382. Foram utilizadas as proporções presentes na Tabela 4.

Tabela 4-Composição do revestimento acrílico branco de alto brilho, RWVAC1067.

Componente	Designação da formulação RWVAC1067
RWVAC1065 (wt%)	80,00
MPPG126 (wt%)	20,00

Utilizando uma lata de folha de flandres, pesaram-se os 20% do MPPG126 e metade da quantidade a adicionar de RWVAC1065 e colocou-se a mistura sob agitação, num agitador mecânico, a 770 rpm, durante cerca de 10 minutos. De seguida, parou-se a agitação e adicionou-se a restante quantidade de RWVAC1065 e colocou-se novamente a mistura sob agitação, a 770 rpm durante cerca de 10 minutos. Findo este tempo, parou-se a agitação e preparou-se o substrato para aplicação do revestimento.

Mais uma vez, antes da aplicação do revestimento, é necessária a adição do catalisador RWEPU1382. Para tal, pesou-se num copo de polipropileno a quantidade desejada, e adicionou-se o RWEPU1382 numa proporção de 2 de RWVAC1067 para 1 de RWEPU1382. Após a adição de RWEPU1382, diluiu-se a mistura com 5% de MPSO018 e, envolveu-se novamente a mistura com uma espátula de madeira e procedeu-se à sua aplicação.

3.2.3 DESENVOLVIMENTO DO REVESTIMENTO COM EFEITO CROMADO

As formulações de revestimento de alumínio desenvolvidas são constituídas por solventes e pelo pigmento. Estas formulações foram aplicadas com recurso a uma pistola aerográfica, em ambos os substratos. Para o desenvolvimento de uma formulação deste género, é aconselhado que a mistura apresente um baixo teor de sólidos, e que tenha uma mistura de solventes de rápida e de lenta evaporação, por forma a promover o alinhamento ótimo das partículas do pigmento. Para o efeito, utilizaram-se o MPSO018 e o MPSO030 como solventes de lenta evaporação e o MPSO013 como solvente de rápida evaporação.

3.2.3.1 ESTUDO DO EFEITO DOS VÁRIOS PIGMENTOS DE ALUMÍNIO PARA A OBTENÇÃO DO EFEITO CROMADO

Inicialmente analisaram-se todas as suspensões/pastas de pigmentos de alumínio disponíveis na empresa, que fossem de base solvente, e adequadas para a obtenção do efeito cromado desejado. Fazendo esta triagem, foram selecionados sete pigmentos de alumínio.

Os pigmentos utilizados são do tipo VMP e com um teor de sólidos de aproximadamente 10%. Os pigmentos selecionados apresentavam diferenças a nível da cor, conferindo uma aparência metálica mais clara e brilhante ou mais escura e de efeito cromado. Apresentavam também diferenças ao nível de valor d50, e da mistura de solventes sugerida pelos fornecedores para dispersão dos pigmentos (Tabela A.1).

Na Tabela 5 apresentam-se as composições das formulações dos revestimentos metálicos usadas na seleção da pasta de pigmento mais adequada.

A preparação das diversas misturas foi realizada de uma forma análoga. Para cada formulação colocou-se numa lata de folha de flandres de 0,25 L, 80,25% de MPSO018, 5,25% de MPSO013 e 5,25% de MPSO030 e produziram-se 0,2 L. Colocou-se a mistura sob agitação, usando um agitador mecânico, durante cerca de 2 minutos a 770 rpm. Passados os 2 minutos, parou-se a agitação e adicionou-se o pigmento (9,25% relativamente à quantidade total). De lembrar que para cada formulação foi adicionada uma pasta de pigmento diferente. Após a adição de todos os componentes, submeteu-se a mistura a agitação, durante cerca de 5 minutos a 1150 rpm.

Tabela 5-Formulações do revestimento metálico para escolha do pigmento mais adequado.

Componente	Designação da formulação						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
MPSO018 (wt%)	80,25	80,25	80,25	80,25	80,25	80,25	80,25
MPSO013 (wt%)	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25
MPSO030 (wt%)	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25
MPPG233 (wt%)	9,25	-	-	-	-	-	-
LPG046 (wt%)	-	9,25	-	-	-	-	-
LPG026 (wt%)	-	-	9,25	-	-	-	-
LPG031 (wt%)	-	-	-	9,25	-	-	-
LPG032 (wt%)	-	-	-	-	9,25	-	-
LPG033 (wt%)	-	-	-	-	-	9,25	-
LPG025 (wt%)	-	-	-	-	-	-	9,25

3.2.3.2 ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE ADITIVOS ORIENTADORES DE PIGMENTO

Seguidamente, para melhorar a orientação das partículas de pigmento, recorreu-se ao uso das ceras LAD115 e LAD069, integrando-as na formulação base, P2, como ilustrado na Tabela 6. Estas ceras são dispersões de co-polímero de poli(acetato de vinilo-co-etileno). A quantidade dos componentes da formulação base foram reduzidos de forma proporcional para a integração dos aditivos referidos.

Tabela 6-Formulações do revestimento metálico para escolha do aditivo orientador das partículas de pigmento.

Componente	Designação da formulação	
	C1	C2
MPSO018 (wt%)	77,80	77,80
MPSO013 (wt%)	5,09	5,09
MPSO030 (wt%)	5,09	5,09
LPG046 (wt%)	8,97	8,97
LAD115 (wt%)	3,05	-
LAD069 (wt%)	-	3,05

3.2.3.3 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DA FORMULAÇÃO DE ALUMÍNIO APLICADA

Seguidamente, foi estudada a influência que a aplicação do revestimento, recorrendo à pistola aerográfica, poderia ter no efeito cromado desejado. Para o efeito, o revestimento aplicado foi o P2, com as condições de aplicação presentes na Tabela A.18.

3.2.4 REVESTIMENTO DE TOPO

Sendo um verniz de dois componentes (2K), em que o componente A é uma resina acrílica hidroxilada e o componente B é uma resina de isocianato, foram desenvolvidas formulações com o objetivo de averiguar qual das resinas permitia atingir um revestimento de topo brilhante e translúcido, com resistência ao risco.

Inicialmente começou-se por formular a mistura que continha o componente A, a resina acrílica hidroxilada. Para tal, após averiguação das resinas acrílicas existentes em *stock* que se pudessem adequar ao efeito desejado, selecionaram-se as resinas MPRS088 e MPRS102.

Utilizado latas de folha de flandres de 0,25 L, para cada formulação, após adição de MPRS102 ou MPRS088, colocou-se a mistura sob agitação, utilizando um agitador mecânico, a cerca de 600 rpm, e foram-se adicionando os restantes componentes. Após a adição de todos os componentes,

deixou-se a mistura em agitação, a 600 rpm, durante 5 minutos. Na Tabela 7, apresentam-se as formulações das misturas que contém o componente A. De salientar que às misturas A1 e A2 foi adicionado 0,03% de um agente acelerante, MPOQ013 que permite a redução do tempo de secagem do produto final, acelerando a reação entre o componente A e o componente B, conferindo ao revestimento mais rapidamente dureza e resistência ao risco.

Tabela 7-Formulações das misturas que contém o componente A.

Componente	Designação da formulação	
	A1	A2
MPRS102 (wt%)	75,89	-
MPRS088 (wt%)	-	75,89
MPSO008 (wt%)	7,67	7,67
MPSO018 (wt%)	7,67	7,67
MPSO028 (wt%)	7,67	7,67
MPAD102 (wt%)	0,27	0,27
MPAD062 (wt%)	0,79	0,79
MPOQ013 (wt%)	0,03	0,03

Seguidamente, procedeu-se à formulação das misturas com a resina com o grupo isocianato do tipo HDI que confere transparência ao revestimento, o componente B. Neste caso foram selecionados os produtos MPRS022 e MPRS040.

Tabela 8-Formulação das misturas que contém o componente B.

Componente	Designação da formulação	
	B1_1	B2_1
MPRS022 (wt%)	58,60	-
MPRS040 (wt%)	-	58,60
MPSO008 (wt%)	13,40	13,40
MPSO018 (wt%)	13,40	13,40
MPSO014 (wt%)	13,40	13,40
MPAD060 (wt%)	1,20	1,20

De notar que a formulação que contém o componente A só deve ser misturada com o produto que contém o componente B, numa proporção de 2 para 1, na altura da aplicação, visto que a mistura dos dois produtos apresenta um *potlife* reduzido. Por fim, procedeu-se à identificação das formulações, presentes na Tabela 9, designadas de TCAi (*Top coat* com acelerante), em que estas variam na resina acrílica hidroxilada e na resina de isocianato utilizados.

Tabela 9-Nomenclatura das formulações realizadas.

Formulação	Resina acrílica	Resina de isocianato	Mistura
TCA1_1	MPRS102	MPRS022	A1+B1_1
TCA2_1		MPRS040	A1+B2_1
TCA3_1	MPRS088	MPRS022	A2+B1_1
TCA4_1		MPRS040	A2+B2_1

Após aplicação das formulações, anteriormente referidas, no substrato, verificou-se que o revestimento de alumínio era solubilizado. Para tal, as formulações presentes na Tabela 8 foram ajustadas, sendo retirado o solvente que prejudicava o efeito desejado, o MPSP014, (Tabela 10). Com este ajuste das formulações, procedeu-se a uma alteração na identificação das formulações, como se encontra referido na Tabela 11.

Tabela 10-Formulações ajustadas das misturas que contém o componente B.

Componente	Designação da formulação	
	B1_2	B2_2
MPRS022 (wt%)	58,60	-
MPRS040 (wt%)	-	58,60
MPSP008 (wt%)	20,10	20,10
MPSP018 (wt%)	20,10	20,10
MPAD060 (wt%)	1,20	1,20

Aquando da mistura do produto que contém o componente A com o produto que contém o componente B, numa proporção de 2 para 1, foi tomada especial atenção à tonalidade que a mistura final apresentava, ou seja, se mistura dos dois produtos tornava o produto final com um aspeto turvo e “leitoso”, uma vez que se pretende que o revestimento de topo seja o mais transparente possível. As misturas em que se verificou este fenómeno foram descartadas.

Tabela 11-Nomenclatura das formulações do componente B ajustadas.

Formulação	Resina acrílica	Resina de isocianato	Mistura
TCA1_2	MPRS102	MPRS022	A1+B1_2
TCA2_2		MPRS040	A1+B2_2
TCA3_2	MPRS088	MPRS022	A2+B1_2
TCA4_2		MPRS040	A2+B2_2

3.3 APLICAÇÃO DAS FORMULAÇÕES

3.3.1 FUNDOS POLIÉSTER PARA MDF

Após a preparação das formulações, procedeu-se à sua aplicação no substrato, recorrendo a uma pistola aerográfica (Figura 13), com as condições de aplicação presentes na Tabela A.16.

É importante referir que, antes e depois da utilização da pistola aerográfica, o reservatório da tinta/verniz deverá ser limpo com solvente, até que este saia incolor e limpo do bico da pistola, prevenindo qualquer tipo de contaminações do produto usado. Este passo foi executado em todas as aplicações realizadas.

A gramagem usada foi a recomendada na ficha técnica, 120-180 g/m² para o fundo poliéster branco e 285 g/m² para o fundo poliéster transparente. Após a aplicação de cada uma das formulações, as respetivas amostras foram colocadas numa cabine para secagem, durante 24 horas.

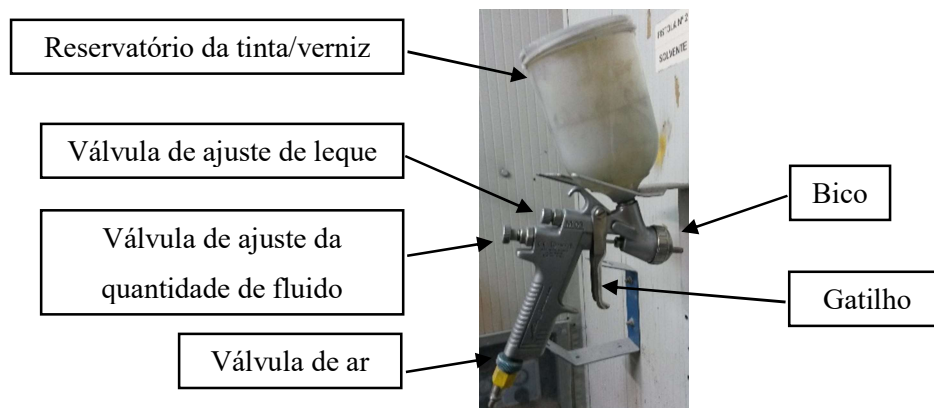


Figura 13-Pistola aerográfica utilizada e identificação dos seus componentes mais importantes.

Passadas as 24 horas, lixou-se novamente cada placa de MDF com uma demão de fundo. Para o efeito, recorreu-se a uma lixa de 320, e lixou-se cada peça até ficar com uma superfície lisa. Seguidamente, aplicou-se uma segunda demão do fundo poliéster correspondente e deixou-se cada placa a secar durante mais 24 horas. Após a sua secagem, cada placa foi novamente lixada, desta vez, primeiramente com lixa de 320, seguidamente com uma de 400 e por último com uma de 600. As placas de 20x30 cm com as duas demãos de fundo aplicadas foram cortadas em três partes iguais.

3.3.2 REVESTIMENTOS ACRÍLICOS DE ALTO BRILHO

Recorrendo a uma pistola de ar comprimido, retiraram-se as poeiras e impurezas presentes no substrato. Este passo é de extrema importância visto que os revestimentos acrílicos de alto brilho deixam transparecer todas as imperfeições presentes no substrato. Utilizando uma pistola aerográfica, aplicou-se cada mistura uniformemente nas placas de MDF e depois ficaram a secar durante 48 horas. As condições de aplicação encontram-se presentes na Tabela A.16. No caso do ABS, apenas foi aplicado o revestimento acrílico negro de alto brilho, tendo-se seguido o mesmo procedimento de aplicação usado para o MDF.

3.3.3 REVESTIMENTOS COM EFEITO CROMADO

As formulações Pi e Ci foram aplicadas em amostras de MDF com fundo branco, RWFPU1000 e com revestimento acrílico negro de alto brilho. Antes da aplicação de cada uma das formulações, as amostras foram limpas recorrendo a uma pistola pressurizada de ar.

Para a aplicação, utilizou-se uma pistola aerográfica em que a válvula de ajuste da quantidade de fluido foi regulada para 0,5 voltas. As condições de aplicação encontram-se presentes na Tabela A.17 e Tabela A.19. Os revestimentos ficaram a secar 30 minutos. De notar que, passados os 30 minutos, verificou-se que algum do alumínio não aderiu à superfície. Estas peças, depois de secas, foram “limpas” com um pano não abrasivo para eliminar o *overspray*. A zona da peça revestida não deve ser manipulada com as mãos pois notar-se-ão a marca das mesmas.

Numa fase mais tardia deste trabalho, foi aplicada a formulação P2 numa amostra de ABS pré-revestida com revestimento acrílico negro de alto brilho. Antes da aplicação da P2, a amostra de ABS referida foi limpa com MPSO016. A aplicação da formulação P2 em ABS foi igual à realizada para o MDF.

3.3.3.1 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DA FORMULAÇÃO DE ALUMÍNIO APLICADA

Para estudar a influência da quantidade de fluido no efeito cromado, a formulação P2 foi aplicada regulando o número de voltas da válvula de ajuste da quantidade de fluido (Figura 13). Utilizou-se uma pressão de ar de 3 bar e aplicou-se a formulação para 0,5, 1, 1,5, 2 e 2,5 voltas.

3.3.4 REVESTIMENTO DE TOPO

A aplicação dos revestimentos de topo foi realizada em amostras de MDF com fundo branco, RWFPU1000, com revestimento acrílico negro de alto brilho, e com a formulação P2. No entanto, apenas foram aplicadas nestas amostras, os revestimentos de topo que mantinham um aspeto transparente após mistura do produto que contém o componente A com o produto que contém o componente B.

A aplicação do revestimento de topo foi realizada recorrendo novamente a uma pistola aerográfica, sendo que previamente foram retiradas o máximo de poeiras e impurezas presentes da peça, utilizando uma pistola de ar comprimido. A aplicação deste revestimento foi realizada de forma semelhante à dos restantes revestimentos, sendo que, aquando da aplicação acrescentou-se 10,0 wt% de MPSO018 para diluir a mistura por forma a facilitar a aplicação desta. O revestimento de topo ficou a secar 24 horas.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS FORMULAÇÕES E AMOSTRAS

3.4.1 DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE

Esta metodologia visa determinar o tempo necessário que uma determinada mistura líquida necessita para escoar num copo de dimensões standard. Este método é utilizado para produtos de viscosidade não muito elevada. Este copo (Figura 14) possui um orifício na sua base, que pode ter vários tamanhos, em que o tamanho deste define o número correspondente do copo, como descrito na Tabela 12 [54].

Tabela 12-Referências para identificação do copo de escoamento[54].

Ref ^a	Copo	Tamanho orifício (mm)
D4	DIN	4
D6	DIN	6
D8	DIN	8



Figura 14-Copo DIN utilizado para medição da viscosidade.

O tamanho do orifício do copo deve ser escolhido de acordo com a viscosidade do produto. Para produtos de baixa viscosidade, deve ser utilizado o copo DIN 4 enquanto que, para produtos de elevada viscosidade, deve ser utilizado o copo DIN 8. Denota-se que quanto maior o tamanho do orifício, menor o tempo de escoamento, o que está diretamente relacionado com a viscosidade.

Relativamente ao procedimento, em condições normais, deve-se condicionar o produto que vai ser ensaiado, a uma temperatura de $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ durante o tempo de ensaio. Caso o ensaio não seja realizado à temperatura referida, a temperatura de operação deve ser registada e apresentada nos resultados. Seguidamente, tapa-se o orifício do copo de escoamento com um dedo e enche-se o copo completamente com a mistura. Posteriormente, coloca-se o recipiente que contém o resto da mistura debaixo do orifício do copo, de modo a permitir que o produto escoado volte para o interior do recipiente. Finalmente, retira-se o dedo do orifício e inicia-se a contagem do tempo, sendo estes dois passos feitos em simultâneo. Quando o fio de produto escoado deixar de ser contínuo, deve-se parar imediatamente o cronómetro e registar o valor de tempo obtido [54].

3.4.2 MEDIÇÃO DO BRILHO

Para a medição do brilho das amostras, recorreu-se a um brilhómetro micro-TRI-gloss (Figura 15) que faz incidir um feixe de luz sobre a superfície desejada, a um ângulo específico, que poderá ser de 20°, 60° ou 80°, sendo feita a medição fotoelétrica da luz refletida, pelo que, o grau de brilho será tanto maior quanto mais luz for refletida [55].

Este método de ensaio foi aplicado para a medição do brilho do revestimento de topo, *top coat*, em que o ângulo utilizado foi de 20°.



Figura 15-Brilhómetro micro-TRI-gloss utilizado para medição do brilho.

Para a realização deste ensaio, procedeu-se à aplicação do revestimento em vidro. A medição do brilho é realizada em vidro uma vez que este é um substrato inerte, pois não absorve o revestimento, e porque apresenta uma superfície plana. Para o efeito, utilizou-se um aplicador quadrangular de revestimentos (Figura 16), que permite a aplicação de uma espessura específica e constante ao longo da peça, tendo-se utilizado uma espessura de 50 micrón. Após a secagem do revestimento (24 horas), recolheram-se as peças de vidro revestidas que foram colocadas sob um papel branco. Seguidamente, procedeu-se à medição do brilho. Para cada peça de vidro revestida foram efetuadas quatro medições, em pontos diferentes da peça revestida, sendo devolvido pelo aparelho o valor da média do brilho e o seu desvio padrão. O brilho é apresentado em unidades de brilho, GU [55].



Figura 16-Aplicador quadrangular de revestimentos.

3.4.3 DETERMINAÇÃO DA DUREZA DO FILME POR PASSAGEM DE LÁPIS

Este método de ensaio permite a determinação da dureza do filme seco, quer seja transparente ou pigmentado, através da utilização de lápis com diferentes durezas. Para tal, aplica-se o revestimento num vidro quadrangular, como exemplificado no método de determinação de brilho e

aguarda-se até que este seque. É utilizado o vidro por ser um substrato inerte, como referido anteriormente, e por permitir uma observação mais clara dos riscos/cortes. Foi utilizado um conjunto de minas de grafite calibradas de dureza conhecida, em que a escala de dureza se encontra na Figura 17.

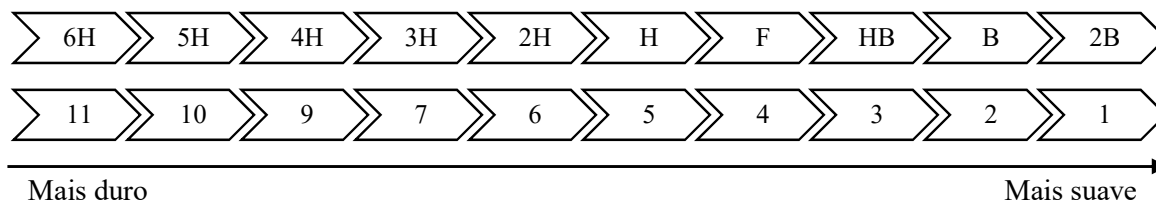


Figura 17-Escala de dureza, por ordem decrescente, e sua conversão para escala numérica.

Relativamente ao procedimento em si, coloca-se o substrato revestido numa superfície nivelada, firme e horizontal. Começando com a mina mais dura, segura-se o porta-minas firmemente com a ponta contra o filme, fazendo um ângulo de 45°, apontando na direção oposta ao operador, e exercendo uma pressão uniforme. Esta pressão, fazendo o lápis subir ou descer, deverá ser a suficiente para cortar, riscar ou partir a aresta da ponta. A pressão deverá ser a mesma para cada lápis, por forma a que os resultados sejam comparáveis. É sugerido que o comprimento do risco seja de 6,5 mm.

Seguidamente, deve ser repetido o processo, descendo na escala de dureza, até que seja encontrada a mina que não corte nem risque a superfície do filme. Deve ser registada a mina mais dura que não corta/risca o filme [56]. Os resultados obtidos foram registados recorrendo ao microscópio *PCE-ME 200*.

3.4.4 ESPECTROSCOPIA DE UV-VIS

Foi utilizado um espectrofotómetro de UV-vis de duplo feixe, Lambda 950 (Perkin-Elmer), com uma esfera integrante com *Spectralon* de 150 mm de diâmetro. Este equipamento permitiu a medição da percentagem de refletância total e da reflexão difusa de cada amostra, numa gama de comprimento de onda entre 200 e 800 nm. Para a medição destes parâmetros, as amostras tiveram de ser cortadas em provetes 4x4 cm² e posteriormente limpas com um pano não-abrasivo para remoção de possíveis poeiras e dedadas.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O principal objetivo do trabalho realizado nesta dissertação consistiu em obter o efeito cromado, tipicamente obtido pelo processo de metalização em vácuo, utilizando como instrumento de aplicação a pistola aerográfica. Este estudo envolveu, não só a formulação e aplicação de um revestimento metálico de alumínio, mas também a caracterização, formulação e a influência que o esquema de pintura tem no efeito desejado, desde a camada base até ao acabamento. Este processo de aplicação apresenta a vantagem de permitir o revestimento de peças de maior dimensão, contrariamente à metalização em vácuo, e de ser relativamente económico e prático.

Para tal, numa primeira fase, procedeu-se à preparação do substrato de MDF, através da aplicação de um fundo de poliéster e posterior lixagem, por forma a garantir a aderência das camadas posteriores e melhorar o nivelamento da superfície. Posteriormente, aplicaram-se diferentes revestimentos acrílicos, diferindo na sua cor, para avaliar a influência desta no efeito cromado. Numa fase seguinte, foi selecionado qual o revestimento acrílico e pigmentos que permitiam o melhor efeito. Finalmente, como o revestimento de alumínio formulado não apresenta resistência química (a álcoois, por exemplo) nem física (ao risco, por exemplo), procedeu-se à formulação e aplicação de um acabamento de topo. Posteriormente, após seleção do revestimento acrílico, pigmento e revestimento de topo para o MDF, estes foram também aplicados num substrato de ABS para verificar se também se adequavam a este material.

Neste trabalho, as amostras são identificadas com a notação A_. Por exemplo, a amostra que se encontra revestida com fundo branco e com o revestimento acrílico não pigmentado de alto brilho, Brilhocryl, designa-se por A_FBB.

4.1 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA COR DO REVESTIMENTO ACRÍLICO DE ALTO BRILHO

Tendo como objetivo a seleção da camada base adequada para promoção do efeito cromado, foram preparadas quatro amostras de MDF. Na amostra A_FB (fundo branco), a placa de MDF foi revestida apenas com duas camadas do fundo de poliéster branco sendo posteriormente sujeita a um processo de lixagem. Na amostra A_FBB, a placa de MDF foi revestida com duas camadas do fundo branco e, após lixagem destas, foi revestida com o revestimento acrílico não pigmentado de alto brilho, Brilhocryl (B).

A amostra A_FBBB, apresenta como base a amostra A_FB, no entanto, foi revestida com um revestimento acrílico branco de alto brilho (BB). Por fim, a amostra A_FBBN, também apresenta

como base a amostra A_FB, sendo posteriormente revestida com um revestimento acrílico negro de alto brilho (BN). As amostras referidas encontram-se representadas na Figura 18.

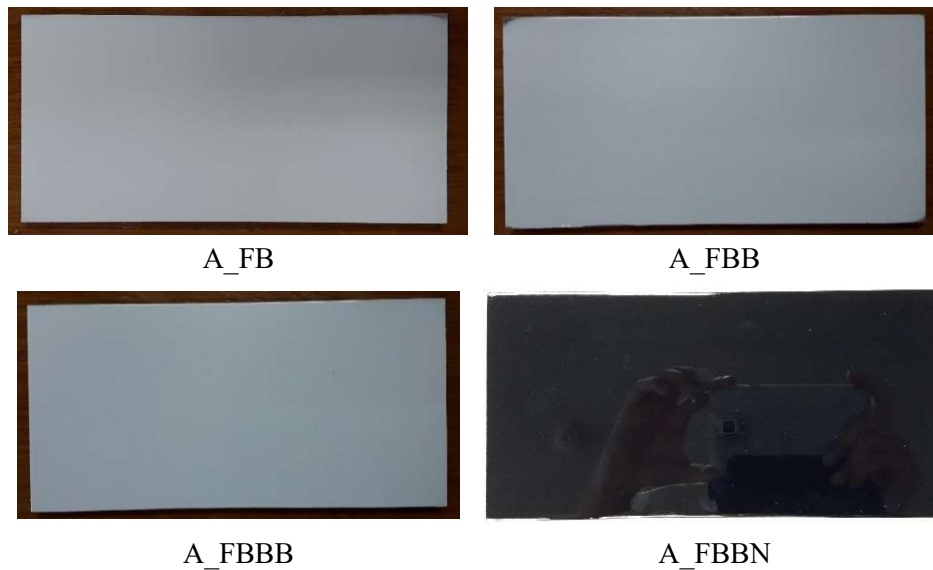


Figura 18-Amostras de MDF, revestidas com fundo poliéster branco e com os revestimentos acrílicos de alto brilho.

As amostras representadas na Figura 19, sofreram o mesmo processo de revestimento que as amostras anteriormente referidas, diferenciando-se apenas na cor do fundo utilizado, um fundo poliéster transparente.

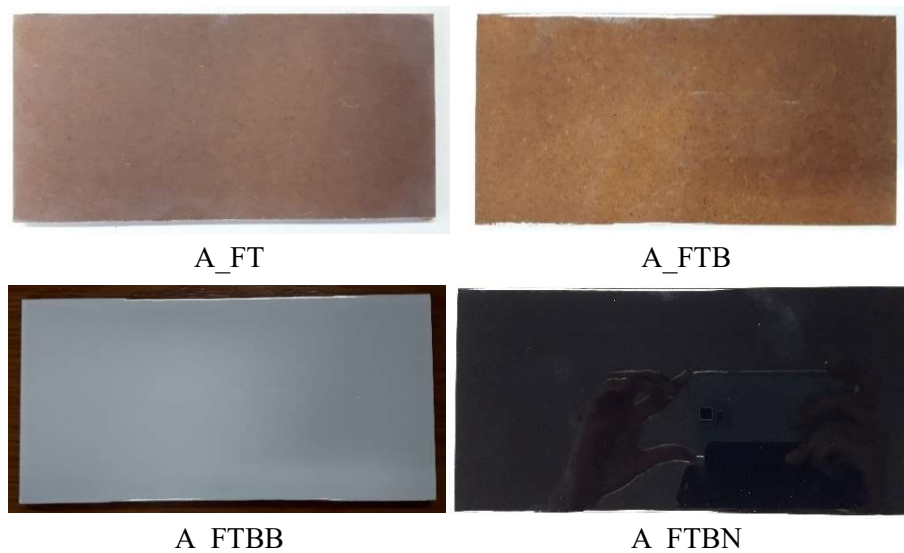


Figura 19-Amostras de MDF, revestidas com fundo poliéster transparente e com os revestimentos acrílicos de alto brilho.

Verifica-se por análise da Figura 18 e da Figura 19 que, as amostras que permitem uma melhor reflexão são as A_FBBN e a A_FTBN, concluindo-se que a cor do fundo não influencia a reflexão. Contudo, o fundo poliéster desempenha um papel fundamental na peça visto que tem alto poder de

cobertura, excelente durabilidade e estabilidade do filme seco. Este fundo, depois de lixado, confere também nivelamento e suavidade à peça, parâmetros estes que influenciam o efeito cromado, visto que qualquer irregularidade ou cavidade na peça pode ser prejudicial ao efeito. Contrariamente, a cor do revestimento acrílico influencia a reflexão, sendo que, a cor que permite melhor reflexão é a negra.

Posteriormente, a título de exemplo, estas amostras foram revestidas com a formulação P2. Desta forma, é possível avaliar a influência da cor dos fundos e dos revestimentos acrílicos, como demonstrado na Figura 20 e na Figura 21.

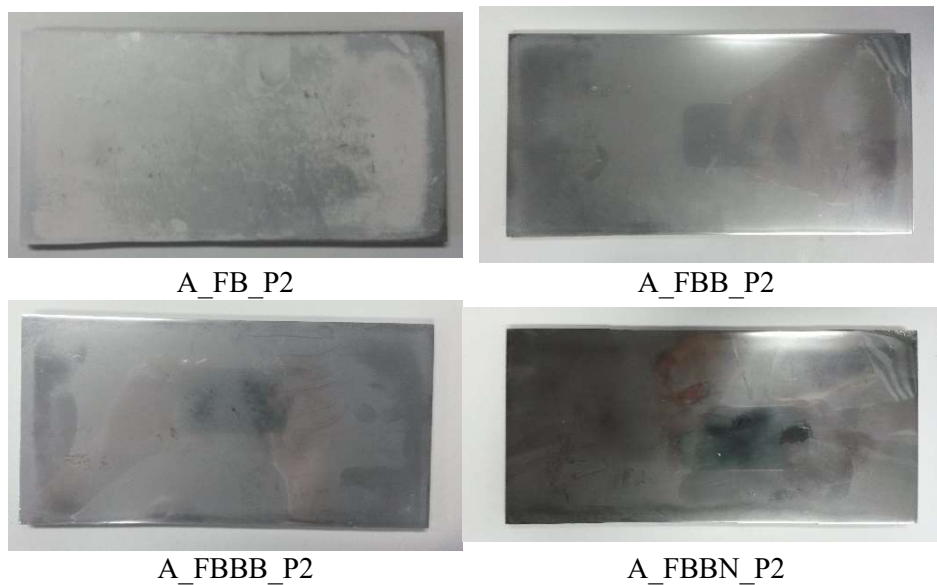


Figura 20- Amostras de MDF, revestidas com fundo poliéster branco, com os revestimentos acrílicos de alto brilho e, posteriormente, com a formulação P2.

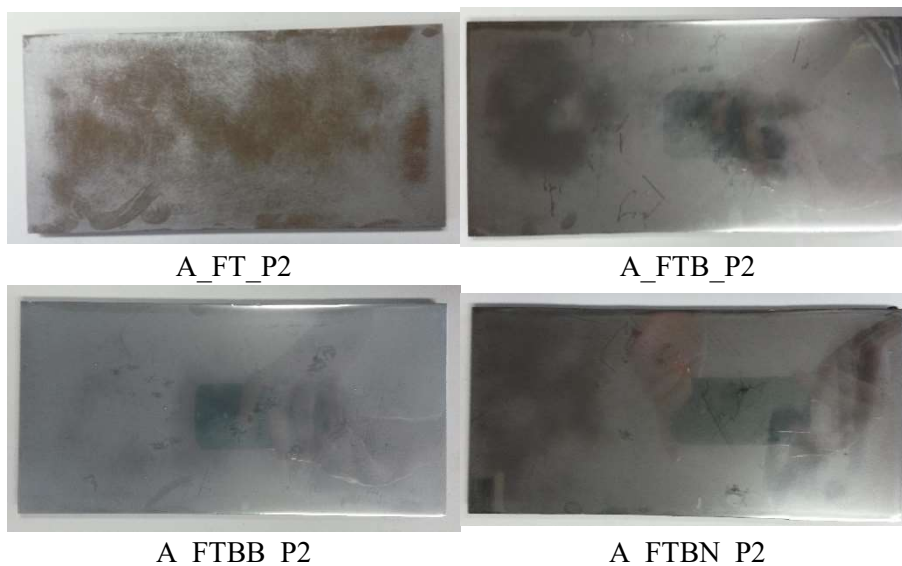


Figura 21- Amostras de MDF, revestidas com fundo poliéster transparente, com os revestimentos acrílicos de alto brilho e, posteriormente, com a formulação P2.

Como apresentado na Figura 20 e Figura 21, verificou-se que as amostras que permitem uma melhor reflexão, ou seja, uma promoção mais eficiente do efeito cromado, são as amostras A_FBBN_P2 e A_FTBN_P2, verificando-se que a cor do fundo (branco ou transparente) não influencia o aspeto desejado. Apenas a cor do revestimento acrílico influencia o efeito cromado. Sendo assim, conclui-se que a cor negra favorece o efeito cromado.

Consultando a literatura, é referido que a cor negra é, de facto, a cor que favorece o efeito cromado, uma vez que absorve maior parte da luz incidente que atravessa o filme, existindo pouca difusão da luz. É também referido que a cor branca dispersa a luz que penetra o filme, levando a um efeito baço [57]. Estas conclusões são ainda verificadas pelo estudo de espectroscopia realizado neste trabalho, como explicado na secção 4.6.

Verifica-se também que após a secagem das amostras, algum do alumínio presente na formulação não aderiu ao substrato, formando uma camada empoeirada e baça. Este fenómeno é designado como *overspray* ou empoeiramento, no qual ocorre a deposição de tinta seca sobre a superfície, causando perda de brilho. Este fenómeno pode ser causado por diversos fatores como uma elevada temperatura da cabine provocando uma rápida evaporação do solvente, a utilização de solventes de rápida evaporação ou a regulação incorreta dos parâmetros da pistola aerográfica, como da válvula de pressão de ar. O fluxo de ar regulado por esta válvula permite a atomização da tinta, ou seja, que esta se pulverize em partículas pequenas. Caso este fluxo de ar seja elevado, para além de causar elevadas perdas de tinta (apenas cerca de 30% da tinta pulverizada se deposita no substrato), poderá também causar o empoeiramento da peça. Outros fatores que poderão causar o *overspray* são a regulação incorreta da válvula de ajuste da quantidade de fluido, ou até, a distância entre a pistola aerográfica e a superfície não ser adequada, concluindo-se que as condições de aplicação do revestimento e o ajuste correto das válvulas da pistola são cruciais na obtenção do efeito desejado. Obviamente, um aplicador experiente consegue minimizar este efeito [58].

Para eliminar o *overspray*, limpou-se o revestimento cromado com um pano não abrasivo. De notar que a zona revestida da peça não deve ser manipulada com as mãos. Na Figura 22 encontram-se representadas as amostras após a eliminação do *overspray*. Verifica-se pela Figura 22 que, após a eliminação do efeito *overspray*, o efeito cromado é bastante favorecido. As amostras que mais se assemelham a uma peça metalizada em vácuo (Figura 23) são as A_FBBN_P2 e A_FTBN_P2. Apesar de as amostras desenvolvidas serem de MDF e a peça metalizada em vácuo ser de ABS, o objetivo é obter um efeito cromado semelhante ao da Figura 23.

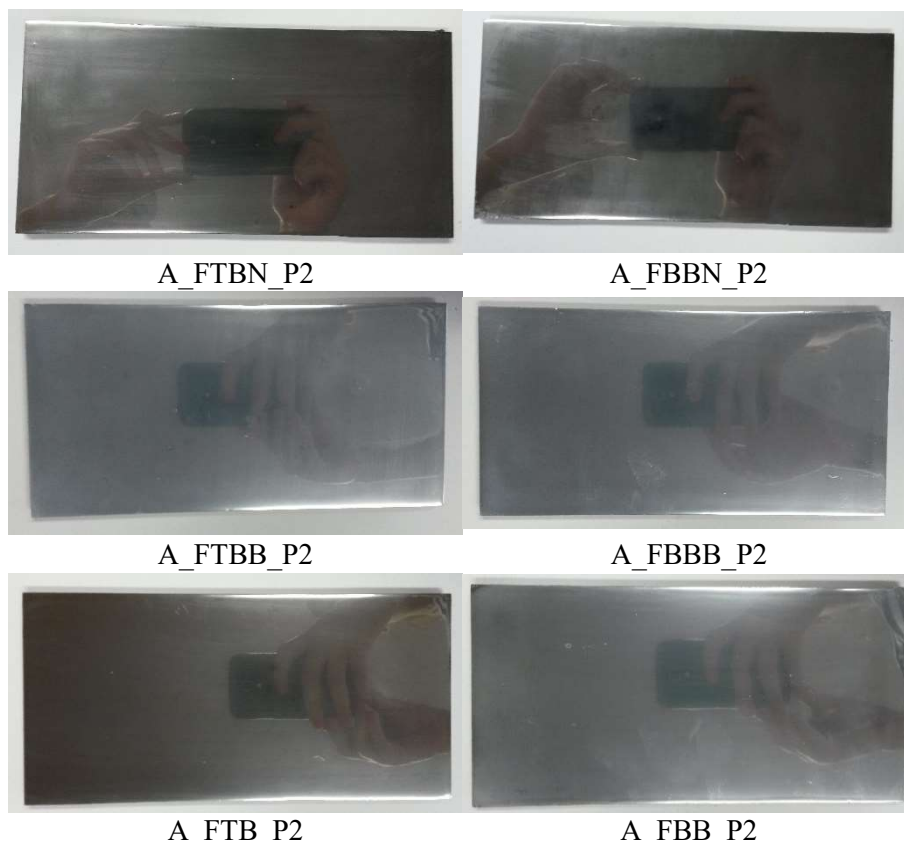


Figura 22-Amostras de MDF revestidas com P2, após eliminação do efeito *overspray*.



Figura 23-Peça de ABS revestida com alumínio por metalização em vácuo (PMV).

4.2 ESTUDO DO EFEITO DOS VÁRIOS PIGMENTOS DE ALUMÍNIO PARA OBTENÇÃO DO EFEITO CROMADO

Após a seleção do revestimento base que favorecia o efeito desejado, o revestimento acrílico negro de alto brilho (FBBN ou RWVAC1066), procedeu-se à formulação do revestimento de alumínio, recorrendo aos diversos pigmentos existentes em amostras pedidas aos fornecedores. Para o efeito, manteve-se a mesma formulação, modificando apenas o pigmento usado. Foram testados sete pigmentos de alumínio. Os resultados obtidos encontram-se na Figura 24.

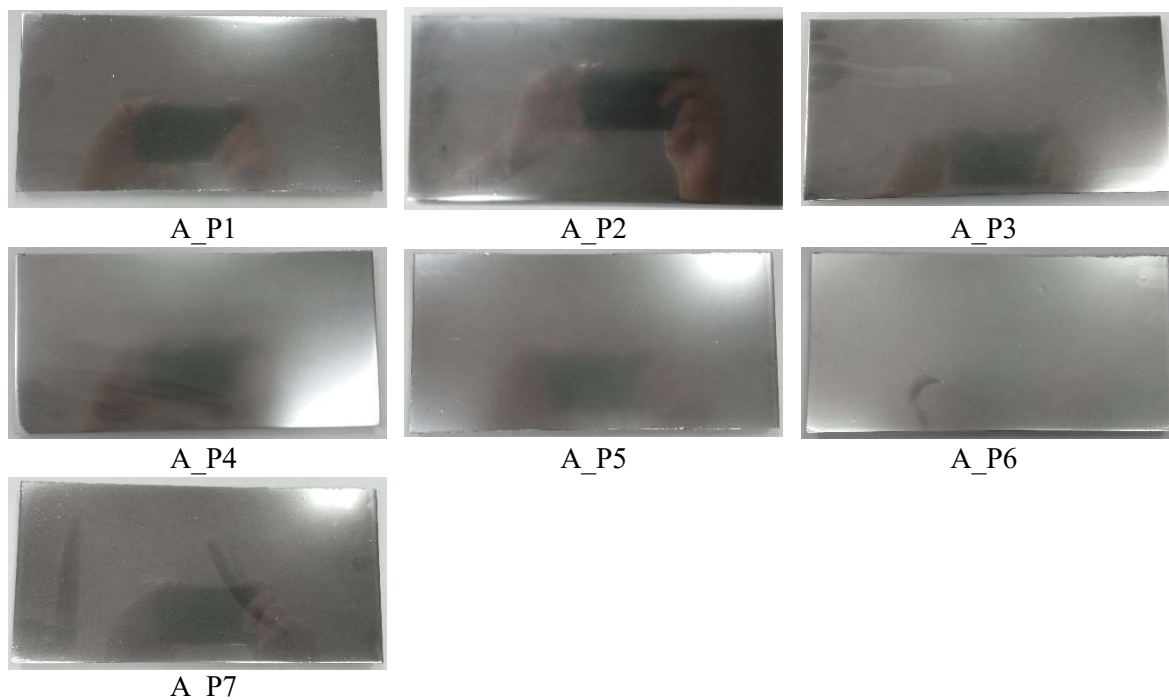


Figura 24-Amostras de MDF revestidas com fundo poliéster branco, revestimento acrílico negro de alto brilho e as formulações, Pi.

Através da análise dos resultados obtidos, verifica-se que o pigmento presente na formulação P2, LPG046, correspondente à amostra A_P2, é o que melhor favorece o efeito cromado, sendo o que mais se assemelha a uma peça metalizada em vácuo. Numa tentativa de aprimorar o efeito cromado, testaram-se duas ceras orientadoras de pigmentos, LAD115 e LAD069, sendo estas incluídas na formulação P2, no entanto, estas ceras não favoreceram o efeito cromado, conferindo à amostra um aspeto cinza e baço (ver Anexo 7.2.2). As ceras necessitam de uma quantidade suficiente de ligante para poderem orientar os pigmentos. A quantidade de ligante presente em P2 é diminuta (Tabela A.1), pelo que, poderá não ser suficiente para orientar os pigmentos, não favorecendo o efeito cromado, explicando assim o fenómeno observado [59], [60].

4.3 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DA FORMULAÇÃO DE ALUMÍNIO APLICADA

Na etapa seguinte, após a escolha do pigmento que permitia o efeito cromado mais elevado, a formulação P2, foi realizado um estudo da influência que a quantidade da formulação aplicada teria no efeito desejado.

Como explicado anteriormente, a válvula de ajuste da quantidade de fluido permite controlar a quantidade que sai através o bico. Esta válvula, quando rodada no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, permite a passagem de uma quantidade maior. Como tal, foi variado o número de voltas por forma a avaliar a influência da quantidade de fluido no efeito cromado. Para tal, utilizando placas

de MDF revestidas com o fundo branco ou fundo transparente e revestimento acrílico negro de alto brilho, foi aplicada a formulação P2 usando diferentes quantidades de produto. De notar, que foram retiradas da superfície da peça todas as poeiras recorrendo a um pano não abrasivo e a uma pistola pressurizada de ar. Também se teve especial cuidado em manter a pressão de ar constante em todos os ensaios, nomeadamente em 3 bar, uma vez que é a pressão recomendada para a aplicação da generalidade dos revestimentos. A pressão de ar utilizada também irá influenciar o resultado obtido sendo que, uma pressão elevada, ou seja, mais ar, permite uma secagem mais rápida e maior perda de produto. Uma secagem demasiado rápida pode prejudicar o efeito cromado no sentido em que, os pigmentos presentes na tinta não têm tempo suficiente para se orientarem paralelamente entre si. Por outro lado, uma pressão baixa, permite uma secagem mais lenta, mas não permite uma correta nem eficaz atomização da tinta. Na Figura A.1 encontram-se os resultados da variação do fluxo de tinta aplicada [58].

Após análise visual de cada uma das amostras (ver Figura A.1), verificou-se que a amostra A_0,5 (Figura 25) é a que apresenta um efeito cromado mais aprimorado, enquanto que a amostra A_2,5 é a amostra em que o efeito desejado foi mais prejudicado. Observando as amostras restantes, verificou-se que quanto maior a quantidade depositada no substrato, mais o efeito cromado é prejudicado. Como tal, pode-se concluir que, para a obtenção de um efeito cromado máximo, a quantidade de revestimento aplicado deverá ser o mínimo possível, desde que apresente cobertura total da superfície, sendo que, quando é aplicada uma camada mais espessa de revestimento, o revestimento torna-se baço e, o aumento da espessura leva à refração da luz incidente em vez da sua reflexão [61].



Figura 25-Amostra A_0,5.

4.4 SELEÇÃO DO REVESTIMENTO DE TOPO ADEQUADO

Como o revestimento com efeito cromado não apresenta resistência física nem química desenvolveu-se um revestimento de topo adequado. Este revestimento deverá ser transparente, com elevado brilho, dureza, flexibilidade e durabilidade, e que não sofra amarelecimento ao longo do tempo. As resinas que reúnem todas estas características são as acrílicas e, o sistema mais adequado e utilizado, é o sistema de dois componentes (2K). Para tal, utilizou-se também uma resina de isocianato, em que os grupos $-NCO$ do isocianato reagem com os grupos $-OH$ do polioliol como a apresentada anteriormente na Figura 10 c), formando um poliuretano (Figura 26) [42].

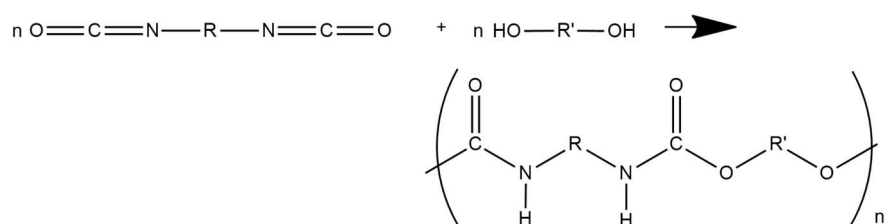


Figura 26-Reação de adição de um diisocianato com um polioliol, formando poliuretano [47], [48].

Existem vários tipos de isocianatos que são comercializados como o diisocianato de tolueno (TDI), diisocianato de hexametileno (HDI), diisocianato de isoforona (IPDI), diisocianato de difenilmetileno (MDI) e o 4,4-metileno bis (isocianato ciclohexano) (HMDI) [62]. As resinas de isocianatos são utilizadas para produção de vernizes de poliuretano 2K. As resinas de isocianato referidas diferem no teor do grupo $-NCO$, estrutura química e reatividade e ainda se são alifáticas ou aromáticas. Os isocianatos alifáticos são especialmente recomendados para revestimentos resistentes à luz e a condições atmosféricas adversas, ou seja, para revestimentos em que a cor e a transparência são importantes, uma vez que os revestimentos de poliuretano com isocianatos aromáticos tendem a escurecer e amarelecer com a luz. Os aromáticos reagem mais rapidamente do que os alifáticos e são mais económicos [42].

Uma vez que a cor é um parâmetro importante as resinas de isocianato são caracterizadas por um parâmetro que permite medir a tonalidade amarela que conferem ao revestimento, a cor de Gardner. A cor de Gardner apresenta uma escala numérica, de 1 a 18 sendo que o valor mais elevado é o referente a uma cor “mais amarela”, mais saturada.

Em suma, um revestimento que não prejudique o efeito cromado deverá ser de natureza acrílica para garantir um revestimento brilhante, flexível e com elevada durabilidade e a resina de isocianato deverá ser de natureza alifática, nomeadamente HDI, IPDI ou HMDI e, a cor de Gardner deverá ser próxima de 1 por forma a garantir um revestimento sem tonalidade amarela. Analisando as resinas de isocianato existentes em armazém, verificou-se que duas cumprem os requisitos referidos

nomeadamente as resinas MPRS022 e MPRS040 (Anexo 7.1.1.2). De notar que a resina MPRS040 é uma mistura de TDI com HDI. Relativamente às resinas de natureza acrílicas, as resinas mais adequadas são a MPRS088 e MPRS102.

Após preparação das formulações TCA1_1, TCA2_1, TCA3_1, TCA4_1, estas foram aplicadas em amostras de MDF revestidas com a formulação do pigmento P2, verificando-se que estas formulações dissolviam o revestimento P2, tornando-o baço e rugoso (Figura 27). Após análise da formulação, verificou-se que o solvente MPSO014, da família das cetonas, presente nas formulações que contém o componente B, B1_1 e B2_1, dissolvia o revestimento P2.

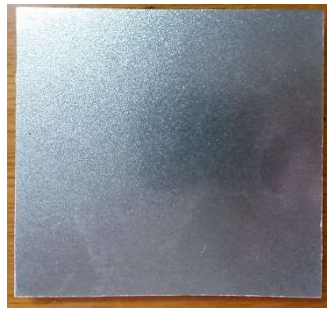
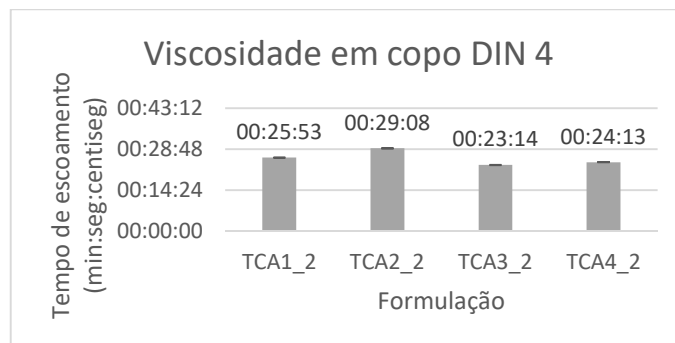


Figura 27-Amostra revestida onde ocorreu ataque da camada P2.

Para ultrapassar esta situação, reformulou-se o revestimento de topo, retirando o solvente MPSO014, obtendo-se as formulações B1_2 e B2_2. Seguidamente, foram medidas três vezes as viscosidades das formulações reformuladas TCA1_2, TCA2_2, TCA3_2 e TCA4_2, representando na Figura 28 a média dos resultados obtidos. Não foram medidas as viscosidades dos fundos e dos revestimentos acrílicos uma vez que estes dados se encontram presentes nas suas fichas técnicas. Também não foi medida a viscosidade das formulações Pi uma vez que estas são constituídas maioritariamente por solvente.



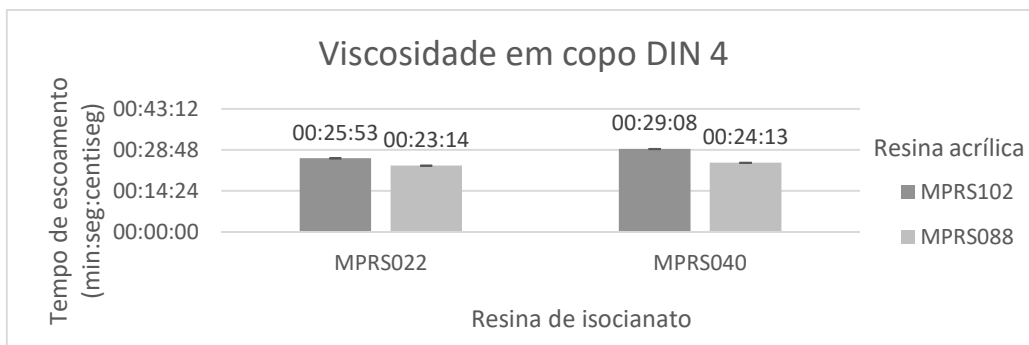


Figura 28-Resultados da média dos valores de viscosidade em copo DIN 4 obtidos para cada formulação e comparação da média dos valores de viscosidade das formulações com a mesma resina de isocianato.

Como se pode verificar, a formulação TCA3_2 é a menos viscosa. Fazendo a comparação das formulações contendo as resinas acrílicas hidroxiladas MPRS102 e MPRS088, verifica-se que a MPRS102 confere maior viscosidade à formulação, o que está de acordo com as informações fornecidas nas fichas técnicas das resinas em causa (Tabela A.5). As viscosidades das formulações foram medidas a temperaturas aproximadamente iguais (~20 °C), o que permite uma comparação correta dos valores obtidos para as diferentes formulações (Tabela A.14).

Seguidamente, procedeu-se à medição do brilho de todas as amostras, estando os resultados obtidos representados na Figura 29. Para tal, aplicou-se cada formulação em vidro, deixou-se secar durante 24 horas e, recorrendo a um brilhómetro mediou-se o brilho a 20°. Aquando da aplicação da formulação TCA2_2 e TCA4_2, verificou-se a presença de alguns grumos, sendo este mais proeminente na amostra A_TCA2_2 (Figura A.4 e Figura A.6). Estes grumos surgiram aquando da junção da mistura que contém a resina acrílica hidroxilada com a que contém a resina de isocianato (A1+B2_2 e A2+B2_2).

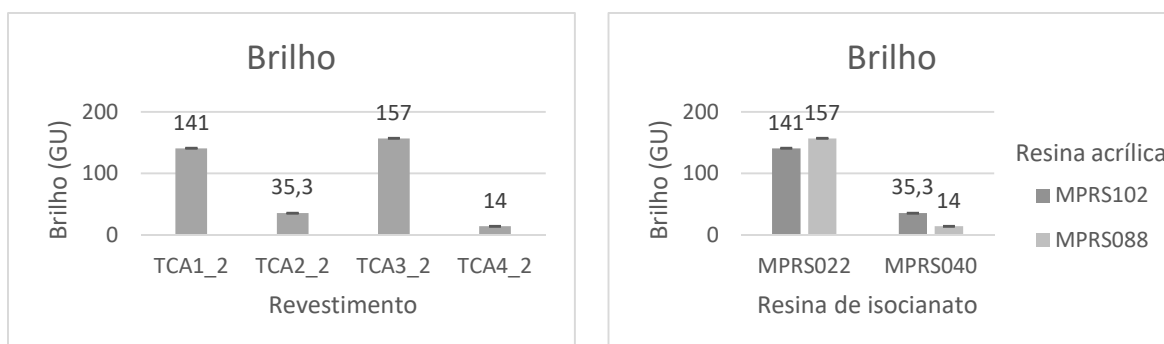


Figura 29-Resultados da medição de brilho de cada revestimento e comparação do brilho das formulações com a mesma resina de isocianato.

Este comportamento poderá ser causado pelo facto da resina MPRS040 conter TDI, que poderá não ser compatível com as resinas acrílicas usadas, ou por incompatibilidade entre a resina do tipo isocianato MPRS040 e algum solvente presente na formulação, uma vez que é referido na ficha

técnica da MPRS040 que a escolha incorreta de algum solvente poderá provocar turvação da solução ou formação de grumos (separação da resina da solução) [63], [64].

Verifica-se pelas figuras apresentadas que, as formulações em que foi adicionada a resina do tipo isocianato MPRS040, são as que apresentam os valores de brilho mais baixos. Estes resultados já eram esperados uma vez que, as formulações TCA2_2 e TCA4_2, apresentaram um aspeto baço e leitoso aquando da mistura de A1+B2_1 e de A2+B2_1. Estes resultados poderão prender-se com o facto de a resina MPRS040 ser uma mistura de isocianatos, TDI e HDI, em que, o TDI não confere a transparência desejada, uma vez que é de natureza aromática, ou por imiscibilidade desta resina em algum solvente.

Por último, realizou-se o teste de determinação da dureza do filme mediante a passagem de lápis. Para tal, após secagem do revestimento no vidro, determinou-se a dureza e resistência ao risco, utilizando minas com durezas diferentes. Através da conversão da escala de dureza para uma escala numérica (Figura 17), apresentam-se na Figura 30 os resultados do teste referido, para as diferentes formulações.

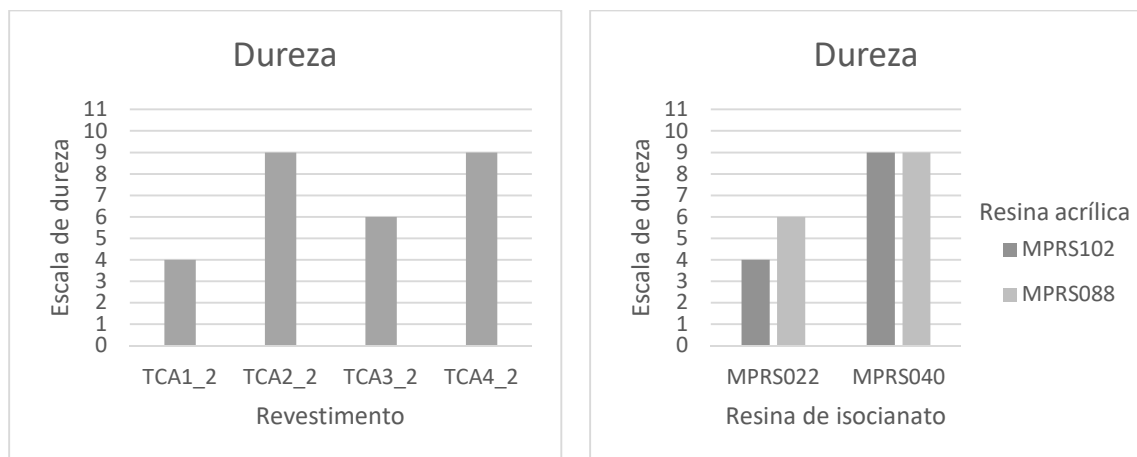


Figura 30-Resultados do teste de dureza para cada revestimento e comparação dos resultados de dureza para formulações com a mesma resina de isocianato.

Os revestimentos que apresentam maior dureza são os TCA2_2 e os TCA4_2, mais especificamente à mina 4H. Analisando a Figura 30, consegue-se também concluir que a resina MPRS040 confere elevada dureza ao filme, sendo que a diferença de resistência das formulações que contém MPRS040 e MPRS022 é entre 3 a 5 na escala de dureza.

Relativamente às resinas acrílicas, não se consegue retirar nenhuma conclusão relativamente à sua influência na dureza. No entanto, é importante referir que as formulações TCA2_2 e TCA4_2 não formaram um filme homogéneo, mas sim com grumos, o que poderá influenciar os resultados

obtidos. Por fim, foi estudada a resistência ao risco de cada um dos revestimentos. Os resultados obtidos encontram-se na Figura 31.

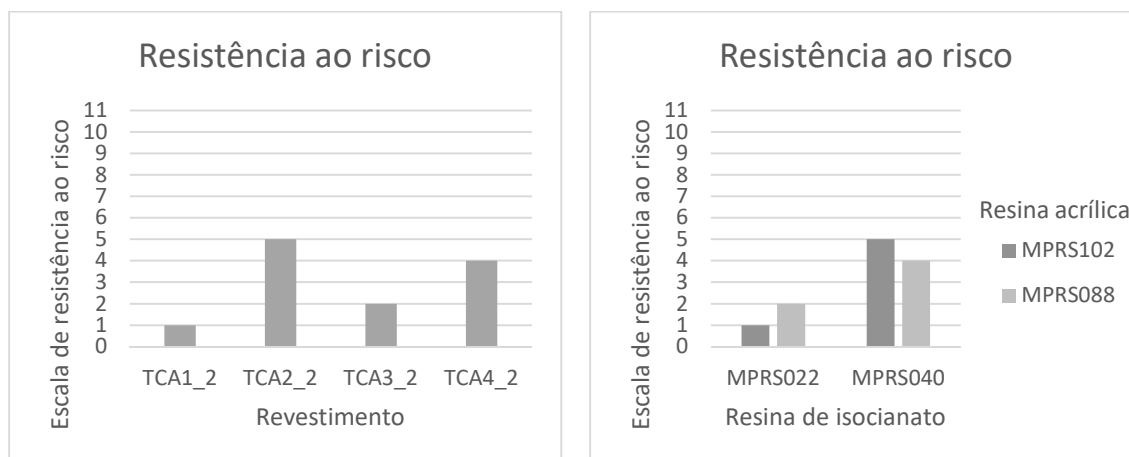


Figura 31-Resultados do teste de resistência ao risco para cada revestimento e comparação dos resultados para formulações com a mesma resina de isocianato.

Verifica-se que os revestimentos que apresentam maior resistência ao risco são os mesmos que apresentam mais dureza, ou seja, as formulações que contém a resina de isocianato MPRS040, no entanto, o revestimento TCA2_2 é ligeiramente mais resistente que a TCA4_2, sendo resistente à mina de dureza F. Relativamente às resinas acrílicas, novamente, não se consegue inferir nenhum tipo de relação entre a resistência ao risco do filme e a resina acrílica usada.

Após análise dos diversos parâmetros estudados, o revestimento de topo que permite maior conservação do efeito cromado do revestimento P2 é o revestimento que apresenta maior valor de brilho, o TCA3_2. A amostra de MDF final (com este esquema de pintura) encontra-se na Figura 32.



Figura 32-Amostra de MDF final, A_P2_TCA3_2.

Os revestimentos TCA2_2 e TCA4_2 não são recomendados visto que não formam um filme homogêneo nem transparente, o que afeta o efeito desejado. De facto, o brilho é o parâmetro mais importante visto que é o que mais influencia o efeito cromado, pois, se este for baixo, irá promover a reflexão não especular da luz [57]. A TCA3_2, apresenta uma viscosidade baixa e o respetivo revestimento apresenta uma dureza suficiente e baixa resistência ao risco. A formulação TCA1_2

também seria um revestimento de topo considerável, uma vez que, apresenta elevado brilho, no entanto, o seu valor é menor que o da formulação TCA3_2. No entanto, a sua viscosidade é mais elevada, o que poderá levar a defeitos na aplicação deste verniz, e a sua resistência ao risco e dureza são mais baixas.

4.5 APLICAÇÃO DO ESQUEMA DE PINTURA DESENVOLVIDO NUM SUBSTRATO PLÁSTICO

Após o revestimento das amostras de MDF, decidiu-se averiguar se o esquema de pintura e os revestimentos desenvolvidos teriam os mesmos resultados numa superfície plástica, o ABS. Como o ABS, por si, é uma superfície com alguma aderência e lisa, não foi necessária a aplicação de nenhum primário nem fundo, pelo que, o primeiro revestimento aplicado foi o revestimento acrílico negro de alto brilho. Seguidamente, aplicou-se a formulação P2, utilizando os mesmos parâmetros utilizados para o MDF, 0,5 voltas e pressão de ar de 3 bar, tendo-se obtido o resultado presente na Figura 33.



Figura 33-Amostra de ABS revestida com o revestimento acrílico negro de alto brilho (à esquerda) e, com o revestimento P2 (à direita).

Os resultados são bastante satisfatórios, visto que o efeito cromado é mais eficiente que nas amostras de MDF. Isto prende-se essencialmente com o facto do ABS apresentar uma superfície suave, lisa e regular. Seguidamente, aplicou-se o revestimento de topo TCA3_2, o mesmo revestimento aplicado na amostra de MDF, em que o resultado final encontra-se na Figura 34.



Figura 34-Amostra de ABS em que metade deste encontra-se revestido com TCA3_2 (lado esquerdo) e zona do capacete revestido com TCA3_2, com mais detalhe (lado direito).

Analisando a Figura 34 verifica-se que o revestimento TCA3_2 diminui ligeiramente o efeito cromado, apesar de ter sido aplicada uma camada fina sobre a peça, por forma a evitar que o aspeto se torne baço. No entanto, considera-se o resultado final satisfatório uma vez que o efeito cromado não é prejudicado significativamente.

Comparando as peças finais de MDF e de ABS com uma amostra de uma peça revestida por metalização em vácuo (Figura 23), verifica-se que o efeito obtido não é igual, especialmente na peça final de MDF, no entanto, é bastante satisfatório. Pode-se concluir que a regularidade e lisura da superfície do substrato influenciam o efeito cromado, verificando-se que o efeito cromado obtido para ABS é mais nítido do que no MDF.

Para correta análise do comportamento de um revestimento, as condições da sua aplicação são dos parâmetros mais importantes, nomeadamente a temperatura e humidade relativa. Através dos dados presentes no Anexo 7.3, verifica-se que os valores de temperatura e humidade relativa não se mantiveram constantes ao longo das aplicações. Os valores de humidade de relativa, apesar de não se terem mantido constantes, mantiveram-se sempre baixos, pelo que, a sua influência no revestimento aplicado não deverá ser significativa, ou seja, não existe o risco de ocorrer condensação. No entanto, os valores de temperatura, apresentam diferenças consideráveis [58].

A temperatura desempenha um papel importante na secagem do verniz/tinta, sendo que, quando a temperatura é elevada conduz a uma secagem demasiado rápida, o que, no caso das formulações Pi, poderá fazer com que os pigmentos não tenham tempo suficiente para se orientar paralelamente entre si, não promovendo o efeito desejado. A secagem demasiado rápida poderá também conduzir a retração do revestimento.

Para além da escolha da pressão de ar, o correto manuseamento do instrumento é também fundamental, pelo que este deverá ser utilizado num movimento paralelo, com uma distância ao substrato constante para evitar defeitos na superfície.

Por fim, para aplicação de um revestimento de alto brilho, deve-se recorrer a uma cabine isolada da restante instalação fabril e limpa por forma a minimizar a quantidade de poeiras e impurezas, que poderiam depositar-se no revestimento referido, afetando o seu aspeto.

4.6 ESPECTROSCOPIA DE UV-VIS

Por fim, foi realizado um estudo que permitisse medir a percentagem da refletância total e a percentagem da reflexão difusa das amostras obtidas, em função do comprimento de onda (λ) na gama dos Ultra Violeta-visível (UV-vis). Para tal, recorreu-se a um espectrofotómetro UV-Vis de feixe duplo. Na Figura 35 e Figura 36 encontram-se os espectros para uma peça metalizada em vácuo (PMV), e para as amostras A_FBB_P2, A_FBBB_P2, A_FBBN_P2 e A_P2_TCA3_2.

O objetivo principal deste trabalho é produzir um revestimento com efeito cromado que seja visível para aplicações à visão humana, mais especificamente na zona do visível do espectro eletromagnético com comprimentos de onda entre $380 \leq \lambda \leq 700$ nm.

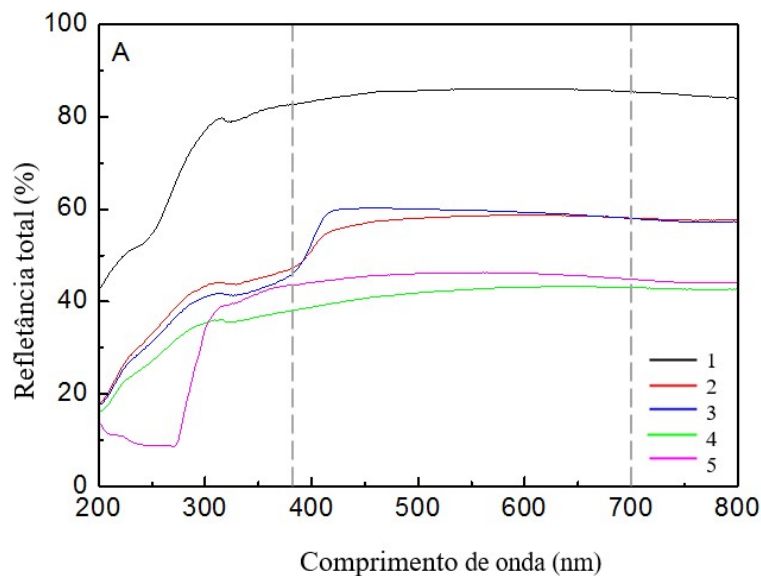


Figura 35-Espectro da refletância total da peça PMV (1) e das amostras A_FBB_P2 (2), A_FBBB_P2 (3), A_FBBN_P2 (4) e A_P2_TCA3_2 (5).

Pela análise da Figura 35, consegue-se verificar que, na gama do visível, a amostra que apresenta maior refletância total é a peça metalizada em vácuo, com valores entre 82–86 %, considerada como referência (Figura 23), o que já era esperado uma vez que esta peça é a que apresenta visualmente o melhor efeito cromado.

Fazendo uma comparação entre as amostras desenvolvidas, verifica-se que a amostra que apresenta maior valor de refletância total é a amostra A_FBBB_P2, com valores entre 45–60 %, na gama referida. Este resultado pode ser explicado pela cor do revestimento base desta amostra, que é branco, cor esta que reflete grande parte da radiação incidente. No entanto, verifica-se que os resultados da amostra A_FBBB_P2 e da amostra A_FBB_P2, com valores entre 43–59 %, na gama referida, tendem a convergir quanto maior o λ (na gama do visível). A diferença entre as amostras referidas é a cor do revestimento acrílico de alto brilho. A amostra A_FBB_P2 apresenta um

revestimento acrílico não pigmentado de alto brilho, e a A_FBBB_P2 apresenta um revestimento acrílico branco de alto brilho. Assim, na A_FBB_P2, uma vez que o revestimento acrílico é transparente, deixa transparecer a cor branca do fundo de poliéster. Desta forma, a cor “final” desta amostra é branco brilhante, assim como na A_FBBB_P2, como se pode verificar na Figura 18 apresentada na secção 4.1, explicando-se assim a proximidade de resultados.

Por fim, as amostras que apresentam menor valor de refletância total são as amostras cujo revestimento base apresenta a cor negra: a amostra A_FBBN_P2, com valores entre 39–42,5 %, e a amostra A_P2_TCA3_2, com valores entre 42,5–43,5 %. Isto prende-se com o facto de a cor negra ter elevada capacidade de absorção da luz, o que explica os valores obtidos. Neste caso, verifica-se também que os valores de refletância total das amostras referidas, na gama do visível, tendem a aproximar-se quanto maior o λ .

Apesar da diferença de valores destas amostras ser reduzida, verifica-se que a amostra com revestimento de topo, A_P2_TCA3_2, apresenta maior refletância total do que a A_FBBN_P2. Isto poderá ser resultante do facto do revestimento de poliuretano brilhante de topo, TCA3_2, também refletir a radiação incidida. Desta forma, tanto o revestimento de topo como o revestimento de alumínio refletem a radiação incidida, aumentando o valor da refletância total.

É importante referir que uma maior refletância da luz não implica um melhor efeito cromado, uma vez que a refletância mede a razão entre a radiação refletida e o total da radiação incidente, ou seja, não permite distinguir se a radiação que é refletida é especular ou difusa [57].

A reflexão difusa acontece quando a luz incidente é refletida em diferentes ângulos, o que é resultado de um alinhamento irregular dos pigmentos metálicos, não estando paralelos ao substrato. O alinhamento irregular dos pigmentos metálicos tem como resultado um revestimento com aspeto baço. Este fenómeno poderá também ser resultado de um revestimento irregular [57]. Como tal, procedeu-se à medição da refletância difusa de cada amostra, recorrendo ao mesmo método, em que os resultados obtidos encontram-se na Figura 36.

Analisando a Figura 36, consegue-se verificar que, na gama do visível, a amostra de referência, PMV, apresenta valores reduzidos de refletância difusa, com valores entre 8–18 %, em que, os valores deste parâmetro diminuem com o aumento de λ .

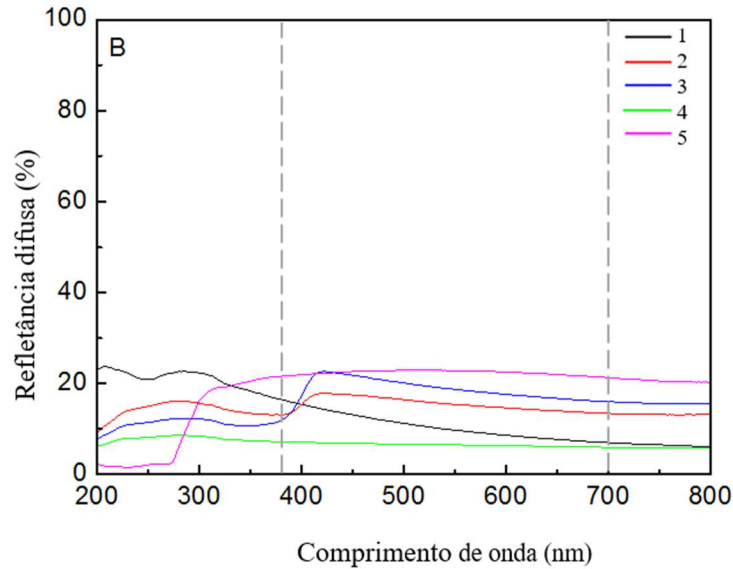


Figura 36-Espectro da refletância difusa da peça PMV (1) e das amostras A_FBB_P2 (2), A_FBBB_P2 (3), A_FBBN_P2 (4) e A_P2_TCA3_2 (5).

Tendo em conta as amostras desenvolvidas, verifica-se que a amostra que apresenta refletância difusa menor é a A_FBBN_P2, com valores entre 2,5–3,5 %. Como explicado anteriormente, o revestimento é tão mais baço quanto maior for a refletância difusa, o que se confere pelo aspeto visual das amostras, em que se verifica que a A_FBBN_P2 é a menos baça e com melhor efeito cromado.

Este fenómeno ocorre uma vez que a cor negra absorve quase toda a luz incidente no filme, pelo que, a reflexão difusa é diminuta. Isto verifica-se quando a superfície da película é lisa. Quando a cor do revestimento é branca (A_FBBB_P2), a luz é refletida em várias direções, resultando numa elevada percentagem de reflexão difusa [57].

Relativamente às restantes amostras, os valores de refletância difusa da amostra A_FBB encontram-se entre 7–19%, e, para a amostra A_FBBB entre 6–21%. Mais uma vez, verifica-se uma grande proximidade de valores entre estas duas amostras.

Por fim, a amostra A_P2_TCA3 apresenta valores de refletância difusa entre 20,5–21,5%, verificando-se que esta não apresenta um efeito cromado tão aprimorado como a A_FBBN. Isto pode prender-se com o facto de o revestimento de topo apresentar uma superfície um pouco irregular ou por a espessura do revestimento não ser adequada [57], [61]. Na Figura 37 encontra-se uma representação esquemática da influência da espessura do revestimento de topo na reflexão da radiação.

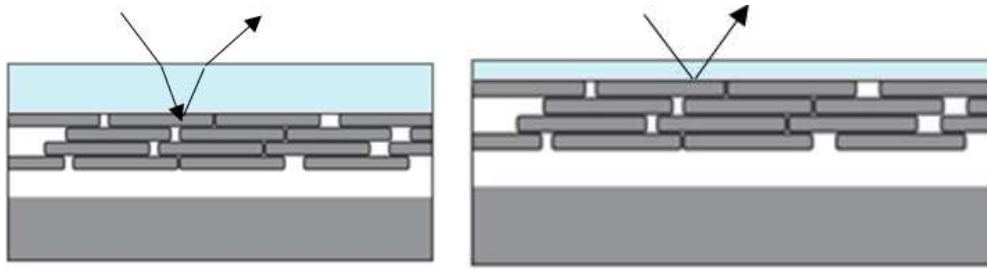


Figura 37-Influência da espessura do revestimento de topo (a azul) na reflexão da luz, adaptado de [61].

Quando o revestimento de topo não é fino o suficiente, dá-se uma refração da radiação incidente e da que é refletida pelo revestimento de alumínio. Como resultado, o ângulo da radiação incidente é diferente da refletida, resultando em reflexão difusa. Pelo contrário, quanto mais fino é o revestimento de topo, menor será a probabilidade de ocorrer difração da radiação incidente.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho tinha como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema de pintura, aplicável à pistola, que permitisse obter um efeito cromado semelhante ao obtido pela metalização em vácuo. Este método apresenta como vantagem a possibilidade de revestimento de peças de grande dimensão e com geometria irregular, utilizando um instrumento acessível e prático.

Para o efeito, estudou-se a influência da cor do fundo de poliéster aplicado num substrato de MDF. Seguidamente, foram aplicados três revestimentos acrílicos de alto brilho, diferindo entre si na cor. Posteriormente, foram estudados os diferentes pigmentos de alumínio presentes em amostras pedidas aos fornecedores. Para tal, foram desenvolvidas formulações para cada pigmento de alumínio. Após a seleção do pigmento mais promissor, ou seja, que promovia melhor o efeito cromado, foi estudada a incorporação de aditivos de orientação do pigmento e a influência da quantidade de fluido emitido pela pistola, no efeito cromado. Seguidamente foi desenvolvido um revestimento de topo de dois componentes, que tinha como objetivo, proteger o revestimento de alumínio, conferir resistência ao risco e dureza. As resinas que permitem a obtenção destas características são as acrílicas e as de isocianato, pelo que, foram selecionadas as resinas existentes em armazém com estas características. Após seleção da formulação do revestimento de topo mais adequado, foi aplicado o sistema de pintura (excluindo-se o fundo poliéster) que promovia o efeito cromado num substrato de ABS.

Para a caracterização dos revestimentos de topo formulados, foi medida a viscosidade, o brilho, a dureza e a resistência ao risco. Foi também realizada uma análise de espectroscopia UV-vis a algumas amostras para análise da refletância e difusão total destas.

Inicialmente, compararam-se as amostras de MDF revestidas com fundo poliéster transparente com as revestidas com o fundo poliéster branco, concluindo-se visualmente que a cor deste revestimento não influencia o efeito cromado. Seguidamente, comparando as amostras revestidas com os revestimentos acrílicos de alto brilho não pigmentado, negro ou branco, verificou-se que a cor deste revestimento influencia o efeito cromado, tanto na sua tonalidade como na sua nitidez. Com esta comparação, concluiu-se visualmente que o revestimento acrílico negro de alto brilho é o que favorece o efeito cromado.

No que respeita à seleção do pigmento de alumínio para promoção do efeito cromado, verificou-se que o pigmento LPG046 é o que melhor cumpre este requisito. Relativamente à adição de ceras orientadoras do pigmento, verificou-se que ambas prejudicavam o efeito cromado, levando à sua exclusão da formulação. Por fim, com o estudo da influência da quantidade de fluido aplicado concluiu-se que quanto menor a quantidade de fluido, mais aprimorado é o efeito cromado, sendo

que, a válvula de ajuste da quantidade de fluido deverá ser rodada em meia volta em relação à posição em que não passa nenhum fluido pelo bico, a posição de 0 voltas.

No que respeita à seleção do revestimento de topo adequado, com base na medição do brilho do revestimento, concluiu-se que a resina de isocianato MPRS022 é a que confere mais brilho e transparência ao revestimento de topo e que, deverá ser misturada com a resina acrílica MPRS088 para obtenção de valores de brilho elevados. O valor do brilho médio registado para esta formulação foi de 157 GU.

Após a realização do teste de dureza e resistência ao risco, concluiu-se que a resina MPRS040 é a que confere mais dureza (mina 4H) e resistência ao risco (mina H) ao revestimento. Contudo, como se considera que o brilho e transparência do revestimento são parâmetros essenciais para o efeito desejado, concluiu-se que as resinas que permitem a melhor conjugação de todos estes parâmetros são a MPRS088 e a MPRS022, obtendo-se uma dureza suficiente, mais especificamente 2H e uma baixa resistência ao risco, mais especificamente B.

Concluiu-se também que a aplicação deste revestimento de topo prejudica o efeito cromado. Desta forma, se a amostra não for revestida com esta formulação, o efeito cromado é elevado, contudo, não é garantida a proteção do revestimento que confere o efeito.

Após a realização destes testes, o sistema de pintura final (excluindo-se o fundo poliéster) foi aplicado num substrato de ABS, verificando-se que o efeito cromado é mais aprimorado neste substrato devido à sua regularidade e lisura.

Por fim, com a realização das análises de espectroscopia de UV-vis, concluiu-se que, na zona do visível, a amostra que apresentava uma refletância total (45–60 %) mais elevada, era a que continha o revestimento acrílico branco de alto brilho. No entanto, a amostra que permitia uma menor difusão da radiação incidida (2,5–3,5 %) é a que continha o revestimento acrílico negro de alto brilho, sendo este parâmetro mais determinante para o efeito cromado.

Como sugestões de trabalho futuro propõe-se a realização de um estudo para minimização do *overspray*, a formulação de um verniz de topo, com maior resistência ao risco, que não prejudique o efeito cromado e de cura UV, e o polimento do revestimento acrílico de alto brilho para a eliminação de pequenas imperfeições.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] Rikor, “A empresa Rikor,” 2016. [Online]. Disponível em: <http://www.rikorcoatings.com/#!/empresa/c3a6>. [Acedido em: 10-Maio-2016].
- [2] J. G. Bralla, “Handbook of Manufacturing Processes,” 1ª ed., J. Carleo, Ed. New York: Industrial Pres.Inc, 2007.
- [3] D. M. Mattox, *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD)*, 1ª ed. Albuquerque, New Mexico: Elsevier (Noyes Publications), 1998.
- [4] D. M. Mattox, *The Foundations of Vacuum Coating Technology*, 1ª ed. Albuquerque, New Mexico: Elsevier (Noyes Publications), 2003.
- [5] P. Cardenas e D. Tung, “Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD),” Maryland, 2007.
- [6] J. T. Menke e U. S. Army, “Products Finishing,” vol. 77, Cincinnati, Ohio, 2006.
- [7] D. Parent, “Sputtered Metal Coatings and UV Coatings,” *Radtech Report*, November/December, 2008.
- [8] Kalcor Coatings Company, “PVD and Vacuum Metallization,” *Kalcor U Topics*, 2016. [Online]. Disponível em: http://www.kalcor.com/_upload/TECHLIBRARY/KALCOR-U TOPICS/KalcorU PVD and Metalization.pdf. [Acedido em: 12-Fev-2016].
- [9] Acree Technologies Incorporated, “Cathodic Arc Deposition,” 2013. [Online]. Disponível em: <http://www.acreetech.com/index.php/pvd-technology/cathodic-arc-deposition>. [Acedido em: 20-Fev-2016].
- [10] Mueller Corporation, “Custom Vacuum Chrome Plastics and Custom Painting,” 2011. [Online]. Disponível em: <http://www.muellercorp.com/chrome.php>. [Acedido em: 10-Fev-2016].
- [11] KJ Springs and Plastics Technology Inc., “Machines & Equipments - Vacuum Metallizing,” 2016. [Online]. Disponível em: <http://www.kjspti.com/machines/vacuum-metallizing/>. [Acedido em: 11-Fev-2016].
- [12] C. Lampert, “Vacuum Deposition and Coating Options,” *Products Finishing*, 2013. [Online]. Disponível em: <http://www.pfonline.com/articles/vacuum-deposition-and-coating-options>. [Acedido em: 15-Fev-2016].

- [13] T. E. Jason, W. Eileen, A. Phil, W. Kristy, e M. Chris, “Functional and Design Opportunities Using Physical Vapor Deposition and UV-Curable Coatings,” *Red Spot Paint and Varnish Company*, 2016. [Online]. Disponível em: <http://goo.gl/2atIRi>. [Acedido em: 12-Fev-2016].
- [14] Red Spot Paint & Varnish Company Inc., “PVD Products,” 2015. [Online]. Disponível em: <http://www.redspot.com/products/pvd.html>. [Acedido em: 12-Fev-2016].
- [15] VTI Vacuum Technologies Inc, “FAQ,” 2016. [Online]. Disponível em: <http://www.vactecinc.com/about-us/faqs/>. [Acedido em: 10-Fev-2016].
- [16] Kolzer S.r.l., “How it’s Made: Metallized Led Lights.” [Online]. Disponível em: <http://www.kolzer.com/metallization>. [Acedido em: 31-Mar-2016].
- [17] I. Rayvac Plastic Decorators, “Vacuum Metallizing.” [Online]. Disponível em: <http://www.rayvac.com/process.htm>. [Acedido em: 23-Fev-2016].
- [18] V. Mendes, “Desenvolvimento de revestimentos poliméricos funcionais curáveis por radiação UV,” Tese de Mestrado, Universidade do Porto, Porto, 2010.
- [19] Air Liquide Portugal, “Cura ultravioleta ou por Feixe de Electrões,” 2015. [Online]. Disponível em: <http://goo.gl/DxKD3g>. [Acedido em: 19-Abr-2016].
- [20] Science Learning Hub, “Reflection of Light,” *University of Waikato*, 2012. [Online]. Disponível em: <http://sciencelearn.org.nz/Contexts/Light-and-Sight/Science-Ideas-and-Concepts/Reflection-of-light>. [Acedido em: 25-Fev-2016].
- [21] B. Robert, “Pigments, Inorganic,” em *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 7ª ed., Wiley-VCH, Ed. Furth, Germany, 2005, pp. 125–127.
- [22] Schlenk Metallic Pigments GMBH, “World of metallics - Aluminium & Goldbronze pigments.” Catálogo de Schlenk Metallic Pigments GMBH, Roth, Germany.
- [23] P. Wißling, “Coatings systems and Their Applications,” em *Metallic effect pigments : fundamentals and applications*, E. C. Tech Files, Ed. Hannover, Germany: Vicentz Network, 2006, pp. 80–84.
- [24] Zhangqiu Metallic Pigment Co., “Bright Future for VMPs.” [Online]. Disponível em: <http://alupaste.com/profile/bright-future-for-vmps.html/128058/0>. [Acedido em: 21-Abr-2016].
- [25] Silberline, “Metallic effects in powder coatings,” 2009. [Online]. Disponível em: http://www.silberline.com/uploadedFiles/General_Industrial_Coatings/Powder_Coatings/P

- OWDER COATING BINDER COMPLETE FEB 2009.pdf. [Acedido em: 23-Fev-2016].
- [26] Sun Chemical Corporation, “Metallic Effects for Coatings.” [Online]. Disponível em: http://www.benda-lutz.com/sites/default/files/documents/Benda-Lutz_Paints_and_Coatings_Brochure.pdf. [Acedido em: 23-Fev-2016].
- [27] H.-G. Elias, “Plastics, General Survey,” em *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, Ed. United States, 2012.
- [28] D. V. Rosato, D. V. Rosato, e M. V. Rosato, *Plastic Product Material and Process Selection Handbook*. Elsevier Science & Technology, 2004.
- [29] V. Goodship, “Injection Molding of Thermoplastics,” e *Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality*, Elsevier Inc., 2011.
- [30] G. Burkhardt, U. Husgen, M. Kalwa, G. Potsch, e C. Schwenzer, “Plastics, Processing,” em *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 7ª ed., Wiley-VCH, Ed. Germany, 2012.
- [31] Gurit, “The Simple Guide to Epoxies,” 2002.
- [32] J. C. F. Walker, *Primary wood processing*, 2ª ed., vol. 53, nº 9. Dordrecht: Springer, 2006.
- [33] Food and agriculture Organization of the United Nations, “Forest Products Statistics,” *Nature*, Dez. 2010.
- [34] Woodforce, “Making woodforce,” 2012. [Online]. Disponível em: <http://www.woodforce.com/about/making-woodforce>. [Acedido em: 21-Jun-2016].
- [35] B. Berge, “Summary for Policymakers,” em *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*, 2ª ed., vol. 53, nº 9, Intergovernmental Panel on Climate Change, Ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009, pp. 1–30.
- [36] T. M. Maloney, “The family of wood composite materials,” *For. Prod. J.*, vol. 46, nº 2, pp. 19–26, 1996.
- [37] Forest Service US Dept. of Agriculture, *Wood Handbook*. Madison: Forest Products Research, 2010.
- [38] T. M. Douglas, A. Jones, e R. Lutes, “The art of woodworking,” *Encyclopedia of wood*. Time Life Books, p. 77, 1993.
- [39] B. Rivela, M. T. Moreira, e G. Feijoo, “Life cycle inventory of medium density fibreboard,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 12, nº 3, pp. 143–150, 2006.

- [40] European Panel Federation, “Manufacturing of MDF.” [Online]. Disponível em: <http://www.mdf-info.eu/general/manufacturing-of-mdf>. [Acedido em: 21-Jun-2016].
- [41] International Organization for Standardization, “ISO 4618:2014: Paints and varnishes — Terms and definitions,” 15 de outubro, 2014.
- [42] J. Karger-Kocsis, *Paints, coatings and solvents*, 2ª ed., vol. 51, nº 4. Wiley-VCH, 1998.
- [43] painterforum, “What is Paint,” 2010. [Online]. Disponível em: <http://painterforum.com/paintexplained.html>. [Acedido em: 27-Abr-2016].
- [44] Associação Portuguesa de Tintas, “Produtos.” [Online]. Disponível em: <http://www.aptintas.pt>. [Acedido em: 26-Abr-2016].
- [45] M. Vijay e C. J. Patel, *Understanding Coatings Raw Materials*. Hanover: Vincentz Network GmbH & Co. KG, 2015.
- [46] University of York, “The essencial chemical industry online - Polyesters,” *Department of Chemistry*, 2013. [Online]. Disponível em: <http://www.essentialchemicalindustry.org/polymers/polyesters.html>. [Acedido em: 22-Nov-2016].
- [47] N. Adam, G. Avar, H. Blankenheim, W. Friederichs, M. Giersig, E. Weigand, M. Halfmann, F.-W. Wittbecker, D.-R. Larimer, U. Maier, S. Meyer-Ahrens, K.-L. Noble, e H.-G. Wussow, “Polyurethanes,” em *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005.
- [48] University of York, “The essencial chemical industry online - Polyurethanes,” *Department of Chemistry*, 2013. [Online]. Disponível em: <http://www.essentialchemicalindustry.org/polyurethanes.html>. [Acedido em: 22-Nov-2016].
- [49] U.S. Army Corps of Engineers, *Painting : New Construction and Maintenance*. Washington, DC 20314-1000, 1995.
- [50] Tintas Dyrup, “Glossário.” [Online]. Disponível em: <http://www.dyrup.pt/glossario.aspx>. [Acedido em: 26-Abr-2016].
- [51] F. R. da R. e Sousa, “Estudo do Envernizamento de Madeiras Exóticas com Vernizes Aquosos,” Tese de Mestrado, Universidade do Porto, 2008.
- [52] T. Andrade, “Uniformização da camada aplicada de verniz e esmalte na folha-de-flandres,” Tese de Mestrado, Universidade do Porto, 2015.

- [53] P. M. Alua, “Optimização da opacidade de tintas aquosas,” Dissertação, Universidade Técnica de Lisboa, 2012.
- [54] Grupo Lusoverniz, “Método de ensaio - Determinação da viscosidade.” 2010.
- [55] Grupo Lusoverniz, “Método de ensaio - Determinação do brilho.” 2010.
- [56] Grupo Lusoverniz, “Método de ensaio - Determinação da dureza do filme mediante a passagem de lápis.” 2010.
- [57] J. Zeno W. Wicks, F. N. Jones, S. P. Pappas, e D. A. Wicks, *Organic coatings science and technology*, 3ª ed., vol. 13, nº 1. Hoboken e Canadá: John Wiley & Sons, 2007.
- [58] F. P. F. M. Marques, “Tecnologias de aplicação de pinturas e patologias em paredes de alvenaria e elementos de betão,” Dissertação, Instituto superior técnico de Lisboa, 2013.
- [59] BYK-chemie GmbH, “AQUACER ® 526 - Wax Emulsion for the Orientation of Effect Pigments in Water-Based Paint Systems,” 2004.
- [60] G. Pfaff, P. Gabel, M. Kieser, F. J. Maile, e W. Joachim, “Special effect pigments in plastics,” em *Special Effect Pigments: Technical Basics and Applications*, Hannover: Vincentz Network GmbH & Co KG, 2008.
- [61] BASF, “Apresentação dos pigmentos, LPG026, LPG031, LPG032, LPG033 e LPG025.” 2015.
- [62] Sigma-Aldrich, “4,4'-Methylenebis(cyclohexyl isocyanate), mixture of isomers,” 2016. [Online]. Disponível em: <http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/388386?lang=pt®ion=PT>. [Acedido em: 24-Out-2016].
- [63] Galstaff multiresine, “MPRS040.” Ficha técnica, 2005.
- [64] R. Talbert, *Paint technology handbook*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2007.
- [65] SAPICI, “SAPICI Product range,” 2015.
- [66] Allnex, “MPRS102.” Ficha técnica, 2013.
- [67] nuplex, “MPRS088.” Ficha técnica, 2012.
- [68] B. A. & Instruments, “MPAD062.” Ficha técnica, 2012.
- [69] BYK Additives & Instruments, “MPAD102.” Ficha técnica, 2012.

- [70] BYK Additives & Instruments, “MPAD149.” Ficha técnica, 2012.
- [71] BYK Additives & Instruments, “LAD115.” Ficha técnica, 2012.
- [72] BYK Additives & Instruments, “LAD069.” Ficha técnica, 2012.

7 ANEXO A

7.1 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DAS MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS

7.1.1.1 PIGMENTOS DE ALUMÍNIO

Tabela A.1-Teor de não voláteis (NV), valor de d50 e solvente dos pigmentos de alumínio existentes em amostras pedidas aos fornecedores [22], [61].

Referência	NV (%)	d50 (µm)	Solvente
MPPG233	10,0 ± 0,5	12 – 15	Acetato de metoxipropilo
LPG046	10,0 ± 0,5	11 – 14	Acetato de metoxipropilo
LPG026	10	8 – 12	Acetato de etilo / Acetato de isopropilo (1:1)
LPG031	10	8,5 – 11,5	Acetato de etilo / Acetato de isopropilo (1:1)
LPG032	10	8,5 – 11,5	Acetato de metoxipropilo
LPG033	10	11 – 13	Acetato de etilo / Acetato de isopropilo (1:1)
LPG025	10	11,5 – 14,5	Acetato de etilo / Acetato de isopropilo (1:1)

Tabela A.2-Principais características dos pigmentos de alumínio [22], [61].

Referência	Aparência metálica	Principais características
MPPG233	Relativamente branca e brilhante	Utilizado principalmente em revestimentos na indústria automóvel, de plásticos, revestimentos refletivos e decorativos. Bom poder de cobertura, confere um bom efeito de superfície lisa e de coloração
LPG046	Escura, efeito cromado	Utilizado principalmente em revestimentos na indústria automóvel, de plásticos, revestimentos refletivos e decorativos. Elevado poder de cobertura, confere um bom efeito de superfície lisa e de coloração
LPG026	Ultra escura, efeito cromado	Elevado poder de cobertura, elevado brilho Utilizado em revestimentos na indústria e na indústria automóvel

LPG031	Escura, efeito cromado	Elevado poder de cobertura, elevado brilho Utilizado em revestimentos e imprimação, na indústria e na indústria automóvel
LPG032	Escura, efeito cromado	Elevado poder de cobertura, elevado brilho Utilizado em revestimentos e imprimação, na indústria e na indústria automóvel
LPG033	Relativamente prata	Elevado poder de cobertura, elevado brilho Utilizado em revestimentos e imprimação, na indústria e na indústria automóvel
LPG025	Branca	Confere uma tonalidade mais "limpa" em combinação com corantes Utilizado em revestimentos e imprimação, na indústria e na indústria automóvel

7.1.1.2 RESINAS DE ISOCIANATO

Tabela A.3-Teor de não voláteis (NV), solventes presentes, tipo de isocianato, quantidade de monómero, de NCO, viscosidade e cor de Gardner máxima das resinas de isocianato existentes em armazém [65].

Referência	NV (%)	Solvente	Tipo de isocianato	Quantidade de monómero (%)	NCO (%)	Viscosidade (mPa.s)	Cor de Gardner máxima
MPRS016	75 ± 2	Acetato de etilo	TDI	<0,5	13,0 ± 0,5	2100 ± 900 @ 23°C	1
MPRS017	48 – 52	Acetato de butilo	TDI	<0,5	7,8 – 8,2	700 – 1200 @ 23°C	1
MPRS022	75 ± 2	MPA/Xileno (1:1)	HDI	<0,5	16,5 ± 0,5	150 – 310 @ 20°C	1
MPRS040	60	Acetato de butilo	TDI + HDI	<0,5	10,2 – 10,8	225 – 320 @ 25°C	1
MPRS087	50	Acetato de butilo	TDI	<0,7	7,0 – 7,4	50 – 300 @ 23°C	1

Tabela A.4-Principais características das resinas de isocianato [65].

Referência	Principais características
MPRS016	Recomendado para sistemas de poliuretano 2K; Utilizado para revestimentos transparentes ou pigmentados com elevado brilho; Promove uma secagem rápida, dureza da superfície e durabilidade

MPRS017	Secagem rápida e amarelecimento limitado Recomendado para revestimentos de poliuretano e mate.
MPRS022	Não amarelece; Boa flexibilidade, estável na presença de luz e ótima resistência mecânica e química. Recomendado para revestimentos acrílicos e poliésteres saturados.
MPRS040	Não amarelece; Utilizado para revestimentos transparentes ou pigmentados mate; Boa resistência à luz, elevada reatividade e resistência mecânica Recomendado para revestimentos de poliuretano.
MPRS087	Compatível com resinas acrílicas e vinílicas; Boa flexibilidade, elevada dureza e amarelecimento limitado.

7.1.1.3 RESINAS ACRÍLICAS

Tabela A.5-Teor de não voláteis (NV), solvente presentes, tipo de resina, teor de -OH, viscosidade e cor de Hazen das resinas acrílicas existentes em armazém [66], [67].

Referência	NV (%)	Solvente	Tipo de resina	-OH (%)	Viscosidade (mPa.s)	Cor de Hazen	Densidade (g/mL)
MPRS088	70 ± 1	Acetato de butilo	Acrílica	2,8 – 3,1	3500 ± 700 @ 23°C	≤ 50	1,03 @ 20°C
MPRS102	70	Acetato de butilo	Acrílica	4,5	7000 – 11000 @ 23°C	≤ 70	1,05 @ 20°C

Tabela A.6-Principais características das resinas acrílicas [66], [67].

Referência	Principais características
MPRS088	Recomendada para revestimentos poliuretano 2K transparentes ou pigmentados, Confere brilho, resistência química e durabilidade; Secagem rápida, estabilidade à luz e apresenta resistência ao risco.
MPRS102	Para secagem ao ar ou forçada;

Recomendada para revestimentos poliuretano 2K com elevado teor de sólidos
Confere brilho, estabilidade à luz, resistência química e durabilidade;

7.1.1.4 ADITIVOS

Tabela A.7-Teor de não voláteis (NV), solventes presentes e densidade dos aditivos existentes em armazém [68]–[70].

Referência	NV (%)	Solvente	Densidade (g/mL)
MPAD102	100	-	1,04 @ 20°C
MPAD149	3,2	Alquilbenzenos/isobutanol (11:2)	0,87 @ 20°C
MPAD062	3,3	Mistura de hidrocarbonetos (parafinas, naftas)	0,75 @ 20°C
MPAD060	100	-	1,00 @ 20°C

Tabela A.8-Principais características dos aditivos [68]–[70].

Referência	Principais características
MPAD102	Aditivo de superfície, para sistemas aquosos ou de solvente assim como para adesivos ou sistemas de resinas. Reduz fortemente a tensão superficial.
MPAD149	Agente anti-espuma, para sistemas aquosos ou de solvente assim como para sistemas de poliuretano. Especialmente recomendado para revestimentos arquiteturais, para automóveis e de madeira/mobiliário.
MPAD062	Agente anti-espuma, para sistemas aquosos ou de solvente, assim como adesivos e selantes. Especialmente recomendado para revestimentos arquiteturais, para automóveis, de madeira/mobiliário ou de latas.
MPAD060	Atua como desidratante, reagindo com a água presente na mistura, formando um componente inerte. Elimina os efeitos adversos que a humidade causa em revestimentos de poliuretano.

Tabela A.9-Teor de não voláteis (NV), composição da mistura, solventes presentes na mistura e viscosidade das ceras [71], [72].

Referência	NV (%)	Composição	Solvente	Viscosidade (mPa.s)
LAD115	6	Dispersão de cera de co-polímero de poli(acetato de vinilo-co-etileno) (EVA)	Xilol/Acetato de butilo/n-butanol (7:8:1)	10
LAD069	4,7	Dispersão de cera de co-polímero de poli(acetato de vinilo-co-etileno) (EVA)	Alquilbenzenos/isobutanol (11:2)	16

Tabela A.10-Principais características das ceras [71], [72].

Referência	Principais características
LAD115	Melhora a orientação de pigmentos de efeito, melhora o nivelamento do acabamento e diminui a sedimentação no recipiente.
LAD069	Melhora a orientação de pigmentos de efeito, melhora o nivelamento do acabamento e diminui a sedimentação no recipiente e em tubos de circulação.

7.1.1.1 OUTROS QUÍMICOS

Tabela A.11-Teor de não voláteis (NV) e solventes presentes nos outros químicos existentes em armazém.

Referência	NV (%)	Solvente
MPOQ013	10	Acetato de etilo

Tabela A.12-Principais características de outros químicos.

Referência	Principais características
MPOQ013	Utilizado para acelerar a reação entre grupos hidroxilo e isocianato, em revestimentos de poliuretano 2K

7.2 RESULTADOS DOS TESTES/ESTUDOS REALIZADOS

7.2.1 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DA FORMULAÇÃO DE ALUMÍNIO APLICADA

Tabela A.13-Número de voltas da válvula de ajuste e pressão do ar da pistola aerográfica para cada amostra e, dimensões características das placas revestidas.

Amostra	Voltas	Par (bar)	Comprimento da placa (cm)	Altura da placa (cm)	Área da placa (cm ²)
A_1	1	3	20	9,5	190
A_2	2	3	20	10	200
A_2,5	2,5	3	20	10	200
A_1,5	1,5	3	20	9,8	196
A_0,5	0,5	3	20	9,9	198

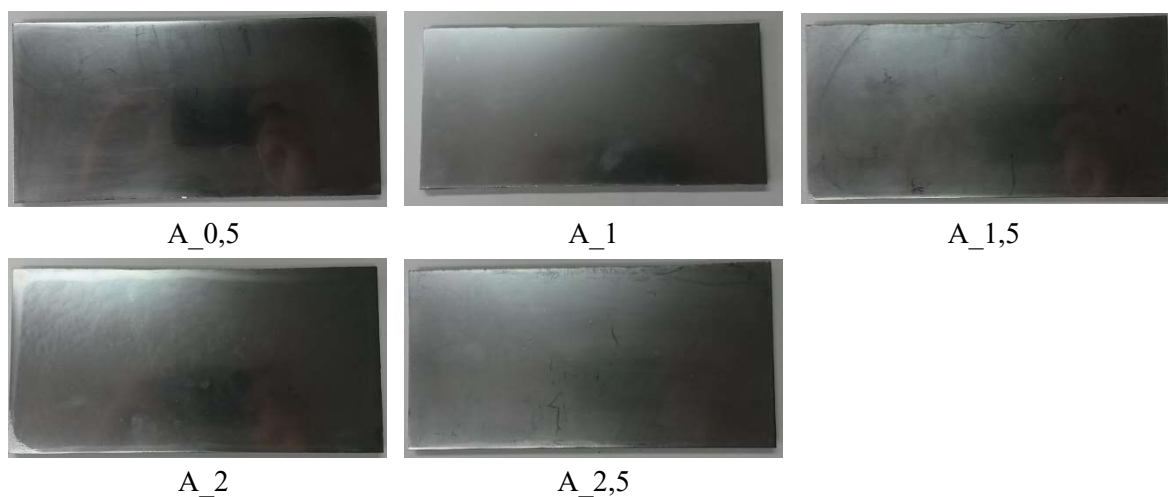


Figura A.1-Amostras A_i em que foi variada a quantidade da formulação de alumínio aplicada.

7.2.2 ANÁLISE DA INCORPORAÇÃO DE ADITIVOS



Figura A.2-Amostras A_{Ci} em que foram testados dois tipos de ceras.

7.2.3 MEDIÇÃO DA VISCOSIDADE EM COPO DIN 4

Tabela A.14-Resultados da medição de viscosidade para cada formulação.

Formulação	TCA1_2	TCA2_2	TCA3_2	TCA4_2
Tempo de escoamento (min:seg:centiseg)	00:25:59	00:29:23	00:23:34	00:24:47
Tempo de escoamento (min:seg:centiseg)	00:25:44	00:29:13	00:23:06	00:24:00
Tempo de escoamento (min:seg:centiseg)	00:25:56	00:28:47	00:23:03	00:23:53
Média tempos de escoamento (min:seg:centiseg)	00:25:53	00:29:08	00:23:14	00:24:13
Erro (min:seg:centiseg)	00:00:01	00:00:01	00:00:01	00:00:01
T de escoamento (°C)	20,3	20,2	20,2	20,6

7.2.4 MEDIÇÃO DO BRILHO DOS REVESTIMENTOS DE TOPO

Tabela A.15-Resultados da medição de brilho a 20°.

Amostra	Aspeto	Média do brilho (GU)	σ	Erro
A_TCA1_2	Transparente	141	3,1	0,74
A_TCA2_2	Baço/Leitoso	35,3	1,6	0,87
A_TCA3_2	Transparente	157	1,3	0,74
A_TCA4_2	Baço/Leitoso	14	0,3	0,87

7.2.5 TESTES DE DUREZA E RESISTÊNCIA AO RISCO CONSOANTE A PASSAGEM DE LÁPIS

A_TCA1_2

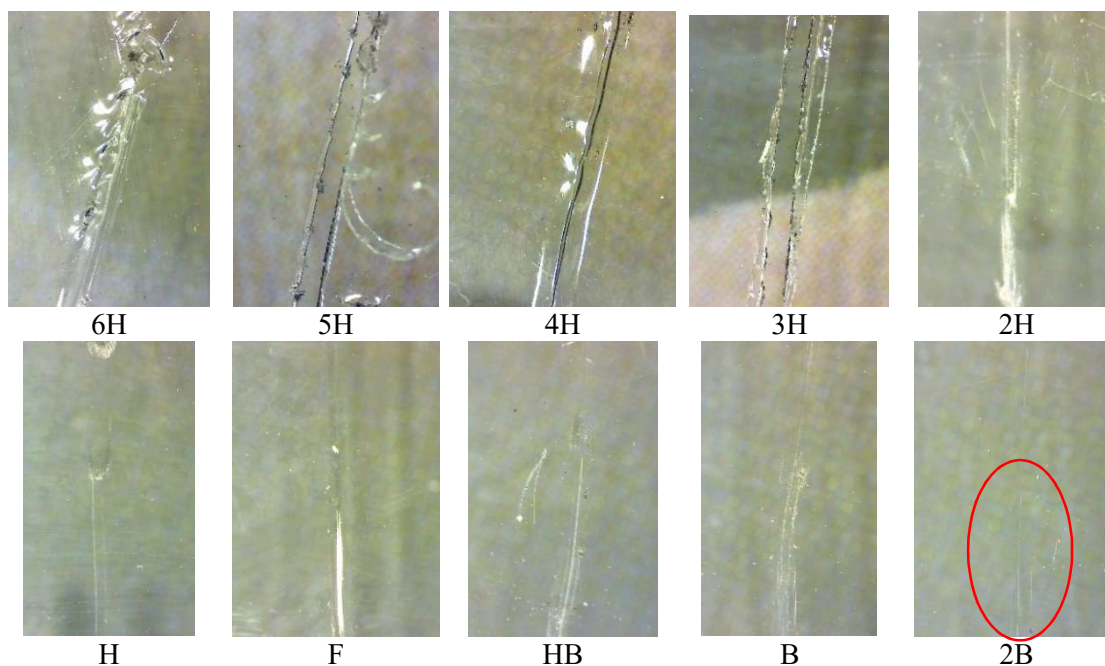


Figura A.3-Resultados do teste de dureza e resistência ao risco para A_TCA1_2 utilizando uma ampliação de 75x.

A_TCA2_2

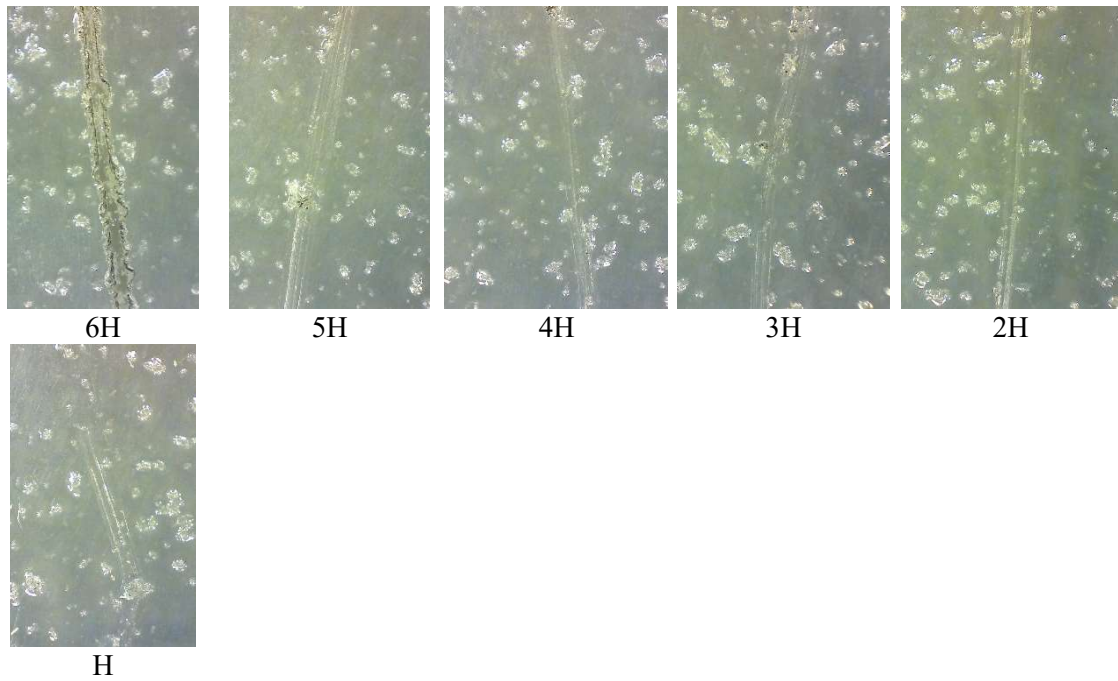


Figura A.4-Resultados do teste de dureza e resistência ao risco para A_TCA2_2 utilizando uma ampliação de 75x.

A_TCA3_2

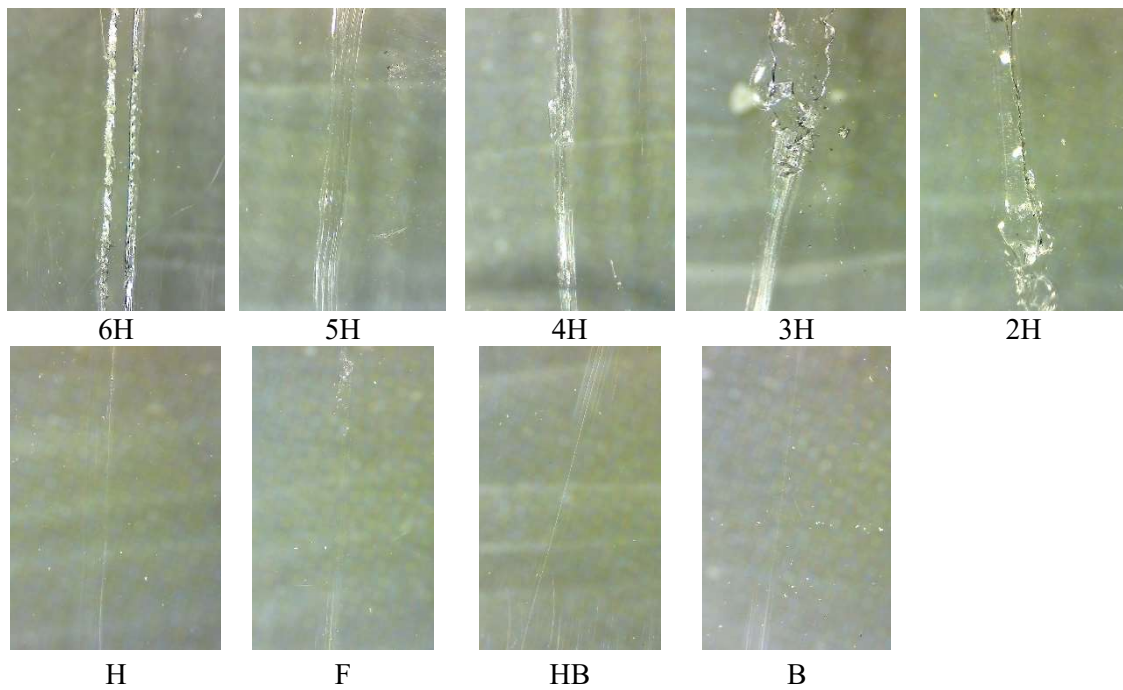


Figura A.5-Resultados do teste de dureza e resistência ao risco para A_TCA3_2 utilizando uma ampliação de 75x.

A_TCA4_2

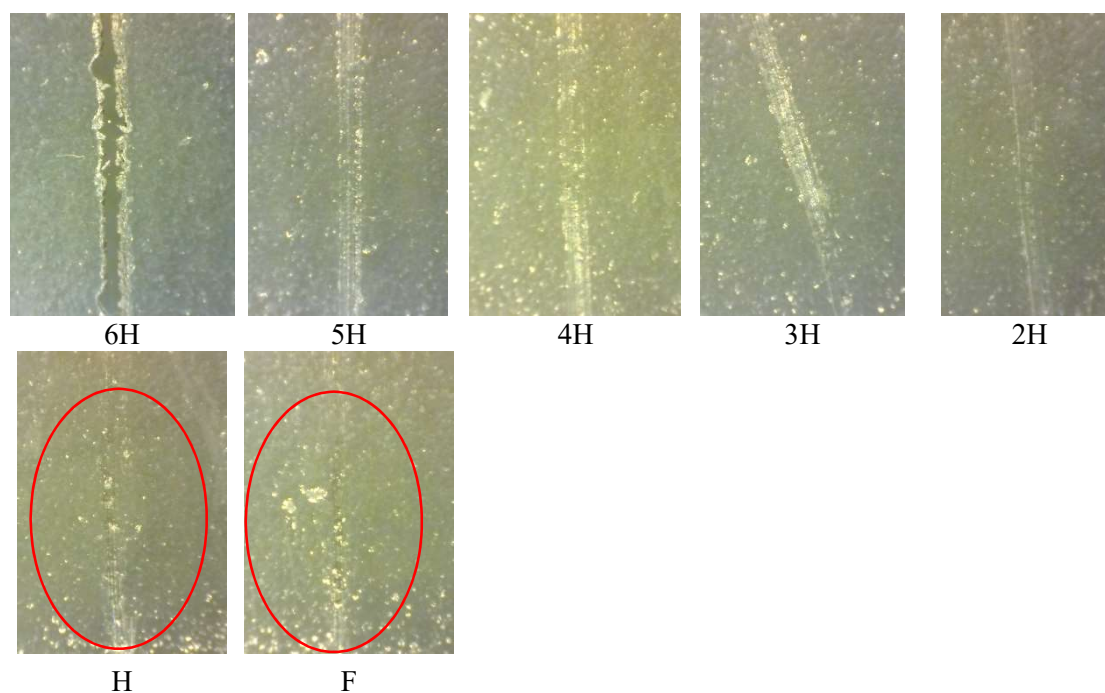


Figura A.6-Resultados do teste de dureza e resistência ao risco para A_TCA4_2 utilizando uma ampliação de 75x.

7.3 CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO

7.3.1 AMOSTRAS DE MDF

Tabela A.16-Condições de aplicação do fundo poliéster e posterior revestimentos acrílico de alto brilho.

Formulação	T (°C)	HR (%)
RWFPU1000(1ª demão)	30,6	4,7
RWFPU1000(2ª demão)	29,9	4,9
RWVAC1065	24,0	4,9
RWVAC1066	24,0	4,9
RWVAC1067	24,0	4,9
RWFPU2000(1ª demão)	30,6	4,7
RWFPU2000(2ª demão)	29,9	4,9

Tabela A.17-Condições das formulações Pi nas amostras.

Formulação	T (°C)	HR (%)
P1	21,4	6,1
P2	22,5	5,8
P3	22,5	5,8
P4	22,5	5,8
P5	20,8	6,1
P6	20,8	6,1
P7	20,8	6,1

Tabela A.18-Condições de aplicação de P2 nas amostras em que se variou a quantidade de P2 aplicado.

Amostra	T (°C)	HR (%)
A_0,5	24,4	3,5
A_1	23,2	6,4
A_1,5	25,9	5,2
A_2	25,3	6,2
A_2,5	25,4	5,3

Tabela A.19-Condições de aplicação das formulações C1 e C2 nas amostras.

Formulação	T (°C)	HR (%)
C1	23,9	5,1
C2	23,9	5,1

7.3.2 AMOSTRAS DE VIDRO

Tabela A.20-Condições de aplicação das formulações TCAi_2 nas amostras de vidro e de MDF.

Formulação	T (°C)	HR (%)
TCA1_2	25,0	4,5
TCA2_2	26,1	3,9
TCA3_2	25,0	4,5
TCA4_2	26,1	3,9

7.3.3 AMOSTRAS DE ABS

Tabela A.21-Condições de aplicação de P2 na amostra de ABS.

Formulação	T (°C)	HR (%)
P2	24,1	4,3

Tabela A.22-Condições de aplicação de TCA3_2 na amostra de ABS.

Formulação	T (°C)	HR (%)
TCA3_2	24,4	4,2