

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Estudo e optimização do acabamento de orlas em tampos de mesas escolares

Tese de Mestrado

de

João Soares Guedes

Desenvolvida no âmbito da disciplina de Dissertação

NAUTILUS
INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MOBILIÁRIO, S.A.

Orientador na FEUP: Doutor Fernão de Magalhães

Doutora Luísa Carvalho

Mestre Jorge Martins

Orientador na empresa: Eng^o. Vitor Barbosa



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Departamento de Engenharia Química

Fevereiro de 2011

Agradecimentos

Gostaria de agradecer inicialmente a todas as pessoas e entidades, que contribuíram directa ou indirectamente para o desenrolar deste trabalho.

Agradeço em primeiro lugar aos meus orientadores Doutor Fernão de Magalhães, Mestre Jorge Martins e Doutora Luísa Carvalho pela disponibilidade e apoio durante a realização da tese de dissertação.

Ao Eng.º António Moutinho da Emplás, pela disponibilidade e ajuda prestada nos ensaios da chapa protectora e cura UV.

À Doutora Cristina Coelho, do Departamento de Engenharia das Madeiras da Escola Superior de Tecnologia de Viseu, pela sua disponibilidade na prestação dos seus conhecimentos.

Ao Eng.º Ivo Costa do INEGI pela ajuda prestada na realização dos ensaios de molhabilidade.

À minha família pelo apoio e espírito de sacrifício, pois sem eles isto não seria possível.

Resumo

O processo de fabrico de um produto de madeira compreende várias etapas, e tem o seu término com uma fase de acabamento final, que normalmente consiste na aplicação de um revestimento protector e decorativo na superfície do material. Esse revestimento pode ser uma tinta ou verniz, e tem como função proteger a madeira de agressões físicas ou químicas, mantendo ao mesmo tempo uma boa aparência.

Na indústria do mobiliário, esta é uma etapa fundamental pois um bom acabamento pode definir a qualidade de um produto. Na Nautilus - Indústria e Comércio de Mobiliário S.A., o acabamento dos tampos de mesas escolares é feito através do envernizamento da orla de madeira de faia. Esta operação é realizada através do empilhamento dos tampos por pulverização à pistola o que resulta no aparecimento de resíduos de verniz no laminado. O objectivo do trabalho é estudar as seguintes alternativas de envernizamento da orla de madeira: uso de verniz de poliuretano de dois componentes, através da sua aplicação em separado, uso de verniz de cura UV, uso de chapa protectora entre os tampos, e aplicação por pistola electrostática.

Para caracterizar a superfície da madeira acabada, considerando as várias alternativas testadas, foram analisadas as seguintes características: dureza, rugosidade, brilho, molhabilidade e resistência a líquidos frios.

O estudo das diversas alternativas para o verniz de poliuretano, leva-nos a concluir que o uso de um dos componentes (resina), pode ser uma alternativa para o envernizamento das orlas, pois apresenta características semelhantes à mistura do mesmo verniz, sendo mais fácil a sua remoção e limpeza do laminado. O uso de uma chapa protectora entre os tampos durante a fase de envernizamento, também se revela como uma alternativa credível na solução do problema do verniz no laminado, uma vez que a chapa funciona como uma barreira que impede o verniz de penetrar para o laminado. A aplicação de um verniz de cura UV leva à obtenção de um bom acabamento com elevada dureza e baixa rugosidade, mas é necessário um sistema de iluminação UV personalizado para a sua aplicação às orlas dos tampos de mesa escolares.

Palavras Chave: acabamentos de madeira, envernizamento, verniz poliuretano, chapa protectora, caracterização da superfície, cura UV

Abstract

The manufacturing process of a wood product involves a numerous of steps, being the finishing the last of those steps. The finishing step consists of the application of a protective coating on the surface of the material. That coating can be a paint or a varnish, which function is to protect wood from physical and chemical aggressions, keeping at the same time a good appearance.

In the furniture industry, the finishing step is very important because it can define the final quality of a product. On Nautilus - Indústria e Comércio de Mobiliário S.A., the finishing step of school's tabletop is done by the varnishing of the borders of beech wood. This operation is done after stacking the tabletops, by gun pulverization and that results on the appearance of varnish residues on the laminated faces of the tabletops. The objective of the present work is to test alternative methods of varnishing such as: use of a 2 compound polyurethane varnish, where the 2 components are applied separately one on the top of the other, use of a protective metal sheet between each tabletop, use of a curing UV varnish and the application by electrostatic spray gun.

The characterization of the finished surface was made by determining the following characteristics: hardness, specular gloss, surface rugosity, wettability and resistance to cold liquids.

The study of the alternatives for the polyurethane varnish, takes us to conclude that the use of only one of the components (resin), can be a good alternative for the varnishing, because it has similar characteristics to when we mix the two components of the varnish, and the removal of the laminate faces is easier. The use of a metal sheet between the tabletop also presents itself as a good solution, because the sheet works as a barrier, preventing that the varnish breaks to the laminate. Using a UV curing varnish we obtain a good finishing with high hardness and low rugosity. Introducing this alternative industrially requires a custom UV lamp system.

Key Words: wood finishing, varnishing, polyurethane varnish, protective metal sheet, surface characterization, UV curing.

Índice

Índice	5
Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	8
1 Introdução	9
1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto.....	9
1.2 Contributos do Trabalho.....	10
1.3 Organização da Tese	10
2 Estado da Arte.....	13
2.1 Acabamento	13
2.2 Madeira	13
2.3 Verniz	14
2.4 Verniz de Poliuretano.....	15
2.5 Revestimento de Cura UV	15
2.6 Pintura electrostática.....	18
2.7 Avaliação da qualidade de uma superfície acabada.....	18
2.7.1 Dureza lápis.....	18
2.7.2 Rugosidade	19
2.7.3 Brilho especular	20
2.7.4 Molhabilidade.....	21
3 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados	25
3.1 Dureza lápis	25
3.2 Rugosidade	27
3.3 Brilho especular	29
3.4 Molhabilidade	30

3.5	Resistência a líquidos frios	32
3.6	Lavagem do laminado	34
3.7	Tempo de Limpeza	34
3.8	Uso de chapa protectora	35
3.9	Verniz de cura UV	35
4	Conclusões	37
5	Avaliação do trabalho realizado	39
5.1	Objectivos Realizados	39
5.2	Outros Trabalhos Realizados	39
5.3	Limitações e Trabalho Futuro	39
5.4	Apreciação final	39
Anexo 1	- Especificações técnicas dos vernizes	43

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Esquema do Processo de Fabrico.....	10
Figura 2.1 - Reacção de formação do poliuretano (PU)	15
Figura 2.2 - Escala de dureza.....	19
Figura 2.3 - Rugosidade média aritmética.....	19
Figura 2.4 - Rugosidade parcial Z_i , para determinar R_z	20
Figura 2.5 - Modelo de Young	21
Figura 2.6 - Fénomenos presentes na molhabilidade de superfícies de madeira	22
Figura 2.7 - Aspecto de gotas com diferentes ângulos de contacto	23
Figura 3.1 - Teste da dureza lápis	26
Figura 3.2 - Resultados da dureza lápis.....	27
Figura 3.3 - Medição da rugosidade	28
Figura 3.4 - Rugosidade média aritmética (R_a).....	28
Figura 3.5 - Média das alturas máximas (R_z).....	29
Figura 3.6 - Medição do brilho especular	29
Figura 3.7 - Brilho Especular	30
Figura 3.8 - Medidor de ângulos de contacto OCA 20 da Dataphysics e interface gráfica.	31
Figura 3.9 - Ângulos de contacto para o verniz A	31
Figura 3.10 - Ângulos de contacto para o verniz B	32
Figura 3.11 - Uso de chapa protectora.....	35
Figura 3.12 - Amostra de tampo com orla acabada com verniz de cura UV	36

Lista de Tabelas

Tabela 2-1 - Exemplos de fotoiniciadores	17
Tabela 3-1 - Resistência à água	33
Tabela 3-2 - Resistência à lixívia.....	33
Tabela 3-3 - Tempo de limpeza	34

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projecto

A etapa de acabamento de um produto de madeira tem como objectivo, realçar as características de um material, estando directamente ligada à qualidade final do produto.

A Nautilus - Indústria e Comércio de Mobiliário S.A., sendo uma empresa inovadora através do design e da qualidade dos seus produtos, em particular o mobiliário escolar, procurou uma parceria com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, com vista ao estudo e optimização da etapa de acabamento de orlas em tampos de mesas escolares, mais concretamente a etapa de envernizamento.

O processo de produção dos tampos de mesas escolares compreende um conjunto de etapas distintas, que serão descritas seguidamente (ver Figura 1.1). Tudo começa com um placa de aglomerado de madeira com 2 cm de espessura, a qual é cortada em 1,5x1m. O passo seguinte é orlar (colagem de uma tira de madeira de faia nos quatro cantos do aglomerado). Seguidamente o tampo segue para a prensa, onde se procede à colagem de um termolaminado na face superior e inferior do tampo. A etapa seguinte é conferir à orla de madeira a sua forma semi-circular através da passagem do tampo na frezadora copiadora vertical, à qual se segue uma lixagem prévia numa lixadora de perfis e a partir da qual os tampos se encontram prontos a ser envernizados. O envernizamento acaba por ser a etapa mais importante do processo de fabrico, e este é feito após o empilhamento de dezenas de tampos, em que se começa por aplicar à pistola um tapa-poros de poliuretano ao qual se segue uma lixagem manual das orlas de madeira dos tampos, finalizando com a aplicação de um verniz de poliuretano. Este método de envernizamento acaba por resultar no aparecimento de resíduos de verniz no termolaminado, uma vez que existem espaços entre os vários tampos para os quais o verniz acaba por penetrar. A etapa final consiste na montagem da mesa.

O principal objectivo do trabalho consiste no estudo de alternativas de envernizamentos das orlas em madeira de faia maciça de tampos de mesas escolares, entre as quais estão a aplicação em separado de um verniz poliuretano de 2 componentes, o uso de uma chapa protectora entre os tampos na fase de envernizamento pelo processo de empilhamento, uso de um verniz de cura UV ou através de pintura electrostática. Para caracterizar as alternativas realizadas foram

estudadas as seguintes características da superfície acabada: dureza, rugosidade, brilho, molhabilidade e resistência a líquidos frios.

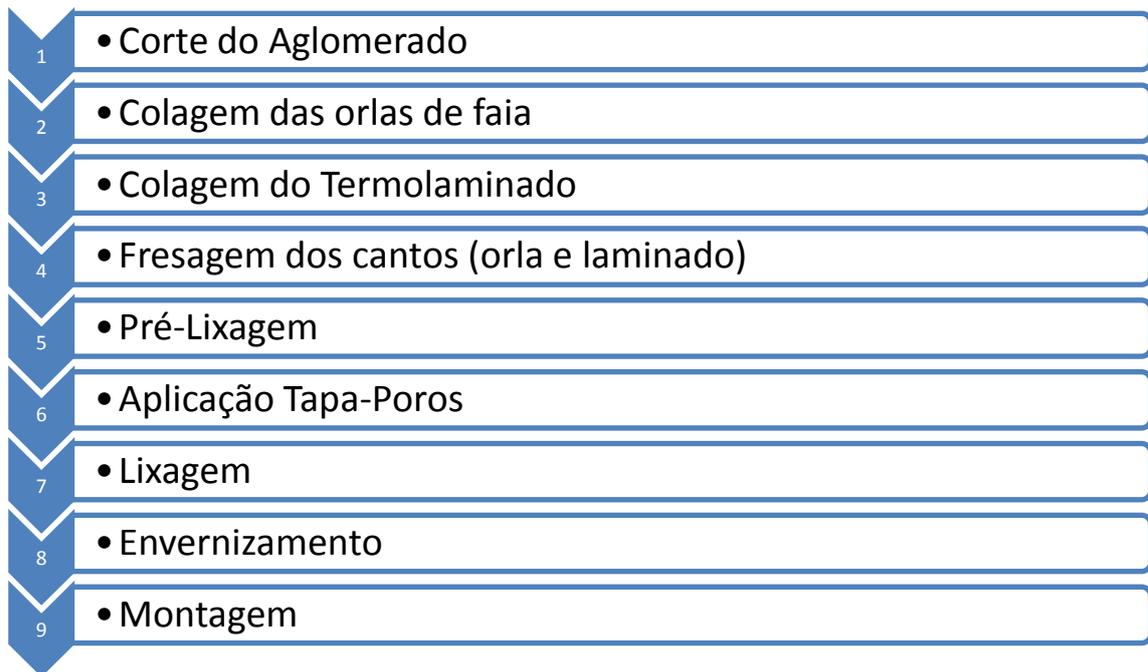


Figura 1.1 - Esquema do Processo de Fabrico

1.2 Contributos do Trabalho

Este trabalho permite à empresa adquirir novos conhecimentos e considerar alternativas para a etapa de envernizamento, bem como dos produtos usados para o mesmo.

O trabalho poderá permitir à empresa a redução de custo de produção, quer através da redução da mão-de-obra, como do aumento da velocidade de produção.

1.3 Organização da Tese

O presente documento está organizado em 5 capítulos.

O capítulo 1 faz um enquadramento geral da tese, e enuncia os seus objectivos.

No capítulo 2 faz-se o enquadramento teórico de alguns temas que são abordados ao longo da tese, como propriedades da superfície da madeira ou tipos de vernizes existentes.

O capítulo 3 é referente à descrição técnica, onde se apresenta os equipamentos e procedimentos adoptados, bem como a discussão dos resultados obtidos.

No capítulo 4 são apresentadas as conclusões do trabalho.

O capítulo 5 compreende a avaliação do trabalho realizado, bem como a avaliação do trabalho futuro.

2 Estado da Arte

2.1 Acabamento

O acabamento da superfície de uma madeira tem duas principais funções, primeiramente uma de protecção, aos mais variados factores como o ataque de fungos, insectos, água, radiação solar ou de produtos químicos, e também uma função estética, tornando a madeira mais agradável ao toque e dando-lhe uma melhor aparência. O acabamento da madeira permitirá assim aumentar o seu tempo de vida, diminuindo assim os seus custos da sua substituição, quer ambientais quer económicos, permitindo uma eficiente gestão dos recursos florestais (Wood Handbook, 2010).

O processo de acabamento de uma madeira compreende duas fases importantes: a preparação da superfície da madeira para a aplicação do acabamento seleccionado, e a aplicação propriamente dita do acabamento.

A fase de acabamento é de extrema importância, pois tem uma grande influência na qualidade final do produto. Os processos de acabamento escolhidos dependerão da qualidade da madeira e da espécie que é proveniente, bem como do grau de protecção desejado. No mobiliário escolar é necessário um revestimento resistente, pois estará sujeito a fortes agressões físicas da superfície diariamente por parte das crianças. Deverá também possuir um baixo brilho, de forma a não incomodar a visão.

2.2 Madeira

A madeira é uma estrutura biológica bastante complexa, e que pode apresentar enormes variações de composição e de estrutura, de espécie para espécie, mas também dentro da mesma espécie de região para região.

Na generalidade pode-se dizer que a madeira é constituída por substâncias macromoleculares como a celulose, lenhina e hemicelulose, que estão na parede celular das células que constituem a madeira e estão presentes em maior quantidade, e também por componentes de baixo peso molecular como extractivos e substâncias minerais, normalmente relacionados com a espécie da madeira e que são responsáveis por certas propriedades da madeira como: cheiro, cor, gosto, durabilidade natural, etc.

Devido à variabilidade da madeira, na escolha de uma determinada espécie de madeira para obtermos um produto de qualidade devem ser tidas em consideração um conjunto de características intrínsecas do material como humidade, rugosidade, nós ou outros defeitos, que podem condicionar fortemente o acabamento final de uma peça de madeira.

Na Nautilus é usada madeira de faia (*Fagus sylvatica*), que possui um grão fino o que a torna fácil de trabalhar. É uma madeira resistente à compressão e divisão, que possui uma textura suave e que permite um acabamento sem dificuldades com tintas e vernizes. É uma madeira adequada para a carpintaria interior, e em particular para mobiliário.

2.3 Verniz

O verniz é uma solução ou dispersão sem pigmento, usado como revestimento protector e/ou decorativo de diversos tipos de superfícies, que após a sua secagem ou cura, forma uma película sólida, contínua, transparente ou translúcida.

Normalmente um verniz é constituído por um solvente, um ligante (normalmente uma resina) e outros aditivos (Nogueira, J.L.).

Relativamente aos solventes, estes são líquidos voláteis que dissolvem as resinas e aditivos do verniz, e têm como função ajustar a viscosidade do verniz permitindo uma melhor aplicabilidade do mesmo. Tipicamente os solventes usados na produção de um verniz eram compostos orgânicos, os quais têm vindo a ser substituídos por água devido a questões ambientais (emissões de COV's, etc.), denominando-se de vernizes de base aquosa, e que têm sofrido enorme desenvolvimento possuindo já características muito próximas dos vernizes de base solvente.

Os aditivos são componentes presentes em quantidades pequenas, tendo como função alterar de forma acentuada determinadas características do verniz. Os aditivos normalmente são agrupados pela função que cumprem, que inclui por exemplo: bactericidas, fungicidas e algicidas, molhantes e dispersantes, agentes antiespuma, etc.

A formação da película sólida de verniz ocorre normalmente de duas formas: evaporação do solvente presente no verniz, isto quando a resina usada é de natureza termoplástica, em que o polímero seca por evaporação de solventes, ou através da cura de uma resina termoendurecível que por acção do calor sofre um processo de reticulação interna (*crosslinking*), durante o qual a sua dureza aumenta, e em que a

sua solubilidade vai diminuindo e a resistência química aumenta. Existe também vernizes em que a reacção de cura é desencadeada por acção de uma luz ultravioleta ou infravermelhos.

2.4 Verniz de Poliuretano

O poliuretano (PU) é um polímero que consiste numa cadeia de unidades orgânicas, unida por ligações uretânicas (carbamato). O campo de aplicação do PU é bastante vasto e inclui áreas como as espumas, peças de plástico duro, adesivos e vedantes, tintas e vernizes, etc.

A produção de poliuretano teve grande desenvolvimento devido ao trabalho de um químico alemão chamado Otto Bayer, por volta do ano de 1937, durante a 2ª Guerra Mundial, que descobriu a reacção de poliadição de isocionatos e polióis, e sendo inicialmente usado como substituto da borracha.

A ligação de uretano dá-se através da reacção de um grupo isocianato com um grupo hidroxilo. Normalmente na produção do PU é usado um diisocianato, que possui dois grupos isocianato, e este pode estar sobre a forma alifática ou aromática, interferindo dessa forma nas características do poliuretano que se obtém. Relativamente ao grupo hidroxilo este obtém-se através do uso de polióis, que são álcoois com mais que um grupo hidroxilo, tal como ilustrado na Figura 2.1:

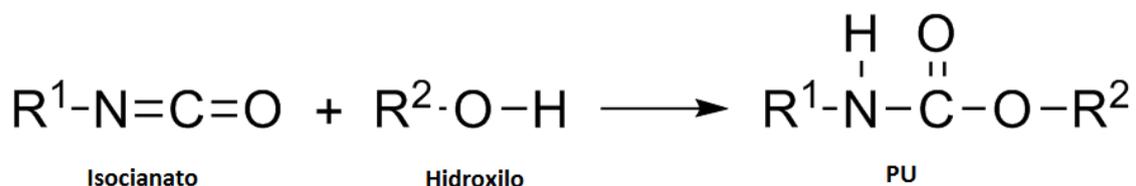


Figura 2.1 - Reacção de formação do poliuretano (PU)

O uso de poliuretano no campo das tintas e vernizes, leva à obtenção de um acabamento com boa resistência física (dureza elevada) e química, possuindo também boa resistência ao calor e à humidade. No caso de ser usado um PU aromático este tenderá a sofrer amarelecimento.

2.5 Revestimento de Cura UV

O processo de cura UV corresponde à conversão instantânea de um líquido reactivo num filme sólido após exposição a uma luz ultravioleta. O uso de revestimentos curáveis por UV tem sofrido um enorme desenvolvimento nos últimos anos,

apresentando cada vez mais uma ampla utilização, nomeadamente em tintas e vernizes para madeira, metais, componentes electrónicos, fibra óptica, etc.

O uso deste tipo de revestimento apresenta diversas vantagens, tais como a baixa emissão de COV's, uma elevada velocidade de cura que permite velocidades mais elevadas de produção, e obtendo-se um bom acabamento, suave ao toque e com alta resistência física e química.

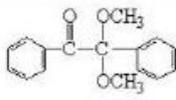
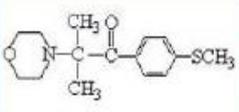
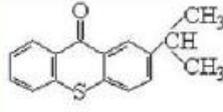
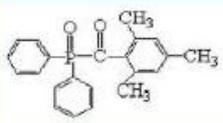
A formulação de um revestimento de cura UV, compreende normalmente quatro grupos de componentes (F.Rolin, 1992):

- Fotoiniciador: Componente responsável pelo início da reacção de cura, absorvendo a energia emitida pela lâmpada gerando radicais livres, que por sua vez iniciam a reacção de polimerização.
- Oligómero: Este componente tem como função conferir diversas propriedades ao filme curado, como dureza, flexibilidade, resistência física e química, para além de determinar a velocidade de cura.
- Monómero: O tipo de monómero influencia também a velocidade de cura, bem como a resistência física e química do filme curado, mas é também usado para o ajuste da viscosidade da formulação.
- Aditivos: Conferem outros tipos de propriedades ao revestimento, tais como resistência a abrasão e aderência em substratos como vidro ou metal. Podem também ser usados inibidores de oxigénio, inibidores de polimerização, etc.

Este tipo de tecnologia possui diversos parâmetros que influenciam directamente o processo e que dependem do acabamento que se pretende para o nosso produto.

Dependendo se queremos um produto *clear* ou pigmentado, será necessário usar um fotoiniciador diferente, que absorverá a luz UV a diferentes comprimentos de onda, como pode ser visto na Tabela 2-1, sendo necessário lâmpadas que emitam no comprimento de onda desejado, e que devem apresentar uma intensidade suficiente para que a formação de radicais livres seja alcançada.

Tabela 2-1 - Exemplos de fotoiniciadores

Nome	Absorção(nm)	Estrutura	Possíveis Aplicações
Benzildimetilcetona	220/255/325		Sistemas clear Cura em profundidade
2-metil-1-(4-metiltio)fenil-2-morfolino-1-propanona	320 325		Sistemas pigmentados Cura em profundidade
Isopropiltioxantona	255 380		Sistemas pigmentados Cura em profundidade
2,4,6-Trimetilbenzoil-difenil fosfino	400		Sistemas pigmentados Cura em profundidade

O tipo de lâmpada mais usado neste tipo de processo, é a lâmpada de média pressão de mercúrio, pois é a que requer menor investimento e que cobre boa parte do espectro UV.

O sistema de iluminação UV possui reflectores de forma a concentrar a radiação emitida pelas lâmpadas. Existem dois tipos de reflectores: elípticos e parabólicos. Os elípticos são o tipo de reflector mais usado, pois permitem concentrar a radiação num determinado ponto, aumentando assim a velocidade de cura, enquanto que os reflectores parabólicos levam a uma maior dispersão da radiação, levando a tempos de cura maiores, interferindo na velocidade de produção. Este tipo de sistemas possuem bastantes restrições ao nível da segurança, devido ao uso de radiação ultravioleta, por essa razão eles são mais usados para pintar superfícies planas como tampos de mesas ou portas, fazendo-se incidir a luz de cima para baixo, evitando que a luz seja directamente projectada nos olhos dos operadores. Na Nautilus é feito o envernizamento das orlas dos tampos de mesa, ou seja seria necessário ter luzes a incidir lateralmente, o que traria óbvios riscos de segurança. Para utilizar este tipo de tecnologia seria então necessário um sistema personalizado de iluminação.

Em termos comerciais um verniz ou tinta de cura UV pode ser encontrado de três formas: 100% UV curável, UV de base aquosa e UV de base solvente (Radtech 2006).

No caso de o verniz ser 100% curável, este será um líquido isento de qualquer solvente volátil, e é totalmente convertido num filme sólido. Enquanto que nos vernizes UV de base aquosa ou base solvente, a parte activa do verniz corresponderá

entre 30% a 45%, sendo necessário uma etapa de evaporação do solvente após a aplicação.

2.6 Pintura electrostática

Numa aplicação de um revestimento feita por pistola electrostática, o revestimento pode encontrar-se sobre a forma de pó ou de um líquido atomizado. O fenómeno por trás deste tipo de sistema é a diferença de cargas entre o revestimento que estamos a aplicar (cargas negativas) e a peça a revestir (cargas positivas).

Este tipo de aplicação tem uma eficiência bastante elevada (aprox. 95%), uma vez que as partículas que batem na peça e vão para o ar, são reencaminhadas para a peça devido à forte atracção entre estas e a peça. Uma das desvantagens é que todos os materiais condutores próximos da zona de aplicação do revestimento, como cabides para segurar a peça ou tapetes de transporte têm que ser regularmente limpos para evitar a acumulação de electricidade estática, prevenindo que alguém possa apanhar um choque eléctrico.

Normalmente após a aplicação a peça é encaminhada para uma estufa para aumentar a velocidade de cura.

2.7 Avaliação da qualidade de uma superfície acabada

Para se aferir a qualidade de uma superfície acabada, é necessário fazer uma análise objectiva de determinadas características como: dureza, rugosidade, brilho, molhabilidade.

2.7.1 Dureza lápis

A determinação da dureza de um determinado revestimento, através do método da dureza lápis, é dos mais utilizados na indústria de tintas e vernizes, pois trata-se de um método fácil e rápido de executar, e nos quais se obtém resultados bastante fiáveis.

A dureza é uma propriedade característica de um material sólido e que expressa a sua resistência a deformações permanentes e está directamente relacionada com a força de ligação dos seus átomos.

O lápis é um objecto que já existe desde o século XVI, mas foi Conté que inventou o processo que permitiu dar a característica de este ser duro ou macio, passando estes a ser constituído por uma mistura entre grafite, responsável por riscar, e por argila que actua como um ligante e fornece à mina de lápis a sua dureza. Para a realização

do teste é usado um conjunto de lápis, que vai desde o mais duro, 9H até ao lápis mais macio o 9B.

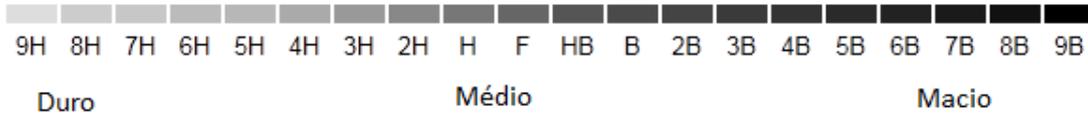


Figura 2.2 - Escala de dureza

2.7.2 Rugosidade

A rugosidade de uma superfície corresponde à sua textura, no fundo é a quantificação objectiva da variação do seu relevo relativamente à sua superfície ideal.

Trata-se de uma propriedade da superfície da madeira que está dependente de diversos factores: em primeiro lugar do tipo de madeira que estamos a utilizar e da sua estrutura celular. Depende também do processo de maquinação da madeira, do tipo de máquina com que é cortada, se foi lixada, etc.

A técnica mais utilizada para avaliar a rugosidade, é a técnica de palpação, que mede mecanicamente o perfil da superfície ao longo de uma linha. A tradução dessa medição é dada através de parâmetros de rugosidade normalizados. No caso particular da ISO 4287, utilizam-se os parâmetros: Ra e Rz.

O parâmetro Ra corresponde à rugosidade média aritmética, e define-se como sendo a média aritmética em relação à linha média ao longo do comprimento da medição (lm).

$$Ra = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \quad (2.1)$$

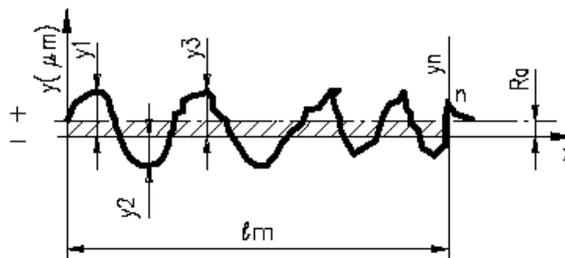


Figura 2.3 - Rugosidade média aritmética

O parâmetro R_z , é relativo à média das alturas máximas, em que o comprimento da medição é dividido em cinco parcelas iguais e para cada um deles é determinada uma rugosidade parcial (Z_i), que corresponde à altura entre o ponto máximo e mínimo do perfil para cada um dos intervalos de amostragem (ℓ_e). Sendo o parâmetro R_z a média aritmética das rugosidades parciais.

$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5} \quad (2.2)$$

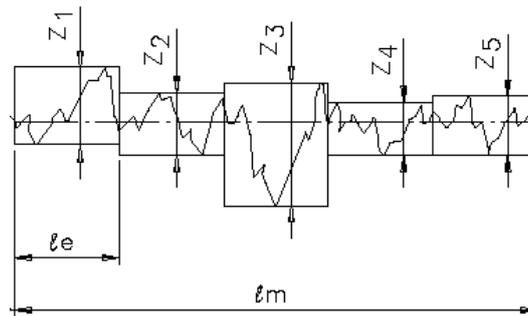


Figura 2.4 - Rugosidade parcial Z_i , para determinar R_z

2.7.3 Brilho especular

O brilho é uma propriedade óptica, que está baseada na interação entre a luz e as propriedades físicas de uma superfície. No fundo o brilho dá-nos a capacidade que uma superfície tem em reflectir a luz.

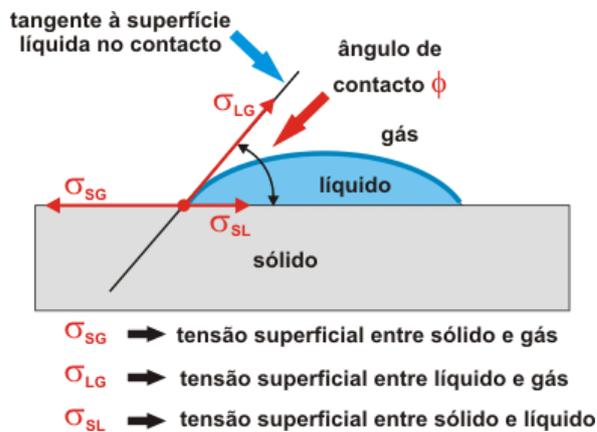
O brilho de uma superfície é afectado por vários factores tais como: o ângulo de incidência da luz, da textura da superfície (rugosidade, quantidade do revestimento aplicado) e do índice de refração do material.

Para determinar o brilho de uma superfície é necessário usar um medidor de brilho (reflectómetro), que faz incidir um feixe de luz branca concentrada não polarizada sobre a superfície a analisar, feixe este que depois é recolhido numa lente e é analisado por um fotodetector, dando o resultado em unidades de brilho (U.B.). A medição pode ser feita com três ângulos de incidência diferentes: 20° , 60° e 85° . O brilho é normalmente medido com um ângulo de 60° , sendo medido a 20° quando se obtém um valor superior a 70 U.B. (superfície brilhante) a 60° . E será medido a 85° quando o valor obtido a 60° é inferior a 10 U.B. (superfície mate)

2.7.4 Molhabilidade

A molhabilidade é a capacidade que um líquido tem de molhar uma superfície sólida e que está relacionado com as interacções moleculares entre sólidos e líquidos. Este fenómeno é avaliado através do ângulo de contacto que é formado na interface sólido/líquido/gás.

A interacção molecular entre uma gota de um líquido e uma superfície sólida, pode ser descrita através do modelo de Young, que exprime o balanço das tensões superficiais (energias livres de superfície) para uma gota em equilíbrio na superfície do sólido.



$$\sigma_{SG} = \sigma_{SL} + \sigma_{LG} \cdot \cos \phi$$

Figura 2.5 - Modelo de Young

No processo de molhabilidade de um sólido poroso, como é a madeira, por um líquido, o ângulo de contacto não será constante com o tempo, devido a dois fenómenos que ocorrem quando a gota é depositada sobre a superfície: o espalhamento e a penetração do líquido na madeira. O fenómeno de espalhamento tem maior influência numa fase inicial, em que se verifica uma diminuição rápida do ângulo de contacto. Essa diminuição do ângulo de contacto vai-se tornando mais lenta com o tempo, em que passamos a ter fenómeno de difusão do líquido para o interior da madeira como predominante.

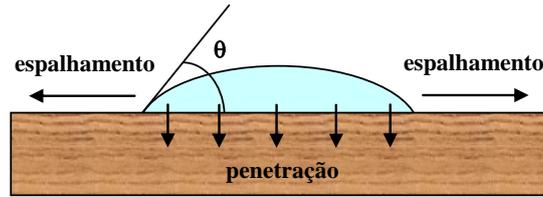


Figura 2.6 - Fenómenos presentes na molhabilidade de superfícies de madeira

O modelo de Young foi estabelecido para superfícies planas e limpas, mas a madeira apresenta sempre irregularidades (rugosidade) na sua superfície, obtendo-se dessa forma um ângulo de contacto que não é o ângulo de contacto teórico (ou intrínseco). Mas foi demonstrado por Wenzel (1936), que para um sólido poroso, o ângulo de contacto real θ_r do líquido sobre o sólido está relacionado com o ângulo de contacto intrínseco θ_0 através da relação:

$$r = \frac{\cos \theta_r}{\cos \theta_0} \quad (2.3)$$

Em que r é o factor de rugosidade, que representa a razão entre a área da interface sólido/líquido real e a área aparente desta interface. Para o caso de termos uma superfície rugosa, o valor de r será superior a 1, e analisando a equação (2.3), verifica-se que se $\theta_r \leq 90^\circ$, o ângulo de contacto intrínseco (θ_0) vai ser inferior. Já no caso de $\theta_r \geq 90^\circ$, temos o efeito contrário em que o ângulo de contacto intrínseco (θ_0) é superior ao ângulo real θ_r .

Na madeira ocorre um fenómeno interessante, chamado de anisotropia do ângulo de contacto, em que a madeira apresenta uma rugosidade orientada. Ou seja o espalhamento da gota não ocorre de forma equitativa na direcção do fio e na direcção transversal, levando a que a gota apresente uma forma elíptica, com espalhamento privilegiado na direcção do fio. Mas é demonstrado que ao longo do fio da madeira a gota não sofre a influência da rugosidade da madeira. O ângulo de contacto deve então ser determinado através de uma vista da perpendicular do fio da madeira, no qual se obtém a medição do ângulo de contacto intrínseco.

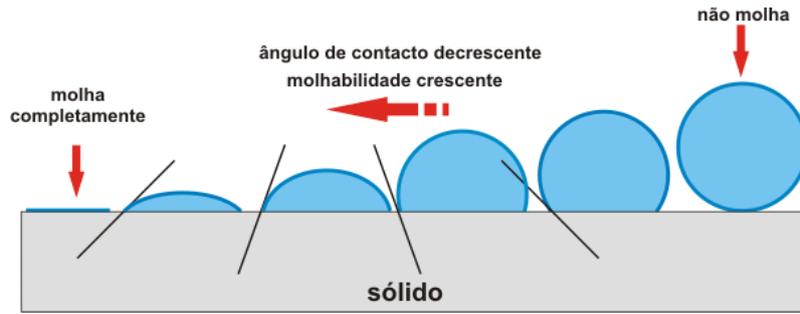


Figura 2.7 - Aspecto de gotas com diferentes ângulos de contacto

O ângulo de contacto de uma gota numa superfície sólida pode variar entre os 0° e os 180° (situação fisicamente impossível). Quando a molhabilidade da gota é completa o ângulo de contacto será de 0° . Considera-se que um líquido não tem tendência a molhar uma superfície quando temos ângulos de contacto superiores a 90° .

3 Descrição Técnica e Discussão dos Resultados

Os ensaios realizados foram feitos em placas de madeira de faia, com dimensões de 20x15x2 cm. A aplicação do verniz foi feita com uma pistola aerográfica. Começou-se por usar um verniz de poliuretano, uma vez que este é composto por dois componentes e idealmente poderíamos aplicar o primeiro componente (resina) e fazer uma limpeza do laminado, ficando apenas com resina na orla de madeira e depois aplicar o segundo componente (endurecedor) que iria apenas reagir onde estivesse a resina.

Foram aplicados dois vernizes de poliuretano de marcas diferentes, os quais designaremos por verniz A e verniz B. Foram feitos três tipos de aplicações diferentes:

- Mistura dos dois componentes na proporção determinada pelo fabricante (designação “Mistura”);
- Aplicação apenas da resina (designação “Resina”);
- Aplicação do endurecedor após 5 minutos da aplicação da resina (designação “Res+End”).

A mistura dos dois componentes do verniz foi feita previamente num gobelé, seguindo as indicações especificadas de cada um dos fornecedores. Para o verniz A é indicada uma razão volúmica de 2:1(resina:endurecedor), enquanto para o verniz B é indicada uma razão de 9:1. O controlo da gramagem das aplicações foi conseguido através do uso de uma balança, em cima da qual foram feitas as aplicações, que para o tipo de provetes que foram usados se deveria situar entre as 3 e as 6 gramas, ou seja uma gramagem entre as 100 g·cm⁻² e as 200 g·cm⁻².

É importante fazer a caracterização das aplicações com as recomendações do fabricante, de forma a se poder comparar com os outros tipos de aplicações efectuadas.

Algumas das placas foram sujeitas a lixagem entre demãos com uma lixa P400.

3.1 Dureza lápis

O teste da dureza lápis foi efectuado usando um suporte porta-lápis da marca Ambifood, que compreende um conjunto de 14 lápis, cujas durezas vão desde o 6B,

que é o lápis mais macio, até ao mais duro que é o 6H. O teste foi efectuado segundo as especificações da norma ISO 15184.

O suporte porta-lápis dá a garantia que os ensaios são feitos nas mesmas condições, colocando o lápis com um ângulo de 45° relativamente à superfície e que é exercida uma força constante sobre a mesma. Deve-se começar o teste com o lápis mais macio, empurrando o suporte porta-lápis a velocidade constante, perfazendo pelo menos uma distância de 7 mm.

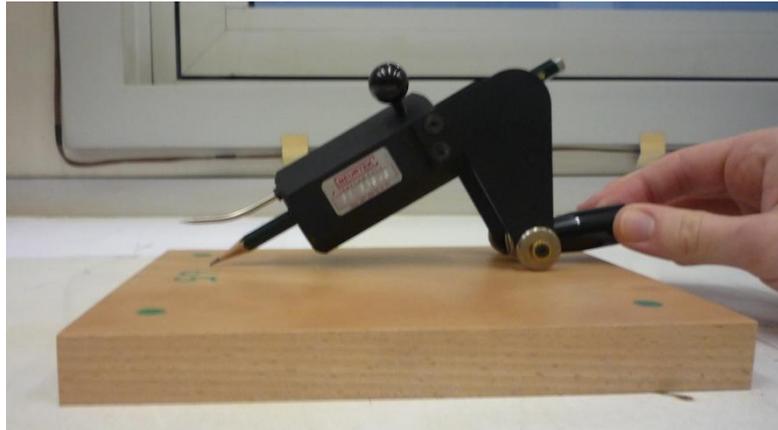


Figura 3.1 - Teste da dureza lápis

O lápis poderá deixar uma marca de grafite, a qual deve ser apagada de forma a verificar se o revestimento ficou riscado. No caso de este não estar riscado passa-se para o lápis de dureza superior, respeitando a escala crescente de dureza de lápis, até se encontrar um lápis que risque. Quando isso acontece passa-se para a utilização dos lápis de dureza superior, e iremos fazer o inverso, começando pelo lápis de dureza superior, e usando os lápis numa escala de dureza decrescente até haver um que não risque. Com este procedimento pretende-se obter ensaios concordantes, considerando-se que a dureza do revestimento, corresponde à dureza do lápis anterior ao primeiro lápis para o qual se obtém um risco.

Os ensaios da determinação da dureza foram realizados 48 horas após a aplicação do verniz. No gráfico seguinte são apresentados os resultados obtidos para a mistura, para a resina e para a resina e endurecedor, aplicado posteriormente das marcas A e B, e ainda para a B com lixagem intermédia.

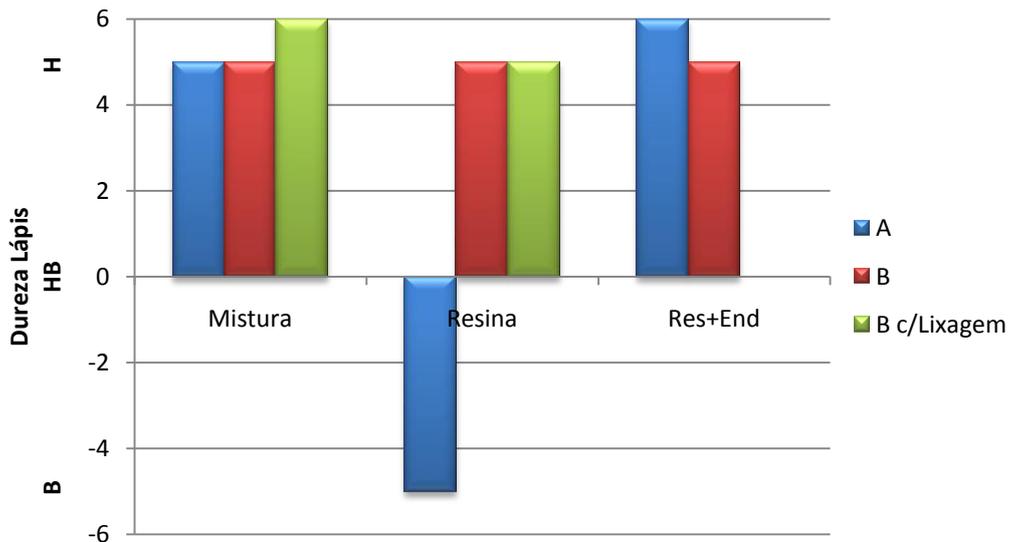


Figura 3.2 - Resultados da dureza lápis

Verifica-se que a aplicação da mistura de ambas as marcas tem comportamentos semelhantes em termos de dureza. Já quando é apenas usada a resina, o verniz A tem um comportamento pouco satisfatório apresentando uma dureza muito baixa, isto pode dever-se ao uso de resinas bastantes diferentes para cada marca. No caso de aplicação de resina e posterior aplicação de endurecedor temos uma dureza elevada, com resultados semelhantes para ambas as marcas uma vez que se forma um filme de endurecedor na superfície, reagindo apenas a parte que está em contacto com a resina.

3.2 Rugosidade

A avaliação da rugosidade dos provetes de madeira foi feita usando um rugosímetro *Surfest SJ-400* da marca *Mitutoyo*, que permite determinar 36 parâmetros de rugosidades diferentes, relativas a diferentes normas existentes como ISO, DIN, ANST e JIS.

A norma utilizada nos ensaios efectuados foi a ISO 4287 de 1997, e foram determinados os parâmetros Ra (rugosidade média aritmética) e Rz (média das alturas máximas).

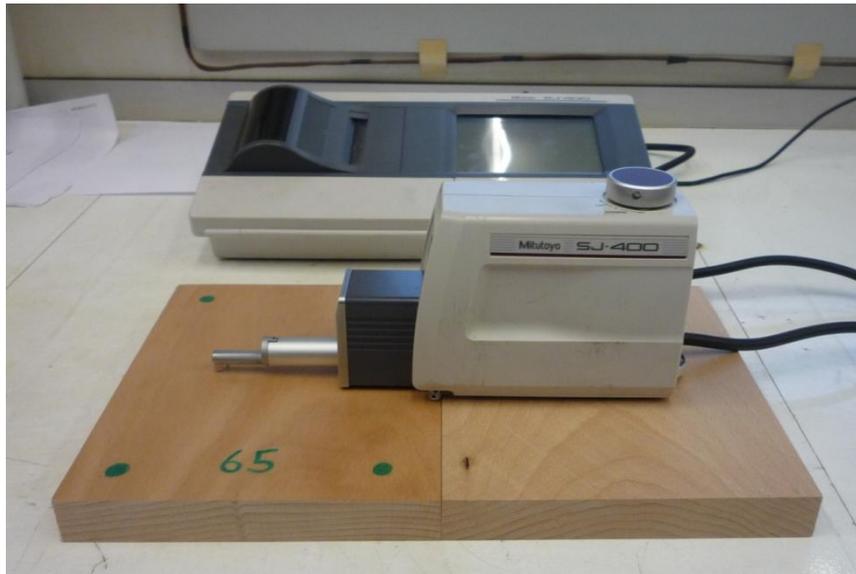


Figura 3.3 - Medição da rugosidade

As medições foram feitas na perpendicular ao fio da madeira, sendo que para cada placa de madeira foram realizadas 6 medições. Nas Figuras seguintes são apresentados os resultados para os dois parâmetros de rugosidade:

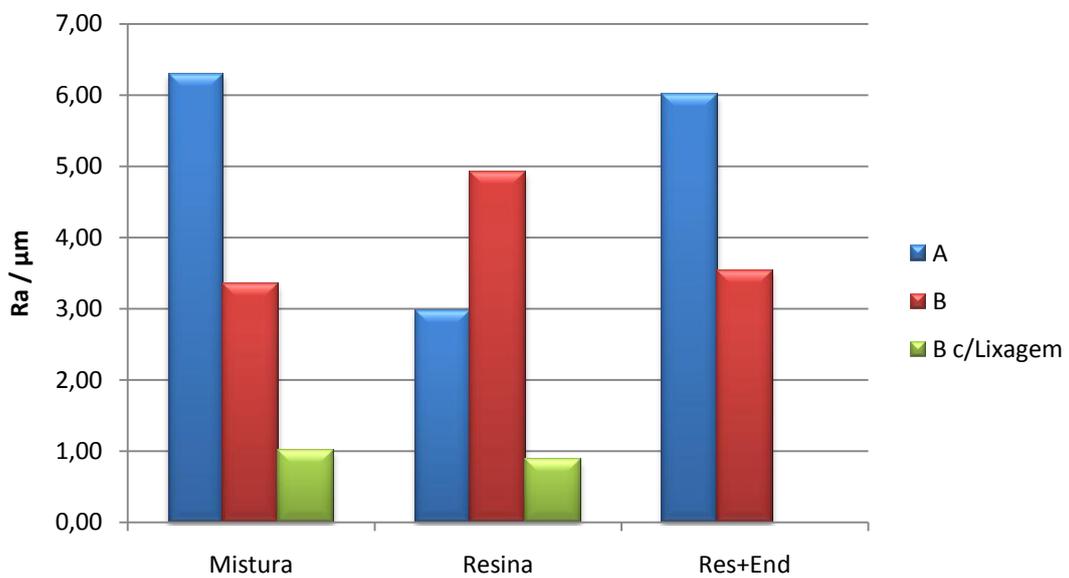


Figura 3.4 - Rugosidade média aritmética (Ra)

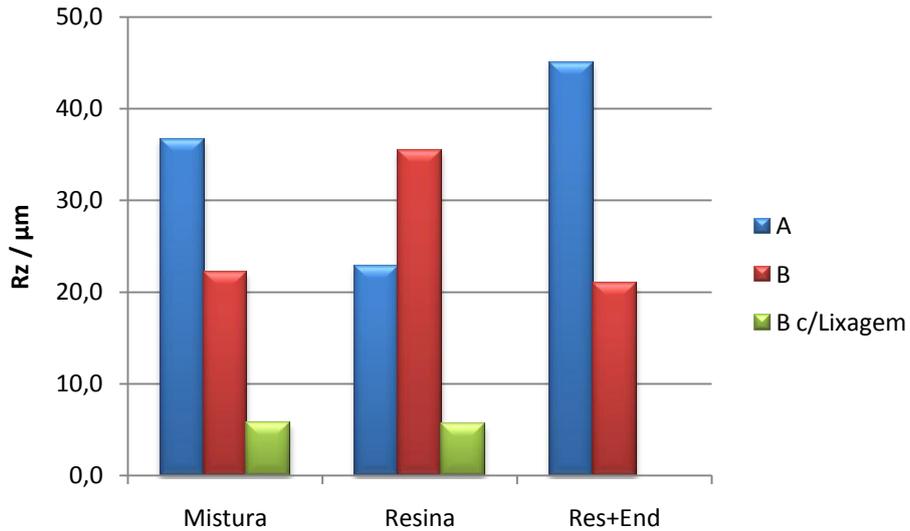


Figura 3.5 - Média das alturas máximas (Rz)

A análise dos resultados da rugosidade mostra que uma lixagem entre demãos de aplicação reduz significativamente a rugosidade final da superfície acabada, quando comparada com a mistura recomendada pelos fabricantes.

3.3 Brilho especular

A medição do brilho especular das placas de madeira foi realizado de acordo com NP EN ISO 2813 de 2001. Foi utilizado um medidor de brilho *REFO-3D* da marca *DR Lange*.

Antes de qualquer medição deve-se realizar a calibração do aparelho.

As medições devem ser feitas com um ângulo de incidência do feixe de luz de 60°. No caso de se obter um valor superior a 70 U.B., a medição deve ser repetida mudando o ângulo para 20°. No caso de se obter uma medição inferior a 10 U.B., a medição deve ser repetida com um ângulo de 85°.



Figura 3.6 - Medição do brilho especular

Para cada provete de madeira devem ser feitas um mínimo de 6 medições em locais diferentes do mesmo. Na Figura 3.7 apresentam-se os resultados do brilho especular:

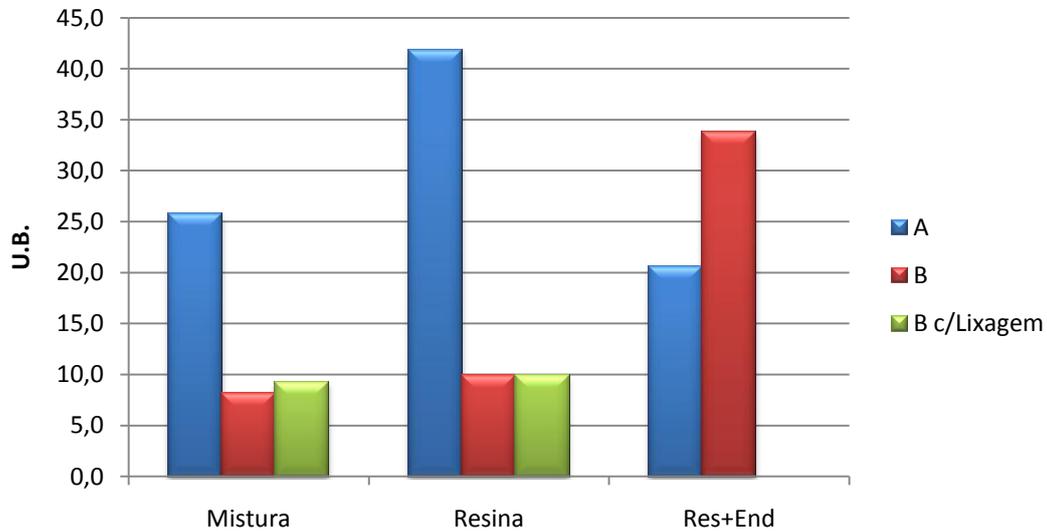


Figura 3.7 - Brilho Especular

Verifica-se que o verniz B é aquele que tendencialmente apresenta um brilho mais baixo, quer para a mistura como para a resina, mas verifica-se que a aplicação do endurecedor à posteriori faz aumentar significativamente o brilho. Relativamente ao verniz A, nota-se que o uso apenas da resina que faz aumentar o brilho da superfície.

3.4 Molhabilidade

O estudo do fenómeno da molhabilidade é feito através da avaliação dos ângulos de contacto entre uma gota líquida e uma superfície sólida. A determinação desses ângulos de contacto foi efectuada, usando um goniómetro modelo OCA 20 da Dataphysics.

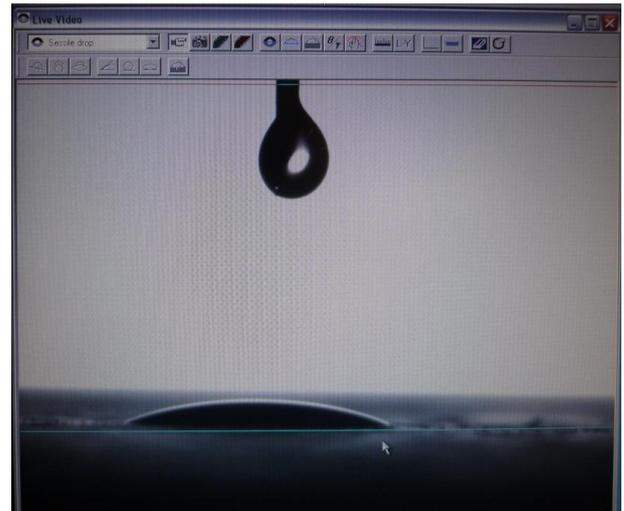


Figura 3.8 - Medidor de ângulos de contacto OCA 20 da Dataphysics e interface gráfica.

Os ensaios foram feitos em placas de madeira de faia, em que era aplicada uma gota de 4 μ L do líquido em estudo, com uma seringa, e o aparelho media a variação do ângulo de contacto ao longo do tempo. Foram feitos ensaios usando a mistura dos componentes e a resina numa placa de madeira de faia sem revestimento, e outro ensaio aplicando o endurecedor em cima de uma camada de resina já seca. Na Figura 3.9 apresentam-se os resultados do ângulo de contacto para o verniz A:

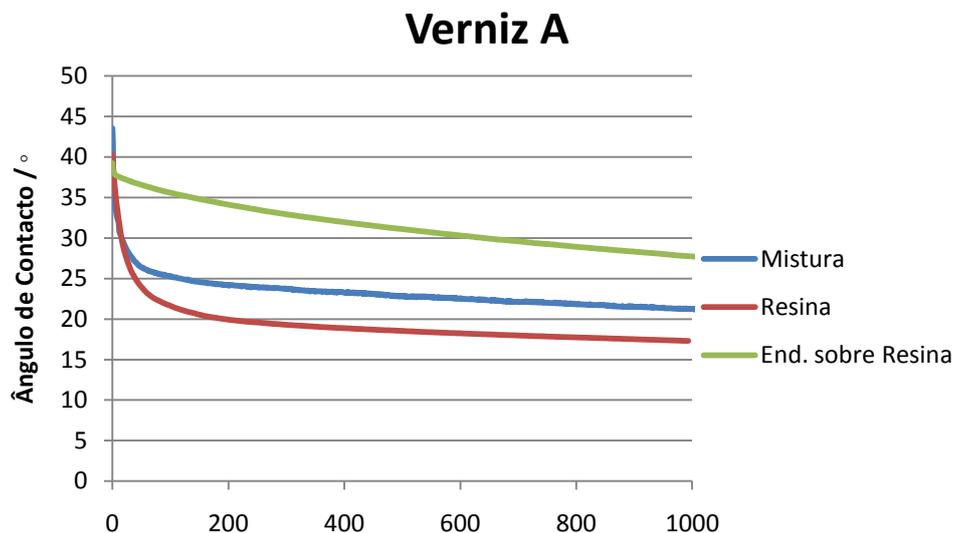


Figura 3.9 - Ângulos de contacto para o verniz A

Verifica-se que a aplicação de endurecedor em cima de uma camada de resina, faz aumentar o ângulo de contacto, o que indica que o endurecedor apresenta assim mais dificuldade em molhar a superfície. Isto poderá dever-se ao facto de se estar a

formar uma película de endurecedor à superfície, que não molha directamente a resina.

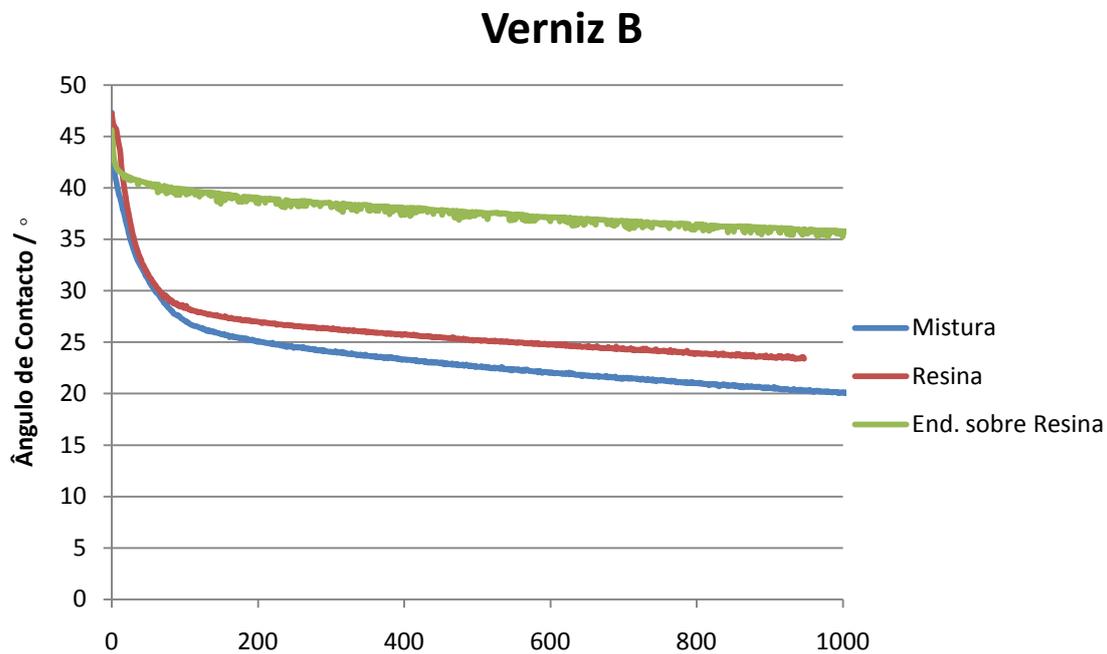


Figura 3.10 - Ângulos de contacto para o verniz B

Tal como para o verniz A, também se obtém uma diferença substancial dos ângulos de contacto entre a mistura e o endurecedor aplicado sobre a resina endurecida, indicando que a opção de aplicar o verniz em duas fases distintas poderá não ser uma boa opção.

3.5 Resistência a líquidos frios

Os vernizes podem ser sujeitos a condições bastante agressivas, nomeadamente quando se realiza a limpeza do tampo, com água ou detergentes. Por essa razão foi avaliada a resistência dos acabamentos obtidos à água e a lixívia com 5% de cloro.

O ensaio consiste em depositar uma gota sobre a superfície das películas cobrindo-as com um vidro de relógio. O ensaio tem a duração de duas horas, tempo após o qual o líquido deve ser removido. A avaliação do efeito deve ser feita apenas após 24 horas.

A escala de classificação das alterações verificadas é: 0 para um alteração nula, 1 para uma alteração média e 2 para uma alteração importante.

Os resultados para a resistência à água são apresentados na tabela seguinte:

Tabela 3-1 - Resistência à água

	Alteração do brilho	Alteração da cor	Formação de manchas	Deterioração da superfície
Mistura A	0	0	0	0
Resina A	0	0	0	0
Mist + Res A	0	0	0	0
Mistura B	0	0	0	0
Resina B	0	0	1	0
Mist + Res B	0	0	0	0

Verifica-se que ambos os vernizes apresentam boa resistência à água, sendo a única exceção a resina B, que apresenta a formação de pequenas manchas.

Na tabela seguinte são apresentados os resultados para a resistência à lixívia:

Tabela 3-2 - Resistência à lixívia

	Alteração do brilho	Alteração da cor	Formação de manchas	Deterioração da superfície
Mistura A	0	0	1	0
Resina A	0	0	2	0
Mist + Res A	0	0	1	0
Mistura B	0	0	0	0
Resina B	0	0	2	0
Mist + Res B	0	0	0	0

Tal como para a água, ambos os vernizes não apresentam alteração do brilho, nem de cor, não havendo deterioração da superfície do revestimento. Relativamente à formação de manchas o verniz A apresenta manchas para os três tipos de aplicação que foram feitos. Já o verniz B apresenta manchas apenas quando é usada a resina.

3.6 Lavagem do laminado

Foi realizado um teste para verificar o quão difícil é remover o verniz do laminado quando este já se encontra seco.

Aplicou-se uma camada de verniz sobre o laminado, e esperou-se 24 horas até este se encontrar seco e após este período tentou-se remover o verniz. Foi feita a aplicação usando a mistura do verniz B e também para apenas da resina do mesmo verniz.

Verificou-se que a remoção da resina era facilmente conseguida através de uma espátula, uma vez que a aderência ao laminado foi baixa, ao contrário da mistura que tinha uma aderência forte ao laminado e sendo muito difícil de remover.

3.7 Tempo de Limpeza

Realizou-se também um teste para determinar qual o tempo após a aplicação do verniz este era facilmente removido com a ajuda de um pano húmido.

A aplicação foi feita à pistola sobre o laminado de um provete cortado a partir dos tampos produzidos na Nautilus com as dimensões 20x15x2 cm. As aplicações feitas foram de resina e endurecedor para ambas a marcas. A classificação usada na Tabela 3-3 é a seguinte: 0 para um limpeza fácil, 1 para uma limpeza de dificuldade intermédia e 2 para uma limpeza difícil.

Tabela 3-3 - Tempo de limpeza

Tempo (min)	Resina A	End. A	Resina B	End. B
1	0	0	0	0
3	0	0	0	0
5	0	1	0	1
10	0	1	0	1
15	1	2	1	2
20	1	-	2	-
30	2	-	2	-

Comparando o tempo de limpeza para a resina de ambas as marcas, obtêm-se valores semelhantes e que se situam nos 10 minutos. Isto quer dizer que se quiséssemos fazer uma aplicação sequencial da resina e depois aplicar o endurecedor por cima,

teríamos um espaço temporal de 10 minutos para fazer uma limpeza fácil do laminado. Após a aplicação do endurecedor esse tempo seria reduzido para cerca de 3 minutos, de forma a limpar facilmente o laminado e evitar uma etapa posterior de limpeza. Se este processo fosse automatizado, teríamos o tempo necessário para fazer a limpeza do laminado, enquanto que se essa operação fosse efectuada por um operador, teríamos um espaço de tempo curto para a limpeza.

3.8 Uso de chapa protectora

Uma das soluções pensadas para a solução do problema do verniz no laminado, era o uso de uma chapa protectora colocada entre cada um dos tampos. Esta solução foi testada, usando 5 provetes cortados a partir dos tampos produzidos na Nautilus com as dimensões 20x15x2 cm. Os provetes foram empilhados e apertados com um gancho metálico de forma a reduzir o espaço entre os tampos (ver Figura 3.11). A aplicação feita foi do verniz de poliuretano da marca B.



Figura 3.11 - Uso de chapa protectora

O resultado obtido foi bom, pois a chapa impediu que houvesse penetração de resíduos de verniz para o laminado, funcionando como uma barreira para o verniz, preenchendo o espaço que antes existia entre os tampos.

3.9 Verniz de cura UV

Na realização dos ensaios de um verniz de cura foram usados provetes dos tampos produzidos na Nautilus com as seguintes dimensões: 25x5x2cm. O laminado foi protegido com uma fita adesiva, evitando que durante aplicação do verniz este se

depositasse no laminado. A aplicação foi feita à pistola, usando um verniz epóxi-acrilado de cura UV. A cura foi feita num túnel de UV, no qual são usadas lâmpadas de mercúrio de média pressão (300-400 nm), cuja radiação incidente é de $80 \text{ mW}\cdot\text{cm}^{-2}$. O tempo de exposição à luz UV foi de cerca de 8 segundos.



Figura 3.12 - Amostra de tampo com orla acabada com verniz de cura UV

Após a etapa de cura, removeu-se a fita adesiva que protegia o laminado. Obtém-se um acabamento com boa qualidade, possuindo elevada dureza e baixa rugosidade. A implementação deste tipo de sistema no caso da Nautilus, exige a construção de um sistema personalizado uma vez que os sistemas existentes estão mais focalizados para superfícies planas com sistemas de iluminação verticais, ao contrário do envernizamento das orlas dos tampos das mesas escolares que requerem um sistema de iluminação lateral que possui maiores dificuldades técnicas e de segurança.

4 Conclusões

A aplicação de um verniz a um produto de madeira, depende das características físico-químicas da madeira, bem como da qualidade do produto.

As aplicações para o verniz de poliuretano foram realizadas, pois tentava-se aferir a possibilidade da aplicação dos seus dois componentes em separado ou apenas do uso da resina do verniz, e para as quais foram avaliadas características das superfícies acabadas como: dureza, brilho, rugosidade, molhabilidade e resistência a líquidos frios.

A análise dos resultados da dureza lápis, leva-nos a concluir que o uso exclusivo da resina A não apresenta resultados satisfatórios, apresentando uma dureza baixa, ao contrário da resina do verniz B que apresenta uma dureza semelhante à mistura. A aplicação do endurecedor em cima de uma primeira aplicação de resina também leva a uma dureza elevada para os vernizes de ambas as marcas, apresentando uma característica semelhante ao da mistura dos dois componentes.

O teste da molhabilidade mostra-nos que o uso do endurecedor por cima da resina, traduz-se numa baixa molhabilidade da superfície, o que leva a que esta não seja uma boa alternativa de envernizamento.

A análise dos resultados dos parâmetros de rugosidade, leva-nos a concluir que uma lixagem entre demãos é necessária para se obter uma superfície mais homogénea.

Normalmente para mobiliário escolar quer-se um acabamento com baixo brilho, o que se verifica quando usamos a resina do verniz B (com ou sem lixagem), o mesmo não acontece quando usamos o endurecedor.

Relativamente à resistência a líquidos frios, o verniz A apresenta manchas à lixívia para todas as alternativas testadas, não se apresentando desse modo como uma boa alternativa devido à baixa resistência química. O verniz B apenas apresenta manchas quando apenas é usada a resina, sendo esta fácil de remover do laminado.

Analisando todas as alternativas testadas, o uso da resina do verniz B, é que aquela que se apresenta como a melhor alternativa, pois apresenta características semelhantes à mistura do mesmo verniz, sendo mais fácil de remover do laminado, tendo como desvantagem o facto de apresentar uma baixa resistência à lixívia e o facto de continuar a não prescindir da etapa de limpeza do laminado.

O uso de uma chapa protectora entre os tampos durante a fase de envernizamento, também se revela como uma alternativa credível na solução do problema do verniz no laminado, pois actua uma barreira protectora que impede o verniz de penetrar para o laminado.

O envernizamento das orlas feito com um verniz de cura UV permitiu obter um bom acabamento, com elevada dureza e suave ao tacto. A sua implementação industrial no caso da Nautilus implica a construção de um túnel de cura UV personalizado.

5 Avaliação do trabalho realizado

5.1 Objectivos Realizados

Os objectivos foram cumpridos quase na totalidade, ficando apenas por testar uma das hipóteses de envernizamento, que foi a aplicação de um verniz através de uma pistola electrostática. Foram cumpridos todos os testes de caracterização da superfície da madeira que se queriam efectuar.

5.2 Outros Trabalhos Realizados

Foi realizada uma visita ao Departamento de Engenharia das Madeiras da Escola Superior de Tecnologia de Viseu, onde foram realizados testes de aplicação de verniz com pistola aerográfica de forma a adquirir experiência e técnica no seu uso.

5.3 Limitações e Trabalho Futuro

Por questões de limitação temporal e de logística, não foi possível testar o uso de um verniz com aplicação por pistola electrostática. Como trabalho futuro temos o teste industrial e possível posterior implementação em ambiente empresarial.

5.4 Apreciação final

Este trabalho permitiu-me ter um primeiro contacto com o ambiente empresarial, no qual foi possível adquirir conhecimentos na área das madeiras e vernizes. O trabalho contribuiu para a empresa ter agora novas alternativas para a etapa de envernizamento.

Referências

- **CTBA (Centre Technique du Bois et de l'Ameublement)** Ameublement et produits de finition, Paris, 1991
- **Forest Products Laboratory** Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, US Department of Agriculture, 2010
- **F.Rolin, Engenharia e Consultoria Industrial S.A** Estudo sobre a aplicabilidade das novas tecnologias de aplicação e secagem de vernizes e lacas por endurecimento fotocatalítico a raios ultra violeta à indústria do mobiliário, 1992
- **Good, R.,J.** Contact Angle, Wetting and Adhesion: a critical view. Contact Angle, Wetting and Adhesion. Ed. K. L. Mittal. VSP, Utrecht, The Netherlands, 1993
- **Hansemann, W.** Wood, Surface Treatment, Ullmann's Encyclopedia, Germany, 2001
- **ISO 4287** Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method, terms, definitions and surface texture parameters, 1997
- **Ley, D.,A., Fiori, D.,E., Quinn, R.J.** Optimization of acrylic polyols for low VOC two-component water reducible polyurethane coatings using tertiary isocyanate crosslinkers, U.S.A., 1999
- **Nogueira, J.L.** Noções Básicas de Tintas e Vernizes - Volume I
- **NP ISO 15184** Determinação de da dureza da película pelo método do lápis, 2003
- **NP EN ISO 2813** Determinação do brilho especular, 2001
- **Radtech Report May/June 2006** Wood Finishing with UV-Curable coatings, U.S.A., 2006

Anexo 1 - Especificações técnicas dos vernizes

Verniz A:

Viscosidade - 35 ± 5 FORD 4 (23°C)

Densidade - $0,940 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ (23°C)

Relação da mistura - 2:1

Brilho - 30 U.B.

Tempo de secagem - 45 minutos

Pot Life - >5 horas

Verniz B:

Viscosidade - 20 ± 5 DIN 4 (20°C)

Densidade - $0,95 \pm 0,05$ (20°C)

Relação da mistura - 9:1

Brilho - 10-15 U.B.

Tempo de secagem - Ao tacto 20-30 minutos. Total 4 horas

Pot Life - 6 horas