



Universidade do Porto  
**FEUP** Faculdade de  
Engenharia



# *Verniz Aquoso Brilhante de Dois Componentes*



Trabalho realizado por **Ana Rocha**

Março de 2004

66(047.3)  
LEQ 2003/ROCa





Universidade do Porto  
**FEUP** Faculdade de Engenharia



CIN - CORPORAÇÃO INDUSTRIAL DO NORTE, S.A.

# *Verniz Aquoso Brilhante de Dois Componentes*



Trabalho realizado por **Ana Rocha**

Março de 2004



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Social Europeu



prodep III  
Mais Educação

66(247.3)/L69 2003/R002

Universidade do Porto	
Faculdade de Engenharia	
Biblioteca H	
Nº	91314
CDU	667.6(047.3)
Data	22/08/2007

## Sumário

Devido à crescente consciencialização dos problemas ambientais a tendência para utilizar produtos ditos “amigos do ambiente” cresce ano após ano. Sendo assim, a utilização de produtos de base aquosa está em ascensão e são empregues nas mais diversas aplicações. Tudo isso se resume à sua baixa emissão de compostos orgânicos voláteis (VOC's) e ao facto de oferecerem segurança na sua aplicação.

O verniz aquoso de dois componentes foi formulado especialmente para *parquet* e para zonas sujeitas a um grande tráfego. As suas principais características fixavam-se com o facto de este possuir uma excelente resistência à abrasão (semelhante à dos vernizes de base solvente), um brilho elevado, inodoro e com um tempo de secagem curto, de aproximadamente 5 horas, o que permite a aplicação de várias demãos por dia. Uma outra característica importante é a libertação de VOC's que deverá estar de acordo com as normas europeias (VOC's < 250 g/l).

Os métodos de *Taguchi*, utilizados para a selecção da melhor combinação de matérias primas, revelou-se uma ferramenta muito importante. Assim, a eficácia deste método no estudo da selecção de matérias primas para processos de mistura foi comprovada, o que reduz o tempo experimental, as quantidades de matérias primas utilizadas conduzindo assim a custos inferiores.

É de referir que neste relatório todos os produtos químicos utilizados estão codificados de modo a se manter o sigilo profissional.

# Índice

Sumário .....	i
Índice.....	ii
Índice de Tabelas .....	iii
Introdução .....	1
Vernizes de dois componentes.....	1
Métodos de Taguchi.....	4
Trabalho Prévio.....	7
Influência das condições de cura .....	7
Seleção das matérias- primas .....	8
Análise e Discussão de Resultados .....	13
Influência das condições de cura .....	13
Seleção das matérias- primas .....	16
Referências.....	23
Apêndice A – Escala dos Testes .....	24
Dureza Lápis .....	24
Resistência Química.....	24
Apêndice B – Resultados Experimentais para a Influência das Condições de Cura .....	26
Apêndice C – Formulações Relativas ao Arranjo Ortogonal L25 .....	28
Apêndice D – Resultados Experimentais para o Arranjo Ortogonal L25.....	31
Apêndice E – Aditivos .....	42
Anti- Espuma .....	42
Molhantes de Substrato .....	44
Aditivos Nivelantes.....	45
Apêndice F – Normas de Inspeção e Trabalho .....	47
Resistência à Abrasão (ASTM D 4060).....	47
Ensaio de Amortecimento do Pêndulo (EN ISO 1522).....	47
Dureza da Película pelo Teste do Lápis (ASTM D3363) .....	47
Determinação do Brilho Especular de Revestimentos (EN ISO 2813) .....	48
Apêndice G – Aparelhos .....	49

## Índice de Tabelas

Tabela 1. Combinações totais entre os níveis para todos os factores. ....	5
Tabela 2. Combinações entre os níveis dos factores considerando o arranjo ortogonal L4. ....	5
Tabela 3. Média dos resultados obtidos para a característica. ....	6
Tabela 4. Arranjo ortogonal L25 (5 <sup>5</sup> ). ....	11
Tabela 5. Características dos vernizes em diferentes condições de cura. ....	14
Tabela 6. Compacto dos resultados experimentais das novas formulações e dos produtos de referência. ...	17
Tabela 7. Resultados dos ensaios de resistência à abrasão nas diferentes condições de cura. ....	26
Tabela 8. Resultados dos ensaios de brilho em madeira (20°, 60° e 85°), nas diferentes condições de cura. ....	27
Tabela 9. Resultados dos ensaios de dureza lápis, nas diferentes condições de cura. ....	27
Tabela 10. Resultados experimentais das as novas formulações (ensaios 1-11) e dos produtos de referência, para os ensaios de resistência à abrasão. ....	31
Tabela 11. Resultados experimentais das as novas formulações (ensaios 12-25) para os ensaios de resistência à abrasão. ....	32
Tabela 12. Resultados experimentais das novas formulações e dos produtos de referência, para os ensaios de resistência química. ....	33
Tabela 13. Resultados experimentais das novas formulações e dos produtos de referência, para os ensaios de dureza lápis. ....	34
Tabela 14. Resultados experimentais das novas formulações (ensaios 12-25) para os ensaios de dureza lápis. .....	35
Tabela 15. Resultados experimentais das novas formulações (ensaios 1-11) e dos produtos de referência, para os ensaios de dureza pendular. ....	36
Tabela 16. Resultados experimentais das novas formulações (ensaios 12-25), para os ensaios de dureza pendular. ....	37
Tabela 17. Resultados experimentais das novas formulações (ensaios 1-11) e dos produtos de referência, para os ensaios de brilho em vidro (20°, 60° e 85°). ....	38
Tabela 18. Resultados experimentais das novas formulações (12-25), para os ensaios de brilho em vidro (20°, 60° e 85°). ....	39
Tabela 19. Resultados experimentais das novas formulações e dos produtos de referência, para os ensaios de brilho em madeira (20°, 60° e 85°). ....	40
Tabela 20. Resultados das novas formulações e dos produtos de referência para os ensaios de aspecto de película. ....	41

## Introdução

### Vernizes de dois componentes

O mercado europeu de *parquet* tem vindo a crescer ano após ano. Os pavimentos de *parquet* são especialmente aplicados em moradias e edifícios públicos, como por exemplo, teatros, museus, salas de conferências, hotéis, restaurantes, ginásios e salas de baile. Estas superfícies de madeira estão sujeitas diariamente a grandes esforços mecânicos e a desgastes consideráveis, devido ao elevado tráfego a que são submetidas.

De modo a conservar o aspecto natural da madeira, é usual recorrer-se ao envernizamento. Na Europa Ocidental utilizam-se cada vez mais sistemas aquosos para o revestimento dos soalhos de madeira, ao contrário do que acontece no sul do continente, onde se utilizam preferencialmente vernizes de base solvente.

Durante as últimas décadas, tem-se verificado um aumento na pesquisa e desenvolvimento de produtos de base aquosa. Para além de ser um bem disponível, a água não representa efeitos nocivos para a saúde nem para o ambiente. Com o aumento da consciencialização dos problemas ambientais, a tendência para a utilização de produtos contendo solventes orgânicos tem vindo a diminuir, na medida em que estes afectam a camada de ozono, para além de causarem problemas de saúde.

Para se conseguir obter um verniz de base aquosa foi necessário ultrapassar alguns obstáculos, na medida em que a maior parte dos polímeros utilizados em aplicações industriais não são solúveis em água. Estes polímeros sendo naturalmente orgânicos dissolvem-se facilmente em solventes para os quais têm afinidade, tais como tolueno, xileno, etc. Existem no entanto inúmeras formas de tornar estes polímeros solúveis ou dispersivos em água.

As várias formas de se conseguir obter polímeros orgânicos solúveis e/ou dispersos em água incluem:

1. Incorporação de grupos funcionais, tais como grupos carboxil (-COOH) ou hidroxil (-OH). A incorporação destes grupos é comum em resinas alquídicas e epóxicas de base aquosa, bem como em poliésteres e poliuretanos. De forma a melhorar a solubilidade/miscibilidade em água, são incorporados na formulação, co-solventes tais como glicol e éteres.
2. Uso de emulsões de base aquosa – por definição, estas emulsões contêm dois líquidos imiscíveis, em que um se encontra disperso no outro, sendo usados agentes emulsionantes para assegurar a estabilidade da emulsão. Quando um polímero orgânico é emulsionado/disperso em água, a formulação resultante comporta-se como uma

solução aquosa, a qual pode ser realmente diluída em água. Emulsões com gotas muito pequenas na fase dispersa parecem soluções “verdadeiras” e neste caso são habitualmente chamadas de “microemulsões”.

3. Uso de dispersões de base aquosa – ao contrário das emulsões, as dispersões são constituídas por partículas sólidas dispersas/suspensas numa fase líquida. Estes produtos são formulados com agentes dispersantes para torná-los estáveis.

A maioria dos vernizes de *parquet* que contêm solventes baseia-se na “química” do poliuretano:

- Sistemas de poliuretano de um componente de cura por reacção com a humidade do ar;
- Resinas alquídicas de uretano de reticulação oxidativa;
- Vernizes de poliuretano de dois componentes.

São precisamente as dispersões de poliuretano as mais adequadas como ligantes de vernizes aquosos. Os poliuretanos contêm solventes orgânicos ou água e são obtidos mediante uma reacção de policondensação entre os grupos hidroxilo (-OH) de um poliol e os grupos isocianato (-NCO) de um poliisocianato. Estas moléculas caracterizam-se por uma estrutura de cadeia composta por segmentos duros e flexíveis. Os segmentos duros são ricos em grupos uretano que reticulam mediante a formação de pontes de hidrogénio e podem formar estruturas cristalinas, ao contrário do que acontece com os segmentos flexíveis que são relativamente móveis. A combinação destas duas propriedades numa mesma molécula confere aos vernizes de *parquet* boas características mecânicas quer a nível de dureza e resistência, quer a nível de elasticidade.

Os vernizes de poliuretano aquosos de dois componentes representam uma categoria de ligantes muito nova nos sistemas de envernizamento profissional de *parquet*. Os vernizes de dois componentes só são produzidos/comercializados se superarem a alternativa dos de um componente. O grau de aceitação dos vernizes de poliuretano aquosos de dois componentes dependerá da segurança e facilidade da sua aplicação (similar aos vernizes de um componente), da facilidade de mistura dos dois componentes, do tempo de vida da mistura (pot-life) e ainda da estabilidade do mesmo. Sendo assim, em sistemas aquosos de poliuretano de dois componentes devem ser utilizados reticulantes/catalisadores compatíveis com a água, ou seja hidrófilos. Com vista à aplicação profissional, este tipo de reticulantes devem possuir uma baixa viscosidade, a qual pode ser ajustada através de diluição com solventes de modo a facilitar a mistura e a aplicação.

Nos sistemas de poliuretano convencionais, as moléculas poliméricas formam-se, geralmente, depois da aplicação dos vernizes (reacção entre os grupos terminais). Inicialmente as resinas são de baixo peso molecular dando depois origem a uma molécula de poliuretano de alto peso molecular.



Na formulação do verniz, para além do polioli e do poliisocianato, são adicionados aditivos que conferem algumas das características dos vernizes, entre os quais:

- aditivos anti-espuma- evitam a formação de espuma (incorporação de ar);
- aditivos nivelantes- melhoram o nivelamento da película de verniz após aplicação de modo a evitar defeitos de superfície;
- aditivos reológicos- ajustam as propriedades reológicas do sistema e melhoram as propriedades anti-sedimentantes, o que contribui para melhorar a aplicabilidade e a estabilidade;
- aditivos molhantes de substracto- reduzem a tensão superficial ;
- co-solventes- melhoram a aplicação do verniz;
- cera- reduz o brilho, melhora as características do verniz após aplicação, tais como o deslizamento superficial, para além de aumentar a resistência ao risco e à água.

## Métodos de Taguchi

Os métodos de Taguchi consistem num instrumento de planeamento e optimização baseado na Estatística Experimental.

Uma vez que num verniz se podem utilizar várias matérias-primas, para cada tipo de componente, é pretendido avaliar a eficácia destes métodos para o caso de misturas deste tipo, em que o número de componentes a variar é reduzido.

A utilização deste método permite a redução do número de experiências a realizar sem perder informação significativa, conduzindo, deste modo à redução dos custos relativos à experimentação, nomeadamente a nível de tempo, matérias-primas, testes a realizar, etc.

### Arranjos Ortogonais

O número de experiências a realizar é reduzido através da utilização de arranjos ortogonais. Os arranjos ortogonais são matrizes específicas que contêm as várias combinações entre os factores. Essas combinações entre os vários factores têm de ocorrer em igual número, para permitirem a comparação dos vários níveis sob as condições mais variadas. Sendo assim, é possível avaliar o efeito dos parâmetros considerados sobre as características ou desempenho de um produto.

A ortogonalidade baseia-se na avaliação independente de todos os factores, ou seja, o efeito de um factor não influencia na estimativa do efeito de outro factor.

A escolha do arranjo ortogonal é específica de cada processo, uma vez que está dependente do número de factores a variar, do número de níveis de cada factor e ainda das possíveis interacções que poderão ocorrer entre os diversos factores.

### Exemplo de Aplicação

A título explicativo da eficácia deste método, será apresentado em seguida um exemplo de aplicação para um processo fictício.

Considerando o efeito para uma característica arbitrária de três factores (A, B, C) com dois níveis cada uma e sem interacções entre os factores.

Considerando todas as combinações possíveis entre os níveis dos três factores, o número de ensaios total a realizar seria de  $2^3 = 8$ .

**Tabela 1.** Combinações totais entre os níveis para todos os factores.

Sequência	A	B	C	Característica
1	1	1	1	Y1
2	1	1	2	Y2
3	1	2	1	Y3
4	1	2	2	Y4
5	2	1	1	Y5
6	2	1	2	Y6
7	2	2	1	Y7
8	2	2	2	Y8

Recorrendo a arranjos ortogonais, o número de experiências será reduzido para 4, uma vez que este é igual ao número de graus de liberdade totais do sistema mais uma unidade. O número de graus de liberdade totais é dado pela soma dos graus de liberdade para cada factor e dos graus de liberdade das interacções existentes. Os graus de liberdade individuais (para cada factor) são dados pelo número de níveis de cada factor menos uma unidade e os graus de liberdade das interacções são dados pelo produto dos graus de liberdade individuais dos factores envolvidos na respectiva interacção.

### Graus de Liberdade de um arranjo Ortogonal

**Tabela 2.** Combinações entre os níveis dos factores considerando o arranjo ortogonal L4.

Sequência	A	B	C	Característica
1	1	1	1	5
2	1	2	2	6
3	2	1	2	10
4	2	2	1	8

O arranjo ortogonal utilizado é o arranjo que corresponderá ao número de graus de liberdade dados pelo sistema ( $1+1+1 = 3$ ). O “índice” da matriz indica o número de ensaios a realizar.

Depois de efectuados todos os ensaios, a característica a otimizar, deve ser avaliada de modo ser possível a escolha da melhor combinação entre os vários factores. A análise dos resultados é feita avaliando a média da característica em estudo para cada nível como é indicado em seguida:

$$\bar{A}_1 = \frac{5+6}{2} = 5,5$$

$$\bar{B}_1 = \frac{5+10}{2} = 7,5$$

$$\bar{C}_1 = \frac{5+8}{2} = 6,5$$

$$\bar{A}_2 = \frac{10+8}{2} = 9,0$$

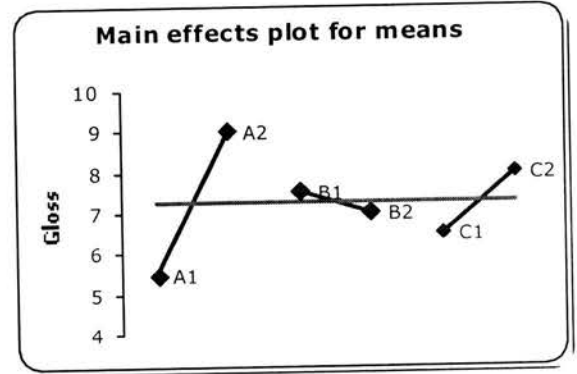
$$\bar{B}_2 = \frac{6+8}{2} = 7,0$$

$$\bar{C}_2 = \frac{6+10}{2} = 8,0$$

Assim, quantificando a influência de cada factor na característica avalia-se a importância do mesmo através da diferença, em termos absolutos, entre a média dos dois níveis de cada factor.

**Tabela 3.** Média dos resultados obtidos para a característica.

Respostas	A	B	C
Nível 1	5,5	7,5	6,5
Nível 2	9,0	7,0	8,0
Diferença (em módulo)	3,5	0,5	1,5
“Importância”	1	3	2



Uma vez que se pretende minimizar a característica em questão, é escolhida como melhor formulação a combinação entre os níveis de cada factor para o qual se observa o menor valor para essa característica. De acordo com a representação anterior, esta combinação será dada por A1 (A com nível 1), B2 e C1. Para esta formulação o valor previsto para a característica em estudo é dado pela seguinte relação:

$$\begin{aligned}\mu &= \bar{T} + (\bar{A}_1 - \bar{T}) + (\bar{B}_2 - \bar{T}) + (\bar{C}_1 - \bar{T}) = \\ &= 7,25 + (5,5 - 7,25) + (7,0 - 7,25) + (6,5 - 7,25) = 4,5 \text{ unidades arbitrárias}\end{aligned}$$

em que  $\bar{T}$  representa a média para todas as leituras.

O passo seguinte será verificar este valor através da leitura da característica para o ensaio correspondente à melhor combinação.

## Trabalho Prévio

### Influência das condições de cura

De modo a efectuar uma avaliação profunda da influência das condições atmosféricas nas características finais dos vernizes, foi realizado um estudo da influência das condições de cura.

As características avaliadas foram a Resistência à Abrasão, a Dureza Lápis e o Brilho. Para tal, foram utilizados 4 produtos em 4 condições de cura diferentes.

Os produtos utilizados foram *PCI* (produto comercial de 1 componente da CIN de base aquosa), *PC 2* (produto comercial de 2 componentes da CIN de base solvente), *PC 3* (produto comercial de referência de mercado; 2 componentes de base aquosa) e *PC 4* (produto comercial de 2 componentes da CIN de base aquosa).

Os locais de cura foram seleccionados de acordo com o que era pretendido com este estudo. Sob condições 100% controladas foram colocados os provetes de ensaio na câmara climática a 23°C e com 50% de humidade. Para se poder analisar os resultados sob condições extremas, os provetes foram colocados no exterior (protegidos da chuva) sujeitos a variações bruscas de temperatura e humidade. De modo a se poder estudar também uma situação intermédia, foram colocados provetes no Laboratório de Aplicações e na Sala dos Aparelhos, onde estão expostos apenas a temperaturas controladas. No entanto, estes dois últimos locais diferem na temperatura da sala.

Como já foi referido anteriormente, os ensaios efectuados foram:

- Resistência à abrasão (4 demãos em provetes de madeira, aplicação à trincha, 7 dias de cura, 1000 ciclos);
- Brilho (4 demãos em provetes de madeira, aplicação a rolo, 3 dias de cura a 20°, 60° e 85°);
- Dureza lápis (100 µm sobre vidro, 7 dias de cura).

## Seleção das matérias- primas

De acordo com o relatório do CRGI e recorrendo a informações obtidas nos fornecedores, foi possível escolher um conjunto de matérias- primas a ensaiar. As principais matérias- primas de um verniz de dois componentes são o polioliol e o endurecedor, pois são os intervenientes da reacção de policondensação, que está na base da formulação deste tipo de verniz.

De acordo com a matérias- primas obtidas do estudo anterior, estas foram sujeitas a uma análise de modo a seleccionar quais os componentes a variar na formulação, de modo a obter um verniz aquoso de dois componentes com boas características mecânicas e um brilho elevado. Assim, os componentes chave utilizados na formulação foram: o polioliol, o endurecedor/catalisador, o aditivo anti-espuma, o aditivo nivelante e o aditivo reológico.

No que se refere ao **polioliol** foram avaliadas as seguintes alternativas:

1. **P1** – dispersão de poliuretano modificada com ácidos gordos alifáticos, especialmente recomendada para vernizes de *parquet*;
2. **P2** – dispersão de poliacrilonitrilo para acabamentos pigmentados ou transparentes de alto brilho;
3. **P3** – dispersão de poliéster/poliuretano para sistemas de um ou dois componentes. É especialmente usado para aplicações de alta qualidade em madeira e para áreas de grande tráfego;
4. **P4** – dispersão alifática de poliuretano recomendada para sistemas de um ou dois componentes. É especialmente usado para vernizes de *parquet*; é de fácil mistura em dispersões aquosas de isocianatos;
5. **P5** – dispersão alifática de poliuretano. É especialmente usado para vernizes de *parquet*.

Para o **catalisador/endurecedor** foi estudado o efeito das seguintes alternativas:

1. **E1** – dispersão aquosa alifática de poliisocianatos para reticulação de dispersões hidroxifuncionais. É hidrofílico permitindo que a mistura dos dois componentes seja manual;
2. **E2** - dispersão aquosa alifática de poliisocianatos para reticulação de dispersões hidroxifuncionais. É hidrofílico permitindo que a mistura dos dois componentes seja manual, especialmente indicado para aplicações industriais;

3. **AE3** – dispersão aquosa alifática de poliisocianatos à base de diisocianato hexametileno (HDI);
4. **AE4** – dispersão aquosa alifática de poliisocianatos para reticulação de polímeros hidroxifuncionais.

Relativamente ao **aditivo anti-espuma** foram escolhidos:

1. **AE1/ AE2** – o AE1 é adicionado sob forte agitação uma vez que é hidrofóbico (incompatível com a água) e é indicado para sistemas emulsionados. O AE2 é menos hidrofóbico e portanto é de fácil incorporação;
2. **AE3** – especialmente indicado para sistemas aquosos de dois componentes. A sua principal função é evitar a formação de bolhas no momento da adição do catalisador e é indicado para vernizes transparentes. Pode ser incorporado sob fraca agitação;
3. **AE4** – solução de co-polímero de poliéter siloxano; contém sílica. É especialmente recomendado para sistemas de base aquosa e a sua eficiência é elevada e duradoura.
4. **AE5** – solução de co-polímero de poliéter siloxano, livre de sílica, especialmente recomendado para sistemas de base aquosa.
5. **AE6** – solução de co-polímero de poliéter siloxano; contém sílica. É especialmente recomendado para sistemas de base aquosa; previne a micro e macro espuma.

Para o **aditivo nivelante** estudaram-se as seguintes possibilidades:

1. **N1** – não altera a tensão superficial e deve ser adicionado no final da formulação com agitação mecânica;
2. **N2** – solução de co-polímero de polidimetilsiloxano poliéter modificado. Reduz a tensão superficial, aumenta a resistência ao risco, aumenta o brilho, aumenta a molhagem do substrato e melhora o nivelamento;
3. **N3** – solução de co-polímero de polidimetilsiloxano poliéter modificado. Aumenta sensivelmente a resistência ao risco e melhora a molhagem do substrato;
4. **N4** – solução de co-polímero de poliéter siloxano. Aumenta o nivelamento e o brilho.
5. **N5** – solução de co-polímero de poliéter siloxano. Aumenta o nivelamento e o brilho.
6. **N6\*** – solução de co-polímero de poliéter siloxano. Aumenta o nivelamento e a resistência ao risco. Previne o aparecimento de crateras.

---

\* A ser testado na formulação óptima.

Para o **aditivo reológico** foi estudado o efeito das seguintes alternativas:

1. **R1** – aditivo reológico à base de uretano não iónico;
2. **R2** – aditivo reológico à base de uretano não iónico;
3. **R3** – associação de poliuretano com poliéter modificado, sem libertações de COV's, para sistemas de base aquosos;
4. **R4** – associação à base de poliéter e polioliol para sistemas de elevada viscosidade;
5. **R5** – associação de poliuretano com poliéter modificado para sistemas de base aquosos.

Foram considerados apenas estes compostos a variar uma vez que eram os mais importantes. Por outro lado, as alternativas consideradas para cada componente foram limitadas para que o número de experiências a realizar não fosse muito elevado uma vez que o tempo a dedicar a este projecto era limitado.

Os restantes componentes, que se mantiveram inalterados nas várias formulações, foram:

- **M1** – aditivo molhante que tem como principal função aumentar a molhagem do substrato em sistemas aquosos. Não aumenta a resistência ao risco;
- **M2\*** – aditivo molhante de substrato.
- **C** – cera

Na formulação utilizaram-se co-solventes para baixar a viscosidade do verniz permitindo assim melhorar a aplicabilidade do verniz. Assim, foi utilizado o butilglicol (em solução 1:9 em água) para ajustar as percentagens dos componentes. Para diluição do endurecedor foi utilizado *SDE*, permitido ainda tornar o verniz mais económico.

Como já foi previamente referido, recorreu-se ao Método de Taguchi para seleccionar as matérias-primas a utilizar no verniz aquoso de dois componentes. Assim, depois de escolhidos os componentes chave, ou seja, os factores (componentes constituintes do verniz a variar) e de obtidas as várias opções para cada um desses componentes, ou seja, os vários níveis de cada factor, escolheu-se a matriz que satisfaz esses parâmetros.

Os factores seleccionados foram 5 (o polioliol, o endurecedor, o aditivo anti-espuma, o aditivo nivelante e o aditivo reológico). Os graus de liberdade para cada parâmetro são dados através da expressão:

$$v_A = k - 1$$

em que  $k$  corresponde ao número de níveis (número de possibilidades para cada função).



A escolha do arranjo ortogonal em que os métodos de Taguchi se baseiam, deve ser feita mediante o conhecimento dos graus de liberdade globais para o sistema em estudo. Com este método o número de experiências a realizar para a escolha das matérias-primas foi substancialmente reduzido relativamente ao número de experiências a realizar, caso se considerassem todas as combinações possíveis.

Analisando o caso referente a todas as combinações, o número de experiências a realizar seria de 3125 ( $5^5=3125$ ), que corresponde ao produto dos níveis de todos os factores. A alternativa referente aos métodos de Taguchi apenas requer 25 ensaios, mantendo-se o mesmo nível de informação conseguido através da utilização dos arranjos ortogonais.

**Tabela 4.** Arranjo ortogonal L25 ( $5^5$ ).

Sequência	Poliol	Endurecedor	Anti-espuma	Nivelante	Reológico
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	1	5	5	5	5
6	2	1	1	1	1
7	2	2	2	2	2
8	2	3	3	3	3
9	2	4	4	4	4
10	2	5	5	5	5
11	3	1	1	1	1
12	3	2	2	2	2
13	3	3	3	3	3
14	3	4	4	4	4
15	3	5	5	5	5
16	4	1	1	1	1
17	4	2	2	2	2
18	4	3	3	3	3
19	4	4	4	4	4
20	4	5	5	5	5
21	5	1	1	1	1
22	5	2	2	2	2
23	5	3	3	3	3
24	5	4	4	4	4
25	5	5	5	5	5

De modo a evitar a ocorrência de erros aleatórios (condições atmosféricas, analista/operador, etc.) foi adoptada uma sequência aleatória de realização dos ensaios que poderiam afectar os resultados.

Sempre que houver referência aos ensaios, a numeração destes corresponderá à sequência de execução.

As várias formulações foram baseadas numa formulação orientativa da Bayer, para vernizes brilhantes aquosos de dois componentes para *parquet*. De modo a manter um teor de sólidos total aproximadamente igual a 33 %, foi necessário efectuar ajustes evidenciados pelas diferentes quantidades de água e co-solvente introduzidas nas formulações.

Durante a preparação e aplicação dos vernizes foram tidos em atenção vários aspectos:

- A mistura/dispersão de todos os componentes foi efectuada mecanicamente sob fraca agitação (~ 450 rpm) e durante um curto período de tempo (~ 10 min.);
- A quantidade de matérias- primas foi mantida constante nas formulações, à excepção do poliol (que continham diferentes percentagens de sólidos) e a quantidade de água e de solvente orgânico (que permitiam um ajuste da quantidade de verniz formulado);
- A mistura do componente 1 e 2 efectou-se manualmente, dado que o endurecedor (componente 2) é hidrofílico;
- Efectuou-se uma lixagem suave entre demãos (lixa 220) para melhorar a aderência entre as sucessivas camadas de verniz aplicadas;
- O tempo de secagem entre demãos foi cerca de 5 horas.

## Análise e Discussão de Resultados

### Influência das condições de cura

No decorrer do trabalho experimental, ponderou-se a hipótese dos resultados serem afectados pelas condições ambientais. Foi realizado um estudo da influência das condições de cura em determinadas características, tais como Resistência à Abrasão, Dureza Lápis e Brilho. Para tal, foram utilizados 4 produtos em 4 condições de cura diferentes.

Na tabela 5 encontram-se os resultados experimentais das características dos vernizes em diferentes condições de cura, em que:

- A. *PC1*
  - B. *PC2*
  - C. *PC3*
  - D. *PC4*
1. Câmara climática (23°C, 50% Humidade);
  2. Exterior;
  3. Laboratório Decorativos;
  4. Sala dos Aparelhos.

Os resultados para estes testes encontram-se detalhadamente no **Apêndice B**.



**Figura 1.** Ensaio de brilho em madeira.

**Tabela 5.** Características dos vernizes em diferentes condições de cura.

Ensaio	Provete	Resistência à Abrasão				Dureza lápiz	Brilho		
		Perda de Peso (mg)	Diferença da perda de peso (mg)	Perda de peso médio (mg)	Coefficiente de variação (%)		20°	60°	85°
A-1	1	32	4	34	11,76	B	10,0	45,7	60,9
	2	36							
A-2	1	62	6	59	10,17	B	25,9	66,6	68,7
	2	56							
A-3	1	106	4	108	3,70	B	20,5	60,9	63,8
	2	110							
A-4	1	142	2	143	1,40	B	17,5	58,9	62,9
	2	144							
B-1	1	48	6	51	11,76	HB	22,0	59,9	63,8
	2	54							
B-2	1	64	6	67	8,96	F	11,9	45,6	62,1
	2	70							
B-3	1	150	10	145	6,90	F	5,6	27,6	45,3
	2	140							
B-4	1	125	13	119	10,97	F	11,0	40,9	55,4
	2	112							
C-1	1	34	6	37	16,22	HB	2,0	16,0	41,9
	2	40							
C-2	1	84	6	87	6,90	HB	3,1	18,0	46,3
	2	90							
C-3	1	63	13	57	23,01	HB	2,2	17,2	43,2
	2	50							
C-4	1	138	12	132	9,09	HB	3,1	24,2	47,8
	2	126							
D-1	1	50	12	56	21,43	2B	4,3	23,3	31,4
	2	62							
D-2	1	84	2	83	2,41	2B	8,9	42,3	46,4
	2	82							
D-3	1	47	3	46	6,59	2B	11,1	44,5	49,1
	2	44							
D-4	1	155	3	157	1,92	2B	9,1	33,2	35,3
	2	158							

Efectuando uma análise aos resultados obtidos, é possível verificar que à excepção do produto *PC4* todos os outros apresentam uma menor perda de peso, para os provetes que curaram na câmara climática, sob condições de temperatura e humidade controladas.

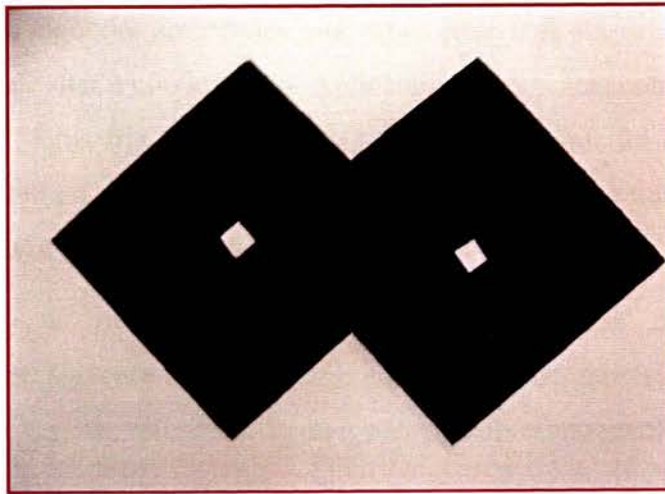
No que diz respeito aos ensaios de brilho, estes diferem um pouco de produto para produto. Para os ensaios realizados com os produtos *PC4* e *PC3*, os melhores resultados de brilho são obtidos em condições normais de aplicação, ou seja, com ar condicionado, mas quando a humidade relativa não

pode ser controlada. No entanto, apenas o ensaio efectuado com o produto *PCI* apresenta melhores resultados de brilho, para as condições de cura não controladas (exterior).

No que diz respeito aos ensaios de dureza lápis, as condições de cura não parecem produzir qualquer efeito sobre os mesmos.

Após este estudo acerca da influência das condições de cura nas características finais dos vernizes, é possível concluir que a característica que mais perturbações sofre com as oscilações do estado atmosférico é a resistência à abrasão.

De acordo com os resultados obtidos, os ensaios referentes à resistência à abrasão, realizados para as novas formulações, possuirão um período de cura na câmara climática. No entanto, devido a estudos anteriormente efectuados, foi possível concluir que o provete normalmente utilizado para este tipo de ensaios ( pinho) também influencia o resultado final. Sendo assim, nos novos ensaios foram utilizados provetes de carta leneta. Com este tipo de provete é também possível controlar a espessura húmida do verniz a aplicar.



**Figura 2.** Provetes de carta leneta para ensaios de resistência a abrasão antes (esquerda) e depois (direita) da utilização.

## Seleccção das matérias- primas

Para caracterizar os vários vernizes e avaliar o desempenho de cada formulação, foram efectuados vários testes com o objectivo de avaliar as principais características mecânicas e técnicas. Sendo assim, é possível efectuar a selecção da melhor combinação de matérias primas à qual corresponde um melhor desempenho em todas as características avaliadas. Assim, foram efectuados os seguintes testes:

- Brilho, sobre vidro (150  $\mu\text{m}$ ) com 24 horas de cura e sobre madeira (4 demãos, a rolo), com 7 dias de cura, a 20°, 60° e 85°;
- Resistência à abrasão (perda de peso em g), 300  $\mu\text{m}$  sobre carta leneta com 7 dias de cura em condições de temperatura e humidade controladas (23°C e 50% de humidade). Foram utilizados os discos abrasivos CS 17 e cada ensaio era constituído por 500 ciclos;
- Dureza Pendular (Pendulo Persoz) e Dureza Lápis (Escala de dureza HB), sobre vidro (100  $\mu\text{m}$ ) e com 24 horas, 3 dias e 7 dias de cura;
- Resistência Química, sobre madeira e com 4 demãos aplicadas a rolo e com 7 dias de cura. Foram colocados algodões embebidos nos vários reagentes em estudo tapados com frascos de vidro, de modo a evitar a condensação. Aplicaram-se reagentes como a água quente (a 60° C e durante 6 horas), água fria (à temperatura ambiente e durante 24 horas), solução de etanol a 96% (durante 6 horas), solução de amoníaco a 10% (durante 24 horas), solução de Teepol 5% (durante 24 horas) e vinho tinto (durante 24 horas).

Os ensaios realizados às novas formulações terão como base de comparação o verniz monocomponente de base solvente da CIN (PC5), o verniz monocomponente de base aquosa da CIN (PC6) e o verniz de base aquosa, referência de mercado, de dois componentes, PC3.

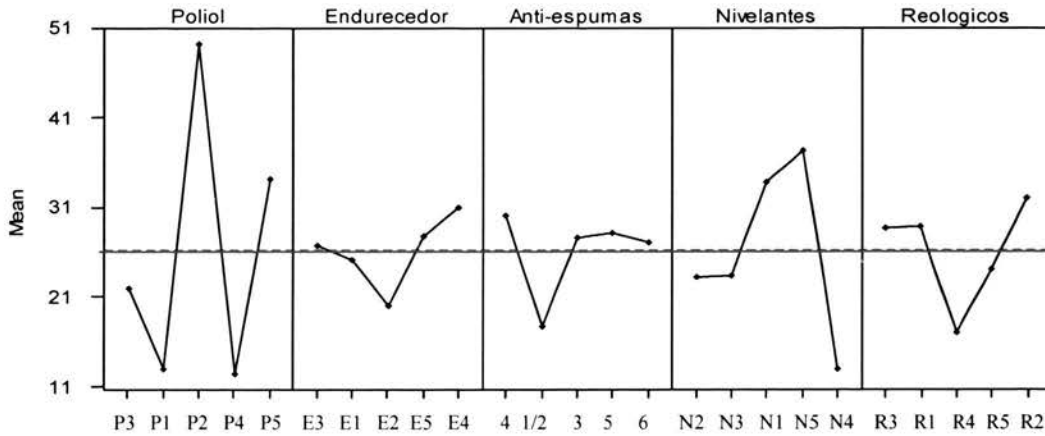
Os resultados para estes testes encontram-se detalhadamente no **Apêndice D** e as formulações respectivas encontram-se no **Apêndice C**. Em seguida apresentam-se, de uma forma resumida, os mesmos resultados de um modo prático (ver legenda no **Apêndice A**) para ser possível a análise posterior – Seleccção das melhores matérias primas, pelo método de *Taguchi*.

Tabela 6. Compacto dos resultados experimentais das novas formulações e dos produtos de referência.

Ensaio	Resistência à abrasão (300 µm sobre carta leneta; 7 dias de cura em condições controladas- 23 °C; 50% humidade)	Resistência Química						Brilho (150 µm sobre vidro; 24 horas de cura; 60°)	Brilho (60 °, 4 demãos sobre madeira; 7 dias de cura)	Dureza Lápis (100 µm sobre vidro; 7 dias de cura)	Dureza Pendular (100 µm sobre vidro; 7 dias de cura)
		Água Quente	Água Fria	Solução Amoníaco (10%)	Vinho Tinto	Álcool (96%)	Solução Teepol (5%)				
PC5	19,5	*	*	3	*	1	*	151,63	96,73	2H	530
PC6	21,0	1	1	4	1	2	1	149,27	74,37	H	539
PC3	25,5	2	*	4	*	2	*	32,33	15,07	HB	141
1	6,5	*	*	4	1	2	2	90,45	36,57	3B	73
2	11,5	*	*	4	*	*	*	103,90	57,00	HB	119
3	13,0	2	*	5	*	2	*	101,72	54,23	2B	81
4	24,0	2	2	4	*	2	1	88,92	24,00	2B	78
5	62,5	1	2	5	2	4	1	112,28	68,13	H	77
6	6,5	2	2	5	*	2	*	120,37	54,83	B	118
7	29,0	*	*	5	1	2	1	101,25	46,50	HB	202
8	7,5	*	*	3	*	1	*	86,65	47,27	B	125
9	9,0	*	*	3	*	1	*	95,18	50,83	H	250
10	10,0	2	*	3	*	3	*	82,78	47,47	2H	124
11	54,5	*	*	5	*	1	1	120,88	46,40	HB	222
12	51,5	1	*	5	1	3	2	89,30	41,13	H	168
13	10,5	2	2	4	1	3	1	99,45	28,67	H	43
14	17,5	*	2	4	1	3	1	70,28	51,70	F	112
15	67,0	3	3	5	3	5	2	115,78	61,57	HB	185
16	24,5	2	*	5	1	2	*	118,85	58,20	B	93
17	29,5	3	2	5	1	4	1	110,85	34,50	F	164
18	45,0	3	2	5	1	4	1	123,85	47,33	HB	156
19	42,0	3	2	5	1	4	1	97,42	27,10	HB	135
20	7,5	*	*	3	1	3	1	114,22	52,57	H	196
21	41,0	*	2	5	1	3	1	125,52	66,03	H	213
22	44,0	*	*	4	*	2	1	84,45	42,70	H	349
23	16,5	*	2	4	1	4	1	46,83	37,73	H	116
24	10,5	*	*	4	2	3	1	59,72	37,13	H	337
25	12,0	*	*	5	1	3	*	83,77	49,07	2H	163

Após terem sido efectuados os ensaios já referidos, procedeu-se ao estudo do efeito dos vários factores em cada uma das características. Para tal utilizaram-se os métodos de *Taguchi* que geraram os seguintes resultados:

### Resistência à abrasão



**Figura 3.** Efeito das várias matérias-primas nos ensaios de resistência à abrasão.

Analisando o comportamento dos factores em relação à perda de peso (menor perda de peso durante o desgaste corresponde a uma maior resistência à abrasão), e da análise dos gráficos anteriores verifica-se que os factores/componentes que mais influenciam são o poliol e o aditivo nivelante, uma vez que para estes factores se observam maiores amplitudes nos resultados obtidos.

Da análise desta característica, as matérias primas escolhidas para maximizar a resistência à abrasão seriam: *P1* e o *P4* como poliol, *E2* como endurecedor, *AE1/AE2* como aditivo anti-espuma, *N4* como aditivo nivelante e o *R4* como aditivo reológico.



## Resistência Química

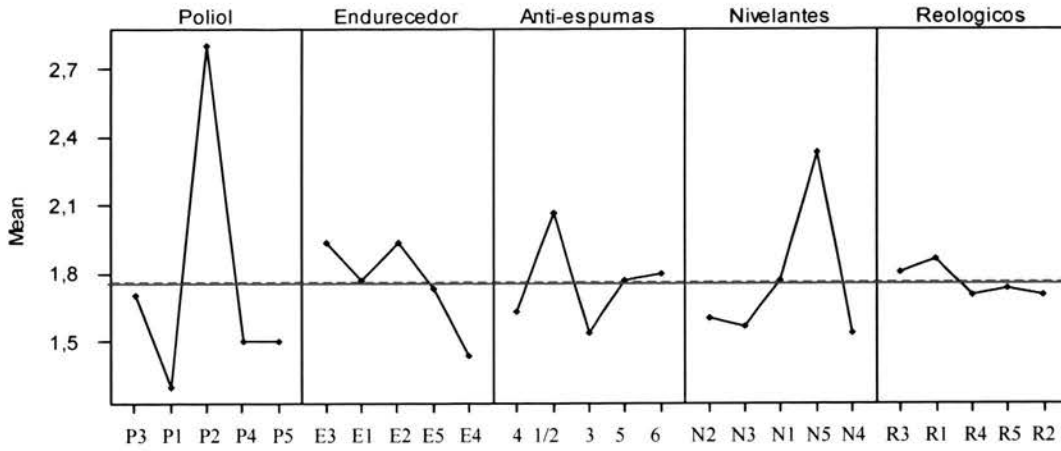


Figura 4. Efeito das várias matérias-primas nos ensaios de resistência química.

Para a resistência química, e da análise dos gráficos anteriores, verifica-se que os factores que mais influenciam são o poliol e o aditivo nivelante.

Da análise desta característica é possível conferir que as matérias primas que melhor optimizam a resistência química seriam: *P1* como poliol, *E4* como endurecedor, *AE3* como aditivo anti-espuma, *N4* como aditivo nivelante e o *R2* como aditivo reológico.

## Brilho em vidro

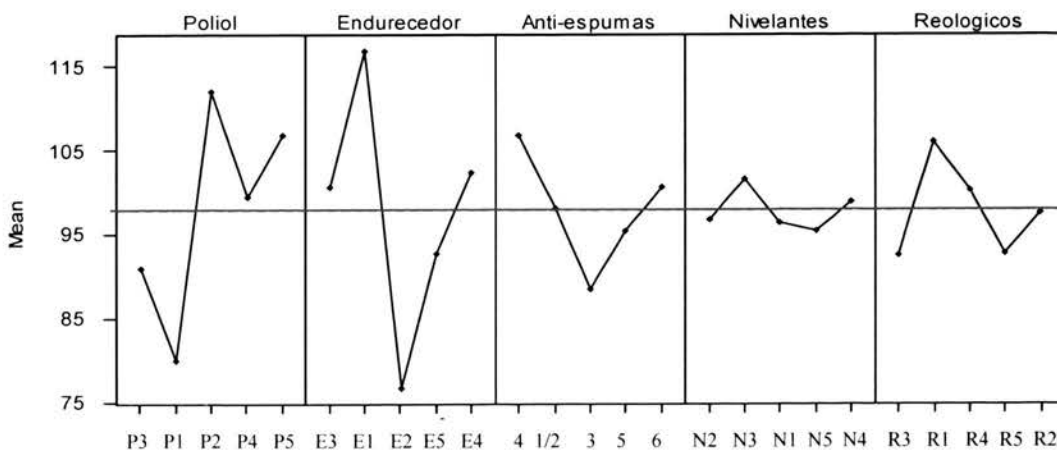
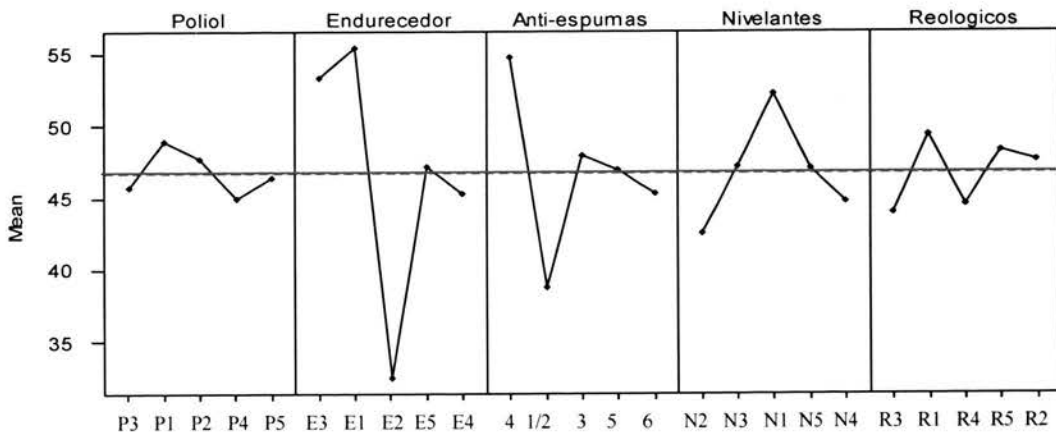


Figura 5. Efeito das várias matérias-primas nos ensaios de brilho (em vidro).

Relativamente a esta característica, e da análise dos gráficos anteriores verifica-se que os factores/componentes que mais influenciam são o polioli e o endurecedor, uma vez que para estes dois factores se observam os maiores e os menores valores para o brilho.

Da análise desta característica, as matérias primas escolhidas para a optimização do brilho seriam o *P2* como polioli, *E1* como endurecedor, *AE4* como aditivo anti-espuma, *N3* como aditivo nivelante e o *R1* como aditivo reológico.

### Brilho em madeira

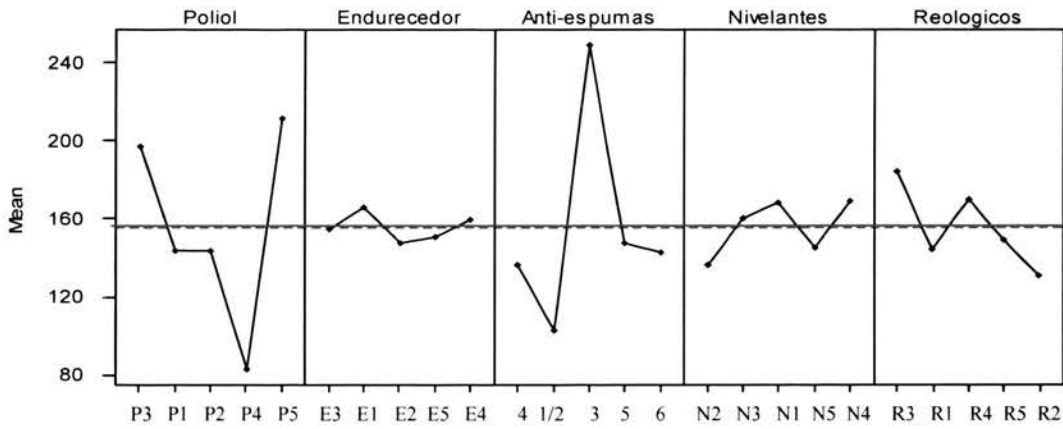


**Figura 6.** Efeito das várias matérias-primas nos ensaios de brilho (em madeira).

No que diz respeito ao brilho em madeira, e da análise dos gráficos anteriores verifica-se que os factores/componentes que mais influenciam são o endurecedor e o aditivo anti-espuma, uma vez que para estes dois factores se observam uma maior amplitude nos valores de brilho.

Da análise desta característica, as matérias primas escolhidas para a optimização do brilho seriam o *P1* como polioli, *E1* como endurecedor, *AE4* como aditivo anti-espuma, *N1* como aditivo nivelante e o *R1* como aditivo reológico.

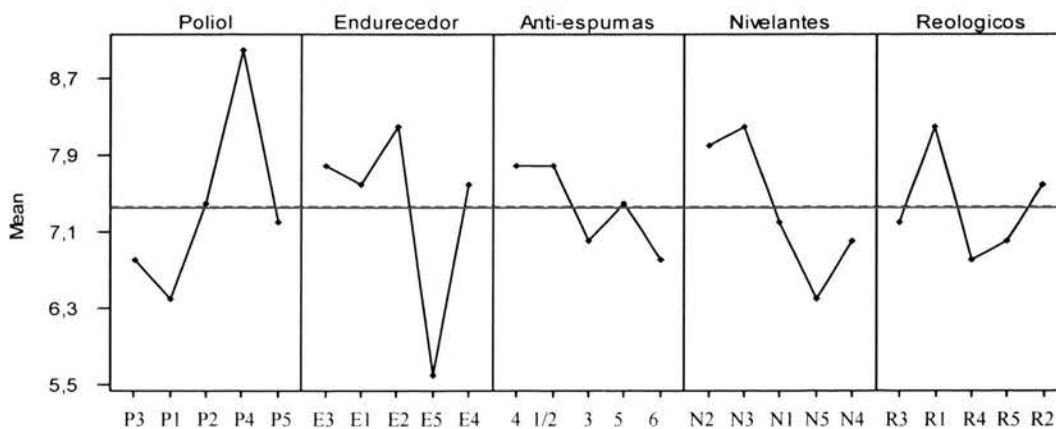
É possível observar-se que as matérias-primas que melhor optimizam o brilho em madeira se assemelham às que melhor optimizam o brilho em vidro.

**Dureza pendular**

**Figura 7.** Efeito das várias matérias-primas nos ensaios de dureza pendular.

Da análise dos gráficos anteriores verifica-se que os factores/componentes que mais influenciam a dureza pendular são o poliol e o aditivo anti-espuma.

Para maximizar a dureza pendular seriam escolhidas as seguintes matérias primas: *P5* como poliol, *E1* como endurecedor, *AE3* como aditivo anti-espuma, *N2* ou o *N4* como aditivo nivelante e o *R3* como aditivo reológico.

**Dureza Lápis**

**Figura 8.** Efeito das várias matérias-primas nos ensaios de dureza lápis.

Relativamente aos gráficos anteriores verifica-se que os factores/componentes que mais influenciam a dureza lápis são o polioliol, o endurecedor e o aditivo nivelante.

Para minimizar a dureza lápis seriam escolhidas as seguintes matérias primas: *P1* como polioliol, *E3B*<sup>†</sup> como endurecedor, *AE6* como aditivo anti-espuma, *N5* como aditivo nivelante e o *R4* como aditivo reológico.

Apesar de se ter estudado o efeito dos vários factores em cada uma das características, o que na realidade se pretendia era que a formulação final apresenta-se uma optimização de todas essas características em conjunto. Sendo assim, pela análise das matérias-primas que melhor optimizam cada uma das características finas do verniz, é possível tirar algumas conclusões:

- Polioliol: *P1*;
- Endurecedor: *E1*;
- Aditivo Anti- Espuma: *AE4* ou *AE3*;
- Aditivo Nivelante: *N4*;
- Aditivo Reológico: *R1* ou *R4*.

---

<sup>†</sup> O endurecedor E3B é o mesmo que o E3. Optou-se por utilizar duas designações diferentes para se poder obter uma matriz L25 (5 factores e 5 níveis).

## Referências

1. Ross, Phillip J., *Aplicações das Técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade*, McGraw Hill (S. Paulo), 1996
2. [www.tego.de](http://www.tego.de)
3. [www.amsup.com](http://www.amsup.com)

## Apêndice A – Escala dos Testes

### Dureza Lápis

6B	5B	4B	3B	2B	B	HB	F	H	2H	3H	4H	5H	6H
Macio										Duro			

### Resistência Química

#### – Água Quente

*	1	2	3
Não sofre alteração.	Perde brilho e apresenta uma pequena mancha branca. Recupera ao fim de 24 horas.	Perde brilho. Atenua ao fim de 24 horas.	Perde brilho e apresenta uma mancha branca. Atenua muito pouco ao fim de 24 horas.

#### – Água Fria

*	1	2
Não sofre alteração.	Mancha branca. Recupera ao fim de 24 horas.	Perde um pouco de brilho. Recupera parcialmente ao fim de 24 horas.

#### – Vinho Tinto

*	1	2
Não sofre alteração.	Mancha cor de rosa. Recupera ao fim de 24 horas.	Mancha cor de rosa; perde brilho. Recupera parcialmente ao fim de 24 horas.

## – Solução Teepol (5%)

*	1	2
Não sofre alteração.	Perde um pouco de brilho. Recupera ao fim de 24 horas.	Perde brilho. Atenua ao fim de 24 horas.

## – Solução Amoníaco (10%)

3	4	5
Mancha verde muito pequena; atenua ao fim de 24 horas.	Mancha verde, com a forma do copo, mais escura onde estava localizado o algodão. Atenua muito pouco ao fim de 24 horas.	Mancha verde muito escuro, com a forma do copo, mais escura onde estava localizado o algodão. Não atenua ao fim de 24 horas.

## – Álcool (96%)

*	1	2	3	4
Não sofre alteração.	Perde um pouco de brilho. Recupera ao fim de 24 horas.	Mancha amarelada com a forma do copo; perde brilho. Recupera parcialmente ao fim de 24 horas.	Mancha amarela muito pequena; perde brilho e verniz. Recuperação parcial ao fim de 24 horas.	Mancha amarela com a forma do copo; perde brilho e verniz. Não há qualquer recuperação ao fim de 24 horas.

## Apêndice B – Resultados Experimentais para a Influência das Condições de Cura

Tabela 7. Resultados dos ensaios de resistência à abrasão nas diferentes condições de cura.

Ensaio	Provete	Peso inicial (g)	Peso inicial (mg)	Peso final (g)	Peso final (mg)	Perda de Peso (mg)	Diferença da perda de peso (mg)	Perda de peso médio (mg)	Coefficiente de variação (%)																																																																																																																																																																																																																																												
A-1	1	34,108	34108	34,092	34092	32	4	34	11,76																																																																																																																																																																																																																																												
	2	35,747	35747	35,729	35729	36				A-2	1	36,552	36552	36,490	36490	62	6	59	10,17	2	34,194	34194	34,138	34138	56	A-3	1	37,499	37499	37,393	37393	106	4	108	3,70	2	38,042	38042	37,932	37932	110	A-4	1	39,295	39295	39,153	39153	142	2	143	1,40	2	36,916	36916	36,772	36772	144	B-1	1	31,298	31298	31,274	31274	48	6	51	11,76	2	35,064	35064	35,037	35037	54	B-2	1	35,585	35585	35,521	35521	64	6	67	8,96	2	35,690	35690	35,620	35620	70	B-3	1	36,643	36643	36,493	36493	150	10	145	6,90	2	38,499	38499	38,359	38359	140	B-4	1	39,529	39529	39,404	39404	125	13	119	10,97	2	37,248	37248	37,136	37136	112	C-1	1	31,579	31579	31,562	31562	34	6	37	16,22	2	36,599	36599	36,579	36579	40	C-2	1	39,243	39243	39,159	39159	84	6	87	6,90	2	32,965	32965	32,875	32875	90	C-3	1	35,545	35545	35,482	35482	63	13	57	23,01	2	38,183	38183	38,133	38133	50	C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09	2	37,142	37142	37,016	37016	126	D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142
A-2	1	36,552	36552	36,490	36490	62	6	59	10,17																																																																																																																																																																																																																																												
	2	34,194	34194	34,138	34138	56				A-3	1	37,499	37499	37,393	37393	106	4	108	3,70	2	38,042	38042	37,932	37932	110	A-4	1	39,295	39295	39,153	39153	142	2	143	1,40	2	36,916	36916	36,772	36772	144	B-1	1	31,298	31298	31,274	31274	48	6	51	11,76	2	35,064	35064	35,037	35037	54	B-2	1	35,585	35585	35,521	35521	64	6	67	8,96	2	35,690	35690	35,620	35620	70	B-3	1	36,643	36643	36,493	36493	150	10	145	6,90	2	38,499	38499	38,359	38359	140	B-4	1	39,529	39529	39,404	39404	125	13	119	10,97	2	37,248	37248	37,136	37136	112	C-1	1	31,579	31579	31,562	31562	34	6	37	16,22	2	36,599	36599	36,579	36579	40	C-2	1	39,243	39243	39,159	39159	84	6	87	6,90	2	32,965	32965	32,875	32875	90	C-3	1	35,545	35545	35,482	35482	63	13	57	23,01	2	38,183	38183	38,133	38133	50	C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09	2	37,142	37142	37,016	37016	126	D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158												
A-3	1	37,499	37499	37,393	37393	106	4	108	3,70																																																																																																																																																																																																																																												
	2	38,042	38042	37,932	37932	110				A-4	1	39,295	39295	39,153	39153	142	2	143	1,40	2	36,916	36916	36,772	36772	144	B-1	1	31,298	31298	31,274	31274	48	6	51	11,76	2	35,064	35064	35,037	35037	54	B-2	1	35,585	35585	35,521	35521	64	6	67	8,96	2	35,690	35690	35,620	35620	70	B-3	1	36,643	36643	36,493	36493	150	10	145	6,90	2	38,499	38499	38,359	38359	140	B-4	1	39,529	39529	39,404	39404	125	13	119	10,97	2	37,248	37248	37,136	37136	112	C-1	1	31,579	31579	31,562	31562	34	6	37	16,22	2	36,599	36599	36,579	36579	40	C-2	1	39,243	39243	39,159	39159	84	6	87	6,90	2	32,965	32965	32,875	32875	90	C-3	1	35,545	35545	35,482	35482	63	13	57	23,01	2	38,183	38183	38,133	38133	50	C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09	2	37,142	37142	37,016	37016	126	D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																												
A-4	1	39,295	39295	39,153	39153	142	2	143	1,40																																																																																																																																																																																																																																												
	2	36,916	36916	36,772	36772	144				B-1	1	31,298	31298	31,274	31274	48	6	51	11,76	2	35,064	35064	35,037	35037	54	B-2	1	35,585	35585	35,521	35521	64	6	67	8,96	2	35,690	35690	35,620	35620	70	B-3	1	36,643	36643	36,493	36493	150	10	145	6,90	2	38,499	38499	38,359	38359	140	B-4	1	39,529	39529	39,404	39404	125	13	119	10,97	2	37,248	37248	37,136	37136	112	C-1	1	31,579	31579	31,562	31562	34	6	37	16,22	2	36,599	36599	36,579	36579	40	C-2	1	39,243	39243	39,159	39159	84	6	87	6,90	2	32,965	32965	32,875	32875	90	C-3	1	35,545	35545	35,482	35482	63	13	57	23,01	2	38,183	38183	38,133	38133	50	C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09	2	37,142	37142	37,016	37016	126	D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																												
B-1	1	31,298	31298	31,274	31274	48	6	51	11,76																																																																																																																																																																																																																																												
	2	35,064	35064	35,037	35037	54				B-2	1	35,585	35585	35,521	35521	64	6	67	8,96	2	35,690	35690	35,620	35620	70	B-3	1	36,643	36643	36,493	36493	150	10	145	6,90	2	38,499	38499	38,359	38359	140	B-4	1	39,529	39529	39,404	39404	125	13	119	10,97	2	37,248	37248	37,136	37136	112	C-1	1	31,579	31579	31,562	31562	34	6	37	16,22	2	36,599	36599	36,579	36579	40	C-2	1	39,243	39243	39,159	39159	84	6	87	6,90	2	32,965	32965	32,875	32875	90	C-3	1	35,545	35545	35,482	35482	63	13	57	23,01	2	38,183	38183	38,133	38133	50	C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09	2	37,142	37142	37,016	37016	126	D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																												
B-2	1	35,585	35585	35,521	35521	64	6	67	8,96																																																																																																																																																																																																																																												
	2	35,690	35690	35,620	35620	70				B-3	1	36,643	36643	36,493	36493	150	10	145	6,90	2	38,499	38499	38,359	38359	140	B-4	1	39,529	39529	39,404	39404	125	13	119	10,97	2	37,248	37248	37,136	37136	112	C-1	1	31,579	31579	31,562	31562	34	6	37	16,22	2	36,599	36599	36,579	36579	40	C-2	1	39,243	39243	39,159	39159	84	6	87	6,90	2	32,965	32965	32,875	32875	90	C-3	1	35,545	35545	35,482	35482	63	13	57	23,01	2	38,183	38183	38,133	38133	50	C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09	2	37,142	37142	37,016	37016	126	D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																																												
B-3	1	36,643	36643	36,493	36493	150	10	145	6,90																																																																																																																																																																																																																																												
	2	38,499	38499	38,359	38359	140				B-4	1	39,529	39529	39,404	39404	125	13	119	10,97	2	37,248	37248	37,136	37136	112	C-1	1	31,579	31579	31,562	31562	34	6	37	16,22	2	36,599	36599	36,579	36579	40	C-2	1	39,243	39243	39,159	39159	84	6	87	6,90	2	32,965	32965	32,875	32875	90	C-3	1	35,545	35545	35,482	35482	63	13	57	23,01	2	38,183	38183	38,133	38133	50	C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09	2	37,142	37142	37,016	37016	126	D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																																																												
B-4	1	39,529	39529	39,404	39404	125	13	119	10,97																																																																																																																																																																																																																																												
	2	37,248	37248	37,136	37136	112				C-1	1	31,579	31579	31,562	31562	34	6	37	16,22	2	36,599	36599	36,579	36579	40	C-2	1	39,243	39243	39,159	39159	84	6	87	6,90	2	32,965	32965	32,875	32875	90	C-3	1	35,545	35545	35,482	35482	63	13	57	23,01	2	38,183	38183	38,133	38133	50	C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09	2	37,142	37142	37,016	37016	126	D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																																																																												
C-1	1	31,579	31579	31,562	31562	34	6	37	16,22																																																																																																																																																																																																																																												
	2	36,599	36599	36,579	36579	40				C-2	1	39,243	39243	39,159	39159	84	6	87	6,90	2	32,965	32965	32,875	32875	90	C-3	1	35,545	35545	35,482	35482	63	13	57	23,01	2	38,183	38183	38,133	38133	50	C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09	2	37,142	37142	37,016	37016	126	D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																																																																																												
C-2	1	39,243	39243	39,159	39159	84	6	87	6,90																																																																																																																																																																																																																																												
	2	32,965	32965	32,875	32875	90				C-3	1	35,545	35545	35,482	35482	63	13	57	23,01	2	38,183	38183	38,133	38133	50	C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09	2	37,142	37142	37,016	37016	126	D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																																																																																																												
C-3	1	35,545	35545	35,482	35482	63	13	57	23,01																																																																																																																																																																																																																																												
	2	38,183	38183	38,133	38133	50				C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09	2	37,142	37142	37,016	37016	126	D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																																																																																																																												
C-4	1	39,383	39383	39,245	39245	138	12	132	9,09																																																																																																																																																																																																																																												
	2	37,142	37142	37,016	37016	126				D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43	2	33,374	33374	33,343	33343	62	D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																																																																																																																																												
D-1	1	36,382	36382	36,357	36357	50	12	56	21,43																																																																																																																																																																																																																																												
	2	33,374	33374	33,343	33343	62				D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41	2	36,268	36268	36,186	36186	82	D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																																																																																																																																																												
D-2	1	36,435	36435	36,351	36351	84	2	83	2,41																																																																																																																																																																																																																																												
	2	36,268	36268	36,186	36186	82				D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59	2	38,036	38036	37,992	37992	44	D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																																																																																																																																																																												
D-3	1	36,333	36333	36,286	36286	47	3	46	6,59																																																																																																																																																																																																																																												
	2	38,036	38036	37,992	37992	44				D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																																																																																																																																																																																												
D-4	1	37,170	37170	37,015	37015	155	3	157	1,92																																																																																																																																																																																																																																												
	2	37,142	37142	36,984	36984	158																																																																																																																																																																																																																																															



**Tabela 8.** Resultados dos ensaios de brilho em madeira (20°, 60° e 85°), nas diferentes condições de cura.

Provete	Brilho		
	20°	60°	85°
A-1	10,0	45,7	60,9
A-2	25,9	66,6	68,7
A-3	20,5	60,9	63,8
A-4	17,5	58,9	62,9
B-1	22,0	59,9	63,8
B-2	11,9	45,6	62,1
B-3	5,6	27,6	45,3
B-4	11,0	40,9	55,4
C-1	2,0	16,0	41,9
C-2	3,1	18,0	46,3
C-3	2,2	17,2	43,2
C-4	3,1	24,2	47,8
D-1	4,3	23,3	31,4
D-2	8,9	42,3	46,4
D-3	11,1	44,5	49,1
D-4	9,1	33,2	35,3

**Tabela 9.** Resultados dos ensaios de dureza lápis, nas diferentes condições de cura.

Ensaio	Provete	Dureza	Dureza média
A-1	1	B	B
	2	B	
A-2	1	B	B
	2	B	
A-3	1	B	B
	2	B	
A-4	1	B	B
	2	B	
B-1	1	HB	HB
	2	HB	
B-2	1	F	F
	2	F	
B-3	1	F	F
	2	F	
B-4	1	F	F
	2	F	

Ensaio	Provete	Dureza	Dureza média
C-1	1	HB	HB
	2	HB	
C-2	1	HB	HB
	2	HB	
C-3	1	HB	HB
	2	HB	
C-4	1	HB	HB
	2	HB	
D-1	1	2B	2B
	2	2B	
D-2	1	2B	2B
	2	2B	
D-3	1	2B	2B
	2	2B	
D-4	1	2B	2B
	2	2B	

## Apêndice C – Formulações Relativas ao Arranjo Ortogonal L25

Matérias -primas	% wt								
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7	Ensaio 8	Ensaio 9
<b>Poliol</b>									
<i>P1</i>		76,10							76,10
<i>P2</i>					59,19				
<i>P3</i>						78,34	78,34		
<i>P4</i>	76,10		76,10					76,10	
<i>P5</i>				78,34					
<b>Endurecedor</b>									
<i>E1</i>						9,00			9,00
<i>E2</i>	8,10			8,10					
<i>E3</i>			8,38		8,38		8,38		
<i>E4</i>		7,67						7,67	
<b>Anti-espuma</b>									
<i>AE4</i>	1,00	1,00			1,00		1,00		
<i>AE1</i>				0,20		0,20			
<i>AE2</i>				1,00		1,00			
<i>AE3</i>								1,00	1,00
<i>AE5</i>			1,00						
<i>AE6</i>									
<b>Aditivo Nivelante</b>									
<i>N1</i>					0,20				
<i>N2</i>				0,20			0,20	0,20	
<i>N3</i>		0,20	0,20			0,20			
<i>N4</i>	0,20								0,20
<i>N5</i>									
<b>Aditivo Reológico ( 5% em água)</b>									
<i>R1</i>	1,00					1,00			
<i>R2</i>			1,00	1,00	1,00				1,00
<i>R3</i>							1,00		
<i>R4</i>		1,00							
<i>R5</i>								1,00	
<b>Cera</b>									
<i>C</i>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
<b>Molhante de substrato</b>									
<i>M1</i>	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
<i>Butilglicol</i>	0,84	0,88	0,81	0,60	2,50	0,51	0,59	0,88	0,75
<i>Água</i>	7,56	7,94	7,31	5,37	22,53	4,56	5,29	7,94	6,75
<b>TOTAL</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Teor de sólidos total</b>	31,90	31,62	32,92	31,90	32,92	32,49	32,92	31,62	32,49

Matérias -primas	% wt								
	Ensaio 10	Ensaio 11	Ensaio 12	Ensaio 13	Ensaio 14	Ensaio 15	Ensaio 16	Ensaio 17	Ensaio 18
<b>Poliol</b>									
<i>P1</i>	76,10				76,10				
<i>P2</i>						59,19		59,19	59,19
<i>P3</i>			78,34						
<i>P4</i>				76,10			76,10		
<i>P5</i>		78,34							
<b>Endurecedor</b>									
<i>E1</i>							9,00		9,00
<i>E2</i>									
<i>E3</i>	8,38			8,38	8,38	8,38			
<i>E4</i>		7,67	7,67					7,67	
<b>Anti-espuma</b>									
<i>AE4</i>									
<i>AE1</i>				0,20	0,20			0,20	
<i>AE2</i>				1,00	1,00			1,00	
<i>AE3</i>						1,00			
<i>AE5</i>		1,00							1,00
<i>AE6</i>	1,00		1,00				1,00		
<b>Aditivo Nivelante</b>									
<i>N1</i>		0,20			0,20		0,20		
<i>N2</i>	0,20								0,20
<i>N3</i>									
<i>N4</i>								0,20	
<i>N5</i>			0,20	0,20		0,20			
<b>Aditivo Reológico ( 5% em água)</b>									
<i>R1</i>	1,00	1,00				1,00			
<i>R2</i>			1,00						
<i>R3</i>							1,00	1,00	
<i>R4</i>				1,00					1,00
<i>R5</i>					1,00				
<b>Cera</b>									
<i>C</i>	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
<b>Molhante de substrato</b>									
<i>M1</i>	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
<b>Butilglicol</b>	0,81	0,66	0,66	0,79	0,79	2,50	0,75	2,55	2,44
<b>Água</b>	7,31	5,93	5,93	7,13	7,13	22,53	6,75	22,98	21,97
<b>TOTAL</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Teor de sólidos total</b>	32,92	31,62	31,62	32,92	32,92	32,92	32,49	31,62	32,49

Matérias-primas	% wt						
	Ensaio 19	Ensaio 20	Ensaio 21	Ensaio 22	Ensaio 23	Ensaio 24	Ensaio 25
<b>Poliol</b>							
P1					76,10		
P2	59,19						
P3						78,34	78,34
P4							
P5		78,34	78,34	78,34			
<b>Endurecedor</b>							
E1			9,00				
E2	8,10				8,10	8,10	
E3		8,38		8,38			8,38
E4							
<b>Anti-espuma</b>							
AE4			1,00				
AE1							
AE2							
AE3				1,00		1,00	
AE5					1,00		1,00
AE6	1,00	1,00					
<b>Aditivo Nivelante</b>							
N1						0,20	
N2							
N3	0,20			0,20			
N4		0,20					0,20
N5			0,20		0,20		
<b>Aditivo Reológico ( 5% em água)</b>							
R1							
R2							
R3				1,00	1,00		
R4		1,00				1,00	
R5	1,00		1,00				1,00
<b>Cera</b>							
C	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
<b>Molhante de substrato</b>							
M1	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Butilglicol	2,53	0,59	0,53	0,59	0,84	0,62	0,59
Água	22,78	5,29	4,74	5,29	7,56	5,55	5,29

**TOTAL** 100,00 100,00 100,00 100,00 100,00 100,00 100,00 100,00

**Teor de sólidos total** 31,90 32,92 32,49 32,92 31,90 31,90 32,92

## Apêndice D – Resultados Experimentais para o Arranjo Ortogonal L25

**Tabela 10.** Resultados experimentais das as novas formulações (ensaios 1-11) e dos produtos de referência, para os ensaios de resistência à abrasão.

Ensaio	Provete	Peso inicial (g)	Peso inicial (mg)	Peso final (g)	Peso final (mg)	Perda de Peso (mg)	Diferença da perda de peso (mg)	Perda de peso médio (mg)	Coefficiente de variação (%)
PC5	A-1	5,172	5172	5,151	5151	21	3	20	15,38
	A-2	5,114	5114	5,096	5096	18			
PC6	B-1	4,936	4936	4,914	4914	22	2	21	9,52
	B-2	5,116	5116	5,096	5096	20			
PC3	0-1	4,845	4845	4,823	4823	22	7	26	27,45
	0-2	4,792	4792	4,763	4763	29			
1	1-1	4,554	4554	4,547	4547	7	1	7	15,38
	1-2	4,610	4610	4,604	4604	6			
2	2-1	4,648	4648	4,636	4636	12	1	12	8,70
	2-2	4,637	4637	4,626	4626	11			
3	3-1	4,763	4763	4,748	4748	15	4	13	30,77
	3-2	4,721	4721	4,710	4710	11			
4	4-1	4,936	4936	4,909	4909	27	6	24	25,00
	4-2	4,891	4891	4,870	4870	21			
5	5-1	4,651	4651	4,592	4592	59	7	63	11,20
	5-2	4,690	4690	4,624	4624	66			
6	6-1	4,716	4716	4,710	4710	6	1	7	15,38
	6-2	4,972	4972	4,965	4965	7			
7	7-1	4,586	4586	4,562	4562	24	10	29	34,48
	7-2	4,569	4569	4,535	4535	34			
8	8-1	4,548	4548	4,541	4541	7	1	8	13,33
	8-2	4,575	4575	4,567	4567	8			
9	9-1	4,460	4460	4,452	4452	8	2	9	22,22
	9-2	4,657	4657	4,647	4647	10			
10	10-1	4,690	4690	4,679	4679	11	2	10	20,00
	10-2	4,638	4638	4,629	4629	9			
11	11-1	4,829	4829	4,780	4780	49	11	55	20,18
	11-2	4,733	4733	4,673	4673	60			

**Tabela 11.** Resultados experimentais das as novas formulações (ensaios 12-25) para os ensaios de resistência à abrasão.

Ensaio	Provete	Peso inicial (g)	Peso inicial (mg)	Peso final (g)	Peso final (mg)	Perda de Peso (mg)	Diferença da perda de peso (mg)	Perda de peso médio (mg)	Coefficiente de variação (%)
12	12-1	4,664	4664	4,607	4607	57	11	52	21,36
	12-2	4,642	4642	4,596	4596	46			
13	13-1	4,606	4606	4,596	4596	10	1	11	9,52
	13-2	4,559	4559	4,548	4548	11			
14	14-1	4,712	4712	4,696	4696	16	3	18	17,14
	14-2	4,599	4599	4,580	4580	19			
15	15-1	4,930	4930	4,862	4862	68	2	67	2,99
	15-2	4,987	4987	4,921	4921	66			
16	16-1	4,484	4484	4,467	4467	17	15	25	61,22
	16-2	4,557	4557	4,525	4525	32			
17	17-1	4,409	4409	4,381	4381	28	3	30	10,17
	17-2	4,535	4535	4,504	4504	31			
18	18-1	4,449	4449	4,394	4394	55	20	45	44,44
	18-2	4,426	4426	4,391	4391	35			
19	19-1	4,599	4599	4,563	4563	36	12	42	28,57
	19-2	4,593	4593	4,545	4545	48			
20	20-1	4,906	4906	4,898	4898	8	1	8	13,33
	20-2	4,907	4907	4,900	4900	7			
21	21-1	4,879	4879	4,839	4839	40	2	41	4,88
	21-2	4,941	4941	4,899	4899	42			
22	22-1	4,964	4964	4,922	4922	42	4	44	9,09
	22-2	4,866	4866	4,820	4820	46			
23	23-1	4,475	4475	4,460	4460	15	3	17	18,18
	23-2	4,638	4638	4,620	4620	18			
24	24-1	4,546	4546	4,535	4535	11	1	11	9,52
	24-2	4,706	4706	4,696	4696	10			
25	25-1	4,636	4636	4,623	4623	13	2	12	16,67
	25-2	4,596	4596	4,585	4585	11			

**Tabela 12.** Resultados experimentais das novas formulações e dos produtos de referência, para os ensaios de resistência química.

Ensaio	Água Quente	Água Fria	Solução Amoníaco (10%)	Vinho Tinto	Álcool (96%)	Solução Teepol (5%)
PC5	*	*	3	*	1	*
PC6	1	1	4	1	2	1
PC3	2	*	4	*	2	*
1	*	*	4	1	2	2
2	*	*	4	*	*	*
3	2	*	5	*	2	*
4	2	2	4	*	2	1
5	1	2	5	2	4	1
6	2	2	5	*	2	*
7	*	*	5	1	2	1
8	*	*	3	*	1	*
9	*	*	3	*	1	*
10	2	*	3	*	3	*
11	*	*	5	*	1	1
12	1	*	5	1	3	2
13	2	2	4	1	3	1
14	*	2	4	1	3	1
15	3	3	5	3	5	2
16	2	*	5	1	2	*
17	3	2	5	1	4	1
18	3	2	5	1	4	1
19	3	2	5	1	4	1
20	*	*	3	1	3	1
21	*	2	5	1	3	1
22	*	*	4	*	2	1
23	*	2	4	1	4	1
24	*	*	4	2	3	1
25	*	*	5	1	3	*

**Tabela 13.** Resultados experimentais das novas formulações e dos produtos de referência, para os ensaios de dureza lápis.

Ensaio	Provete	24 horas de cura		3 dias de cura		7 dias de cura	
		Dureza	Dureza Média	Dureza	Dureza Média	Dureza	Dureza Média
PC5	A-1	H	H	H	H	2H	2H
	A-2	H		H		2H	
PC6	B-1	HB	HB	HB	HB	H	H
	B-2	HB		HB		H	
PC3	0-1	HB	HB	HB	HB	HB	HB
	0-2	HB		HB		HB	
1	1-1	5B	5B	3B	3B	3B	3B
	1-2	5B		3B		3B	
2	2-1	3B	2B	HB	HB	HB	HB
	2-2	2B		HB		HB	
3	3-1	5B	5B	2B	2B	2B	2B
	3-2	5B		2B		2B	
4	4-1	5B	5B	2B	2B	2B	2B
	4-2	5B		2B		2B	
5	5-1	HB	HB	F	F	H	H
	5-2	HB		F		H	
6	6-1	5B	5B	2B	B	B	B
	6-2	5B		B		B	
7	7-1	4B	3B	HB	HB	HB	HB
	7-2	3B		B		HB	
8	8-1	2B	2B	2B	2B	B	B
	8-2	2B		2B		B	
9	9-1	B	B	HB	HB	H	H
	9-2	B		HB		H	
10	10-1	HB	HB	H	H	2H	2H
	10-2	HB		H		2H	
11	11-1	5B	5B	B	HB	HB	HB
	11-2	5B		HB		HB	



**Tabela 14.** Resultados experimentais das novas formulações (ensaios 12-25) para os ensaios de dureza lápis.

Ensaio	Provete	24 horas de cura		3 dias de cura		7 dias de cura	
		Dureza	Dureza Média	Dureza	Dureza Média	Dureza	Dureza Média
12	12-1	2B	2B	H	H	H	H
	12-2	2B		H		H	
13	13-1	5B	5B	F	F	H	H
	13-2	5B		F		H	
14	14-1	2B	B	B	B	F	F
	14-2	B		B		HB	
15	15-1	3B	3B	B	B	HB	HB
	15-2	3B		B		HB	
16	16-1	3B	3B	2B	B	B	B
	16-2	3B		B		2B	
17	17-1	3B	3B	HB	HB	F	F
	17-2	4B		B		HB	
18	18-1	2B	2B	B	B	HB	HB
	18-2	2B		2B		HB	
19	19-1	2B	2B	HB	HB	HB	HB
	19-2	2B		HB		HB	
20	20-1	4B	4B	HB	HB	H	H
	20-2	4B		B		H	
21	21-1	3B	3B	F	F	H	H
	21-2	3B		F		H	
22	22-1	2B	2B	B	B	H	H
	22-2	2B		B		H	
23	23-1	B	B	HB	HB	H	H
	23-2	B		HB		H	
24	24-1	B	B	H	H	H	H
	24-2	B		H		H	
25	25-1	F	F	F	F	2H	2H
	25-2	F		F		2H	

**Tabela 15.** Resultados experimentais das novas formulações (ensaios 1-11) e dos produtos de referência, para os ensaios de dureza pendular.

Ensaio	Provete	24 horas de cura			3 dias de cura			7 dias de cura		
		Dureza	Dureza Média	Coefficiente de variação (%)	Dureza	Dureza Média	Coefficiente de variação (%)	Dureza	Dureza Média	Coefficiente de variação (%)
PC5	A-1	247	247	0	249	253	3	546	530	6
	A-2	247			257			513		
PC6	B-1	64	65	3	209	220	10	531	539	3
	B-2	66			232			547		
PC3	0-1	53	66	38	155	149	8	139	141	2
	0-2	78			143			142		
1	1-1	39	37	12	80	71	26	70	73	7
	1-2	35			62			75		
2	2-1	87	82	12	126	129	4	121	119	2
	2-2	77			132			118		
3	3-1	34	31	14	82	82	2	82	81	1
	3-2	29			83			81		
4	4-1	40	34	36	79	76	7	73	78	15
	4-2	28			74			84		
5	5-1	60	54	23	66	50	64	97	77	52
	5-2	48			34			57		
6	6-1	38	46	36	146	140	8	126	118	14
	6-2	54			134			110		
7	7-1	64	59	16	184	183	1	197	202	4
	7-2	54			182			206		
8	8-1	65	67	7	69	71	6	125	125	0
	8-2	70			73			125		
9	9-1	91	89	4	119	117	4	254	250	4
	9-2	87			114			245		
10	10-1	99	99	1	97	100	5	128	124	7
	10-2	99			102			119		
11	11-1	94	89	10	168	165	3	221	222	1
	11-2	85			163			223		

**Tabela 16.** Resultados experimentais das novas formulações (ensaios 12-25), para os ensaios de dureza pendular.

Ensaio	Provete	24 horas de cura			3 dias de cura			7 dias de cura		
		Dureza	Dureza Média	Coefficiente de variação (%)	Dureza	Dureza Média	Coefficiente de variação (%)	Dureza	Dureza Média	Coefficiente de variação (%)
12	12-1	60	72	34	171	162	11	129	168	47
	12-2	84			153			207		
13	13-1	42	43	2	54	50	15	40	43	15
	13-2	43			47			46		
14	14-1	90	89	2	81	80	3	111	112	1
	14-2	88			79			113		
15	15-1	37	34	15	89	83	14	188	185	3
	15-2	31			78			182		
16	16-1	60	49	44	112	116	7	98	93	10
	16-2	39			121			89		
17	17-1	24	27	19	76	61	48	117	164	57
	17-2	29			47			211		
18	18-1	32	31	10	110	128	29	156	156	1
	18-2	29			147			155		
19	19-1	25	30	34	109	123	23	107	135	42
	19-2	35			138			163		
20	20-1	60	45	66	193	163	37	210	196	15
	20-2	30			133			182		
21	21-1	96	96	2	135	128	11	214	213	1
	21-2	97			122			213		
22	22-1	75	75	1	170	152	23	333	349	9
	22-2	74			135			365		
23	23-1	92	94	4	92	98	12	117	116	3
	23-2	96			104			114		
24	24-1	108	110	5	162	160	2	342	337	3
	24-2	113			159			332		
25	25-1	111	122	18	156	156	1	165	163	2
	25-2	132			156			161		

Tabela 17. Resultados experimentais das novas formulações (ensaios 1-11) e dos produtos de referência, para os ensaios de brilho em vidro (20°, 60° e 85°).

Ensaio	Provete	Brilho																	
		20°						60°					85°						
		1	2	3	Brilho Médio	Coefficiente de variação (%)	1	2	3	Brilho Médio	Coefficiente de variação (%)	1	2	3	Brilho Médio	Coefficiente de variação (%)			
PC5	A-1	160,60	159,30	158,30	159,40	159,18	0	154,20	148,30	150,80	151,10	151,63	1	104,10	108,00	110,90	107,67	101,03	13
	A-2	166,30	150,40	160,20	158,97			151,20	150,90	154,40	152,17			88,60	96,30	98,30	94,40		
PC6	B-1	147,60	154,50	151,40	151,17	152,83	2	148,40	150,50	147,80	148,90	149,27	0	103,40	107,80	108,10	106,43	108,20	3
	B-2	154,70	153,70	155,10	154,50			148,00	150,50	150,40	149,63			107,40	111,80	110,70	109,97		
PC3	0-1	16,60	15,40	13,90	15,30	14,73	8	30,80	34,00	32,20	32,33	32,33	0	52,90	50,40	52,00	51,77	51,52	1
	0-2	12,60	16,10	13,80	14,17			30,80	34,00	32,20	32,33			48,80	52,30	52,70	51,27		
1	1-1	82,40	77,10	92,30	83,93	84,17	1	79,20	94,30	90,60	88,03	90,45	5	88,00	79,80	72,60	80,13	74,65	15
	1-2	112,80	76,60	63,80	84,40			96,30	89,50	92,80	92,87			60,50	72,20	74,80	69,17		
2	2-1	92,80	88,70	81,00	87,50	91,90	10	102,30	100,10	105,20	102,53	103,90	3	89,30	91,80	83,70	88,27	89,45	3
	2-2	96,20	96,80	95,90	96,30			104,70	105,40	105,70	105,27			90,40	90,50	91,00	90,63		
3	3-1	97,50	78,90	83,30	86,57	86,27	1	105,60	96,20	99,10	100,30	101,72	3	90,40	89,00	91,50	90,30	88,97	3
	3-2	90,00	81,60	86,30	85,97			109,80	98,90	100,70	103,13			88,70	86,20	88,00	87,63		
4	4-1	63,50	66,60	97,40	75,83	73,20	7	91,80	88,20	89,60	89,87	88,92	2	80,90	73,60	67,90	74,13	74,08	0
	4-2	68,40	66,70	76,60	70,57			85,50	87,30	91,10	87,97			75,70	70,80	75,60	74,03		
5	5-1	71,80	71,80	73,80	72,47	81,78	23	118,50	117,80	117,30	117,87	112,28	10	84,30	82,50	85,40	84,07	85,72	4
	5-2	93,60	88,90	90,80	91,10			102,60	106,00	111,50	106,70			86,70	87,20	88,20	87,37		
6	6-1	106,20	114,60	126,40	115,73	115,23	1	120,00	126,80	119,50	122,10	120,37	3	93,80	97,50	93,50	94,93	94,47	1
	6-2	110,50	126,10	107,60	114,73			120,00	121,00	114,90	118,63			94,30	94,10	93,60	94,00		
7	7-1	108,80	89,50	88,90	95,73	92,53	7	102,00	96,40	107,00	101,80	101,25	1	92,20	82,20	86,00	86,80	89,05	5
	7-2	87,80	90,60	89,60	89,33			100,40	102,00	99,70	100,70			92,50	90,40	91,00	91,30		
8	8-1	71,50	73,40	71,70	72,20	71,08	3	86,00	88,60	87,60	87,40	86,65	2	91,20	94,90	89,70	91,93	92,07	0
	8-2	62,50	77,90	69,50	69,97			80,60	92,50	84,60	85,90			91,10	98,20	87,30	92,20		
9	9-1	80,40	78,90	79,60	79,63	81,88	5	93,40	96,30	98,10	95,93	95,18	2	94,90	92,70	94,30	93,97	92,67	3
	9-2	80,10	85,80	86,50	84,13			95,00	94,20	94,10	94,43			85,90	93,20	95,00	91,37		
10	10-1	61,90	65,50	64,80	64,07	60,72	11	84,20	88,50	87,90	86,87	82,78	10	83,00	84,40	83,10	83,50	82,95	1
	10-2	54,70	61,40	56,00	57,37			71,40	83,20	81,50	78,70			80,50	83,70	83,00	82,40		
11	11-1	122,50	113,10	119,30	118,30	120,60	4	120,50	119,30	118,90	119,57	120,88	2	100,40	102,30	111,40	104,70	103,55	2
	11-2	125,40	126,10	117,20	122,90			121,60	123,50	121,50	122,20			102,50	104,80	99,90	102,40		

Tabela 18. Resultados experimentais das novas formulações (12-25), para os ensaios de brilho em vidro (20°, 60° e 85°).

Ensaio	Provete	Brilho																	
		20°						60°					85°						
		1	2	3	Brilho Médio	Coefficiente de variação (%)	1	2	3	Brilho Médio	Coefficiente de variação (%)	1	2	3	Brilho Médio	Coefficiente de variação (%)			
12	12-1	55,30	74,20	61,30	63,60	65,80	7	86,10	96,20	88,70	90,33	89,30	2	84,60	85,70	85,60	85,30	84,20	3
	12-2	66,60	69,20	68,20	68,00			87,40	88,60	88,80	88,27			81,40	82,90	85,00	83,10		
13	13-1	69,30	67,90	75,30	70,83	74,40	10	97,80	98,60	101,90	99,43	99,45	0	88,60	91,10	93,90	91,20	90,43	2
	13-2	77,80	77,40	78,70	77,97			98,80	100,40	99,20	99,47			90,80	89,80	88,40	89,67		
14	14-1	47,30	46,00	43,70	45,67	45,62	0	71,60	69,40	68,50	69,83	70,28	1	79,90	72,50	71,40	74,60	76,08	4
	14-2	49,20	43,40	44,10	45,57			76,10	68,60	67,50	70,73			77,80	77,10	77,80	77,57		
15	15-1	105,30	105,30	115,90	108,83	97,47	23	121,10	120,50	122,10	121,23	115,78	9	89,50	91,30	94,50	91,77	93,77	4
	15-2	82,10	84,60	91,60	86,10			110,80	105,70	114,50	110,33			94,00	94,40	98,9	95,77		
16	16-1	124,00	129,50	131,90	128,47	129,93	2	119,10	116,70	120,50	118,77	118,85	0	103,30	102,20	103,20	102,90	101,73	2
	16-2	129,50	133,90	130,80	131,40			113,50	122,20	121,10	118,93			101,70	100,10	99,90	100,57		
17	17-1	106,90	105,90	111,80	108,20	100,10	16	109,60	110,20	111,90	110,57	110,85	1	93,00	89,50	95,30	92,60	91,03	3
	17-2	91,30	95,00	89,70	92,00			109,40	111,00	113,00	111,13			92,50	86,60	89,30	89,47		
18	18-1	130,40	137,10	130,10	132,53	131,58	1	124,10	123,50	119,50	122,37	123,85	2	96,90	95,50	96,50	96,30	97,13	2
	18-2	134,80	128,20	128,90	130,63			127,10	124,60	124,30	125,33			98,80	97,80	97,30	97,97		
19	19-1	55,40	84,80	65,00	68,40	82,12	33	95,10	88,50	97,20	93,60	97,42	8	74,40	78,50	72,80	75,23	75,30	0
	19-2	96,70	96,30	94,50	95,83			100,20	102,00	101,50	101,23			72,00	79,10	75,00	75,37		
20	20-1	103,30	114,10	107,80	108,40	111,93	6	111,20	116,10	114,10	113,80	114,22	1	99,30	99,90	98,40	99,20	99,53	1
	20-2	110,70	116,90	118,80	115,47			113,60	113,60	116,70	114,63			99,50	99,90	100,20	99,87		
21	21-1	138,50	129,40	134,90	134,27	139,82	8	126,10	121,40	123,50	123,67	125,52	3	108,40	102,60	105,70	105,57	105,20	1
	21-2	150,50	141,60	144,00	145,37			128,70	126,60	126,80	127,37			106,30	105,10	103,10	104,83		
22	22-1	61,10	67,20	65,20	64,50	62,92	5	85,50	81,30	86,50	84,43	84,45	0	83,30	81,70	82,00	82,33	85,28	7
	22-2	63,50	55,60	64,90	61,33			85,50	85,40	82,50	84,47			84,20	88,90	91,60	88,23		
23	23-1	24,80	20,40	21,90	22,37	22,55	2	53,30	40,00	44,30	45,87	46,83	4	42,50	36,10	38,80	39,13	40,73	8
	23-2	27,10	19,90	21,20	22,73			58,60	41,70	43,10	47,80			50,40	37,50	39,10	42,33		
24	24-1	38,60	35,80	40,40	38,27	37,28	5	60,60	56,80	58,30	58,57	59,72	4	59,60	61,80	66,00	62,47	62,00	2
	24-2	37,90	34,60	36,40	36,30			61,90	58,80	61,90	60,87			64,10	60,20	60,30	61,53		
25	25-1	58,80	63,40	61,90	61,37	62,65	4	84,00	86,90	84,90	85,27	83,77	4	84,90	83,70	83,10	83,90	80,90	7
	25-2	64,30	63,20	64,30	63,93			82,00	80,90	83,90	82,27			77,10	77,40	79,20	77,90		

**Tabela 19.** Resultados experimentais das novas formulações e dos produtos de referência, para os ensaios de brilho em madeira (20°, 60° e 85°).

Ensaio	Brilho											
	20°				60°				85°			
	1	2	3	média	1	2	3	média	1	2	3	média
PC5	84,70	88,70	66,20	79,87	95,60	97,30	97,30	96,73	94,60	90,00	87,90	90,83
PC6	39,20	47,60	25,00	37,27	76,70	76,80	69,60	74,37	78,40	73,80	62,70	71,63
PC3	1,90	1,80	2,10	1,93	14,90	15,00	15,30	15,07	39,40	40,20	37,00	38,87
1	9,20	7,80	7,90	8,30	35,60	36,20	37,90	36,57	40,60	52,20	43,60	45,47
2	11,30	8,00	16,60	11,97	53,70	62,60	54,70	57,00	61,80	63,80	57,50	61,03
3	9,40	17,30	12,60	13,10	53,00	60,30	49,40	54,23	59,70	57,40	82,30	66,47
4	5,90	3,20	6,20	5,10	24,50	24,80	22,70	24,00	28,10	25,00	28,50	27,20
5	9,50	17,40	22,40	16,43	67,50	73,30	63,60	68,13	57,90	72,30	54,70	61,63
6	10,80	12,90	15,70	13,13	53,80	58,70	52,00	54,83	39,00	41,60	45,50	42,03
7	13,60	10,20	9,60	11,13	49,80	49,90	39,80	46,50	58,70	52,30	63,60	58,20
8	14,10	14,30	11,90	13,43	50,30	43,80	47,70	47,27	68,60	65,80	66,80	67,07
9	11,20	20,30	14,10	15,20	45,80	55,60	51,10	50,83	68,90	60,70	68,70	66,10
10	15,70	13,90	13,80	14,47	54,40	42,50	45,50	47,47	60,10	49,60	59,70	56,47
11	11,10	14,90	12,70	12,90	46,10	52,00	41,10	46,40	28,00	40,00	38,00	35,33
12	4,90	4,80	5,00	4,90	41,50	38,60	43,30	41,13	62,50	50,20	58,00	56,90
13	7,40	5,10	6,40	6,30	26,10	25,60	34,30	28,67	46,10	50,00	52,60	49,57
14	13,30	13,60	14,80	13,90	54,80	46,30	54,00	51,70	68,20	56,90	72,40	65,83
15	19,70	16,90	20,50	19,03	62,00	62,50	60,20	61,57	64,80	59,00	55,30	59,70
16	7,10	8,10	7,10	7,43	58,10	65,60	50,90	58,20	65,00	72,40	67,80	68,40
17	7,70	10,10	10,60	9,47	26,80	36,50	40,20	34,50	27,90	35,30	38,20	33,80
18	9,30	16,80	7,30	11,13	51,20	49,70	41,10	47,33	49,90	56,70	44,60	50,40
19	4,40	3,60	4,00	4,00	29,10	26,20	26,00	27,10	48,40	37,80	33,20	39,80
20	16,00	7,30	15,50	12,93	54,00	47,80	55,90	52,57	72,30	47,60	77,10	65,67
21	13,80	38,30	19,00	23,70	60,70	72,00	65,40	66,03	71,90	89,70	49,90	70,50
22	9,10	11,40	10,80	10,43	39,50	44,00	44,60	42,70	58,20	57,20	54,50	56,63
23	9,50	10,10	10,90	10,17	35,00	41,20	37,00	37,73	44,90	57,80	53,00	51,90
24	9,90	7,80	6,10	7,93	42,40	37,80	31,20	37,13	49,10	46,00	43,50	46,20
25	14,00	11,90	15,30	13,73	51,30	43,50	52,40	49,07	51,90	55,30	62,40	56,53

**Tabela 20.** Resultados das novas formulações e dos produtos de referência para os ensaios de aspecto de película.

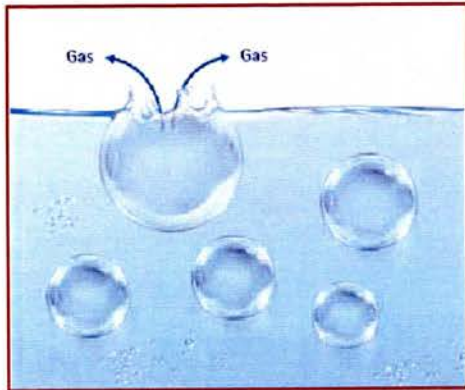
Ensaio	Características				Avaliação Geral
	Aspecto casca de laranja	Espalhamento	Corpo	Notas	
PC5	não	bom	muito bom	apresenta picos	bom
PC6	não	bom	médio	-	bom
PC3	não	bom	pouco	-	médio
1	não	bom	médio	-	bom
2	não	aceitável	médio	-	bom
3	não	mau	pouco	apresenta bolhas de ar	mau
4	sim	fraco	pouco	-	mau
5	não	bom	muito bom	-	muito bom
6	não	aceitável	médio	-	bom
7	não	aceitável	médio	-	bom
8	não	fraco	pouco	-	fraco
9	sim	fraco	médio	apresenta algumas manchas	fraco
10	sim	bom	médio	-	fraco
11	sim	fraco	pouco	-	fraco
12	não	fraco	pouco	-	fraco
13	sim	bom	médio	aspecto casca de laranja muito acentuado	fraco
14	sim	bom	médio	-	fraco
15	não	mau	bom	-	fraco
16	não	aceitável	médio	-	médio
17	sim	aceitável	pouco	aspecto casca de laranja reduzido	fraco
18	sim	aceitável	pouco	aspecto casca de laranja reduzido	fraco
19	não	aceitável	pouco	-	médio
20	não	bom	bom	-	bom
21	não	bom	bom	-	bom
22	não	aceitável	médio	-	bom
23	sim	bom	médio	aspecto casca de laranja reduzido; apresenta manchas	fraco
24	sim	mau	fraco	apresenta manchas grandes	fraco
25	não	fraco	médio	apresenta manchas	médio

## Apêndice E – Aditivos

### Anti- Espuma

Em muitos processos, as substâncias tensio-ativas são usadas cada vez mais para produzir efeitos específicos. A característica mais importante destes surfactantes é a sua tendência para concentrar nas interfaces, como a fronteira ar/ água, onde eles se orientam de acordo com a sua solubilidade e estrutura química. Isto conduz a uma redução da tensão de superfície interfacial e a uma estabilização do sistema.

No entanto, é tendência destes surfactantes estabilizar bolhas de ar incorporadas no revestimento durante o fabrico ou aplicação, sob a forma de espuma, particularmente no caso de sistemas de base aquosa.



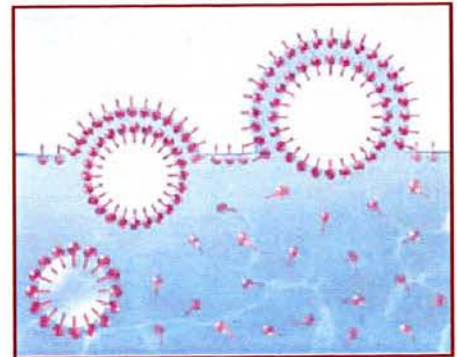
**Figura 9.** Formação de bolhas esféricas num líquido sem surfactantes.

A espuma é definida como uma dispersão estável de bolhas de gás num meio líquido. Se uma corrente de ar é introduzida num líquido, as bolhas produzidas vão assumir uma forma esférica e migrar para a superfície., pois a sua densidade é inferior à do líquido. Quando as bolhas atingem e passam através da superfície de líquido livre de surfactante, rebentam. O ar contido nas bolhas dissipa-se e o líquido que previamente as rodeava recua. Os

líquidos puros, livres de surfactantes, não formam espuma.

Nos líquidos que contêm surfactantes, as bolhas esféricas dão

lugar a micro-espuma estável. Apesar das bolhas subirem, elas estão rodeadas por uma camada de moléculas de surfactante, ou lamela. A interface do ar também tem uma camada de moléculas de surfactante à superfície e por isso é formada uma dupla camada quando as bolhas atingem a superfície. Como a camada dupla pode atingir alguns  $\mu\text{m}$  de espessura, esta fina superfície de espuma é muito estável e difícil de romper. As bolhas de espuma formam uma camada que vai aumentando em altura. À medida que o líquido escoar para fora da camada dupla, a micro-espuma é forçada a tomar uma nova forma cineticamente estável- *macro-espuma*. Devido à baixa espessura do filme da lamela, esta espuma é normalmente de fácil ruptura.



**Figura 10.** Desenvolvimento da espuma estável, num líquido que contenha surfactantes.





**Figura 11.** Coroa de espuma estabilizada.

Os anti-espumas trabalham através da destruição directa da macro-espuma na interface de ar e evitando que maiores quantidades de ar fiquem presas.

Para serem eficazes como aditivos, os anti-espumas têm de preencher certos requisitos. Um deles é a possibilidade de ultrapassar o mecanismo de estabilização da espuma. Para isso, o anti-espuma tem que ser quase insolúvel no sistema, para permitir a migração desta até à interface do ar.

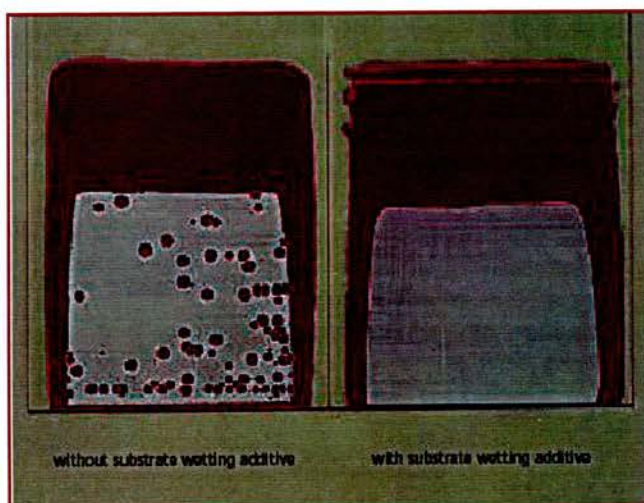
## Molhantes de Substrato

A molhagem é a acção do líquido de um revestimento de se espalhar sobre a superfície e é essencial para o sucesso da aplicação do verniz. A molhagem é difícil em superfícies de baixa energia, ou seja, em substratos que possuam pouca energia, como os plásticos ou substratos sujos com pequenas partículas (gordura, pó, etc.). Nestes casos podem ocorrer defeitos tais como, espalhamento pobre e má adesão do filme à superfície.

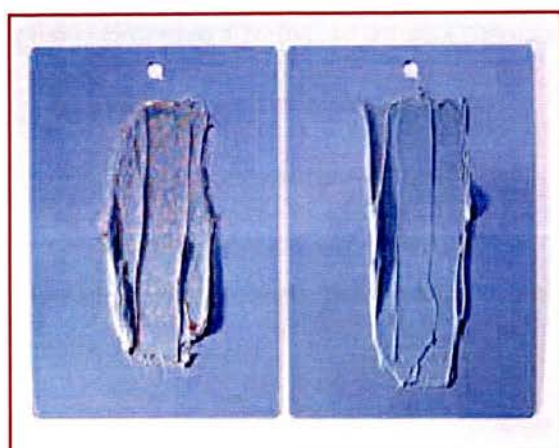
A molhagem do substrato pode ser melhorada por dois métodos:

- a) Aumentar a energia da superfície do substrato, por limpeza e remoção de óleos e outros contaminantes;
- b) Baixar a tensão de superfície do revestimento através do uso de aditivos especiais para este propósito.

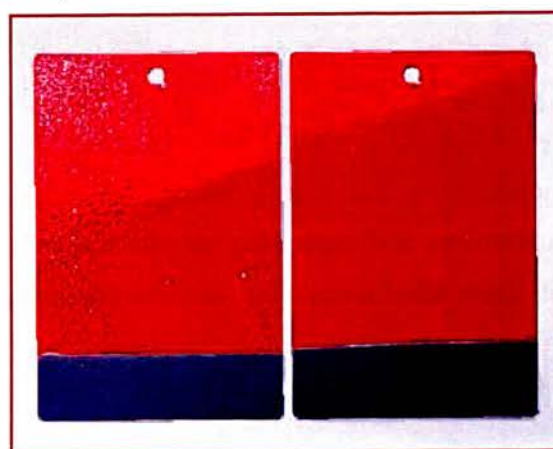
Como todos os surfactantes, um aditivo molhante de substrato é uma molécula que contém uma porção hidrofílica e uma porção hidrofóbica. A estrutura molecular dos aditivos inibe a sua orientação, de tal modo que a tensão superficial do líquido diminui drasticamente. A região não polar da molécula direcciona-se para o ar, enquanto que a região polar da molécula repousa na fase aquosa. Deste modo, os surfactantes apresentam uma superfície de baixa energia em direcção ao ar, o que permite um abaixamento da tensão de superfície do revestimento.



**Figura 12.** Revestimento sobre uma superfície contaminada. À esquerda não contém aditivo, mas à direita contém.



**Figura 14.** Revestimentos aquosos, sobre PVC, sem aditivo (esq.) e com aditivo (dir.).



**Figura 13.** Revestimento de base solvente, com aditivo (dir.) e sem aditivo (esq.).

## Aditivos Nivelantes

As tintas, os vernizes e as tintas de impressora são aplicadas em camada fina numa grande variedade de substratos. Os filmes aplicados têm uma área superficial relativamente grande comparada com o seu volume, e uma área de contacto extensa com respeito ao substrato.

Durante a formação do filme, podem ocorrer vários problemas, tais como a molhagem inadequada do substrato, fraco escoamento, formação de crateras, etc. Adicionalmente, a superfície do filme pode ser sensível ao risco.

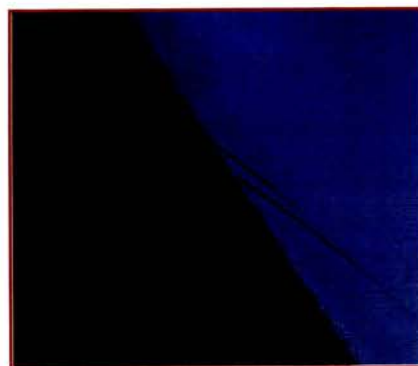
Os fenómenos que se desenvolvem à superfície do filme detêm um papel importante na formação de defeitos, e podem também influenciar as propriedades do filme. Estes fenómenos podem ser significativamente perturbados pela adição de pequenas quantidades de substâncias tensio-activas, ultrapassando muitos problemas e melhorando substancialmente a superfície do revestimento.

As substâncias são identificadas como substâncias surfactantes se reduzem a tensão de superfície de um líquido, por exemplo, por concentração na interface do ar e formando uma nova interface de baixa energia com o ar. As moléculas destes ditos surfactantes possuem um segmento não-polar orientado em direcção ao ar e um polar orientado para o líquido.

Estas substâncias tensio-activas influenciam várias propriedades em simultâneo, nomeadamente:

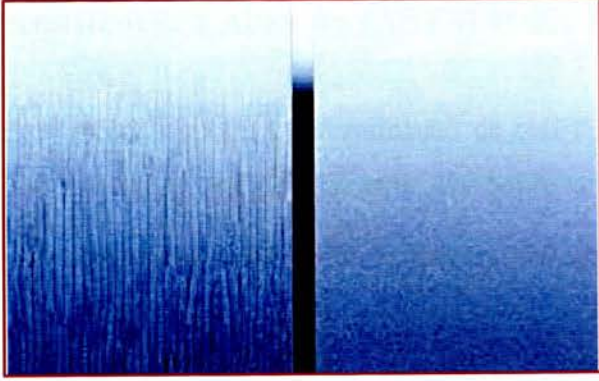
- melhoram o escoamento e o nivelamento (menor efeito casca de laranja, sem crateras, melhoramento do brilho);
- promove a formação de uma superfície estruturalmente uniforme;
- melhora a resistência ao risco;
- promove a molhagem do substrato.

O escoamento ideal de um filme pode ser visualizado como a formação de uma superfície uniforme e nivelada, compensando para qualquer aplicação irregularidades específicas, tais como as marcas da trincha ou do rolo.



**Figura 15.** Riscos num filme de tinta.

### Resistência ao risco



**Figura 16.** Revestimento sem aditivo (esquerda); com aditivo (direita).

Os riscos são o resultado de uma deformação na superfície por um objecto afiado, destruindo irreversivelmente a superfície do revestimento ou mesmo penetrando no revestimento do filme. Aumentando a suavidade da superfície com aditivos nivelantes, é possível fabricar um filme mais resistente ao risco. Um aditivo nivelante na superfície do filme proporciona uma lubrificação hidrodinâmica entre objectos afiados e a superfície do revestimento, protegendo-a contra estragos.

### Efeito anti- cratera

As crateras podem ser definidas como pequenas depressões no revestimento do filme, provocadas quando o efeito de molhagem do filme é danificado. As crateras ocorrem normalmente quando o revestimento é colocado em contacto com áreas onde a tensão de superfície do substracto é inferior à do verniz.

## Apêndice F – Normas de Inspeção e Trabalho

### Resistência à Abrasão (ASTM D 4060)

Este método cobre a determinação da resistência de revestimentos orgânicos à abrasão produzida pelo Taber Abraser em películas aplicadas sobre uma superfície rígida, plana.

O produto é aplicado com uma espessura uniforme sobre um painel rígido e plano e a sua película deve ser submetida à abrasão provocada pelo movimento rotativo das rodas abrasivas com pesos determinados.

A resistência à abrasão é calculada por:

$$\text{perda de peso} = A - B \quad (1)$$

em que A = peso do provete pintado antes do ensaio de abrasão, em mg;

B = peso do provete depois do ensaio, em mg.

### Ensaio de Amortecimento do Pêndulo (EN ISO 1522)

Esta norma especifica as condições normalizadas para ensaio de amortecimento do pêndulo num sistema de revestimento monocamada ou múltipla camada de tinta, verniz ou produto relacionado.

Faz-se oscilar um pêndulo que repousa sobre uma superfície revestida e mede-se o tempo que demora em diminuir a amplitude do seu movimento para uma certa quantidade estabelecida. Quanto mais curto for o tempo de amortecimento, menor será a dureza do revestimento.

### Dureza da Película pelo Teste do Lápis (ASTM D3363)

Este método de ensaio indica um procedimento rápido e de baixo custo para determinação da dureza de uma película de tinta (verniz) orgânico, aplicada sobre um determinado substrato, pela passagem de um lápis com um bico de dureza conhecida.

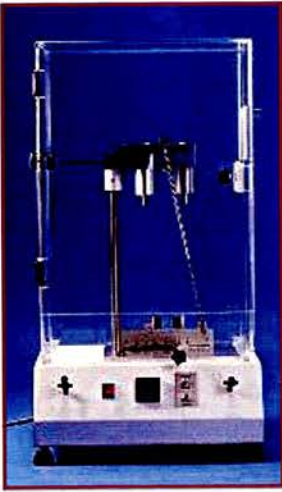
Um painel revestido com tinta é colocado numa superfície firme e horizontal. Coloca-se o lápis no dispositivo mecânico e puxa-se no sentido do operador até se obter um rasgo de 6,5 mm.

Este método de ensaio é especialmente vantajoso no desenvolvimento de novos produtos e no laboratório de controlo de produto final. Os resultados obtido podem variar consoante o operador e o laboratório onde estão a ser efectuados.

## **Determinação do Brilho Especular de Revestimentos (EN ISO 2813)**

Na presente norma é especificado um método de ensaio para determinação do brilho especular de revestimentos por pintura usando um reflectómetro com geometria 20°, 60° e 85°.

## Apêndice G – Aparelhos



← Figura 17. Pêndulo Persoz.

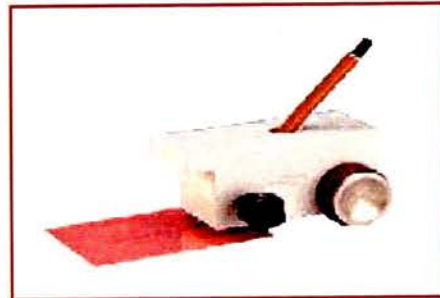
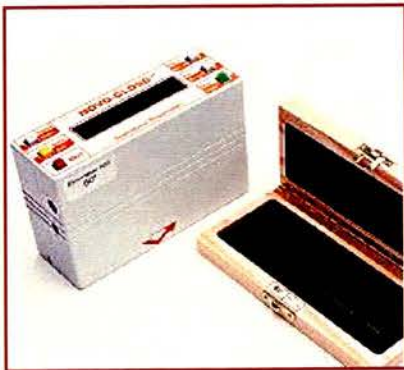


Figura 18. Dureza Lápis. →



← Figura 19. Brilho.



Figura 20. Abrasímetro de Taber. →



FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000091314



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Social Europeu

