

**EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NO  
ENVERNIZAMENTO, COLAGEM E COR DA MADEIRA DE  
*Eucalyptus saligna* E *Pinus caribaea* var. *hondurensis***

**ANA LÚCIA PIEDADE SODERO MARTINS PINCELLI**

Engenheira Florestal

Orientador: Prof. Dr. **JOSÉ OTÁVIO BRITO**

Dissertação apresentada à Escola Superior de  
Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de  
São Paulo, para obtenção do título de Mestre  
em Ciências, Área de Concentração: Ciência e  
Tecnologia de Madeiras.

**PIRACICABA**

Estado de São Paulo - Brasil

Outubro - 1999

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTÉCA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP**

Pincelli, Ana Lúcia Piedade Sodero Martins

Efeito da termorreificação no envernizamento, colagem e cor da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* / Ana Lúcia Piedade Sodero Martins Pincelli. - - Piracicaba, 1999.

115 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1999.  
Bibliografia.

1. Adesivo de madeira 2. Eucalipto 3. Pinheiro 4. Propriedade físico-química 5. Tecnologia de madeira 6. Tratamento térmico 7. Verniz I. Título

CDD 634.9734

## HOMENAGEM SAUDOSA

Ao Prof. Dr. Paulo Soderó Martins,

extraordinário homem e pesquisador

que foi meu pai.

## DEDICO

À minha avó paterna Inah Maria

## OFEREÇO

À minha mãe Maria de Lourdes

Ao meu esposo Alexandre Pedro

Às minhas irmãs Ana Cláudia e Ana Elisa

## AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, pela chance de aprimoramento profissional.

Ao Prof. Dr. José Otávio Brito, Chefe do Depto. de Ciências Florestais, pelo profissionalismo, orientação efetiva, constante incentivo e, principalmente pela confiança e amizade mantidas durante os anos de convivência.

Ao Prof. Dr. Mário Tomazello Filho, pelo apoio como coordenador do Curso de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Madeiras.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelos recursos financeiros.

Aos funcionários e estagiários do Depto. de Ciências Florestais, em especial aos técnicos Udemilson Luis Ceribelli e Maria Regina Buch do Setor de Química, Celulose e Energia, pela dedicação ininterrupta.

Às empresas Duratex S/A e Eucatex S/A Ind. e Com. pelo fornecimento das madeiras utilizadas neste trabalho.

À equipe da serraria do Depto. de Ciências Florestais por seu apoio no processamento das madeiras, em especial ao Prof. Dr. José Nivaldo Garcia pela atenção dispensada e ao técnico Luis Eduardo Facco pelo auxílio constante.

À equipe da Divisão de Produtos Florestais do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), pela oportunidade de desenvolvimento de parte das pesquisas deste trabalho, em especial ao Prof. Luiz Tadashi Watai pelo aconselhamento e apoio e ao técnico Paulo de Assis pela cooperação.

À equipe do Laboratório de Produtos Florestais - IBAMA/Brasília-DF, pela oportunidade de desenvolvimento de parte das pesquisas deste trabalho, em especial ao Prof. Dr. Joaquim Carlos Gonzalez, da Universidade de Brasília, pela valiosa colaboração e ao tecnólogo José Arlete A. Camargos pela ajuda inestimável.

Ao Prof. Dr. José Eduardo Corrente, Prof. Dr. Décio Barbin e Profa. Dra. Sonia M. De Stefano Piedade, do Depto. de Ciências Exatas, pelo auxílio nas análises estatísticas e interpretações.

Ao Prof. Dr. Carlos Roberto Soderro Martins pela leitura final e credibilidade na dissertação apresentada.

À bibliotecária Eliana M. G. Sabino pela orientação bibliográfica.

À Lia Bueno Moretti pela tradução do resumo.

Aos colegas do Depto. de Ciências Florestais e a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiii
RESUMO.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 A aplicação de calor na madeira.....	3
2.1.1 A ação do calor e os fatores de influência.....	4
2.1.2 Definições e histórico sobre o processo de retificação térmica.....	7
2.1.3 Termorretificação: alterações na madeira, características do produto e suas aplicações.....	10
2.2 Envernizamento de madeiras.....	15
2.2.1 Influência da umidade no envernizamento.....	16
2.2.2 Fatores relacionados no desempenho de um envernizamento.....	17
2.3 Colagem de madeiras.....	18
2.3.1 Fatores que afetam a junta de colagem.....	18
2.4 A cor da madeira.....	23
2.4.1 Fatores que influenciam a cor da madeira.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Material.....	30
3.2 Preparo do material para termorretificação.....	30
3.3 Termorretificações.....	31
3.4 Análises e determinações.....	36
3.4.1 Preparo do material para ensaios de envernizamento.....	36
3.4.2 Ensaios de envernizamento.....	38
3.4.2.1 Resistência do filme de verniz ao risco e ao corte.....	38

3.4.2.2	Aderência do filme de verniz ao substrato.....	41
3.4.2.3	Resistência ao impacto.....	42
3.4.2.4	Resistência do filme de verniz ao ataque (manchas) de produtos químicos domésticos.....	43
3.4.2.5	Climatização da madeira envernizada em ambientes seco e úmido.....	44
3.4.2.6	Análises estatísticas.....	45
3.4.3	Preparo do material para ensaio de colagem.....	45
3.4.4	Determinação da resistência mecânica da colagem.....	48
3.4.4.1	Análises estatísticas.....	49
3.4.5	Preparo do material para mensuração de cor.....	50
3.4.6	Determinação da cor.....	50
3.4.6.1	Análises estatísticas.....	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1	Avaliações sobre envernizamento.....	54
4.1.1	Resistência do filme de verniz ao risco e ao corte.....	54
4.1.2	Aderência do filme de verniz ao substrato.....	58
4.1.3	Resistência ao impacto.....	60
4.1.4	Resistência a produtos químicos domésticos.....	62
4.1.5	Climatização da madeira envernizada em ambientes seco e úmido.....	67
4.2	Desempenho da colagem.....	70
4.3	Avaliações da colorimetria.....	82
5	CONCLUSÕES.....	100
	ANEXO.....	103
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
	APÊNDICES.....	113

## LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Espaço de cor CIELAB.....	25
2 Estufa usada para as termorretificações contendo madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	32
3 Exemplo de peças de madeira de <i>Eucalyptus saligna</i> representativas dos tratamentos.....	34
4 Exemplo de peças de madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> representativas dos tratamentos.....	35
5 Foto ilustrativa de corpos-de-prova de <i>E. saligna</i> termorretificados e envernizados com verniz nitrocelulose brilhante (a), poliuretano brilhante (b) e poliuretano fosco (c) (da esquerda para a direita: testemunha, 120, 140, 160 e 180 °C).....	39
6 Foto ilustrativa de corpos-de-prova de <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> termorretificados e envernizados com verniz nitrocelulose brilhante (a), poliuretano brilhante (b) e poliuretano fosco (c) (da esquerda para a direita: testemunha, 120, 140, 160 e 180 °C).....	40
7 Aparelho utilizado para medição de cor, acoplado a um microcomputador.....	51
8 Sistema CIELAB 1976.....	52

- 9 Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos:  
 $T_1 =$  testemunha;  $T_2 = 120\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_3 = 140\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_4 = 160\text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $T_5 = 180\text{ }^\circ\text{C}$  - Fenol-resorcinol-formol - *E. saligna*..... 75
- 10 Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos:  
 $T_1 =$  testemunha;  $T_2 = 120\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_3 = 140\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_4 = 160\text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $T_5 = 180\text{ }^\circ\text{C}$  - Acetato de polivinila modificada - *E. saligna*..... 75
- 11 Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos:  
 $T_1 =$  testemunha;  $T_2 = 120\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_3 = 140\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_4 = 160\text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $T_5 = 180\text{ }^\circ\text{C}$  - Uréia-formol - *E. saligna*..... 76
- 12 Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos:  
 $T_1 =$  testemunha;  $T_2 = 120\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_3 = 140\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_4 = 160\text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $T_5 = 180\text{ }^\circ\text{C}$  - Fenol-resorcinol-formol - *P. caribaea* var.  
*hondurensis*..... 77
- 13 Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos:  
 $T_1 =$  testemunha;  $T_2 = 120\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_3 = 140\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_4 = 160\text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $T_5 = 180\text{ }^\circ\text{C}$  - Acetato de polivinila modificada - *P. caribaea* var.  
*hondurensis*..... 77

14	Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos: T <sub>1</sub> = testemunha; T <sub>2</sub> = 120 °C; T <sub>3</sub> = 140 °C; T <sub>4</sub> = 160 °C; T <sub>5</sub> = 180 °C - Uréia-formol - <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	78
15	Diagrama de barras da claridade (L) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - <i>E. saligna</i> .....	91
16	Diagrama de barras da coordenada cromática a* em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - <i>E. saligna</i> .....	91
17	Diagrama de barras da coordenada cromática b* em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - <i>E. saligna</i> .....	92
18	Diagrama de barras da saturação (C) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - <i>E. saligna</i> .....	92
19	Diagrama de barras do ângulo de tonalidade (H) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - <i>E. saligna</i> .....	93
20	Diagrama de barras da claridade (L) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	94
21	Diagrama de barras da coordenada cromática a* em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	94

22	Diagrama de barras da coordenada cromática b* em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	95
23	Diagrama de barras da saturação (C) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	95
24	Diagrama de barras do ângulo de tonalidade (H) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	96

## LISTA DE TABELAS

	Página
1 Resistência do filme de verniz ao risco e corte para a madeira de <i>Eucalyptus saligna</i> .....	55
2 Resistência do filme de verniz ao risco e corte para a madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	56
3 Aderência do filme de verniz ao substrato para a madeira de <i>Eucalyptus saligna</i> .....	58
4 Aderência do filme de verniz ao substrato para a madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	59
5 Resistência ao impacto da esfera de aço sobre o filme de verniz para a madeira de <i>Eucalyptus saligna</i> .....	60
6 Resistência ao impacto da esfera de aço sobre o filme de verniz para a madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	61
7 Resistência aos produtos químicos domésticos para a madeira de <i>Eucalyptus saligna</i> .....	63
8 Resistência aos produtos químicos domésticos para a madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	65
9 Climatização da madeira envernizada em ambientes seco e úmido para a madeira de <i>Eucalyptus saligna</i> .....	68

10	Climatização da madeira envernizada em ambientes seco e úmido para a madeira de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	69
11	Análise da variância com aplicação do teste F para resistência da colagem ao esforço de cisalhamento - <i>Eucalyptus saligna</i> .....	71
12	Análise da variância com aplicação do teste F para resistência da colagem ao esforço de cisalhamento - <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	72
13	Teste de Tukey para resistência da colagem ao esforço de cisalhamento ao nível de 5 % de probabilidade - <i>Eucalyptus saligna</i> .....	73
14	Teste de Tukey para resistência da colagem ao esforço de cisalhamento ao nível de 5 % de probabilidade - <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	74
15	Teste t de Student pareado para os parâmetros de cor, considerando trinta observações para cada tratamento - <i>Eucalyptus saligna</i> .....	83
16	Teste t de Student pareado para os parâmetros de cor, considerando trinta observações para cada tratamento - <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	84
17	Análise da variância com aplicação do teste F para a claridade (L) - <i>Eucalyptus saligna</i> .....	85

18	Análise da variância com aplicação do teste F para a coordenada cromática a* - <i>Eucalyptus saligna</i> .....	85
19	Análise da variância com aplicação do teste F para a coordenada cromática b* - <i>Eucalyptus saligna</i> .....	85
20	Análise da variância com aplicação do teste F para a saturação (C) - <i>Eucalyptus saligna</i> .....	86
21	Análise da variância com aplicação do teste F para o ângulo de tonalidade (H) - <i>Eucalyptus saligna</i> .....	86
22	Análise da variância com aplicação do teste F para a claridade (L) - <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	87
23	Análise da variância com aplicação do teste F para a coordenada cromática a* - <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	87
24	Análise da variância com aplicação do teste F para a coordenada cromática b* - <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	87
25	Análise da variância com aplicação do teste F para a saturação (C) - <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	88
26	Análise da variância com aplicação do teste F para o ângulo de tonalidade (H) - <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	88
27	Teste de Tukey para os parâmetros de cor ao nível de 5 % de probabilidade - <i>Eucalyptus saligna</i> .....	89

28	Teste de Tukey para os parâmetros de cor ao nível de 5 % de probabilidade - <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	90
----	--	----

# EFEITO DA TERMORRETIFICAÇÃO NO ENVERNIZAMENTO, COLAGEM E COR DA MADEIRA DE *Eucalyptus saligna* E *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Autora: ANA LÚCIA PIEDADE SODERO MARTINS PINCELLI

Orientador: Prof. JOSÉ OTÁVIO BRITO

## RESUMO

Madeiras de *Eucalyptus saligna*, com 25 anos de idade, e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com 20 anos, foram submetidas à ação do calor num processo denominado de “termorretificação” ou “retificação térmica”, conduzido em estufa dotada de sistema de aquecimento por resistência elétrica, numa faixa de temperatura entre 120 e 180 °C. O objetivo foi avaliar as alterações que a termorretificação pudesse proporcionar em relação às características de envernizamento, colagem e cor das madeiras em estudo. Para avaliação do comportamento das madeiras em relação a suas interações com os vernizes, e no sentido de se observar as eficiências do processo de envernizamento, foram efetuados ensaios padrões compreendendo: resistência do filme de verniz ao risco e ao corte; aderência do filme de verniz ao substrato; resistência ao impacto; resistência do filme de verniz ao ataque (manchas) de produtos químicos domésticos e climatização da madeira envernizada em ambientes seco e úmido. A respeito de colagem, foi realizado ensaio de resistência ao cisalhamento. Os resultados obtidos permitiram concluir que a termorretificação não exerce influência nas características de envernizamento e colagem da madeira. No entanto, a estabilidade dimensional das madeiras

submetidas à condições extremas de climatização, ou seja, ambientes seco e úmido, sofreu influência das termorretificações. A partir disto, pode-se considerar que os processos usuais de envernizamento e colagem adotados na indústria madeireira/moveleira são passíveis de serem indicados para madeiras termorretificadas. Na questão da cor, pode-se afirmar que as termorretificações alteraram a cor original da madeira, fato este evidenciado pelos parâmetros colorimétricos: L (claridade),  $a^*$  (coordenada vermelho-verde),  $b^*$  (coordenada azul-amarelo), C (saturação) e H (ângulo de tonalidade). Em função das termorretificações, tanto a madeira de *E. saligna* como a madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis*, tornaram-se mais escuras. A madeira de *E. saligna* apresentou redução da cor vermelha, enquanto que a madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis* registrou aumento. No caso da madeira de *E. saligna*, houve inicialmente uma redução da cor amarela até 140 °C, a partir da qual passou a haver uma recuperação dessa cor. Para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, o amarelecimento foi crescente até 160 °C, após o que houve uma drástica redução da mesma.

**EFFECT OF THE WOOD RECTIFICATION PROCESS IN  
VARNISHING, BONDING AND COLOR OF  
*Eucalyptus saligna* AND *Pinus caribaea* var. *hondurensis***

Author: ANA LÚCIA PIEDADE SODERO MARTINS PINCELLI

Adviser: Prof. JOSÉ OTÁVIO BRITO

**SUMMARY**

Twenty-five-year-old *Eucalyptus saligna* and 20-year-old *Pinus caribaea* var. *hondurensis* were submitted to the action of heat in a process called “wood rectification process”, conducted in a greenhouse provided with an electrical resistance heating system, with temperature ranging 120-180 °C. The aim was to evaluate the changes likely to be provided by the wood rectification process to the characteristics of varnishing, bonding and color of the woods under study. In order to evaluate wood behavior regarding the respective interaction with varnish as well as to observe the efficiencies of the varnishing process, standard trials were carried out including: film hardness by pencil test; cross-cut test; impact test; stain resistance, and climatization of varnished wood in dry and damp environments. As to the bonding, a shearing strength trial was conducted. The results showed that the wood rectification process does not influence either varnishing or bonding characteristics of wood. Nevertheless, the dimensional stability of woods submitted to extreme climate conditions, that is, dry and damp environments, was affected by the wood rectification process. Thus one can consider that the usual varnishing and binding processes adopted by the logging/furniture industry are likely to be indicated for rectified woods. In

regards to color, the wood rectification processes can be asserted to change the wood's original color, which is proven by colorimetric parameters L (lightness),  $a^*$  (chrome red/green coordinate),  $b^*$  (chrome blue/yellow coordinate), C (saturation), and H (hue). Because of the rectification both *E. saligna* and *P. caribaea* var. *hondurensis* became darker. The reddish color in *E. saligna* wood decreased while an increase was recorded for *P. caribaea* var. *hondurensis*. In the case of *E. saligna* an initial reduction in the yellowish color was observed up to 140 °C, when the color was recovered. Yellowing was increasing for *P. caribaea* var. *hondurensis* up to 160 °C, followed by a severe color reduction.

## 1 INTRODUÇÃO

São várias as possibilidades de processamento industrial da madeira em que o calor é usado como componente básico. Sua ação pode-se dar de forma mais ou menos intensa em relação às transformações estruturais da madeira.

É preciso lembrar, no entanto, que nem sempre o calor é, isoladamente, o único responsável pelas transformações sofridas pela madeira. Podem existir fatores adicionais influenciando o processo, tais como o tempo de tratamento, a velocidade de aquecimento, a atmosfera, a pressão, etc.

Outro aspecto importante a ser considerado, diz respeito às pretensões em relação ao produto final a ser obtido. Dentre os processos em que a ação do calor tem papel de destaque, quando a madeira sofre total transformação, a combustão pode ser citada como sendo a mais tradicional e mais amplamente conhecida. Sua aplicação básica é no sentido da liberação da energia química contida nos componentes orgânicos da madeira na forma de energia calorífica. Como exemplos típicos de processos onde a ação do calor é fortemente atuante merecem ainda menção: a carbonização, a destilação seca e a gaseificação, através dos quais a madeira é totalmente transformada, com os objetivos principais da obtenção de carvão vegetal, líquidos pirolenhosos e gases. A secagem artificial é o exemplo mais clássico de processo em que a madeira sofre, comparativamente, pouca alteração estrutural, sobretudo em relação à sua composição química.

Desta maneira, com exceção da secagem, todos os tradicionais processos mencionados implicam em significativos comprometimentos da estrutura da madeira. Em tais casos, são visados determinados produtos que possuem características significativamente diferenciadas da madeira original.

Diante de tal quadro, observa-se que as transformações que a madeira pode sofrer quando submetida à ação do calor, são administráveis visando-se um determinado benefício, e dentro deste contexto, novas proposições têm sido geradas. Este é o caso do processo denominado de “retificação térmica” ou “termorretificação”, o qual seria usado como ferramenta para alteração das características da madeira, tendo sido este o alvo do presente trabalho.

O estudo foi realizado com o objetivo de avaliar as alterações que a termorretificação, na faixa de temperatura situada entre 120 e 180 °C, pudesse proporcionar às características de envernizamento, colagem e cor da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Como o comportamento da madeira em relação a tais aspectos é elemento fundamental para a definição do potencial para sua utilização como matéria-prima, independentemente de outras características, a avaliação da mesma torna-se indispensável quando, a partir da termorretificação, pretenda-se obter um material diferenciado da madeira original.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A aplicação de calor na madeira**

O calor tem sido eleito como um dos principais recursos utilizados no processamento industrial da madeira. Em função do direcionamento que possa ser dado à sua aplicação, diferentes possibilidades de rendimento e qualidade de produtos podem ser alcançados.

Assim ocorre, por exemplo, no chamado processo de carbonização, onde através da ação do calor objetiva-se principalmente a obtenção do carvão vegetal. Outro exemplo é a destilação seca, a qual ocupa-se além do carvão vegetal, da recuperação dos gases voláteis eliminados durante o processo. Na gaseificação, pretende-se transformar a madeira, integralmente, em produtos gasosos. A combustão, por sua vez, relaciona-se à transformação total da madeira em energia.

A perda de massa da madeira tem sido usada como um critério para a identificação de fases da pirólise. O critério baseia-se na existência de fortes correlações entre as reações químicas que ocorrem durante a elevação da temperatura, e os níveis de perda de massa observados durante o processo.

Guedira (1988) e Vovelle & Mellottee (1982), apresentaram uma classificação em que a perda de massa durante a pirólise ocorreria em cinco fases distintas. A primeira fase é situada entre a temperatura ambiente e 100

°C, e corresponde à eliminação da chamada “água livre” ou “higroscópica” da madeira, que fica retida no lume das fibras. A segunda fase, situada entre 100 e 250 °C, também está ligada à eliminação da água. Uma parte dessa água ainda é a chamada “água livre”, retida pelas paredes celulares, e considerada como estando absorvida junto às funções hidroxilas das cadeias de polissacarídeos e da lignina. Outra parte da água é chamada “água de constituição”, cuja eliminação é acompanhada por uma degradação irreversível da madeira, e que corresponde à destruição dos grupos hidroxílicos. A terceira fase ocorre entre 250 e 330 °C e, em geral, corresponde essencialmente à destruição das hemiceluloses. A quarta fase situa-se entre 330 e 370 °C, supondo-se que a mesma esteja relacionada à destruição da celulose. A quinta fase manifesta-se a temperaturas acima de 370 °C, onde o carvão vegetal encontra-se efetivamente produzido. Geralmente esta fase está fortemente agregada ao início da degradação da lignina.

### **2.1.1 A ação do calor e os fatores de influência**

Muitos dos resultados encontrados na literatura sobre a ação do calor na madeira são geralmente conflitantes, pois irão depender das condições em que a madeira se encontra e, principalmente, de como a experiência tenha sido conduzida. Sobre esta questão Martin (1984), apresenta uma série de fatores que podem agir sobre a natureza e rendimento dos produtos da pirólise da madeira. Esses fatores são divididos em duas classes: a) fatores relacionados à natureza da madeira: composição elementar, quantidade dos principais polímeros (celulose, hemicelulose e lignina), condutibilidade térmica, densidade, resistência mecânica, etc.; b) fatores ligados às condições operacionais: temperatura, pressão, tempo de resistência da madeira na zona de aquecimento, pré-tratamento químico ou térmico efetuados sobre a madeira, etc.

A temperatura é o principal fator a influenciar a ação do calor sobre a madeira. Outro fator, porém, que merece atenção especial é a taxa ou velocidade de aquecimento. Conforme propõem Deglise & Magne (1987) e Graham et al. (1984), denomina-se “pirólise lenta” aquela cuja taxa de aquecimento seja menor ou igual a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  para se atingir a temperatura final de tratamento. É a condição ideal para a obtenção otimizada de resíduos sólidos durante a pirólise.

Crow & Pickles (1971), com base em estudos que incluíram espectrofotometria infravermelho, difração de raios X e análise térmica diferencial, concluíram que a ação do calor somente resulta em transformações químicas e físicas na madeira à partir de  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , considerando-se uma taxa de aquecimento de  $16\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Em relação aos componentes da madeira, Petroff & Doat (1978), consideram que a ação do calor sobre a madeira corresponde a uma combinação proporcional de resultados que possam ser obtidos dessa mesma ação sobre celulose, hemicelulose e lignina da madeira, individualmente. Isso tem feito com que as pesquisas tenham sido realizadas não somente sobre a madeira, mas também sobre cada um de seus componentes isolados.

A celulose e outros polissacarídeos representam a maior parcela, em geral mais que 65 % dos componentes químicos da madeira. Consequentemente, é possível considerar-se que o comportamento da madeira tenha uma grande dependência dos fenômenos termodegradativos ocorrendo sobre tais polissacarídeos. Shafizadeh (1976), confirma tal fato ao concluir que para a madeira de *Populus* submetida à pirólise até  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , foi observada uma clara similaridade de comportamento termodegradativo entre a madeira e a celulose isolada.

Brito & Barrichelo (1979), estudaram o comportamento termodegradativo da lignina e da celulose isolada de madeira de *Eucalyptus* spp. Os componentes foram analisados ao longo do tempo, quando submetidos à pirólise numa temperatura constante de 300 °C. O estudo permitiu concluir ser a celulose termodegradada muito mais rapidamente que a lignina.

Segundo Gomes & Oliveira (1980), além de alterações químicas sofridas pela madeira durante a pirólise, ocorrem ainda uma série de modificações físicas, tais como: mudança contínua na cor da madeira, abertura e coalescência de poros, fissuração, diminuição da densidade, etc. Wenzl (1970), afirma haver uma redução na densidade aparente da madeira com o aumento da temperatura ressaltando, porém, que a densidade verdadeira sofre um acréscimo em seu valor.

A resistência mecânica do resíduo sólido da pirólise também aumenta de acordo com o acréscimo da densidade da madeira submetida ao processo, segundo Osse (1957). O aumento na dureza do resíduo em função do aumento da temperatura é relatado por Abe (1982), como função do acréscimo da densidade da madeira submetida à pirólise.

Com relação ao comportamento dimensional, Wenzl (1970), afirma que o nível de contração volumétrica observado para a madeira e resíduos sólidos durante a pirólise é função da temperatura. A redução é mais acentuada no sentido tangencial e menos acentuada no sentido longitudinal. Slocum et al. (1978), também estudaram o comportamento dimensional de madeiras de *Quercus alba* e *Carya ovata* numa faixa de tratamento de 250 até 800 °C, observando contínuas variações dimensionais das madeiras submetidas à ação do calor. Tais variações foram mais acentuadas, em ordem crescente, nos sentidos longitudinal, radial e tangencial. A faixa de temperatura de 300 a 500

°C mostrou-se como a de mais acentuada influência, sendo que foi também no sentido tangencial que se observou as maiores diferenças entre espécies. No caso, a madeira de *Quercus* (menos densa) sofreu menor variação dimensional com o aumento da temperatura.

Moore et al. (1974), investigaram o comportamento da madeira de *Betula sp*, submetida à pirólises realizadas entre as temperaturas de 200 e 700 °C. A perda de massa e a retração acompanharam as tendências de decréscimo do módulo de elasticidade.

Wosniak (1982), constatou um aumento na porosidade do resíduo sólido da pirólise de madeira tratada de 190 à 900 °C. De um valor de 0,7 cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup> na madeira de origem, a porosidade chegou à 1,57 cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup> no resíduo obtido à 900 °C.

### **2.1.2 Definições e histórico sobre o processo de retificação térmica**

Na linguagem comum, a palavra retificação pode ser definida como sendo a eliminação de defeitos (Ferreira, 1986). Na literatura especializada, o termo tem sido usado para definir um processo de pirólise controlada da madeira conduzido sob atmosfera inerte (Duchez & Guyonnet, 1998; Gohar & Guyonnet, 1998 e Guyonnet & Bourgois<sup>1</sup>, citados por Weiland et al., 1998). Mesmo que os pesquisadores venham preferindo o emprego dessa palavra de forma isolada, é de se considerar que ela não explicita o uso do calor como principal elemento de ação. Isto é importante visto que, para a retificação da madeira, poderiam eventualmente ser considerados outros elementos de ação como ocorre, por exemplo, com a impregnação de agentes químicos na madeira (fungicidas, polietilenoglicol, etc.). Diante do exposto e,

---

<sup>1</sup> GUYONNET, R.; BOURGOIS, J. Patent Fr. 86 14138.

principalmente, devido ao fato do processo ser uma novidade no Brasil, optou-se no presente trabalho pela inclusão de um termo adicional que pudesse indicar a ação do calor durante o processo. Propõe-se, então, para a definição do processo os termos “retificação térmica” ou “termorretificação” da madeira. Contudo, o uso isolado da palavra retificação será mantido quando das citações da literatura estrangeira respeitando-se, desse modo, a originalidade das referências. Conseqüentemente, os termos retificação térmica, termorretificação, ou simplesmente retificação, devem ser considerados como sinônimos.

O interesse pela termorretificação como processo de transformação da madeira, tem sua origem nos estudos sobre a chamada “madeira torrada”.

De acordo com Girard & Shah (1989), os primeiros estudos em relação a este assunto tiveram início na década de 30, na França. As qualidades da madeira torrada garantiram subsídios para pesquisa sobre sua produção e seu uso em gaseificadores. No entanto, segundo estes autores, a madeira torrada não encontrou o mercado consumidor que se imaginou estar disponível naquela época.

Pesquisas conduzidas no início da década de 80 junto à École des Mines de Paris, em colaboração com o Centre Technique Forestier Tropical (CTFT), localizados na França, e que tiveram como objetivo atualizar e definir conhecimentos adicionais no campo da pirólise, fizeram com que fosse retomado o interesse pelas propriedades da madeira torrada, abrindo novas possibilidades para este produto no campo da eletrometalurgia (Girard & Shah, 1989).

Segundo Vergnet (1988), o termo genérico “madeira torrada” caracterizava os produtos sólidos resultantes da pirólise exotérmica e parcialmente controlada da madeira, que ocorria entre as temperaturas de 200 e 280 °C. Nesta faixa de temperatura, a madeira torrada apresentava como propriedades: a) elevado conteúdo energético; b) hidrofobia - praticamente não ocorria absorção de umidade; c) ótima durabilidade e friabilidade.

Se no início, os estudos sobre madeira torrada estiveram voltados para suas aplicações energéticas e metalúrgicas, a sequência histórica dos mesmos evidenciaram outras possibilidades do produto, sobretudo em relação à redução de desvantagens da madeira, tais como: absorção de umidade, instabilidade dimensional e biodegradabilidade. Isto fez com que, mediante o desenvolvimento de novos estudos, pudesse ser proposta uma derivação do processo de produção de madeira torrada, no que resultou no processo de produção de madeira termorretificada.

A retificação térmica não emprega produtos químicos, o que atualmente, no aspecto ambiental, pode ser considerado um fator muito importante. Além disso, por aumentar a resistência ao apodrecimento e a estabilidade dimensional da madeira, o processo pode se transformar numa opção para substituição de madeiras tradicionais, principalmente para aquelas que apresentam elevado custo de obtenção, bem como as espécies em extinção.

O estágio do desenvolvimento dos estudos sobre retificação térmica indica que o processo é atualmente operacionável em escala industrial. Os custos têm se mostrado compatíveis com as possibilidades de mercado, além de estarem sendo propostas inúmeras aplicações para o produto obtido (Gohar & Guyonnet, 1998). A referência mais recente do uso da madeira

termorreteificada encontra-se na adoção desse produto na construção da sede nacional do McDonalds na Finlândia (Kaila, 1999).

### **2.1.3 Termorreteificação: alterações na madeira, características do produto e suas aplicações**

A madeira é um composto polimérico tridimensional constituído principalmente por celulose, lignina e hemiceluloses, e menores quantidades relativas de extrativos e componentes minerais. Uma pirólise controlada da madeira, e conduzida à temperaturas que não ultrapassem os 280 °C, leva à degradação das hemiceluloses prioritariamente, em relação aos seus principais componentes. Sob tais condições, iniciam-se também modificações na lignina conforme relatam Duchez & Guyonnet (1998). Segundo tais autores, isto levaria à ocorrência de uma reticulação química (criação de ligações químicas entre cadeias poliméricas). Os autores sugerem ainda que isso justificaria o termo retificação, que seria a abreviatura da união das palavras reticulação e torrefação. Estas reações criariam uma nova “pseudo-lignina”, que seria mais hidrofóbica e mais rígida do que a original. Segundo ainda os autores, estudos de espectroscopia infravermelha mostraram, de fato, modificações nas ligações químicas na madeira retificada. O número de grupos contendo oxigênio (principalmente grupos hidroxilas) diminuiu, enquanto o número de ligações duplas C = C aumentou. Por outro lado, de acordo com Avat<sup>2</sup> e Weiland<sup>3</sup>, citados por Duchez & Guyonnet (1998), a cristalinidade da celulose parece não ser afetada.

---

<sup>2</sup> AVAT, F. Contribution à l'étude des traitements thermiques du bois jusqu'à 300 °C: transformations chimiques et caractérisations physico-chimiques. Saint-Etienne, 1993. Thesis (Ph.D.) - Ecole des Mines de Saint-Etienne.

<sup>3</sup> WEILAND, J.J. **Traitement thermique de la matière ligno-cellulosique**: procédé de réтификаtion: DEA report. Saint-Etienne: Ecole des Mines de Saint-Etienne, 1996.

As dimensões da madeira podem mudar sob o efeito da umidade, pois os polímeros da parede celular contêm grupos hidroxilas (e outros grupos contendo oxigênio) que absorvem água pelas ligações de hidrogênio (Rowell<sup>4</sup>, citado por Duchez & Guyonnet, 1998). Como consequência, a parede celular se expande até que esteja saturada de água (ponto de saturação das fibras). A destruição das hemiceluloses (a principal causa de absorção de água) reduz assim, tanto a movimentação dimensional da madeira, como a sua umidade de equilíbrio.

A remoção das hemiceluloses e as modificações da lignina impedem que as enzimas fúngicas possam identificar e hidrolizar seus nutrientes (inicialmente as hemiceluloses) na forma originalmente presentes na madeira (Duchez & Guyonnet, 1998). Além disso, um baixo teor de umidade de equilíbrio dificulta o desenvolvimento do fungo: o fungo só se desenvolve quando o teor de umidade da madeira estiver acima de 17 % (Suttie, 1998). A combinação de ambos os fatores pode explicar o aumento da durabilidade da madeira retificada. Como afirmam Duchez & Guyonnet (1998), a retificação não gera substâncias químicas tóxicas para a destruição dos fungos, mas sim leva à condições que impedem seus desenvolvimentos; contudo, os insetos ainda atacam a madeira retificada.

Thévenon & Haluk (1997), determinaram a resistência biológica de três madeiras retificadas (*Abies* spp., *Pinus sylvestris* e *Populus* spp.) a 230 °C sob ação de fungos basidiomicetos, e constataram que a retificação é efetivamente um modo de preservação da madeira; entretanto, as madeiras usadas pelos autores não apresentaram um comportamento homogêneo em termos de sua durabilidade. Segundo Neya et al. (1995), amostras de *Fagus*

---

<sup>4</sup> ROWELL, R.M. High performance composites made from chemically modified wood and other lignocellulosic fibers. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD AND PULPING CHEMISTRY, 6., Melbourne, 1991. **Proceedings**. Melbourne, 1991. v.1, p.341-344.

*sylvatica* retificadas a 210, 230 e 250 °C, foram submetidas à ação de fungos (4 espécies) e térmitas (2 espécies). Os resultados mostraram que somente o fungo *Antrodia sp.*, altamente virulento, foi capaz de degradar a madeira retificada, mas somente na temperatura mais baixa de tratamento (210 °C). Em contrapartida, a ação dos térmitas não foi inibida.

Com relação às propriedades mecânicas, Gohar & Guyonnet (1998), resumem que ocorre aumento do módulo de elasticidade (10 a 20 %), enquanto o módulo de ruptura pode ser ligeiramente reduzido (0 a 15 %). Estas mudanças, segundo os autores, variam entre as espécies de madeiras e dependem dos parâmetros usados no tratamento térmico. De acordo com Machinery Business Society (1997a), a madeira retificada fica mais dura, mais rígida e adquire maior resistência físico-mecânica.

Jodin & Gilgert / 1997? /, estudaram o efeito do aquecimento da madeira sobre propriedades mecânicas e observaram que, para o módulo de elasticidade, assim como para o módulo de ruptura, as diferenças entre as médias da madeira retificada e da madeira original não foram significativas. Observou-se também uma tendência de melhoria das características mecânicas para a madeira retificada.

Na questão da cor, Luro (1997), afirma que o tratamento térmico provoca, na madeira, modificações químicas que conseqüentemente alteram sua cor original, ou seja, a madeira se torna mais escura. De acordo com Machinery Business Society (1997b) e Luro (1997), a cor é diretamente função da temperatura de tratamento, sendo que esta característica pode servir de meio de controle do processo.

Outro aspecto a ser considerado em relação às características da madeira retificada, diz respeito a compatibilidade com componentes orgânicos.

De acordo com Machinery Business Society (1997a), o tratamento térmico modifica as propriedades da superfície da madeira melhorando sua compatibilidade com componentes orgânicos, como por exemplo resinas ou polímeros, facilitando as operações de impregnação, aderência, fabricação de derivados, e o uso de produtos para revestimento de superfície (vernizes, ceras, etc.).

Segundo Gohar & Guyonnet (1998), a otimização do processo de retificação permitiu produzir um material com reduzida higroscopicidade, sem diminuição significativa das propriedades mecânicas. O autor ressalta, porém, que o tratamento térmico deve ser previamente muito bem avaliado em relação à espécie de madeira e à uma série de parâmetros: temperatura de tratamento, duração, velocidade do aumento de temperatura, natureza e pressão da fase gasosa, geometria e tamanho das amostras, e teor de umidade inicial.

Os estudos até aqui conduzidos sobre madeira termoretificada, têm permitido a definição de várias possibilidades de aplicação do produto e, nesse contexto, várias considerações podem ser feitas. Destacam-se aqui, as referências de Duchez & Guyonnet (1998) e Gohar & Guyonnet (1998). Segundo os mesmos, no contexto da sua resistência ao ataque de microorganismos, a retificação permite o uso imediato do produto sem necessidade de armazenamento, contrariamente ao que ocorre no caso da preservação da madeira com agentes químicos. Isto é uma importante vantagem comparativa. Os autores mencionam ainda que as aplicações da madeira retificada permitem: a valorização de espécies de baixo valor e de madeiras secundárias; o tratamento de espécies que não podem ser impregnadas com sais metálicos; o tratamento de espécies cuja impregnação é proibida por causa da natureza do uso final da madeira (na indústria de alimento, por exemplo).

Quanto ao emprego de peças de madeira maciça, destinadas para usos exteriores, Duchez & Guyonnet (1998) e Gohar & Guyonnet (1998), destacam as seguintes possibilidades para o mercado europeu:

- revestimento, confecção de paredes à prova de som. O *Pinus pinaster* retificado, por exemplo, apresenta boas propriedades de estabilidade dimensional e resistência à biodegradação, podendo substituir espécies caras importadas;

- assoalhos, terraço, “decks” de barcos. A madeira de *Fagus sylvatica* retificada pode ser comparada à madeira de *Tectona grandis*, quanto às propriedades de estabilidade e de resistência mecânica, sendo a primeira espécie consideravelmente mais barata;

- móveis para jardim. As madeiras de *Fraxinus excelsior* e *Fagus sylvatica* retificadas, podem ser usadas para este propósito devido à aparência e dureza de superfície;

- batentes de porta e janela. O *Abies* spp. retificado, por exemplo, é uma espécie que pode ser usada para esta aplicação;

- parques infantis, móveis de rua, guaritas florestais, portões de madeira, cercas, etc.

A madeira retificada maciça pode ser destinada também para usos internos (parquete, móveis, decoração interior) (Duchez & Guyonnet, 1998). Além disso, segundo os autores, pode-se considerar as aplicações na confecção de instrumentos musicais, para as quais a estabilidade garante propriedades acústicas consistentes. A madeira retificada transformada em fragmentos, de acordo com os mesmos, pode ser usada para a manufatura de

materiais compostos em associação com vidro, fibra de vidro, materiais colantes (cimento, gesso, etc.); isso pode levar a uma valorização dos descartes indesejáveis que ocorrem durante a retificação ou processamento mecânico.

O sucesso do processo de termorretificação da madeira ainda pode ser destacado através da menção de premiações a que ele tem sido recentemente alvo. Destaque para o prêmio “WOOD OF FINLAND” (Finlândia), concedido a um produto termorretificado usado na confecção de batente de janela, e o prêmio LYON D’OR, concedido na ocasião da exposição EUROBOIS 97, na França, por ter sido a termorretificação reconhecida como a maior das inovações no domínio da transformação da madeira nos últimos tempos (Gohar & Guyonnet, 1998).

## **2.2 Envernizamento de madeiras**

O envernizamento de madeira é conhecido há bastante tempo. De acordo com registros arqueológicos, existem evidências do uso de materiais decorativos de madeira trabalhados a mão. Corantes, lacas e óleos eram já usados não somente para colorir mas para preservar o veio e a textura de madeiras (Watai, 1984). O autor afirma ainda que o processo de acabamento de madeira envolve um número grande de operações e materiais. Operações são aquelas preparatórias e as aplicações propriamente ditas dos materiais. Os materiais são os revestimentos ou coberturas usadas para proteger ou ressaltar a beleza natural da madeira. Estes materiais podem ser pigmentados (tintas) ou transparentes (vernizes e resinas sintéticas) e incluem também produtos especiais que são usados para se obter efeitos especiais. As operações de acabamento de madeira começam com a seleção e tratamento das madeiras sólidas ou laminadas.

### 2.2.1 Influência da umidade no envernizamento

Segundo Watai (1984), a relação entre o teor de umidade da madeira e o envernizamento de móveis de madeira pode ser considerada sob dois pontos de vista distintos. Um deles seria o efeito da umidade durante e logo após a aplicação do produto de revestimento e o outro seria o efeito do filme de verniz sobre o teor de umidade do móvel durante o uso. O teor de umidade de uma peça de madeira a ser envernizada usualmente deve ser mantida ligeiramente abaixo da média do teor que presumidamente prevalecerá no uso do móvel.

É sempre importante considerar que o filme de verniz e o substrato formam um conjunto único. Em outras palavras o mesmo tipo de envernizamento sobre diferentes materiais não necessariamente promove os mesmos resultados dada a interação existente entre si. Na maioria dos casos, o produto é aplicado em forma líquida e seca através da evaporação de solventes ou da reação química, ou ainda da combinação de ambos para formar um filme sólido contínuo. Esta cobertura final, geralmente da ordem de microns de espessura, deve aderir firmemente ao substrato que pode contrair-se ou expandir-se devido a variação do teor de umidade. O envernizamento sobre a superfície não somente deve resistir a estes movimentos mas também deve apresentar resistência mecânica bem como suportar o ataque de produtos químicos domésticos (Watai, 1984).

Como regra geral é altamente desejável um balanceamento, levando-se em consideração o poder de proteção do verniz sobre a face oposta das peças de madeira em móveis, particularmente as partes planas e grandes, tais como os tampos da mesa. Quando a mudança de umidade for maior em uma das faces haverá uma tendência das peças ao empenamento com a parte mais seca tornando-a côncava. Portanto, todas as faces devem ser protegidas

por revestimentos altamente eficientes contra a umidade (Watai, 1995). O autor considera ainda que nenhum tipo de acabamento previne totalmente a variação de umidade, apenas retarda o movimento da umidade através da superfície protegida. Conforme experiências realizadas, o tempo requerido para a madeira desprotegida reter 6 % de umidade (de 12 a 18 %) foi de 3 dias, enquanto que para aquelas revestidas com verniz, esmalte e tinta à base de alumínio foram requeridos 33, 59 e 86 dias, respectivamente.

### **2.2.2 Fatores relacionados no desempenho de um envernizamento**

O desempenho ou o verdadeiro valor de proteção de um envernizamento, como observa Watai (1984), deve levar em considerações: a) fatores do meio ambiente; b) características do substrato; c) propriedades do produto aplicado. Levando-se em conta estas características, as espécies *Pinus elliotii* e *Eucalyptus saligna*, juntamente com as espécies carvalho americano e pinho de zona temperada, foram submetidas aos seguintes ensaios: a) cíclico de envelhecimento acelerado; b) de dureza; c) de resistência a manchas.

Durante o ensaio cíclico a laca de poliuretano apresentou elasticidade suficiente para resistir ao movimento linear (contração e expansão) do substrato, mesmo quando este substrato fosse o eucalipto retirado tangencialmente nos anéis de crescimento que apresentou a mais baixa estabilidade dimensional. Por outro lado, a laca nitrocelulose aplicada no substrato de *Pinus*, considerado o mais estável dimensionalmente, apresentou algumas trincas. Foi evidenciado a diferença em dureza entre as coníferas e folhosas, sendo bastante significativo do ponto de vista prático. Em geral, devido à presença de anéis de crescimento bem distintos em coníferas, seus substratos apresentaram estrutura bastante heterogênea resultando em durezas com alto coeficiente de variação.

## **2.3 Colagem de madeiras**

O conhecimento sobre a união de peças de madeira com o auxílio de adesivos é bastante antigo. Porém, desenvolvimento relativamente recente de novos tipos de adesivos e técnicas de adesão, têm transformado alguns materiais já conhecidos em produtos inteiramente novos.

O adesivo é um polímero que une dois materiais por atração de superfície. São vários os tipos de adesivos utilizados para a colagem de madeiras, que vão desde as colas comuns derivadas de animais e vegetais até os adesivos sintéticos recentemente desenvolvidos como os epóxis e os fusíveis a alta temperatura (Watai, 1984).

A diversidade atual que se observa no emprego da madeira deve-se, sem dúvida, ao avanço em relação às técnicas de colagem. De fato, como observa Marra (1980), cerca de 70 % de todos os produtos derivados da madeira empregam adesivos, de um modo ou de outro, na sua confecção. Tais produtos incluem, além de outros, os compensados, as vigas laminadas, alguns tipos de chapas de fibras, as chapas de partículas, os derivados de papel, os móveis, etc.

### **2.3.1 Fatores que afetam a junta de colagem**

A qualidade de uma junta de colagem entre duas peças de madeira depende de um grande número de fatores. Alguns desses fatores interagem entre si, de tal maneira que a mudança de um implica na modificação de outro. Portanto, faz-se necessário o entendimento do efeito dos fatores, não apenas isoladamente, mas também das possíveis interações.

O substrato madeira é um dos fatores que influem diretamente na junta de colagem. Os principais aspectos da madeira relacionados com a qualidade da junta são:

a) espécie, densidade e composição química

Os Estados Unidos (1978), reconhecem quatro grupos de madeiras, que vão desde as que “colam muito facilmente com adesivos de propriedades muito variáveis e sob condições também muito variáveis” até as que “requerem controle muito severo da cola e das condições de colagem, ou mesmo tratamento especial”. Muitas folhosas estão incluídas neste último grupo.

Segundo Farmer (1972), já se conhece o comportamento diante da colagem de várias espécies de *Eucalyptus* spp. Della Lucia & Vital (1981), encontraram dificuldades na adesão das espécies *Eucalyptus citriodora*, *E. microcorys* e *E. saligna*, em quatro adesivos testados. Geralmente a madeira de folhosas, particularmente as mais densas, são mais difíceis de colar que madeira de coníferas.

A madeira menos densa tende a absorver mais rapidamente o adesivo, resultando em linhas de cola famintas. Menor densidade básica significa maior volume de espaços vazios dentro da madeira. Então a facilidade de penetração do adesivo sofrerá influência da porosidade da madeira. Da mesma forma, as madeiras leves requerem menor pressão durante a prensagem devido sua menor resistência à compressão, e menor tempo sob uma mesma temperatura em função de sua maior condutibilidade térmica (Jankowsky, 1988).

As propriedades de resistência mecânica da madeira, de acordo com Jankowsky (1988), aumentam em relação direta com o aumento da densidade. De forma genérica, madeiras densas requerem adesivos de qualidade superior e melhor controle das condições de colagem.

Watai (1984), baseando-se nos ensaios de colagem realizados com produtos de madeiras de Pinus e eucalipto em testes de laboratório, constatou que o Pinus, sendo madeira de densidade relativamente baixa, não apresentou nenhum problema de ordem técnica quando colado com adesivos mais comumente usados em produtos de madeira. Por outro lado, as madeiras de *E. saligna* e *E. citriodora*, coladas com adesivos sintéticos a base de uréia-formaldeído e fenol-formaldeído apresentaram problemas de delaminação quando submetidas às condições extremamente secas ou úmidas. Isso poderia ser motivado pela sua densidade relativamente alta, conjugada com baixa estabilidade dimensional quando da variação do teor de umidade, com conseqüente geração de tensões consideráveis que superam a resistência máxima das linhas de colagem.

Além do aspecto densidade, deve-se lembrar que a composição química, principalmente os extrativos, varia entre as espécies. Na dependência da quantidade e do tipo de extrativo presente na madeira, pode ocorrer uma interferência nas reações de polimerização do adesivo ou uma reação entre o adesivo e o extrativo (Jankowsky, 1988). Brown et al. (1952), já consideravam tal fato ao concluírem que madeiras com elevados teores de extrativos apresentaram dificuldades de colagem.

Hse & Kuo (1988), constataram que os extrativos presentes na superfície da madeira frequentemente resultam em linhas de colagem de baixa resistência e pouco duráveis. Então, para que sejam produzidas superfícies isentas de contaminação pelos extrativos, deve-se efetuar o beneficiamento

superficial (corte, aplainamento, lixamento, etc.). Da mesma forma, espécies com altos teores de resinas ou óleos podem ser coladas satisfatoriamente preparando-se as superfícies imediatamente antes da colagem e controlando-se cuidadosamente o processo.

#### b) umidade e variação dimensional

O teor de umidade da madeira no momento da colagem é importante porque afeta a qualidade da junta. Watai (1984), afirma que para uma boa colagem é essencial que os substratos apresentem teor de umidade mais uniforme possível e a nível próximo daquele correspondente ao do equilíbrio quando em serviço. Esta observação é de primordial importância quando se trata da colagem de madeiras que apresentam estabilidade dimensional baixa como no caso do eucalipto.

Os limites precisos de umidade irão variar de acordo com o tipo do adesivo e com a formulação empregada. Para Selbo (1975), a maioria dos adesivos utilizados para a colagem de madeiras apresenta resultados satisfatórios quando a umidade das peças a serem coladas está entre 6 e 17 %.

Segundo Jankowsky (1988), o teor de umidade da madeira afeta a viscosidade de muitos adesivos durante o período de montagem, afetando desta forma, o espalhamento e a penetração do adesivo na madeira. A velocidade de polimerização do adesivo também aumenta com o aumento no teor de umidade.

É importante ressaltar que na prensagem a quente, principalmente quando a temperatura é superior a 100 °C, quanto mais úmida estiver a madeira maior será a tendência de formação das bolhas de vapor durante a

prensagem, com o conseqüente descolamento nas áreas onde formaram-se as bolhas (Jankowsky, 1988).

A água presente no adesivo, quando aplicado à madeira, irá aumentar o teor de umidade da mesma. Para Jankowsky (1988), esse acréscimo de umidade pode ser inferior a 1 %, no caso de tábuas com espessura superior a 25 mm, ou de até 60 %, no caso de lâminas decorativas muito finas, em que a quantidade de madeira é proporcionalmente muito menor em relação à quantidade de adesivo a ser aplicado.

Desta forma, fica claro que o teor de umidade da madeira deve ser cuidadosamente ajustado em função da forma em que está a madeira (lâmina ou madeira maciça), do tipo de adesivo, da formulação e das condições de colagem.

Variações no teor de umidade provocarão alterações posteriores nas dimensões da madeira, que irão afetar a durabilidade da junta.

A madeira é um material dimensionalmente instável. O ganho de umidade provoca o seu inchamento ou aumento de suas dimensões, enquanto a perda de umidade resultará na sua retração ou diminuição de suas dimensões iniciais.

Conforme observa Jankowsky (1988), a variação dimensional é diretamente proporcional à densidade da madeira e ao seu teor de umidade. Como conseqüência, ressalta-se a importância de controlar a umidade da madeira no momento de sua colagem, controle este que deverá ser tão mais rigoroso quanto mais densa for a madeira que estiver sendo colada.

Variações no teor de umidade da madeira após a colagem irão provocar retrações e inchamentos, os quais enfraquecerão a madeira e o filme de adesivo (Jankowsky, 1988). Torna-se óbvio, então, que o adesivo e as condições de colagem que apresentarem excelentes resultados para madeiras leves não serão as mais adequadas para madeiras duras. Ainda segundo este autor, variações no teor de umidade causam, indiretamente, o desenvolvimento de tensões na linha de cola, tensões estas que serão proporcionais à variação dimensional da madeira. As juntas de colagem permanecerão praticamente livre de tensões se o teor de umidade das partes a serem coladas estiver próximo do valor que seria atingido em condições normais de utilização.

## 2.4 A cor da madeira

A cor da madeira é um critério de qualidade importante, sendo que a sua descrição precisa resulta numa melhor classificação e valorização dos produtos finais dela oriundos. A apreciação da cor da madeira é, entretanto, ligada a impressões visuais e se torna, por este fato, muito subjetiva. Para amenizar isso, é necessário proceder medidas objetivas quantitativas.

Alguns sistemas de representação de cores surgiram a partir de 1931, com o objetivo de complementar o diagrama de cromaticidade proposto pela Comissão Internacional de Iluminantes (CIE). Dentre eles, o sistema CIELAB (ou CIE L a\* b\*) de 1976 é o recomendado pela CIE (Hunter<sup>5</sup> e Kowaliski<sup>6</sup>, citados por Janin et al., 1990a). Este sistema, segundo os autores, permite medir a cor dos objetos de maneira mais uniforme.

---

<sup>5</sup> HUNTER, R.S. *The measurement of appearance*. New York: John Wiley, 1975.

<sup>6</sup> KOWALISKI, P. *Vision et mesure de la couleur*. Masson, 1978.

A quantificação da cor de um objeto, a partir do sistema CIELAB, de acordo com Hunter<sup>5</sup> e Janin<sup>7</sup>, citados por Janin et al. (1990b), consiste em se determinar os parâmetros indicados na Figura 1:

L - indica a claridade de um objeto e varia de 0 (preto perfeito) a 100 (branco perfeito) numa escala designada eixo do cinza.

a\* e b\* - são as coordenadas cromáticas e posicionam os pontos de cor num eixo perpendicular ao eixo do cinza. A coordenada a\* posiciona a cor do objeto sobre o eixo verde-vermelho. Quando a\* é positivo, o desvio é no sentido do vermelho, e quando a\* é negativo, o desvio é no sentido do verde. A coordenada b\* descreve a cor do objeto sobre o eixo amarelo-azul. Quando b\* é positivo, o desvio é no sentido do amarelo, e quando b\* é negativo, o desvio é no sentido do azul.

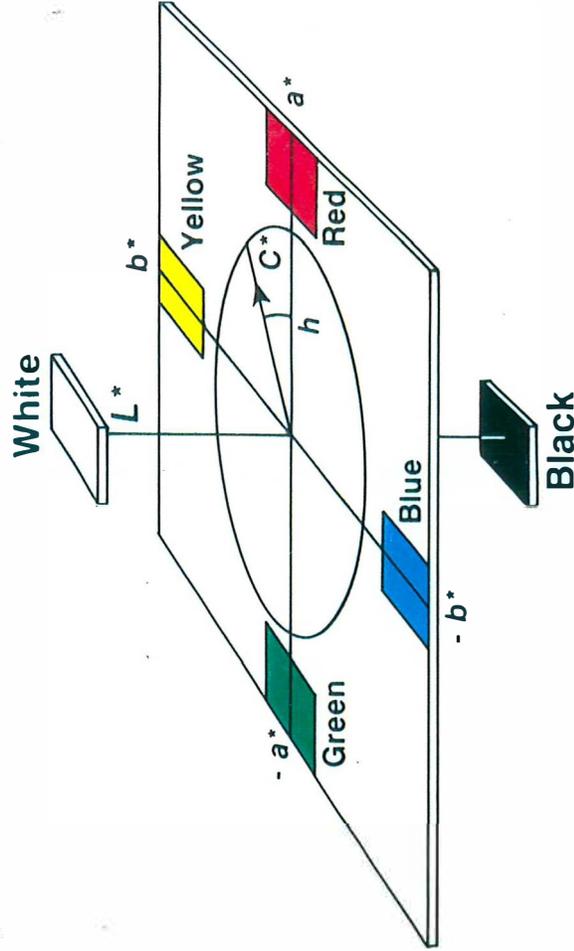
C - descreve a saturação da cor. É calculado através da fórmula:  $C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ , que representa a distância ao eixo da claridade (eixo do cinza). Quanto mais distante do eixo, mais saturada é a cor.

H - designa o ângulo de tonalidade ou ângulo de cor, sobre o círculo cromático cujo valor, em grau ou em radiente, se mede por:  $H = \tan^{-1} (b^*/a^*)$ , tendo por origem o eixo verde-vermelho e contado positivamente no sentido trigonométrico.

---

<sup>7</sup> JANIN, G. Mesure de la couleur du bois: intérêt forestier et industriel. **Annales des Sciences Forestières**, v.44, n.4, p.455-472, 1987.

# CIE 1976 (L\*A\*B\*) COLOR SPACE



**datacolor**  
international

## Educational Services

applied color systems, inc.  
5 Princess Road  
Lawrenceville, NJ 08648  
Telephone: (609) 924-2189  
Fax: (609) 896-3804

## Datacolor AG

Brandbühlstrasse 10  
CH-8305 Diellikon/Zürich  
Switzerland  
Telephone: (41) 833-4242  
Fax: (41) 833-6003

## Datacolor Asia Pacific Pte. Ltd.

51 Neil Road #03-10  
Singapore 0208  
Telephone: (65) 227-5756  
Fax: (65) 227-5781

Figura 1 - Espaço de cor CIELAB.

Para a medição da cor propriamente dita, são utilizados dois principais tipos de aparelhos: os colorímetros e os espectrofotômetros. Os colorímetros, de acordo com Michot (1994), são equipados com uma série de filtros (azul, amarelo-verde, vermelho) e de fotodetectores, que tratam de reconstituir a resposta de um observador a uma cor. Com relação aos espectrofotômetros, segundo o autor, estes medem a reflectância de uma amostra e de um branco padrão nos mesmos comprimentos de onda, o que leva à porcentagem de luz refletida pelo objeto em função de um padrão.

#### 2.4.1 Fatores que influenciam a cor da madeira

A mudança de cor na madeira resulta da ação de múltiplos agentes externos nos componentes estruturais e extrativos da madeira (Hon<sup>8</sup>, citado por Sternadt & Camargos, 1991), especialmente a radiação ultravioleta, que provoca a deterioração dos elementos constitutivos da madeira, destacando-se a lignina (Rowell<sup>9</sup>, citado por Sternadt & Camargos, 1991). De acordo com Chang et al.<sup>10</sup> e David & Chang<sup>11</sup>, citados por Sternadt & Camargos (1991), a celulose é menos suscetível aos raios ultravioletas. Sternadt & Camargos (1991), estudando a variação da cor de 62 espécies de madeira da região amazônica expostas à luz solar, observaram que não ocorreram cores neutras, e as mais frequentes foram as de maior intensidade cromática, prevalecendo o vermelho, o amarelo e o marrom.

---

<sup>8</sup> HON, N.S. Formation of free radicals in photoirradiated cellulose - VI: effect of lignin. **Journal of Science Polymer Chemistry**, p.2641-2652, 1975.

<sup>9</sup> ROWELL, R.M. Chemical modification of wood: its application to composite products. **FRI Bulletin**, n.153, p.57-67, 1990.

<sup>10</sup> CHANG, S.T.; HON, D.N.S.; FEIST, W.C. Photodegradation and photoprotection of wood surfaces. **Wood and Fiber**, v.14, n.2, p.104-117, 1982.

<sup>11</sup> DAVID, N.S.; CHANG, S.T. Photoprotection of wood surfaces by wood-ion complexes. **Wood and Fiber Science**, v.17, n.1, p.92-100, 1985.

Nelson et al.<sup>12</sup>, citados por Klumpers (1994), verificaram uma relação significativa entre o pH do solo e a claridade da madeira de *Juglans nigra*, que explica 23% da variabilidade da claridade. Entretanto, os autores constataram que não é o pH em si que influencia a claridade, o pH reflete outras propriedades do solo que estão mais diretamente ligadas à cor da madeira. No trabalho de Klumpers et al. (1993), observou-se uma correlação entre o teor de água no solo e a cor da madeira de *Quercus robur*, sendo que, quanto mais abundante o teor de água no solo, mais vermelha e mais escura se torna a madeira.

Sullivan<sup>13</sup>, citado por Gonzalez (1993), trabalhando com as espécies *Liriodendron tulipifera* e *Prunus serotina* provenientes de diferentes zonas geográficas, verificou diferenças entre as cores das madeiras de acordo com a região de origem. Do mesmo modo Flot<sup>14</sup>, citado por Janin et al. (1990b), observou para *Quercus robur* e *Q. petraea* um gradiente de cor das florestas do Centro (solo arenoso) para o Leste (solo argiloso) da França.

Phelps & McGinnes<sup>15</sup>, citados por Klumpers (1994), estudando lâminas de *Juglans nigra* observaram que as diferenças de cor encontradas se manifestaram em todos os elementos anatômicos. Phelps & McGinnes<sup>16</sup>, citados por Klumpers (1994), encontraram poucas diferenças entre as lâminas

---

<sup>12</sup> NELSON, N.D.; MAEGLIN, R.R.; WAHLGREN, H.E. Relationship of black walnut wood color to soil properties and site. **Wood and Fiber Science**, v.1, n.1, p.29-37, 1970.

<sup>13</sup> SULLIVAN, J.R. Color characterization of wood: color parameters of individual species. **Forest Products Journal**, v.17, n.8, p.25-29, 1967.

<sup>14</sup> FLOT, J.L. **La couleur du chêne de tranchage française: méthodologie de la mesure, variabilité géographique, classement industriel et incidences économiques**. Nancy, 1988. 89p. (Mémoire de 3<sup>e</sup> année ENITEF).

<sup>15</sup> PHELPS, J.E.; MCGINNES, E.A. Color of black walnut: macroscopic and microscopic studies. In: *Natural Variations of wood properties*. Mitteilungen der bundesforschungsanstalt für Forest-undHolzwirtschaft Hamburg. Reinbek: J. Bauch., 1980. p.169-192.

<sup>16</sup> PHELPS, J.E.; MCGINNES, E.A. Growth-quality evaluation of black walnut wood. Part III: an anatomical study of color characteristics of black walnut veneer. **Wood and Fiber Science**, v.15, n.3, p.212-218, 1983.

claras e escuras de *Juglans nigra* em relação à porcentagem de elementos anatômicos. No caso, os autores concluíram que a cor da madeira de *Juglans nigra* depende mais do teor de componentes corantes do que da porcentagem dos elementos anatômicos. Numa abordagem sobre esta questão Nelson & Heather<sup>17</sup>, citados por Klumpers (1994), afirmam que uma madeira escura pode ser mais influenciada por extrativos, enquanto uma madeira clara pode ser mais influenciada devido à propriedades texturais.

Scalbert et al.<sup>18</sup>, citados por Gonzalez (1993), apresentaram resultados que indicam que a cor das madeiras de *Quercus* spp. variam com a natureza dos compostos fenólicos presentes no cerne. Sobre esta questão Janin et al. (1990a), constatou variações de cor nas madeiras de *Quercus* spp. devido a oxidação e condensação de polifenóis.

A madeira também muda de cor em contato com a luz e através da oxidação de certos extrativos (Webb & Sullivan<sup>19</sup>, citados por Vetter et al., 1990). Conforme propõem Hiller et al.<sup>20</sup>, citados por Klumpers (1994), o teor de extrativos está relacionado com a claridade, ou seja, quanto maior a quantidade de substâncias extrativeis coloridas na madeira, mais ela é escura.

Nos estudos realizados por Klumpers et al. (1993), observou-se correlação entre idade da árvore e os parâmetros de cor L (claridade) e H (ângulo de tonalidade), para as madeiras de *Quercus petraea* e *Q. robur*.

---

<sup>17</sup> NELSON, N.D.; HEATHER, W.A. Wood color, basic density and decay resistance in heartwood of fast-grow *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Holzforschung**, v.26, n.2, p.54-60, 1972.

<sup>18</sup> SCALBERT A.; MONTIES, B.; JANIN, G. Comparaison de méthodes de dosage des tannins: application à des bois de différentes espèces. /Apresentado ao 2ème Colloque "Sciences et Industries du bois", Nancy, 1987/

<sup>19</sup> WEBB, D.A.; SULLIVAN, J.D. Surface effect of light and water on wood. **Forest Products Journal**, v.14, p.531-534, 1964.

<sup>20</sup> HILLER C.H.; FREESE F.; SMITH, D.M. Relationships in black walnut heartwood between color and other physical and anatomical characteristics. **Wood and Fiber Science**, v.4, n.1, p.38-42, 1972.

Segundo os autores, L e H diminuíram com o aumento da idade da árvore, tornando as madeiras mais escuras e mais avermelhadas. O mesmo foi observado por Janin et al. (1990a), para as madeiras de *Q. conferta*, *Q. cerris*, *Q. robur* e *Q. petraea*. Janin & Eyono Owoundi<sup>21</sup>, citados por Gonzalez (1993), em estudos também realizados com madeiras de *Quercus* spp., observaram fortes correlações entre a claridade, a coordenada a\*, o ângulo de tonalidade, a saturação e a idade.

Flot<sup>14</sup>, citado por Klumpers (1994), investigou o comportamento das madeiras de *Quercus* spp. e constatou que a claridade diminuiu em média 1,9 unidades do alburno para o cerne; o ângulo de tonalidade, por sua vez, diminuiu 0,6° na mesma direção (a madeira se tornou mais rosa). Flot demonstrou também que a claridade de *Quercus* spp. foi mais elevada em aproximadamente 1,5 unidades a uma altura de 2,5 m comparada ao nível de 1,5 m; o ângulo de tonalidade permaneceu constante.

De acordo com Sullivan<sup>13</sup>, citado por Klumpers (1994), a face transversal é mais escura do que as faces radial e tangencial para o *Liriodendron tulipifera*. Beckwith<sup>22</sup>, citado por Klumpers (1994), confirma tal fato para 22 espécies folhosas da América do Norte. Esse resultado é também verificado por Hofmann<sup>23</sup>, citado por Klumpers (1994), para as espécies *Quercus robur* e *Quercus petraea*, além do mais, observa que a face radial é mais clara do que a face tangencial.

---

<sup>21</sup> JANIN G.; EYONO OWOUNDI, R. Relationship between the cielab 1976 chromatic coordinates L (lightness black-white), a (redness-greenness), b (blueness-yellowness) and basic density, shrinkage, percentage of latewood (texture) and age from the pith, of the european oak wood: CEE Report, 1991. 9p.

<sup>22</sup> BECKWITH, J.R. Theory and practice of hardwood color measurement. **Wood Science**, v.11, n.3, p.169-175, 1979.

<sup>23</sup> HOFMANN, P. **Mesure de la variabilité de la couleur du bois**: méthodologie et influences de l'anatomie du plan ligneux et des variations angulaires du débit. Nancy: INRA/ENGREF, 1987. 74p. (DEA Sciences du Bois).

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Material**

Para o estudo utilizou-se madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, obtidas de povoamentos, respectivamente com 25 e 20 anos de idade, e provenientes das empresas Duratex S/A (município de Agudos - SP) e Eucatex S/A Ind. e Com. (município de Itatinga - SP).

O planejamento do estudo foi elaborado de forma a prever o uso de material coletado junto às serrarias das empresas, na forma de pranchas, diretamente no fluxo de produção industrial, e nas dimensões de 400 x 18 x 3 cm.

No Apêndice 1 são apresentadas algumas características das madeiras usadas no presente estudo.

### **3.2 Preparo do material para termorreificação**

As pranchas foram transferidas para o Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, onde foram armazenadas em barracão sob abrigo do sol e chuva em ambiente com livre circulação de ar. Nessa condição permaneceram por um período de 3 a 4 meses, quando atingiram umidade situada entre 10 e 15 %. À seguir, foram cortadas em peças menores de 70 x 18 x 3 cm, sendo que aquelas que se encontravam com defeitos (rachaduras,

nós, empenamentos, etc.) foram descartadas. Obteve-se então um total de 400 peças úteis por espécie, parte delas sendo usadas em seu estado natural como testemunha, e parte destinada às termorretrificações.

As peças selecionadas para as retrificações térmicas, foram secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 100 °C, até atingirem peso constante, no sentido da eliminação de uma eventual influência da umidade da madeira no processo de termorretrificação.

### **3.3 Termorretrificações**

As retrificações térmicas foram conduzidas no Setor de Química, Celulose e Energia do Depto. de Ciências Florestais da ESALQ/USP. As madeiras foram termorretrificadas em estufa FANEM - Modelo 320 - Digital, dotada de sistema de aquecimento por resistência elétrica e circulação forçada de ar interno, e com volume nominal de 450 l (Figura 2).

Foi utilizada uma taxa de aquecimento de 0,033 °C/minuto e temperaturas finais de 120, 140, 160 e 180 °C. Conforme as informações da literatura indicada na revisão bibliográfica, a taxa de aquecimento e as temperaturas utilizadas correspondem a condições que otimizam a obtenção de resíduos sólidos, sem profundas transformações químicas e físicas na madeira.

Foram realizadas duas termorretrificações por temperatura e espécie de madeira, compreendendo 28 peças cada uma.

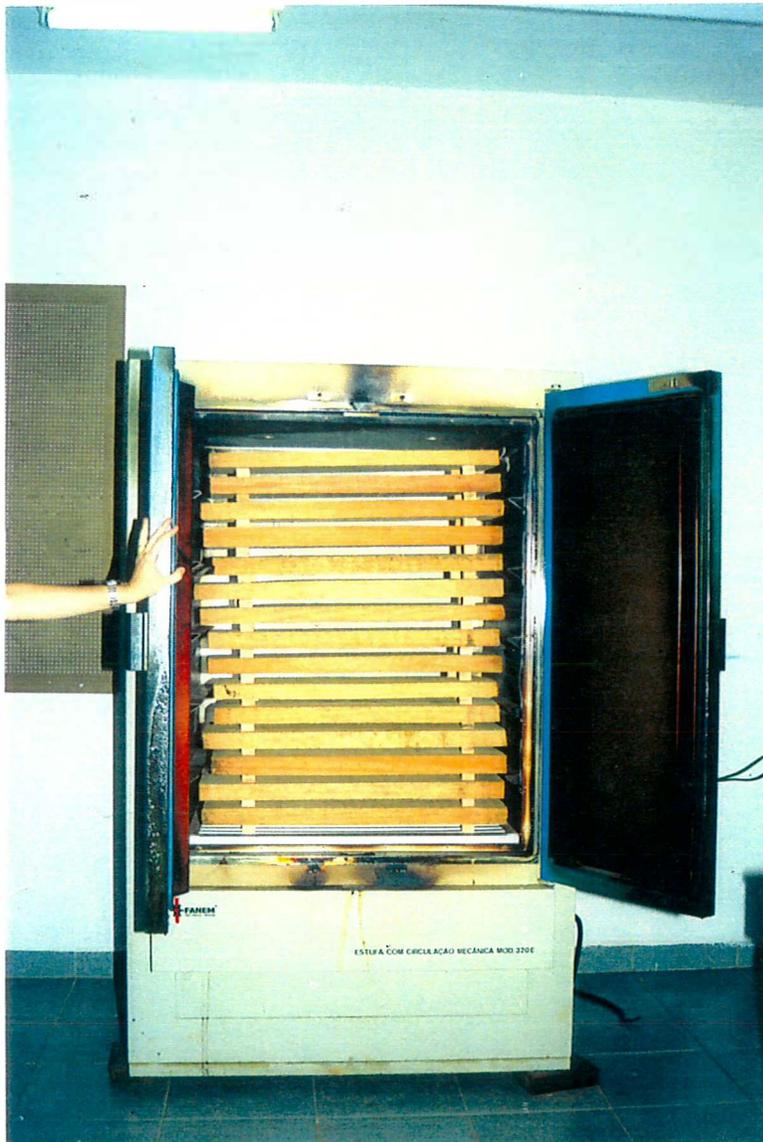


Figura 2 - Estufa usada para as temrorretificações contendo madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

As madeiras foram colocadas na estufa com a temperatura pré-regulada a 100 °C, após o que iniciou-se o processo de temrorretificação conforme os gráficos do Anexo. Após as temrorretificações, a estufa era

desligada e as madeiras permaneciam no seu interior em resfriamento natural até atingirem a temperatura de 30 °C. Algumas peças foram previamente selecionadas como amostras-controle, para permitirem o cálculo da perda de massa após a termorretificação, cujos valores são indicados no Apêndice 2.

Ao final da fase dos tratamentos obteve-se um total de 56 peças de madeiras termorretificadas por espécie e temperatura.

A partir de tais definições, os seguintes tratamentos foram identificados:

- tratamento T<sub>1</sub>: madeira não termorretificada (testemunha, madeira seca ao ar e com umidade entre 10 e 15 %);
- tratamento T<sub>2</sub>: madeira termorretificada a 120 °C;
- tratamento T<sub>3</sub>: madeira termorretificada a 140 °C;
- tratamento T<sub>4</sub>: madeira termorretificada a 160 °C;
- tratamento T<sub>5</sub>: madeira termorretificada a 180 °C.

As Figuras 3 e 4 trazem exemplos de peças de madeira representativas dos tratamentos.

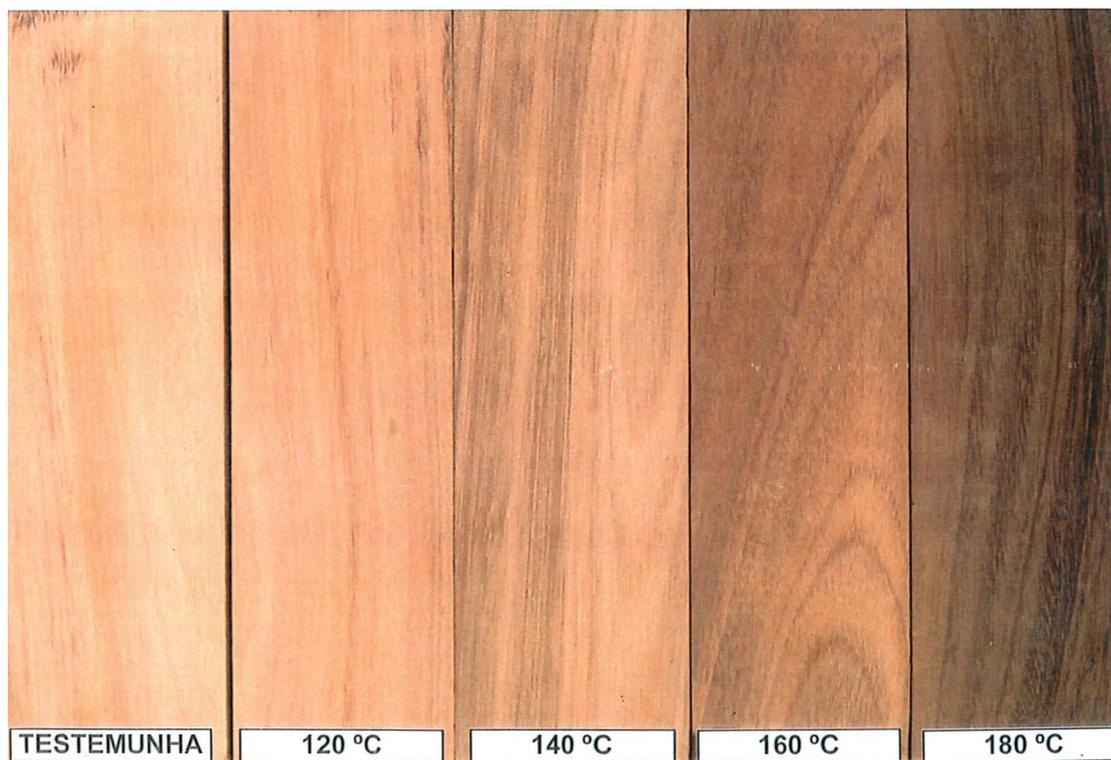


Figura 3 - Exemplo de peças de madeira de *Eucalyptus saligna* representativas dos tratamentos.



Figura 4 - Exemplo de peças de madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* representativas dos tratamentos.

### **3.4 Análises e determinações**

As madeiras foram submetidas a avaliações de comportamento em relação à tratamentos com vernizes e colas, nos laboratórios do Agrupamento de Propriedades Básicas da Madeira da Divisão de Produtos Florestais do IPT - SP e avaliação de cor no Laboratório de Produtos Florestais - IBAMA em Brasília - DF.

#### **3.4.1 Preparo do material para ensaios de envernizamento**

Para cada espécie e tratamento foram selecionadas 8 peças de madeira para a realização dos ensaios de envernizamentos, procurando-se obter peças visualmente livres de rachaduras e/ou empenamentos.

Os corpos-de-prova foram preparados baseando-se no Método de ensaio “British Standard Methods of Test for Finishes for Wooden Furniture - BS 3962 Part 6: 1980”, para serem submetidos aos ensaios de desempenho dos filmes de verniz.

De cada prancha, foram retirados 3 corpos-de-prova nas dimensões aproximadas de 20 x 6 x 1 cm. O conjunto de corpos-de-prova foi dividido em três subconjuntos de 8 corpos-de-prova cada, tendo sido em cada um deles aplicado um dos seguintes tipos de vernizes:\*

a) verniz brilhante à base de nitrocelulose para interiores, código NB 9104.00, acompanhado de seladora concentrada, igualmente à base de nitrocelulose, código NL 596.00 e diluente código DN 4280;

---

\* Fabricação Sayerlack.

b) verniz fosco acetinado, bicomponente, à base de resina poliuretânica para interiores, código FLO 1711.00, acompanhado de catalisador código FC 1019 e diluente código DP 4068;

c) verniz brilhante, bicomponente, à base de resina poliuretânica para interiores e exteriores, código FB 791.00, acompanhado de catalisador código FC 1019 e diluente código DP 4068.

Esses três tipos de vernizes foram escolhidos por serem os principais representantes de tais produtos no mercado nacional e que têm sido usados intensamente pela indústria madeireira.

Antes de dar início ao envernizamento, a superfície de todos os corpos-de-prova foi preparada com lixa N° 220, para em seguida se aplicar com auxílio de pistola os produtos, da seguinte forma:

a) verniz brilhante à base de nitrocelulose: aplicação de uma demão de seladora da mesma natureza devidamente diluída com diluente próprio, secagem ao ar por 24 horas, lixamento com lixa N° 220 e aplicação de duas demãos de verniz propriamente dito, com intervalos de secagem de 24 horas após a aplicação de cada demão;

b) verniz fosco acetinado, bicomponente, à base de resina poliuretânica: uma demão de seladora (verniz principal diluído em 50 % com diluente próprio), secagem ao ar por 24 horas, lixamento com lixa N° 220 e aplicação de duas demãos de verniz principal, com intervalos de secagem de 24 horas após a aplicação de cada demão;

c) verniz brilhante, bicomponente, à base de resina poliuretânica: procedimento idêntico ao adotado para o verniz fosco acetinado, com o mesmo

catalisador e diluente, e os mesmos passos de aplicação.

As Figuras 5 e 6 apresentam foto ilustrativa de corpos-de-prova termorretrificados e envernizados com os três vernizes estudados.

### **3.4.2 Ensaios de envernizamento**

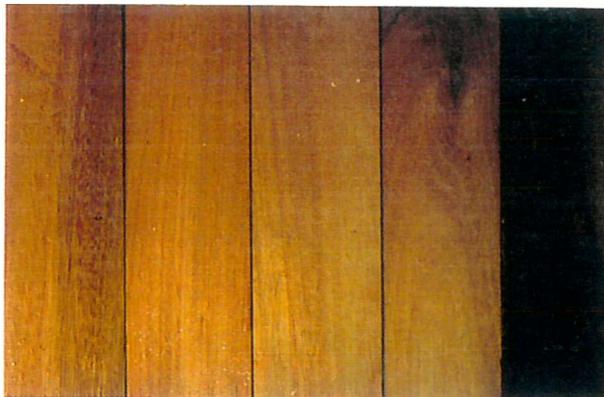
Para avaliação do comportamento das madeiras em relação à suas interações com os vernizes, e no sentido de se observar as eficiências do processo de envernizamento, foram efetuados ensaios padrões compreendendo: resistência do filme de verniz ao risco e ao corte; aderência do filme de verniz ao substrato; resistência ao impacto; resistência do filme de verniz ao ataque (manchas) de produtos químicos domésticos e climatização da madeira envernizada em ambientes seco e úmido.

#### **3.4.2.1 Resistência do filme de verniz ao risco e ao corte**

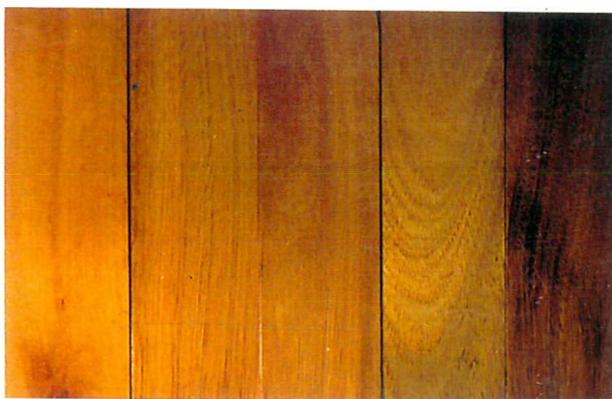
Este ensaio foi baseado no Método ASTM D 3363 - 74, "Film Hardness by Pencil Test", o qual determina a dureza do filme de verniz através de uma série de grafites.

Inicialmente, os corpos-de-prova foram apoiados numa superfície rígida. Em seguida, cada grafite da série foi adaptado a um dispositivo que possibilitava posicioná-lo num ângulo de 45° em relação à superfície ensaiada, e aplicá-lo sob pressão constante. No ensaio propriamente dito, cada grafite foi empurrado cerca de 7 mm contra a superfície do filme, iniciando-se com o de menor dureza, subindo na escala até atingir os dois seguintes pontos: 1°) o de maior dureza no qual não ocorresse o risco no filme; 2°) o de maior dureza no qual não ocorresse corte no filme.

a)



b)



c)



Figura 5 - Foto ilustrativa de corpos-de-prova de *E. saligna* termorretificados e envernizados com verniz nitrocelulose brilhante (a), poliuretano brilhante (b) e poliuretano fosco (c) (da esquerda para a direita: testemunha, 120, 140, 160 e 180 °C).

a)



b)



c)



Figura 6 - Foto ilustrativa de corpos-de-prova de *P. caribaea* var. *hondurensis* termorretificados e envernizados com verniz nitrocelulose brilhante (a), poliuretano brilhante (b) e poliuretano fosco (c) (da esquerda para a direita: testemunha, 120, 140, 160 e 180 °C).

Foi usado um conjunto de grafites os quais apresentavam diferentes graus de dureza, cuja escala, em ordem crescente, foi a seguinte: 6B - 5B - 4B - 3B - 2B - B - HB - F - H - 2H - 3H - 4H - 5H - 6H. A unidade de medida da resistência do filme foi definida como sendo a diferença entre os dois grafites adjacentes, ou seja, um grau. Foram realizadas duas determinações para cada grafite e tratamento. No caso dos resultados terem sido diferentes, a dureza final escolhida foi a menor dentre as duas.

#### **3.4.2.2 Aderência do filme de verniz ao substrato**

Para verificar a qualidade de aderência do filme ao substrato, a camada de verniz aplicada nas madeiras foi regularmente cortada com estilete, de modo a formar um reticulado. Em seguida foi colada uma tira de fita adesiva para tentar remover a película de verniz do substrato de madeira. Foram realizadas duas avaliações por tratamento. Como resultado, a nota final escolhida foi a de menor valor, quando elas diferiam entre si.

Dependendo da quantidade de quadrados removidos da área reticulada, foi dada a classe de adesão do filme ao substrato, de acordo com a Norma BS 3962 "British Standard Methods of Test for Finishes for Wooden Furniture: Part 6: 1980 - 5.3. Cross-cut test", ou seja:

Aparência da área testada	Classe de adesão
Corte perfeito, sem nenhuma remoção do filme, exceto alguns fragmentos nos pontos de intersecção dos cortes e/ou ao longo dos cortes	5
Filme removido nas intersecções e, intermitentemente, ao longo dos cortes	4
Filme removido, consistentemente, ao longo dos cortes	3
Filme removido ao longo dos cortes e completamente de um ou mais reticulados, mas menos de 50 % da área ensaiada	2
Filme removido em mais de 50 % da área ensaiada	1

### 3.4.2.3 Resistência ao impacto

Este ensaio foi baseado na Norma BS 3962 “British Standard Methods of Test for Finishes for Wooden Furniture: Part 6: 1980 - 5.2. Impact test”. Uma esfera de aço de 19,1 mm de diâmetro, foi solta de uma altura de 2 m, em queda livre, sobre os corpos-de-prova devidamente envernizados, colocados na posição horizontal sobre uma base firme, tomando-se o cuidado de prevenir impactos múltiplos da esfera. Foram efetuadas seis avaliações por tratamento. A nota escolhida como resultado, dentre as repetições, foi a que ocorreu com maior frequência.

Para a avaliação do efeito do impacto, a região foi analisada conforme o seguinte critério:

Aparência da área testada	Nota
Superfície intacta	5
Pequenas trincas circulares (uma ou duas) na região próxima ao impacto	4
Moderadas ou severas trincas na região de impacto	3
Trincas estendendo-se além da área de impacto e/ou soltura de pequenos fragmentos do filme de verniz	2
Mais de 25 % do filme removido da área de impacto	1

#### **3.4.2.4 Resistência do filme de verniz ao ataque (manchas) de produtos químicos domésticos**

Baseando-se na Norma NEMA (National Electric Material Association) LD 3.3.09./1980 "Stain Resistance", seis diferentes substâncias foram colocadas sobre a madeira em contato com o filme de verniz durante 16 horas, em três situações distintas: a) substância sobre o verniz a céu aberto; b) substância sobre o verniz mas protegida com vidro de relógio para evitar a evaporação; c) substância sobre o verniz com a adicional sobreposição da base de um frasco de vidro para assegurar o contato da substância com a superfície envernizada. Para cada uma dessas situações foram aplicadas as seguintes substâncias: acetona, gasolina, iodo a 1 % em água, sabão em pó doméstico (1 %), amoníaco (10 %), álcool etílico - 96 GL.

De cada tratamento e espécie foram selecionadas, aleatoriamente, seis peças de madeira, cada uma destinada à aplicação de cada substância testada.

O procedimento para a remoção das substâncias, para posterior avaliação das eventuais manchas provocadas, foi o seguinte: a) lavagem da

superfície ensaiada com água e enxugamento com tecido de flanela; b) persistindo a mancha, tentativa de sua remoção com a solução de água e álcool etílico 50 % na proporção de 1:1 e enxugamento com tecido de flanela.

Para a avaliação das manchas, o corpo-de-prova foi mantido na posição horizontal a 75 cm de uma fonte de luz fluorescente de 75 a 100 w. Nesta condição, tentou-se detectar a mancha num ângulo de visão de aproximadamente 45°, a uma distância de 1 m.

O efeito das substâncias sobre a superfície envernizada foi classificado em:

- sem efeito: sem manchas após a remoção das substâncias com água;
- moderado: sem manchas após a remoção das substâncias com a solução de água e álcool etílico, no entanto, resultando em declínio do brilho;
- severo: manchas permanentes ou danos de superfície irreparáveis.

#### **3.4.2.5 Climatização da madeira envernizada em ambientes seco e úmido**

Este ensaio, procedimento interno adotado nos laboratórios do Agrupamento de Propriedades Básicas da Madeira - DPF do IPT, teve como finalidade verificar o comportamento do filme de verniz aplicado sobre os substratos de madeira em estudo, ao serem submetidos à câmara de climatização em condições que pudessem induzir a movimentação dimensional das peças de madeira. Para o ensaio foi selecionada, aleatoriamente, uma peça de madeira por tratamento e espécie.

As condições de ensaio foram:

- a) condicionamento em ambiente a  $25 \pm 2$  °C de temperatura e  $65 \pm 5$  %

de umidade relativa, até atingido o ponto de equilíbrio em teor de umidade;

b) condicionamento em ambiente a  $25 \pm 2$  °C de temperatura e  $30 \pm 2$  % de umidade relativa, até atingido o ponto de equilíbrio em teor de umidade;

c) condicionamento em ambiente a  $25 \pm 2$  °C de temperatura e  $90 \pm 2$  % de umidade relativa, até atingido o ponto de equilíbrio em teor de umidade.

A condição “a” corresponde ao estado ambiente. Nesta condição foi determinada a largura, individualmente, dos corpos-de-prova, como parâmetro para acompanhamento da variação dimensional das condições “b” e “c”, que correspondem às condições extremas de climatização, ou seja, ambiente seco e ambiente úmido, respectivamente. Portanto, nas etapas “b” e “c” foi avaliado o comportamento dos vernizes em relação à contração (estado seco) e expansão (estado úmido), através da medição diária da largura dos corpos-de-prova. Além disso, foram avaliadas as eventuais alterações visuais (alteração do brilho e da lisura do verniz) dos corpos-de-prova através de fotografias tiradas nas etapas “a”, que corresponde à condição ambiente, ou seja, antes da climatização e “c”, que correspondeu a última condição estudada.

#### **3.4.2.6 Análises estatísticas**

Os procedimentos adotados nos ensaios de envernizamento, não permitiram a obtenção de resultados passíveis de análises estatísticas.

#### **3.4.3 Preparo do material para ensaio de colagem**

Para cada espécie e tratamento foram selecionadas 8 peças de madeira para a realização do ensaio de colagem, procurando-se obter peças visualmente livres de rachaduras e/ou empenamentos.

De cada prancha, foram retirados 4 sarrafos nas dimensões aproximadas de 50 x 3 x 2 cm. Esses sarrafos foram separados em três sub-lotes e condicionados em uma câmara de climatização a  $20 \pm 2$  °C de temperatura e  $65 \pm 5$  % de umidade relativa, durante três semanas, para então serem colados com os seguintes adesivos:\*\*

a) adesivo à base de resina de fenol-resorcinol-formaldeído, curável à temperatura ambiente, à prova d'água, de coloração escura (Cascophen RS-216-M);

b) adesivo à base de resina de uréia-formaldeído, curável à temperatura ambiente, resistente à água (Cascamite PL-117);

c) adesivo à base de resina de acetato polivinílico com ligações cruzadas, à prova d'água (Cascorez 2590).

Tais adesivos foram escolhidos por representarem as principais opções de tais produtos no mercado nacional, cuja utilização tem sido intensa no Brasil em colagem de madeiras, em marcenarias, carpintarias, fábricas de chapas, dentre outros.

A formulação dos adesivos e as condições de colagem são clássicas, e são definidas pelos próprios fabricantes dos produtos, como se segue:

---

\*\* Fabricação Alba Química.

Item	Adesivos		
	Fenol-resorcinol-formol <sup>1</sup>	Uréia-formol <sup>2</sup>	Acetato de polivinila-cross-linking <sup>3</sup>
	Formulação dos adesivos (partes por massa)		
Resina	100	100	100
Extensor	-	20 <sup>4</sup>	-
Catalizador	20 <sup>5</sup>	9 <sup>6</sup>	5 <sup>7</sup>
Água	-	20	-
	Condições de colagem		
Quantidade aplicada (g/m <sup>2</sup> de área colada)	300	300	300
Temperatura (°C)	25	25	25
Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	10	10	10
Tempo de prensagem (h)	12	12	12

<sup>1</sup> Cascophen RS-216-M da Alba Química

<sup>2</sup> Cascamite PL-117 da Alba Química

<sup>3</sup> Cascorez 2590 da Alba Química

<sup>4</sup> Farinha de trigo

<sup>5</sup> Endurecedor FM-60-M

<sup>6</sup> Endurecedor HLE-30

<sup>7</sup> Catalizador CL

Para as avaliações dos resultados das colagens foi realizado ensaio de resistência mecânica, conforme relatado à seguir.

### 3.4.4 Determinação da resistência mecânica da colagem

De cada espécie de madeira, tratamento e tipo de adesivo, foram retirados 24 corpos-de-prova de acordo com a Norma ASTM D 905 - "Test Method for Strength Properties of Adhesives Type Construction in Shear by Compression Load" e NBS PS - 74 - "Constructions as Industrial Plywood".

A metade dos corpos-de-prova foi ensaiada no estado "seco", climatizando-se previamente os corpos-de-prova em ambiente com umidade relativa de  $65 \pm 5 \%$  e à temperatura de  $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . A outra metade foi ensaiada no estado "úmido", submetendo previamente a diferentes ciclos de envelhecimento acelerado conforme o tipo de adesivo ensaiado, como segue:

a) para colagem com fenol-resorcinol-formaldeído e acetato polivinílico:

- fervura em água durante 4 horas;
- secagem em estufa a  $63 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , durante 16 horas;
- nova fervura em água por mais 4 horas.

b) para colagem resistente à água com uréia formaldeído:

- imersão em água a  $49 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , sob um vácuo de 38 mm de Hg, durante 30 min.;
- imersão em água à pressão atmosférica e temperatura não inferior a  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Após tais procedimentos, os corpos-de-prova foram ensaiados quanto à resistência ao cisalhamento, registrando a carga de ruptura e porcentagem de falha na madeira da área ensaiada. Nesse último ensaio procurou-se avaliar, visivelmente, a incidência de ruptura na madeira em

relação à ruptura na linha de colagem, expressando-a em porcentagem.

#### 3.4.4.1 Análises estatísticas

O delineamento experimental adotado foi o de parcelas subdivididas instalado segundo um modelo inteiramente ao acaso, considerando um esquema fatorial de 3 x 5 nas parcelas para três colas (fenol-resorcinol-formol, acetato de polivinila modificada e uréia-formol) e cinco tratamentos (testemunha e madeiras termorretrificadas a 120, 140, 160 e 180 °C), e nas subparcelas para dois estados (seco e úmido). Foram realizadas doze repetições de cada ensaio para resistência ao cisalhamento.

O quadro da análise de variância é:

Causas da variação	G.L.
Cola	2
Tratamento	4
Cola*Tratamento	8
Resíduo (parcela)	165
Parcelas	179
Estado	1
Cola*Estado	2
Estado*Tratamento	4
Cola*Estado*Tratamento	8
Resíduo (subparcela)	165
Total	359

Sendo a interação tripla significativa, seria efetuada a decomposição dessa interação em efeitos aninhados de Estado\*Tratamento para cada cola, com aplicação do teste de Tukey.

### **3.4.5 Preparo do material para mensuração de cor**

O material usado para a mensuração da cor foi um lote de 5 pranchas, por espécie e por tratamento, escolhidas aleatoriamente.

De cada prancha, foi retirado 1 corpo-de-prova central nas dimensões aproximadas de 18 x 5 x 3 cm. Essas dimensões foram adotadas em função de se ter um mínimo de área que possibilitasse uma boa varredura para leitura. Em seguida, as amostras foram enviadas para o Laboratório de Produtos Florestais - IBAMA em Brasília - DF para as primeiras avaliações de cor.

Antes de dar início às primeiras medições de cor, todos os corpos-de-prova foram lixados com lixa Nº 120, apenas numa face, e em seguida armazenados em ambiente sem luz.

As avaliações iniciais foram efetuadas nas madeiras não termorretificadas. Após a coleta dos primeiros dados de cor, as amostras foram encaminhadas para o Setor de Química, Celulose e Energia do Depto. de Ciências Florestais - ESALQ/USP. Os corpos-de-prova foram, então, termorretificados nas mesmas condições de tratamento indicadas no item 3.3. Em seguida, o material tratado foi enviado novamente para o Laboratório de Produtos Florestais - IBAMA para a determinação da cor. Dos 5 corpos-de-prova por espécie e por tratamento, foram selecionados os 3 melhores, ou seja, livre de defeitos (rachaduras e empenamentos).

### **3.4.6 Determinação da cor**

O aparelho utilizado para a determinação de cor foi um espectrofotômetro Datacolor Microflash 200d, acoplado a um microcomputador

(Figura 7). Foram empregados o iluminante  $D_{65}$  e o ângulo de observação de  $10^\circ$ .



Figura 7 - Aparelho utilizado para medição de cor, acoplado a um microcomputador.

Usando-se o espectrofotômetro, fez-se uma varredura na superfície preparada do corpo-de-prova, para obtenção dos parâmetros de cor. Foram tomadas 10 medidas de cor para cada amostra.

Os parâmetros colorimétricos medidos pelo espectrofotômetro foram: claridade (L), coordenada  $a^*$  (coordenada vermelho-verde), coordenada  $b^*$  (coordenada azul-amarelo), saturação (C) e ângulo de tonalidade (H). Os

parâmetros foram obtidos baseando-se no Sistema de cor CIELAB 1976 (Figura 8). O valor de saturação e do ângulo de tonalidade foram calculados pelas seguintes equações:

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$H = \tan^{-1} (b^*/a^*)$$

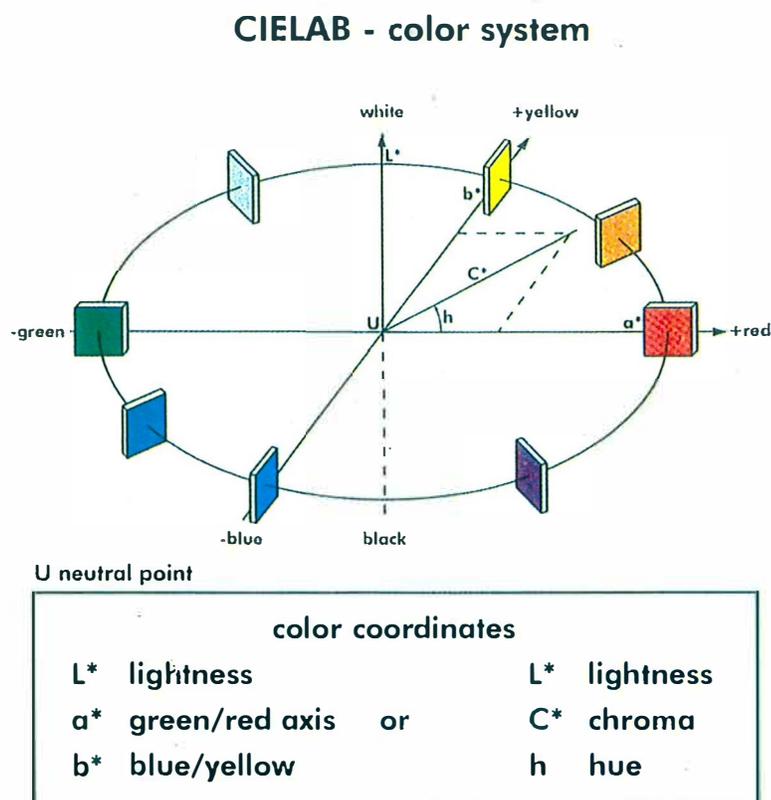


Figura 8 - Sistema CIELAB 1976.

### 3.4.6.1 Análises estatísticas

Os parâmetros colorimétricos: claridade (L), coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$ , saturação (C) e ângulo de tonalidade (H), foram determinados antes e após as termorretificações (120, 140, 160 e 180 °C), considerando-se trinta repetições para cada tratamento em questão. Dessa maneira, foi aplicado um teste t de Student pareado, a 5 e 1 % de significância, com o propósito de verificar a influência da retificação térmica nesses parâmetros.

Para os dados dos parâmetros de cor obtidos após as termorretificações, foi adotado um delineamento inteiramente casualizado, considerando-se trinta repetições, por parâmetro e por tratamento.

O esquema da análise de variância é:

Causas da variação	G.L.
Tratamento	3
Resíduo	116
Total	119

Para a comparação entre as termorretificações, aplicou-se o teste de Tukey a 5 % de significância.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Avaliações sobre envernizamento**

Os resultados das avaliações sobre envernizamento são apresentados nas Tabelas de 1 a 10.

Os resultados alcançados na avaliação da madeira submetida ao envernizamento, necessariamente, devem refletir a interação entre a madeira propriamente dita e o verniz, ou seja, a chamada superfície de envernizamento. Respeitadas as diferenças entre os vernizes, no presente estudo não foram previstas alterações em suas composições, pois os mesmos foram usados em seus padrões comerciais. Desse modo, é de supor que alterações nos comportamentos das superfícies de envernizamento estariam principalmente vinculadas às alterações nas características da madeira, decorrentes da retificação térmica.

#### **4.1.1 Resistência do filme de verniz ao risco e ao corte**

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados da resistência do filme de verniz ao risco e corte.

Tabela 1. Resistência do filme de verniz ao risco e corte para a madeira de *Eucalyptus saligna*.

Tratamento <sup>1</sup>	Verniz					
	Nitrocelulose		Poliuretano		Poliuretano	
	brilhante		brilhante		fosco	
	Dureza do grafite <sup>2</sup>		Dureza do grafite <sup>2</sup>		Dureza do grafite <sup>2</sup>	
	Risco	Corte	Risco	Corte	Risco	Corte
T <sub>1</sub>	F	-	2B	-	HB	-
T <sub>2</sub>	F	-	2B	-	HB	-
T <sub>3</sub>	2H	-	2B	-	HB	-
T <sub>4</sub>	HB	-	2B	-	HB	-
T <sub>5</sub>	HB	-	2B	-	HB	-

<sup>1</sup> T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = madeira termorretificada a 120 °C; T<sub>3</sub> = madeira termorretificada a 140 °C; T<sub>4</sub> = madeira termorretificada a 160 °C; T<sub>5</sub> = madeira termorretificada a 180 °C

<sup>2</sup> Dureza do grafite de maior dureza que não provoca o risco ou corte no filme de verniz aplicado sobre o substrato madeira (ASTM D 3363 - 74)

Observou-se para o *Eucalyptus saligna* que dentre os três vernizes estudados, somente o verniz nitrocelulose brilhante apresentou as maiores alterações ao nível de suas resistências ao risco, medidas em relação ao grau da escala de dureza do grafite, em função da termorretificação. Para essa madeira foi observado um efeito mais intenso para a temperatura de 140 °C, que no caso mostrou uma superfície de envernizamento mais resistente ao risco em relação à testemunha ou em relação às demais madeiras termorretificadas. A partir de 160 °C observou-se queda da resistência ao risco. Neste ponto merece ser comentado que, em relação ao uso da madeira, os

ganhos e perdas de resistências aqui observados não podem ser considerados importantes. Tal afirmação baseia-se no fato de que Watai<sup>24</sup>, através de suas experiências, definiu o resultado de resistência ao risco como significativo somente quando o grau da escala de dureza do lápis fosse superior a três, o que não ocorreu em nenhum dos casos citados.

Tabela 2. Resistência do filme de verniz ao risco e corte para a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Tratamento <sup>1</sup>	Verniz					
	Nitrocelulose		Poliuretano		Poliuretano	
	brilhante		brilhante		fosco	
	Dureza do grafite <sup>2</sup>		Dureza do grafite <sup>2</sup>		Dureza do grafite <sup>2</sup>	
	Risco	Corte	Risco	Corte	Risco	Corte
T <sub>1</sub>	HB	-	3B	-	F	-
T <sub>2</sub>	HB	-	2B	-	H	-
T <sub>3</sub>	HB	-	2B	-	HB	-
T <sub>4</sub>	HB	-	3B	-	HB	-
T <sub>5</sub>	B	4H	3B	4H	B	5H

<sup>1</sup> T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = madeira termorretificada a 120 °C; T<sub>3</sub> = madeira termorretificada a 140 °C; T<sub>4</sub> = madeira termorretificada a 160 °C; T<sub>5</sub> = madeira termorretificada a 180 °C

<sup>2</sup> Dureza do grafite de maior dureza que não provoca o risco ou corte no filme de verniz aplicado sobre o substrato madeira (ASTM D 3363 - 74)

Em relação à madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, o verniz que apresentou maior alteração foi o verniz poliuretano fosco em função

<sup>24</sup> WATAI, L.T. (IPT. Divisão de Produtos Florestais, São Paulo). Comunicação pessoal, 1998.

da retificação térmica. Ocorreram aumentos e diminuições nas resistências, porém, a exemplo do *E. saligna*, também para esta madeira a alteração não pode ser considerada importante. É que em relação à testemunha ou mesmo em relação às demais madeiras termoretificadas, não foi ultrapassado mais do que dois graus na escala de dureza do grafite.

Quanto à resistência ao corte, os resultados indicaram que a superfície de envernizamento do *E. saligna* não se mostrou susceptível à ação do grafite, nem que as retificações térmicas pudessem levar à uma alteração nesta característica. Isso foi observado para os três tipos de vernizes e para todas as termoretificações, aspecto este bastante positivo.

No caso do *P. caribaea* var. *hondurensis*, ocorreram alterações nos comportamentos das madeiras termoretificadas em relação ao corte de suas superfícies de envernizamento. Tais alterações somente se passaram à temperatura de 180 °C, indistintamente para os três tipos de vernizes. Isso não deixa de ser um aspecto positivo, visto que os cortes ocorreram quando do emprego de grafites com extrema dureza, como foram os grafites 4H para os vernizes nitrocelulose e poliuretano brilhante e 5H para o verniz poliuretano fosco.

Pelo exposto, pode-se dizer que as retificações térmicas não afetaram as madeiras, tanto de *E. saligna* como de *P. caribaea* var. *hondurensis*, em relação aos comportamentos de suas superfícies de envernizamento em relação ao risco e ao corte com grafites.

#### 4.1.2 Aderência do filme de verniz ao substrato

Os resultados da qualidade de aderência do filme dos três tipos de vernizes aplicados sobre os diferentes substratos de madeira são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Aderência do filme de verniz ao substrato para a madeira de *Eucalyptus saligna*.

Tratamento <sup>1</sup>	Verniz		
	Nitrocelulose brilhante	Poliuretano brilhante	Poliuretano fosco
	Qualidade de aderência <sup>2</sup>	Qualidade de aderência <sup>2</sup>	Qualidade de aderência <sup>2</sup>
T <sub>1</sub>	3	4	3
T <sub>2</sub>	3	4	3
T <sub>3</sub>	3	5	3
T <sub>4</sub>	3	4	3
T <sub>5</sub>	3	5	3

<sup>1</sup> T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = madeira termorretificada a 120 °C; T<sub>3</sub> = madeira termorretificada a 140 °C; T<sub>4</sub> = madeira termorretificada a 160 °C; T<sub>5</sub> = madeira termorretificada a 180 °C

<sup>2</sup> Código da qualidade de aderência do filme de verniz ao substrato de madeira de acordo com a Norma BS 3962 : Part 6: 1980

Os resultados indicaram que a qualidade de aderência dos três tipos de vernizes ao substrato madeira, tanto para o *E. saligna* como para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, não foi afetada pelas termorretificações. A única diferença observada não está vinculada às madeiras propriamente ditas, mas

às diferenças dos tipos de vernizes. No caso, as madeiras de *E. saligna* tratadas com os vernizes nitrocelulose brilhante e poliuretano fosco, que apresentaram a mesma classificação em relação à qualidade de aderência (nota 3), foram inferiores às mesmas madeiras tratadas com verniz poliuretano brilhante, cujas notas situaram entre 4 (testemunha, 120 e 160 °C) e 5 (140 e 180 °C). A mesma constatação ocorreu para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, somente que numa diferente escala de valores. No caso, as madeiras tratadas com os vernizes nitrocelulose e poliuretano fosco apresentaram aderência inferior (nota 3), em relação ao verniz poliuretano brilhante que apresentou nota 5.

Tabela 4. Aderência do filme de verniz ao substrato para a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Tratamento <sup>1</sup>	Verniz		
	Nitrocelulose brilhante	Poliuretano brilhante	Poliuretano fosco
	Qualidade de aderência <sup>2</sup>	Qualidade de aderência <sup>2</sup>	Qualidade de aderência <sup>2</sup>
T <sub>1</sub>	3	5	3
T <sub>2</sub>	3	5	3
T <sub>3</sub>	3	5	3
T <sub>4</sub>	3	5	3
T <sub>5</sub>	3	5	2

<sup>1</sup> T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = madeira termorretificada a 120 °C; T<sub>3</sub> = madeira termorretificada a 140 °C; T<sub>4</sub> = madeira termorretificada a 160 °C; T<sub>5</sub> = madeira termorretificada a 180 °C

<sup>2</sup> Código da qualidade de aderência do filme de verniz ao substrato de madeira de acordo com a Norma BS 3962 : Part 6: 1980

### 4.1.3 Resistência ao impacto

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentadas as notas referentes aos danos causados pelo impacto da esfera de aço em queda livre a 2 m de altura.

Tabela 5. Resistência ao impacto da esfera de aço sobre o filme de verniz para a madeira de *Eucalyptus saligna*.

Tratamento <sup>1</sup>	Verniz		
	Nitrocelulose brilhante	Poliuretano brilhante	Poliuretano fosco
	Tipo da ruptura <sup>2</sup> (classe)	Tipo da ruptura <sup>2</sup> (classe)	Tipo da ruptura <sup>2</sup> (classe)
T <sub>1</sub>	2	4	2
T <sub>2</sub>	2	4	3
T <sub>3</sub>	2	4	3
T <sub>4</sub>	2	4	3
T <sub>5</sub>	3	4	3

<sup>1</sup> T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = madeira termorretificada a 120 °C; T<sub>3</sub> = madeira termorretificada a 140 °C; T<sub>4</sub> = madeira termorretificada a 160 °C; T<sub>5</sub> = madeira termorretificada a 180 °C

<sup>2</sup> Aparência predominante a danos da ruptura do filme de verniz após o impacto com esfera de aço em queda livre, a uma altura de 2 m, segundo a Norma BS 3962 : Part. 6: 1980

Os resultados mostraram que a resistência dos diferentes tipos de vernizes aos danos causados pelo impacto mecânico, tanto para o *E. saligna* como para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, não foi comprometida pelas

retificações térmicas. A única diferença constatada está relacionada ao comportamento dos vernizes e não às madeiras propriamente ditas. Deste modo, tanto para a madeira *E. saligna* como para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, o verniz poliuretano brilhante foi o que apresentou melhor desempenho, seguido do poliuretano fosco e de nitrocelulose brilhante.

Tabela 6. Resistência ao impacto da esfera de aço sobre o filme de verniz para a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Tratamento <sup>1</sup>	Verniz		
	Nitrocelulose brilhante	Poliuretano brilhante	Poliuretano fosco
	Tipo da ruptura <sup>2</sup> (classe)	Tipo da ruptura <sup>2</sup> (classe)	Tipo da ruptura <sup>2</sup> (classe)
T <sub>1</sub>	3	4	3
T <sub>2</sub>	2	4	3
T <sub>3</sub>	3	4	3
T <sub>4</sub>	2	4	3
T <sub>5</sub>	3	4	3

<sup>1</sup> T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = madeira termoretificada a 120 °C; T<sub>3</sub> = madeira termoretificada a 140 °C; T<sub>4</sub> = madeira termoretificada a 160 °C; T<sub>5</sub> = madeira termoretificada a 180 °C

<sup>2</sup> Aparência predominante a danos da ruptura do filme de verniz após o impacto com esfera de aço em queda livre, a uma altura de 2 m, segundo a Norma BS 3962 : Part. 6: 1980

#### 4.1.4 Resistência a produtos químicos domésticos

A resistência ao manchamento da superfície envernizada em contato com produtos químicos domésticos é apresentada nas Tabelas 7 e 8.

Os resultados indicaram que a resistência da superfície envernizada à produtos químicos domésticos, para os três tipos de vernizes, tanto para a madeira de *E. saligna* como para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, não foi afetada pelas termorretrificações. Os resultados foram, portanto, provenientes da reação dos produtos químicos domésticos diretamente sobre o verniz. Para o *E. saligna* e o *P. caribaea* var. *hondurensis*, independente do verniz aplicado, a solução de sabão em pó demonstrou ser inerte em todas as condições. Tanto a madeira de *E. saligna* como a madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis*, apresentaram, para os três vernizes, níveis de sensibilidade similar frente à acetona, gasolina, solução de iodo e álcool etílico. O verniz poliuretano brilhante foi o único que apresentou pouca resistência à solução aquosa de amoníaco a 10%, tanto para o *E. saligna* como para o *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Os resultados encontrados para o comportamento dos vernizes, estão condizentes com os obtidos por Watai (1984). Após estudar o desempenho de dois tipos de vernizes em madeiras de *P. elliotti* e *E. saligna*, o autor constatou que o verniz nitrocelulose mostrou-se bastante sensível aos produtos orgânicos domésticos, tais como álcool etílico, gasolina, acetona, etc., enquanto o verniz poliuretano apresentou excelente resistência aos produtos químicos.

Tabela 7. Resistência aos produtos químicos domésticos para a madeira de *Eucalyptus saligna*.

T <sup>1</sup>	Produtos químicos			Nitrocelulose brilhante			Poliuretano brilhante			Poliuretano fosco												
	A <sup>3</sup>	B <sup>4</sup>	C <sup>5</sup>	Após limpeza com água	Após limpeza com água + álcool etílico	Após limpeza com água	Após limpeza com água + álcool etílico	Após limpeza com água	Após limpeza com água + álcool etílico	A <sup>3</sup>	B <sup>4</sup>	C <sup>5</sup>	Após limpeza com água	Após limpeza com água + álcool etílico	A <sup>3</sup>	B <sup>4</sup>	C <sup>5</sup>					
T <sub>1</sub>	Nível de alteração da superfície envernizada <sup>2</sup>																					
	Acetona	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
	Gasolina	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
	lodo (1 %)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
	Sabão em pó domést. 1%	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Amoníaco (10 %)	1	1	2	1	1	2	1	3	3	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1		
Álcool etílico - 96 GL.	1	3	1	1	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2			
T <sub>2</sub>	Acetona	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
	Gasolina	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
	lodo (1 %)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
	Sabão em pó domést. 1%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Amoníaco (10 %)	2	1	2	2	1	2	2	1	3	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Álcool etílico - 96 GL.	1	3	3	1	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	
T <sub>3</sub>	Acetona	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
	Gasolina	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	lodo (1 %)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Sabão em pó domést. 1%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Amoníaco (10 %)	1	1	2	1	1	2	2	1	3	2	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Álcool etílico - 96 GL.	1	2	3	2	2	3	3	2	3	2	3	3	2	3	2	2	2	3	2	2	2



Tabela 8. Resistência aos produtos químicos domésticos para a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

T <sup>1</sup>	Produtos químicos					Nitrocelulose brilhante					Poliuretano brilhante					Poliuretano fosco				
						Nível de alteração da superfície envernizada <sup>2</sup>														
	Após limpeza com água	Após limpeza com água + álcool etílico	A <sup>3</sup> B <sup>4</sup> C <sup>5</sup>	Após limpeza com água	Após limpeza com água + álcool etílico	A <sup>3</sup> B <sup>4</sup> C <sup>5</sup>	Após limpeza com água	Após limpeza com água + álcool etílico	A <sup>3</sup> B <sup>4</sup> C <sup>5</sup>	Após limpeza com água	Após limpeza com água + álcool etílico	A <sup>3</sup> B <sup>4</sup> C <sup>5</sup>	Após limpeza com água	Após limpeza com água + álcool etílico	A <sup>3</sup> B <sup>4</sup> C <sup>5</sup>	Após limpeza com água	Após limpeza com água + álcool etílico	A <sup>3</sup> B <sup>4</sup> C <sup>5</sup>		
T <sub>1</sub>	Acetona	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
	Gasolina	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
	lodo (1 %)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3		
	Sabão em pó domést. 1%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Amoníaco (10 %)	1	1	2	1	1	2	1	3	3	3	1	3	3	1	1	1	1	1	
	Álcool etílico - 96 GL.	2	3	3	1	3	3	2	3	3	3	1	1	3	3	3	3	2	2	
T <sub>2</sub>	Acetona	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
	Gasolina	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3		
	lodo (1 %)	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3		
	Sabão em pó domést. 1%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Amoníaco (10 %)	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	2	2	3	1	1	1	1	1	
	Álcool etílico - 96 GL.	2	3	3	1	3	2	2	3	3	3	2	2	3	3	3	3	2	2	
T <sub>3</sub>	Acetona	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
	Gasolina	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1	3	3		
	lodo (1 %)	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3		
	Sabão em pó domést. 1%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Amoníaco (10 %)	1	1	3	1	1	2	2	3	3	3	2	3	3	1	1	2	1	2	
	Álcool etílico - 96 GL.	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	1	1	3	3	3	2	3	3	



#### 4.1.5 Climatização da madeira envernizada em ambientes seco e úmido

Nas Tabelas 9 e 10 encontram-se apresentados os resultados da contração e expansão tangencial em relação à largura dos corpos-de-prova, quando submetidos a diferentes condições ambientais.

Os resultados obtidos na avaliação da madeira submetida à condições extremas de climatização, ou seja, em ambiente seco e ambiente úmido, refletiram a influência das retificações térmicas, tanto para o *E. saligna* como para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, para qualquer tipo de verniz aplicado. Independente da espécie de madeira, tipo de verniz e condição de climatização, a maior estabilidade dimensional foi observada para a temperatura de 180 °C, significando que a menor contração e a menor expansão ocorreram nos corpos-de-prova tratados a 180 °C quando comparados aos corpos-de-prova dos demais tratamentos.

A alteração do brilho e da lisura do verniz poliuretano brilhante aplicado sobre o substrato de *E. saligna*, foi bem menos acentuada do que a do verniz nitrocelulose brilhante, demonstrando sua maior elasticidade, independentemente das alterações sofridas pela madeira através da termorretificação. Tal resultado foi menos pronunciado no caso de *P. caribaea* var. *hondurensis*. Fato semelhante foi observado por Watai (1984), durante teste cíclico realizado em câmara de climatização em madeiras de *P. elliotti* e *E. saligna*, onde se constatou perda de brilho do verniz nitrocelulose, enquanto o verniz poliuretano apresentou excelente aspecto. Quanto ao verniz poliuretano acetinado, devido a sua natureza fosca, a alteração visual devido à climatização foi quase imperceptível em todos os corpos-de-prova, tanto para a madeira de *E. saligna* como para a madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Tabela 9. Climatização da madeira envernizada em ambientes seco e úmido para a madeira de *Eucalyptus saligna*.

T <sup>1</sup>	Nitrocelulose brilhante				Poliuretano brilhante				Poliuretano fosco									
	A <sup>2</sup>		B <sup>3</sup>		C <sup>4</sup>		A <sup>2</sup>		B <sup>3</sup>		C <sup>4</sup>		A <sup>2</sup>		B <sup>3</sup>		C <sup>4</sup>	
	Umid <sup>5</sup> (%)	Umid (%)	Contr <sup>6</sup> (%)	Umid (%)	Exp <sup>6</sup> (%)	Umid <sup>5</sup> (%)	Umid (%)	Contr <sup>6</sup> (%)	Umid <sup>5</sup> (%)	Umid (%)	Contr <sup>6</sup> (%)	Umid (%)	Exp <sup>6</sup> (%)	Umid <sup>5</sup> (%)	Umid (%)	Contr <sup>6</sup> (%)	Umid <sup>5</sup> (%)	Umid (%)
T <sub>1</sub>	10,01	8,21	1,89	22,61	3,36	10,01	7,82	1,94	24,83	2,43	10,01	8,48	1,86	22,97	3,60			
T <sub>2</sub>	9,99	6,90	1,00	17,91	2,77	9,99	6,76	1,16	17,95	3,23	9,99	6,60	0,87	19,77	2,85			
T <sub>3</sub>	9,63	6,61	1,00	17,10	3,62	9,63	6,41	1,09	17,10	3,64	9,63	6,79	1,11	17,00	2,70			
T <sub>4</sub>	9,22	6,99	1,14	18,17	2,81	9,22	6,67	1,16	17,97	3,12	9,22	7,19	0,94	17,18	3,08			
T <sub>5</sub>	8,50	7,50	0,54	14,71	1,77	8,50	6,20	0,89	13,95	2,24	8,50	6,41	0,64	11,54	1,13			

<sup>1</sup> T = tratamento; T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = madeira termorretificada a 120 °C; T<sub>3</sub> = madeira termorretificada a 140 °C; T<sub>4</sub> = madeira termorretificada a 160 °C; T<sub>5</sub> = madeira termorretificada a 180 °C

<sup>2</sup> A: Temperatura = 25 ± 2 °C; Umidade Relativa = 65 ± 5 °C

<sup>3</sup> B: Temperatura = 25 ± 2 °C; Umidade Relativa = 30 ± 2 °C

<sup>4</sup> C: Temperatura = 25 ± 2 °C; Umidade Relativa = 90 ± 2 °C

<sup>5</sup> Teor de umidade do corpo-de-prova testemunha do ensaio

<sup>6</sup> Contração/expansão tangencial em relação à largura dos corpos-de-prova condicionados a T = (22 ± 2) °C e UR = (65 ± 5) %

Tabela 10. Climatização da madeira envernizada em ambientes seco e úmido para a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

T <sup>1</sup>	Nitrocelulose brilhante				Poliuretano brilhante				Poliuretano fosco												
	Climatização																				
	A <sup>2</sup>	B <sup>3</sup>	C <sup>4</sup>	Exp <sup>6</sup> (%)	A <sup>2</sup>	B <sup>3</sup>	C <sup>4</sup>	Exp <sup>6</sup> (%)	A <sup>2</sup>	B <sup>3</sup>	C <sup>4</sup>	Exp <sup>6</sup> (%)	Umid (%)	Contr <sup>5</sup> (%)							
T <sub>1</sub>	9,18	7,37	1,00	22,07	1,85	9,18	7,91	1,00	22,49	2,57	9,18	7,38	1,10	22,82	2,92						
T <sub>2</sub>	10,98	7,20	1,08	22,01	3,21	10,98	7,51	1,19	23,56	3,12	10,98	7,11	1,12	21,82	3,46						
T <sub>3</sub>	11,07	7,11	1,13	20,13	2,74	11,07	7,14	1,26	21,32	2,46	11,07	7,38	1,10	20,97	3,02						
T <sub>4</sub>	9,61	6,26	0,80	18,14	2,51	9,61	6,79	0,96	19,96	3,03	9,61	6,94	0,97	20,16	2,90						
T <sub>5</sub>	7,13	6,71	0,37	15,58	0,74	7,13	6,51	0,74	15,58	1,59	7,13	6,85	0,56	15,30	1,77						

<sup>1</sup> T = tratamento; T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = madeira termorretificada a 120 °C; T<sub>3</sub> = madeira termorretificada a 140 °C; T<sub>4</sub> = madeira termorretificada a 160 °C; T<sub>5</sub> = madeira termorretificada a 180 °C

<sup>2</sup> A: Temperatura = 25 ± 2 °C; Umidade Relativa = 65 ± 5 °C

<sup>3</sup> B: Temperatura = 25 ± 2 °C; Umidade Relativa = 30 ± 2 °C

<sup>4</sup> C: Temperatura = 25 ± 2 °C; Umidade Relativa = 90 ± 2 °C

<sup>5</sup> Teor de umidade do corpo-de-prova testemunha do ensaio

<sup>6</sup> Contração/expansão tangencial em relação à largura dos corpos-de-prova condicionados a T = (22 ± 2) °C e UR = (65 ± 5) %

## 4.2 Desempenho da colagem

Os resultados de avaliação do desempenho da colagem são mostrados nas Tabelas de 11 a 14. As Figuras de 9 a 14 apresentam os diagramas comparativos com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade para a resistência ao cisalhamento, para os três tipos de colas testadas nos estados seco e úmido, considerando-se os diversos tratamentos.

Os dados de resistência da colagem ao esforço de cisalhamento para os diferentes adesivos, foram analisados segundo um esquema em parcelas subdivididas instalado em um delineamento inteiramente ao acaso, como citado na metodologia. Foram avaliados os efeitos de cola (fenol-resorcinol-formol, acetato de polivinila modificada e uréia-formol), tratamento (testemunha, 120, 140, 160 e 180 °C) e estado (seco e úmido) através de uma análise da variância e aplicação do teste F, realizados pelo “software” SANEST (Sistema de Análise Estatística), para cada espécie (Tabelas 11 e 12).

Tanto para a madeira de *E. saligna* como para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, a interação tripla (cola x estado x tratamento) foi significativa, revelando um efeito conjunto desses três fatores. Portanto, não foi possível obter informações sobre os efeitos principais. Para isto, aplicou-se o teste de Tukey aos valores médios considerando os três efeitos aninhados (Tabelas 13 e 14).

Para ambas as espécies de madeira, e para a maior parte das colas e condições de ensaio, ocorreram diferenças nos resultados das resistências ao cisalhamento, em função das retificações térmicas.

Tabela 11. Análise da variância com aplicação do teste F para resistência da colagem ao esforço de cisalhamento - *Eucalyptus saligna*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Cola	2	191,8211	95,9105	20,27	0,00001**
Tratamento	4	902,6043	225,6511	47,70	0,00001**
Cola*Tratamento	8	23,8470	2,9809	0,63	0,75324 <sup>n.s.</sup>
Resíduo (parcela)	165	780,6265	4,7311		
Parcelas	179	1898,8989			
Estado	1	3918,6842	3918,6842	1075,25	0,00001**
Cola*Estado	2	65,6249	32,8124	9,00	0,00040**
Estado*Tratamento	4	189,4547	47,3637	13,00	0,00001**
Cola*Estado*Tratamento	8	100,7839	12,5980	3,46	0,00133**
Resíduo (subparcela)	165	601,3330	3,6444		
Total	359				
Coeficiente de variação da parcela = 23,34 %					
Coeficiente de variação da subparcela = 28,97 %					

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

<sup>n.s.</sup> Não significativo

Tabela 12. Análise da variância com aplicação do teste F para resistência da colagem ao esforço de cisalhamento - *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Cola	2	158,8696	79,4348	24,07	0,00001**
Tratamento	4	644,4651	161,1163	48,83	0,00001**
Cola*Tratamento	8	65,2846	8,1606	2,47	0,01472*
Resíduo (parcela)	165	544,4491	3,2997		
Parcelas	179	1413,0685			
Estado	1	3934,1400	3934,1400	1336,77	0,00001**
Cola*Estado	2	91,9649	45,9824	15,62	0,00002**
Estado*Tratamento	4	179,4799	44,8700	15,25	0,00001**
Cola*Estado*Tratamento	8	65,7094	8,2137	2,79	0,00658**
Resíduo (subparcela)	165	485,6000	2,9430		
Total	359				
Coeficiente de variação da parcela = 19,18 %					
Coeficiente de variação da subparcela = 25,62 %					

\* Significativo ao nível de 5 % de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Tabela 13. Teste de Tukey para resistência da colagem ao esforço de cisalhamento ao nível de 5 % de probabilidade - *Eucalyptus saligna*.

Tratamento <sup>1</sup>	Estado	Adesivo								
		Fenol-resorcinol-formol		Acetato de polivinila modificada		Uréia-formol				
		Tensão de ruptura <sup>2</sup> (MPa)	Teste de Tukey <sup>3</sup>	Falha na madeira <sup>2</sup> (%)	Tensão de ruptura <sup>2</sup> (MPa)	Teste de Tukey <sup>3</sup>	Falha na madeira <sup>2</sup> (%)	Tensão de ruptura <sup>2</sup> (MPa)	Teste de Tukey <sup>3</sup>	Falha na madeira <sup>2</sup> (%)
T <sub>1</sub>	seco	13,52	A a	92	13,44	A a	100	11,88	A a	100
	úmido	5,81	A b	98	2,37	B b	18	4,97	A b	41
T <sub>2</sub>	seco	11,98	A a	97	10,64	A a	99	11,70	A a	98
	úmido	6,17	A b	100	2,28	B b	21	3,71	B b	48
T <sub>3</sub>	seco	9,31	A a	99	10,27	A a	91	9,64	A a	98
	úmido	5,13	A b	100	2,07	B b	33	2,46	B b	49
T <sub>4</sub>	seco	9,24	AB a	100	8,12	B a	99	10,31	A a	99
	úmido	4,20	A b	100	2,15	B b	39	2,20	B b	30
T <sub>5</sub>	seco	7,17	A a	100	4,90	B a	94	6,23	AB a	98
	úmido	2,79	A b	100	1,32	A b	75	1,74	A b	24

<sup>1</sup> T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = madeira termorretificada a 120 °C; T<sub>3</sub> = madeira termorretificada a 140 °C; T<sub>4</sub> = madeira termorretificada a 160 °C; T<sub>5</sub> = madeira termorretificada a 180 °C

<sup>2</sup> Média de doze repetições

<sup>3</sup> Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes. As letras maiúsculas comparam adesivo e as minúsculas comparam estado, dentro de cada tratamento

Tabela 14. Teste de Tukey para resistência da colagem ao esforço de cisalhamento ao nível de 5 % de probabilidade - *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Tratamento <sup>1</sup>	Estado	Adesivo								
		Fenol-resorcinol-formol			Acetato de polivinila modificada			Uréia-formol		
		Tensão de ruptura <sup>2</sup> (MPa)	Teste de Tukey <sup>3</sup>	Falha na madeira <sup>2</sup> (%)	Tensão de ruptura <sup>2</sup> (MPa)	Teste de Tukey <sup>3</sup>	Falha na madeira <sup>2</sup> (%)	Tensão de ruptura <sup>2</sup> (MPa)	Teste de Tukey <sup>3</sup>	Falha na madeira <sup>2</sup> (%)
T <sub>1</sub>	seco	11,24	A a	89	11,08	A a	96	10,72	A a	93
	úmido	4,47	A b	82	2,14	B b	20	4,83	A b	58
T <sub>2</sub>	seco	12,24	A a	96	10,73	A a	98	12,26	A a	98
	úmido	4,81	A b	92	1,70	B b	8	4,28	A b	37
T <sub>3</sub>	seco	11,06	A a	92	11,82	A a	100	11,69	A a	94
	úmido	5,05	A b	92	2,21	B b	23	4,79	A b	77
T <sub>4</sub>	seco	10,67	A a	94	10,18	A a	94	7,66	B a	98
	úmido	4,63	A b	99	1,76	B b	47	3,69	A b	49
T <sub>5</sub>	seco	8,00	A a	100	5,53	B a	98	5,18	B a	88
	úmido	2,84	A b	100	1,61	A b	95	2,05	A b	35

<sup>1</sup> T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = madeira termorretificada a 120 °C; T<sub>3</sub> = madeira termorretificada a 140 °C; T<sub>4</sub> = madeira termorretificada a 160 °C; T<sub>5</sub> = madeira termorretificada a 180 °C

<sup>2</sup> Média de doze repetições

<sup>3</sup> Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes. As letras maiúsculas comparam adesivo e as minúsculas comparam estado, dentro de cada tratamento

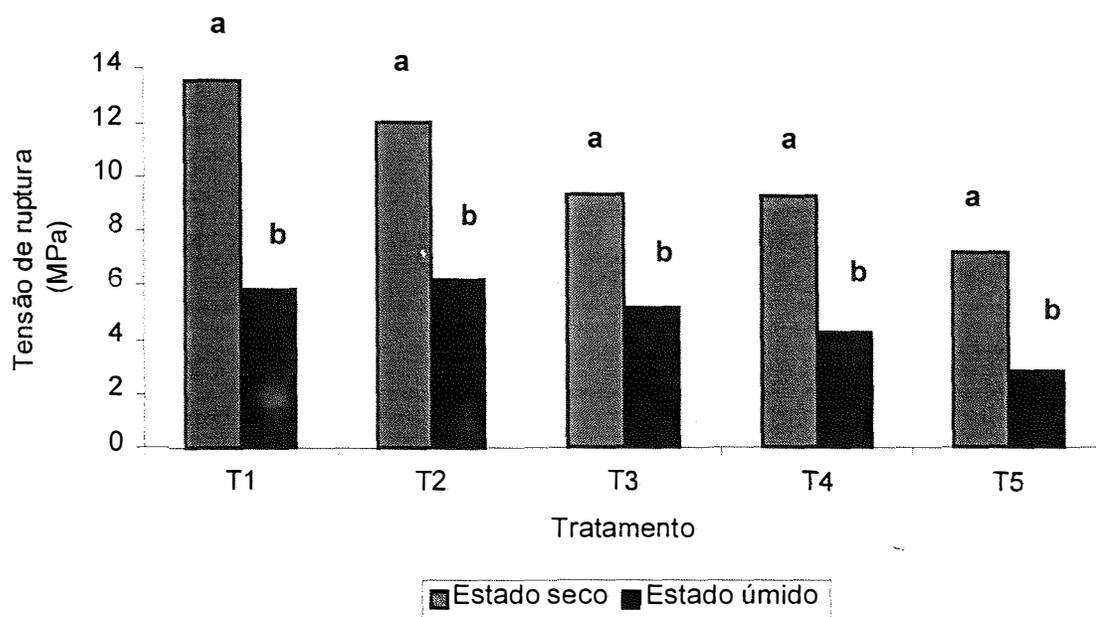


Figura 9 - Diagrama comparativo com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos:  $T_1$  = testemunha;  $T_2$  = 120 °C;  $T_3$  = 140 °C;  $T_4$  = 160 °C;  $T_5$  = 180 °C - Fenol-resorcinol-formol - *E. saligna*.

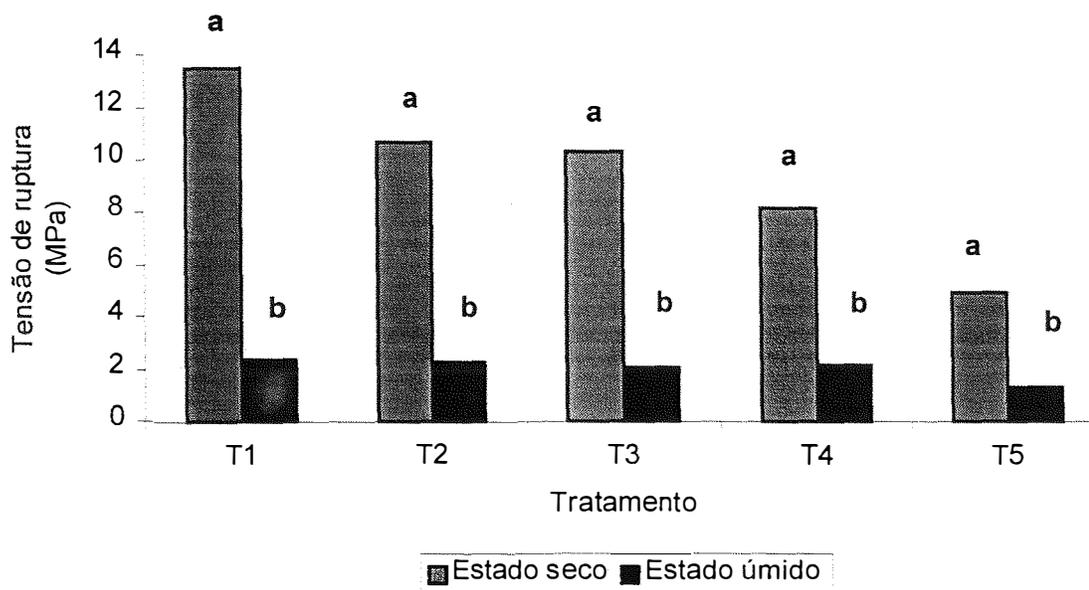


Figura 10 - Diagrama comparativo com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos:  $T_1$  = testemunha;  $T_2$  = 120 °C;  $T_3$  = 140 °C;  $T_4$  = 160 °C;  $T_5$  = 180 °C - Acetato de polivinila modificada - *E. saligna*.

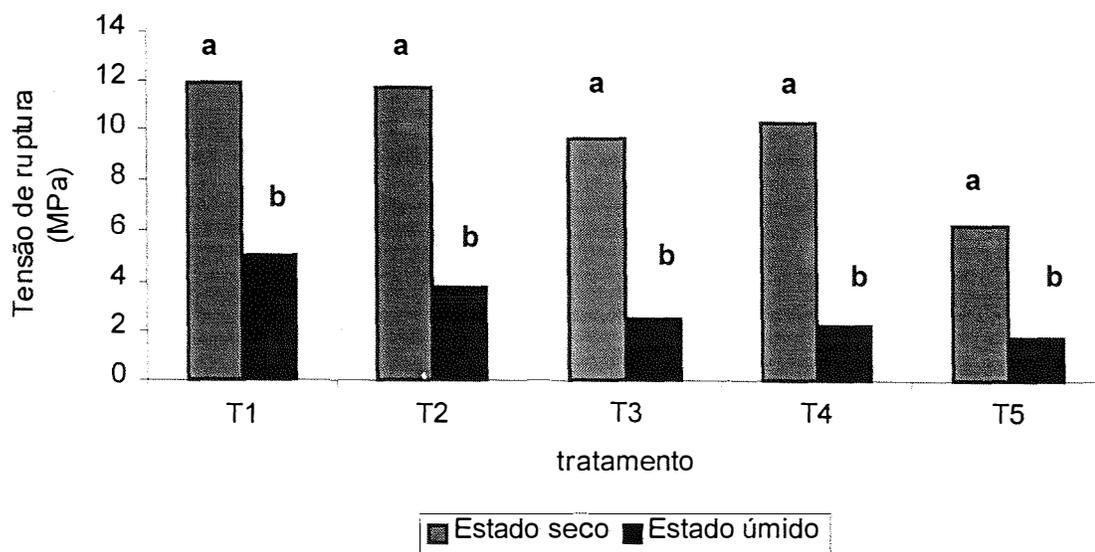


Figura 11 - Diagrama comparativo com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos:  $T_1$  = testemunha;  $T_2$  = 120 °C;  $T_3$  = 140 °C;  $T_4$  = 160 °C;  $T_5$  = 180 °C - Uréia-formol - *E. saligna*.

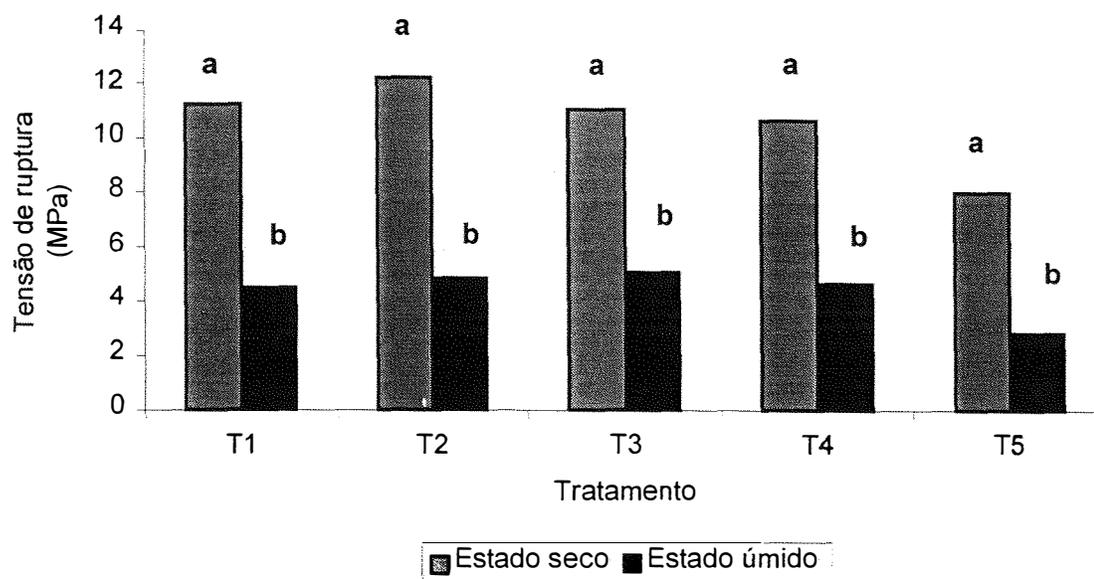


Figura 12 - Diagrama comparativo com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos: T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = 120 °C; T<sub>3</sub> = 140 °C; T<sub>4</sub> = 160 °C; T<sub>5</sub> = 180 °C - Fenol-resorcinol-formol - *P. caribaea* var. *hondurensis*.

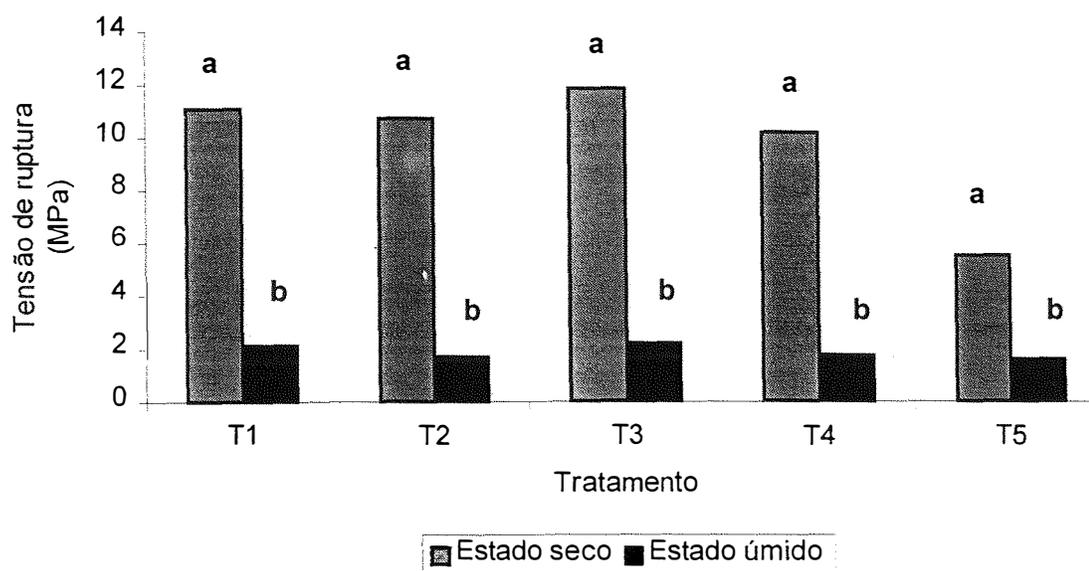


Figura 13 - Diagrama comparativo com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos: T<sub>1</sub> = testemunha; T<sub>2</sub> = 120 °C; T<sub>3</sub> = 140 °C; T<sub>4</sub> = 160 °C; T<sub>5</sub> = 180 °C - Acetato de polivinila modificada - *P. caribaea* var. *hondurensis*.

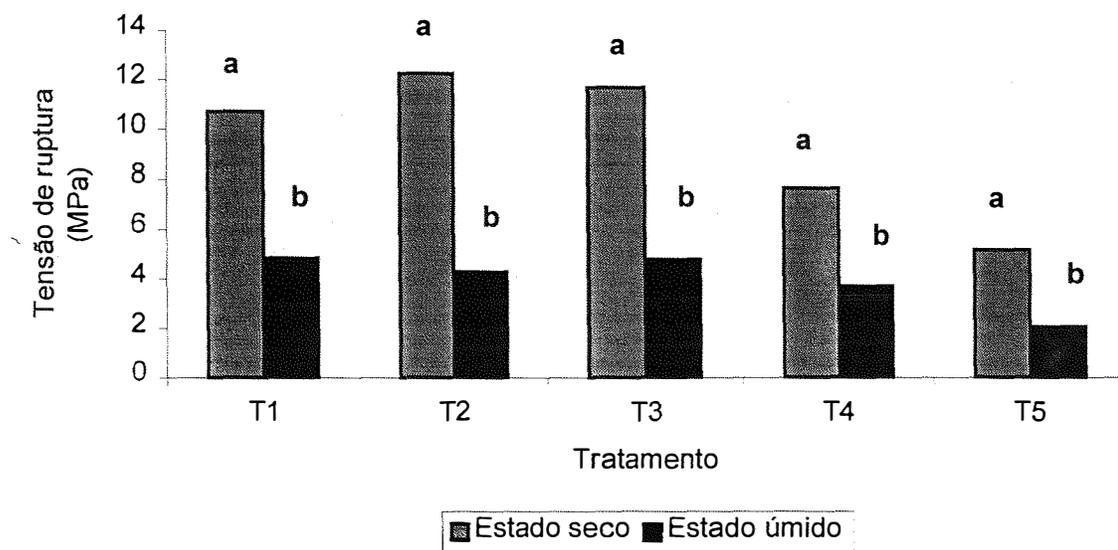


Figura 14 - Diagrama comparativo com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos:  $T_1$  = testemunha;  $T_2$  = 120 °C;  $T_3$  = 140 °C;  $T_4$  = 160 °C;  $T_5$  = 180 °C - Uréia-formol - *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Como era esperado, para a madeira de *E. saligna*, o estado seco diferiu significativamente do estado úmido para todas as colas testadas e tratamentos. Foi constatado, para as três colas, que o estado úmido provocou redução da resistência das madeiras coladas, comparando os resultados aos obtidos no estado seco. Em relação ao comportamento dos adesivos, os mesmos não diferiram significativamente para o lote de testemunhas e para os tratamentos à 120 e 140 °C, no estado seco. As diferenças significativas observadas foram entre o acetato de polivinila modificada e uréia-formol à 160 °C, e entre o fenol-resorcinol-formol e acetato de polivinila modificada à 180 °C. No estado úmido, o fenol-resorcinol-formol apresentou diferença significativa na comparação com as outras colas, com exceção para o tratamento à 180 °C e para a uréia-formol no lote de testemunhas.

Observou-se para a madeira de *E. saligna*, para os três tipos de cola e para ambos os estados, tendência no decréscimo da resistência ao cisalhamento em relação ao aumento da temperatura de termorretificação. Foi constatado também, para a maioria dos casos, que já à 120 °C a resistência ao cisalhamento apresenta uma diminuição em relação à testemunha, sendo que tal redução intensificou-se ainda mais ao se atingir 180 °C.

No caso da madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis*, a exemplo do *E. saligna*, o estado seco diferiu significativamente do estado úmido para as colas utilizadas e tratamentos, assim como o estado úmido provocou redução da resistência das madeiras coladas, quando comparado aos resultados alcançados no estado seco. Quanto ao comportamento das colas testadas, as mesmas não diferiram significativamente entre si para as testemunhas e tratamentos à 120 e 140 °C, no estado seco. Foram constatadas diferenças significativas para a uréia-formol à 160 °C e para o fenol-resorcinol-formol à 180 °C, quando comparadas às demais colas. No estado úmido, o destaque ficou

por conta do acetato de polivinila modificada que diferiu significativamente das demais colas, com exceção da temperatura de 180 °C.

Observou-se para a madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis*, para todos os adesivos e estados estudados, tendências para que com o aumento das temperaturas de termorretificação, houvesse redução nas resistências ao cisalhamento. Destaca-se que entre 120 e 140 °C, para a maioria dos casos, a resistência apresentou um aumento. Contudo, a partir de 140 °C observa-se tendência para diminuição drástica dos valores dessa resistência, intensificando-se ainda mais ao se atingir 180 °C.

O comportamento das madeiras termorretificadas em relação à resistência ao cisalhamento, principalmente para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, poderia ser atribuído às alterações sofridas na composição química das mesmas. Ligações e interações entre os componentes químicos da madeira, ou mesmo as estruturas individuais, teriam sofrido alterações. Convém destacar que Jankowsky (1988), relata que na dependência da quantidade e do tipo de extrativos presentes na madeira, pode ocorrer uma interferência nas reações de polimerização do adesivo ou uma reação entre o adesivo e o extrativo.

Há ainda que se considerar que, na questão da colagem, a resistência ao cisalhamento não pode ser analisada isoladamente. É importante que nesse contexto seja incluída a avaliação do local em que a ruptura tenha ocorrido. Em outras palavras, é preciso que se avalie se a ruptura ocorreu na linha de colagem propriamente dita, ou se a mesma ocorreu na madeira, o que é denominado de “falha na madeira”. No caso, quanto maior for a falha na madeira, melhor será o desempenho da linha de colagem, significando que esta é mais resistente que o próprio substrato.

Reportando-se ao teste no estado seco, para ambas as espécies e para todos os adesivos, as madeiras apresentaram excelentes comportamentos em relação à linha de ruptura. Isso é constatado pelo fato de que de 88 a 100 % das rupturas ocorreram na madeira em si mesmo. Isso significa que as colas apresentaram excelentes interações com o substrato madeira, tanto a testemunha como as madeiras termorretificadas.

Para o estado úmido, o destaque ficou por conta do teste do adesivo fenol-resorcinol-formol, que apresentou excelentes índices de resistência da linha de colagem, os quais atingiram valores superiores a 82 %. Esse aspecto comprova a característica dessa cola ser à prova d'água. Nesse mesmo enfoque, o adesivo à base de acetato de polivinila modificada, apresentou valores de ruptura na madeira, no estado úmido, inferiores aos esperados. Isto ocorre independentemente da espécie e condições de tratamento. Esse baixo desempenho não comprovou a sua condição de ser um adesivo à prova d'água, conforme sua especificação.

Pelo exposto, independentemente do tipo de cola ou de madeira, pode ser constatado que as influências das termorretificações sobre as resistências ao cisalhamento são muito maiores na madeira em si mesma do que na linha de colagem, quando a análise leva em conta a superfície de ruptura dos corpos-de-prova ensaiados.

### 4.3 Avaliações da colorimetria

Os resultados das avaliações da cor das madeiras estudadas, são apresentados nas Tabelas de 15 a 28. As Figuras de 15 a 24, mostram os diagramas para os parâmetros colorimétricos com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade, considerando-se os diversos tratamentos.

Os dados dos parâmetros de cor: claridade (L), coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$ , saturação (C) e ângulo de tonalidade (H), foram analisados de forma pareada antes e após as termorretificações (120, 140, 160 e 180 °C), para se verificar a influência da retificação térmica, através de um teste t de Student (Tabelas 15 e 16).

Em relação à madeira de *E. saligna*, os resultados da claridade (L) apresentaram diferenças significativas na comparação antes e após cada termorretificação, sendo menores os valores observados após tais tratamentos térmicos, o que indicou escurecimento da madeira. Para a coordenada vermelho-verde ( $a^*$ ), os valores observados após cada termorretificação foram inferiores indicando mudança da cor, não tendo havido diferenças significativas apenas na comparação pareada a 120 °C. Tanto para a coordenada azul-amarelo ( $b^*$ ) como para o parâmetro C, os valores encontrados após cada termorretificação foram menores, também indicando mudança da cor e da sua saturação, sendo que somente a 180 °C não houve diferenças significativas na comparação pareada. No caso do parâmetro H, ocorreram diferenças significativas entre as madeiras antes e após as termorretificações a 140 e 180 °C, sendo que neste caso não foi observada uma tendência consistente em relação ao aumento de temperatura.

Tabela 15. Teste t de Student pareado para os parâmetros de cor, considerando trinta observações para cada tratamento - *Eucalyptus saligna*.

Tratamento (°C)	Parâmetros de cor				
	L <sup>1</sup>	a* <sup>2</sup>	b* <sup>3</sup>	C <sup>4</sup>	H <sup>5</sup>
	t	t	t	t	t
120	-9,1877**	-1,5604 <sup>n.s.</sup>	-6,6674**	-4,6175**	-0,3528 <sup>n.s.</sup>
140	-20,8966**	-4,9880**	-11,6816**	-10,1069**	-5,1262**
160	-24,5365**	-4,7496**	-2,5274*	-3,2674**	0,9706 <sup>n.s.</sup>
180	-63,8373**	-3,6170**	-0,6420 <sup>n.s.</sup>	-1,6842 <sup>n.s.</sup>	6,4525**

<sup>1</sup> Claridade

<sup>2</sup> Coordenada vermelho-verde

<sup>3</sup> Coordenada azul-amarelo

<sup>4</sup> Saturação

<sup>5</sup> Ângulo de tonalidade

\* Significativo ao nível de 5 % de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

<sup>n.s.</sup> Não significativo

Tabela 16. Teste t de Student pareado para os parâmetros de cor, considerando trinta observações para cada tratamento - *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Tratamento (°C)	Parâmetros de cor				
	L <sup>1</sup>	a* <sup>2</sup>	b* <sup>3</sup>	C <sup>4</sup>	H <sup>5</sup>
	t	t	t	t	t
120	-3,0749**	0,3195 <sup>n.s.</sup>	5,4512**	4,6320**	2,3741*
140	-12,8535**	6,3412**	10,2172**	9,9143**	-0,8568 <sup>n.s.</sup>
160	-6,1360**	4,9494**	11,2475**	9,7550**	-3,4282**
180	-32,9408**	13,7891**	2,6954*	7,2366**	-9,0095**

<sup>1</sup> Claridade

<sup>2</sup> Coordenada vermelho-verde

<sup>3</sup> Coordenada azul-amarelo

<sup>4</sup> Saturação

<sup>5</sup> Ângulo de tonalidade

\* Significativo ao nível de 5 % de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

<sup>n.s.</sup> Não significativo

Tabela 17. Análise da variância com aplicação do teste F para a claridade (L) - *Eucalyptus saligna*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Tratamento	3	6334,5017	2111,5006	95,50	0,0001**
Resíduo	116	2564,7579	22,1100		
Total	119	8899,2595			
Coeficiente de variação = 8,7255 %					

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Tabela 18. Análise da variância com aplicação do teste F para a coordenada cromática a\* - *Eucalyptus saligna*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Tratamento	3	73,0597	24,3532	12,78	0,0001**
Resíduo	116	221,0766	1,9058		
Total	119	294,1363			
Coeficiente de variação = 12,0660 %					

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Tabela 19. Análise da variância com aplicação do teste F para a coordenada cromática b\* - *Eucalyptus saligna*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Tratamento	3	146,4218	48,8073	9,44	0,0001**
Resíduo	116	599,7548	5,1703		
Total	119	746,1766			
Coeficiente de variação = 13,3477 %					

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Tabela 20. Análise da variância com aplicação do teste F para a saturação (C) - *Eucalyptus saligna*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Tratamento	3	110,7052	36,9017	6,33	0,0005**
Resíduo	116	676,2094	5,8294		
Total	119	786,9145			
Coeficiente de variação = 11,7364 %					

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Tabela 21. Análise da variância com aplicação do teste F para o ângulo de tonalidade (H) - *Eucalyptus saligna*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Tratamento	3	834,1034	278,0345	28,24	0,0001**
Resíduo	116	1141,9445	9,8443		
Total	119	1976,0479			
Coeficiente de variação = 5,6076 %					

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Tabela 22. Análise da variância com aplicação do teste F para a claridade (L) - *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Tratamento	3	13035,9576	4345,3192	184,01	0,0001**
Resíduo	116	2739,2858	23,6145		
Total	119	15775,2435			
Coeficiente de variação = 7,3049 %					

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Tabela 23. Análise da variância com aplicação do teste F para a coordenada cromática a\* - *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Tratamento	3	560,5052	186,8351	29,84	0,0001**
Resíduo	116	726,4149	6,2622		
Total	119	1286,9201			
Coeficiente de variação = 27,5602 %					

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Tabela 24. Análise da variância com aplicação do teste F para a coordenada cromática b\* - *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Tratamento	3	336,8151	112,2717	15,51	0,0001**
Resíduo	116	839,7678	7,2394		
Total	119	1176,5830			
Coeficiente de variação = 10,0919 %					

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Tabela 25. Análise da variância com aplicação do teste F para a saturação (C) - *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Tratamento	3	298,6298	99,5433	10,10	0,0001**
Resíduo	116	1143,1810	9,8550		
Total	119	1441,8108			
Coeficiente de variação = 11,0867 %					

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Tabela 26. Análise da variância com aplicação do teste F para o ângulo de tonalidade (H) - *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Tratamento	3	2863,9201	954,6400	72,01	0,0001**
Resíduo	116	1537,7682	13,2566		
Total	119	4401,6883			
Coeficiente de variação = 5,1046 %					

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade

Tabela 27. Teste de Tukey para os parâmetros de cor ao nível de 5 % de probabilidade - *Eucalyptus saligna*.

Tratamento (°C)	Parâmetros de cor											
	L <sup>1</sup>		a* <sup>2</sup>		b* <sup>3</sup>		C <sup>4</sup>		H <sup>5</sup>			
	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>
120	65,23	A	12,30	A	18,37	A	22,14	A	56,35	B		
140	53,52	B	12,13	A	15,39	C	19,62	B	51,69	C		
160	51,74	B	10,82	B	16,78	BC	20,00	B	57,13	AB		
180	45,06	C	10,52	B	17,60	AB	20,53	AB	58,71	A		

<sup>1</sup> Claridade

<sup>2</sup> Coordenada cromática vermelho-verde

<sup>3</sup> Coordenada cromática azul-amarelo

<sup>4</sup> Saturação

<sup>5</sup> Ângulo de tonalidade

<sup>6</sup> Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente.

Tabela 28. Teste de Tukey para os parâmetros de cor ao nível de 5 % de probabilidade - *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Tratamento (°C)	Parâmetros de cor													
	L <sup>1</sup>			a* <sup>2</sup>			b* <sup>3</sup>			C <sup>4</sup>			H <sup>5</sup>	
	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>	Média	Teste de Tukey <sup>6</sup>
120	75,75	A	6,74	A	25,90	BC	26,80	B	75,69	A				
140	73,79	A	7,31	B	27,32	AB	28,29	B	75,08	A				
160	67,24	B	10,22	C	28,97	A	30,88	A	71,10	B				
180	49,31	C	12,04	C	24,45	C	27,29	B	63,43	C				

<sup>1</sup> Claridade

<sup>2</sup> Coordenada cromática vermelho-verde

<sup>3</sup> Coordenada cromática azul-amarelo

<sup>4</sup> Saturação

<sup>5</sup> Ângulo de tonalidade

<sup>6</sup> Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente.

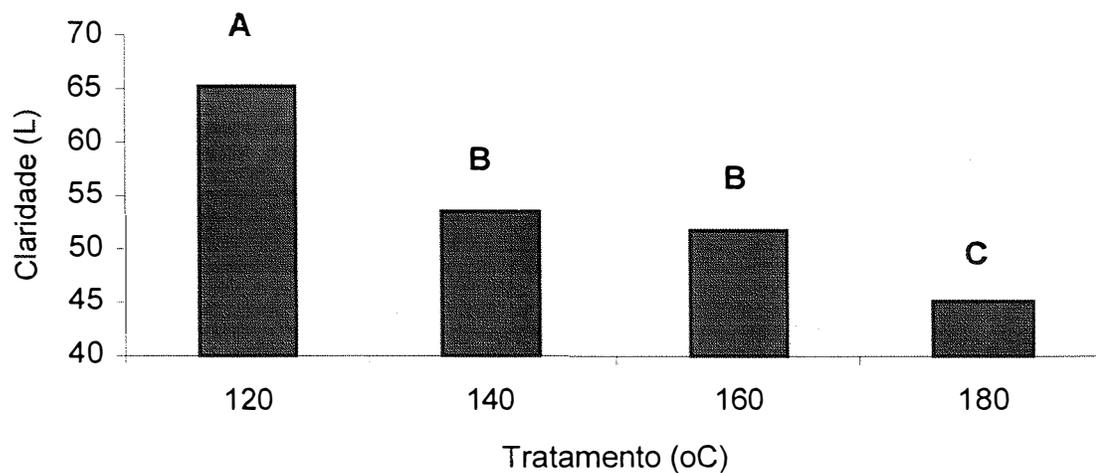


Figura 15 - Diagrama de barras da clareza (L) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - *E. saligna*.

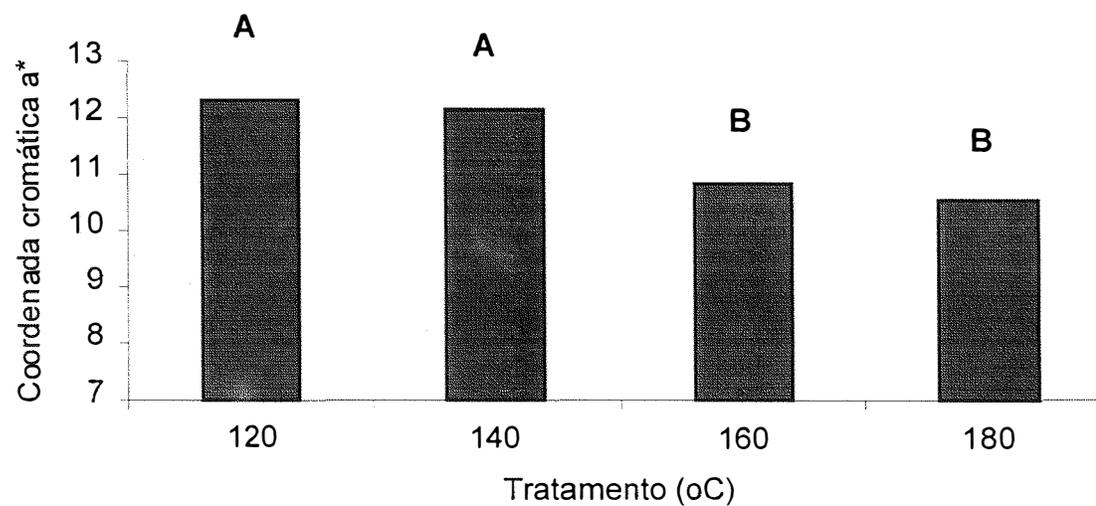


Figura 16 - Diagrama de barras da coordenada cromática a\* em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - *E. saligna*.

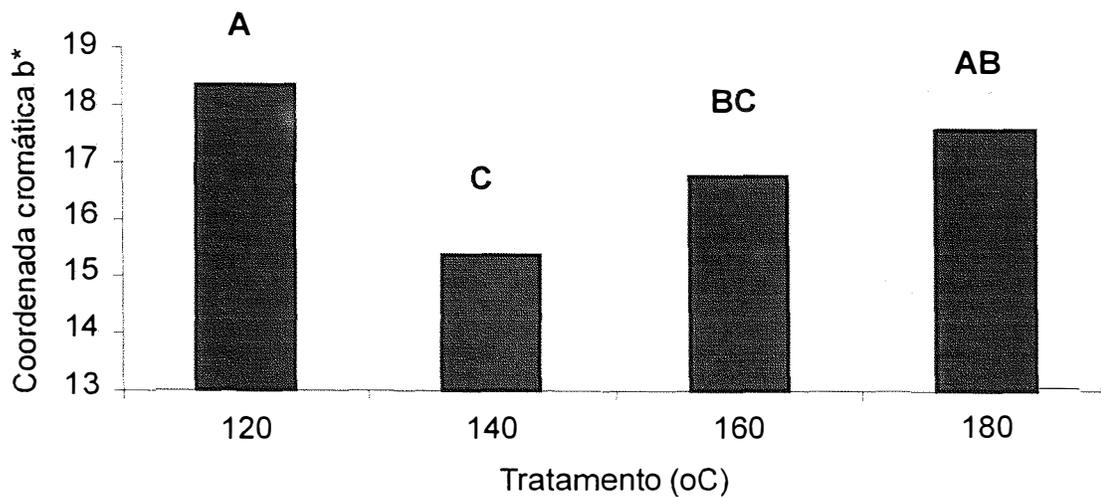


Figura 17 - Diagrama de barras da coordenada cromática  $b^*$  em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - *E. saligna*.

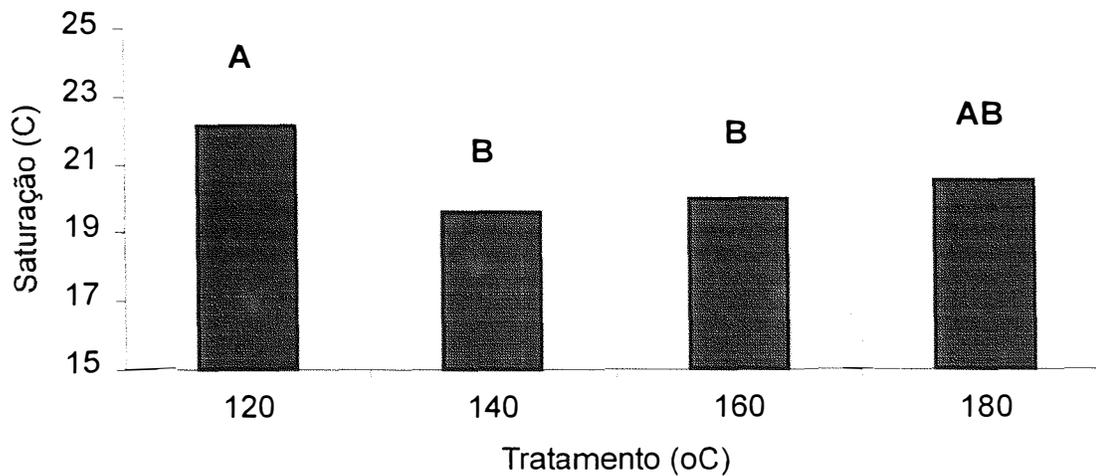


Figura 18 - Diagrama de barras da saturação (C) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - *E. saligna*.

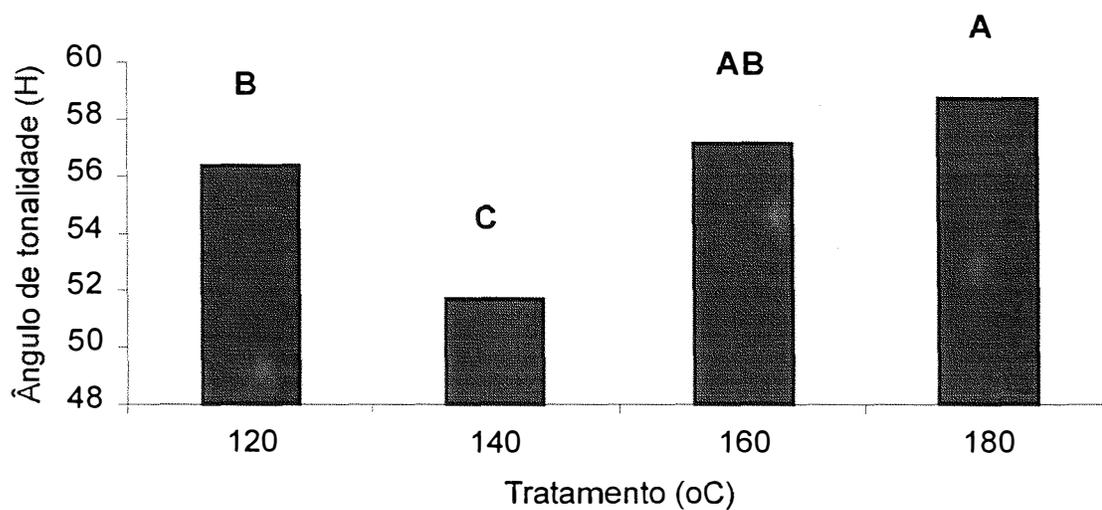


Figura 19 - Diagrama de barras do ângulo de tonalidade (H) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - *E. saligna*.

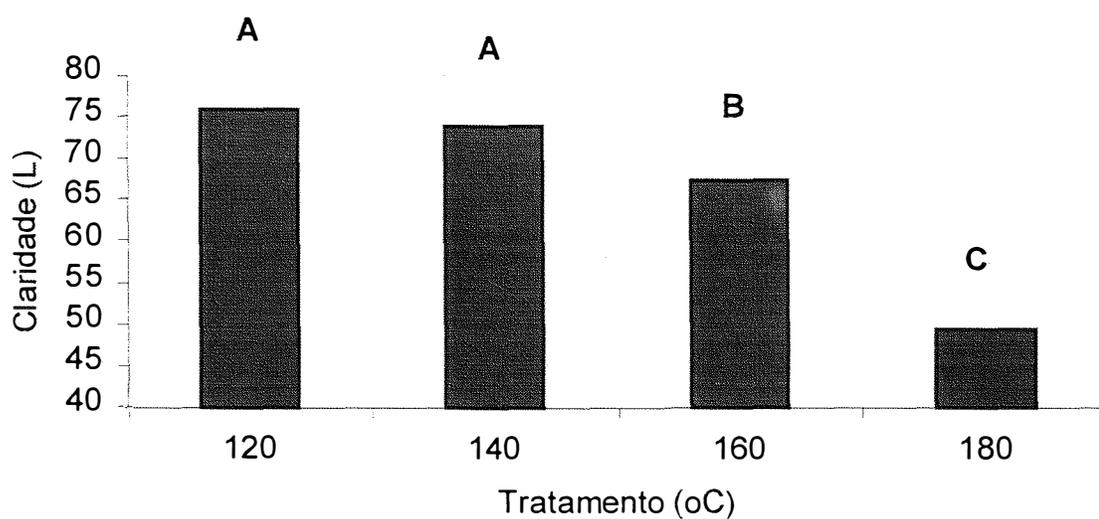


Figura 20 - Diagrama de barras da clareza (L) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - *P. caribaea* var. *hondurensis*.

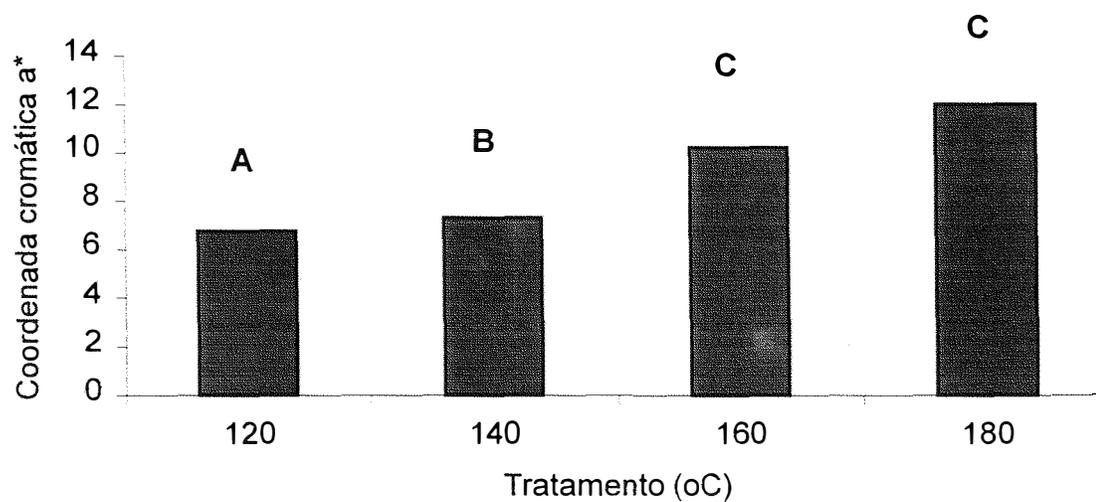


Figura 21 - Diagrama de barras da coordenada cromática a\* em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - *P. caribaea* var. *hondurensis*.

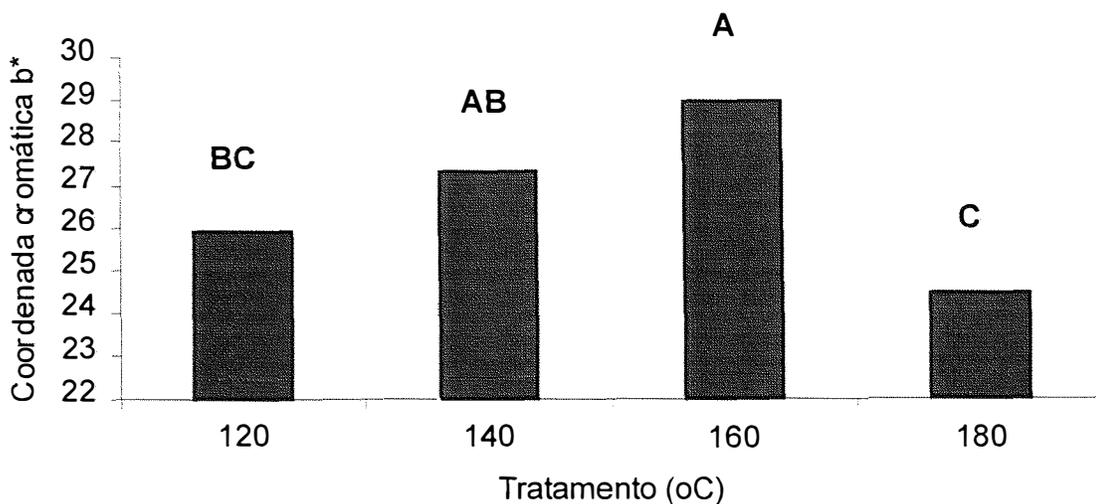


Figura 22 - Diagrama de barras da coordenada cromática  $b^*$  em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - *P. caribaea* var. *hondurensis*.

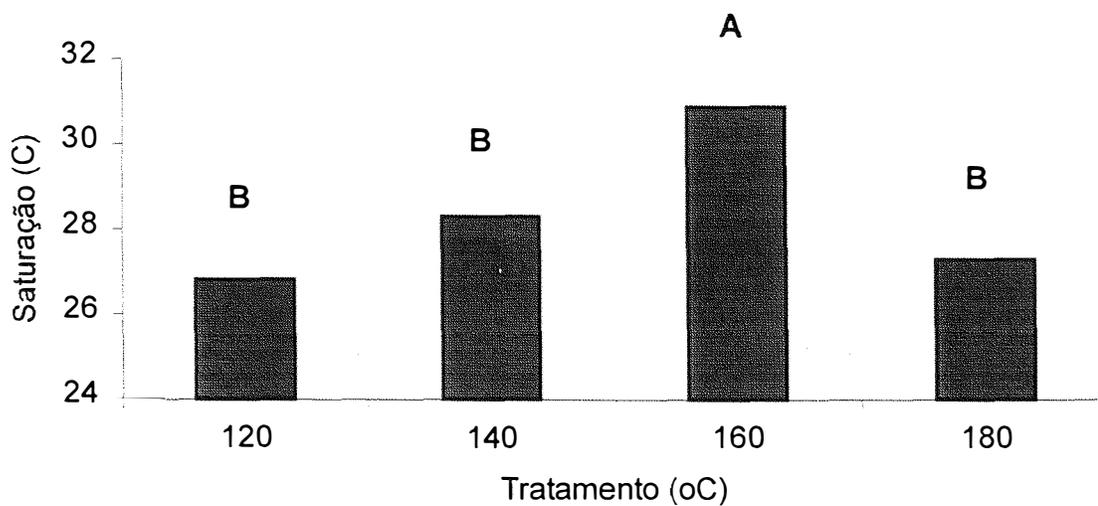


Figura 23 - Diagrama de barras da saturação (C) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - *P. caribaea* var. *hondurensis*.

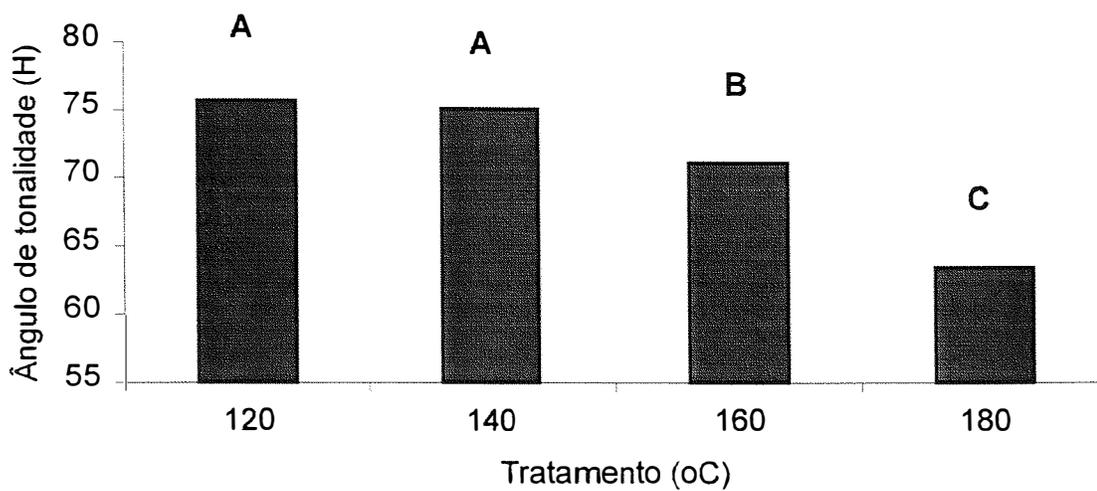


Figura 24 - Diagrama de barras do ângulo de tonalidade (H) em função do tratamento com o teste de Tukey à 5 % de probabilidade - *P. caribaea* var. *hondurensis*.

Para a madeira de *P. caribaea* var. *hondurensis*, as diferenças dos resultados referentes a claridade (L) na comparação pareada antes e após cada termorreificação foram significativas, constatando-se também que os valores observados após a ação do calor foram menores, indicando o escurecimento da madeira. Com relação à coordenada vermelho-verde ( $a^*$ ), os valores após cada termorreificação foram maiores demonstrando mudança da cor, sendo que a diferença somente não foi significativa a 120 °C. Para a coordenada azul-amarelo ( $b^*$ ) e o parâmetro C, as diferenças dos resultados antes e após cada termorreificação foram significativas, sendo os valores encontrados após a ação do calor maiores, o que indica mudança da cor e da sua saturação. Sobre o parâmetro H, os resultados da comparação pareada apresentaram diferenças significativas a 120, 160 e 180 °C, sendo que a 120 °C os valores observados após as termorreificações foram maiores, enquanto que a 160 e 180 °C os valores foram inferiores, demonstrando mudança da tonalidade da cor.

Os dados dos parâmetros colorimétricos das madeiras termorreificadas também foram avaliados através de uma análise da variância e aplicação do teste F realizados pelo “software” SAS, segundo um modelo inteiramente casualizado, como mencionado na metodologia (Tabelas de 17 a 26).

Tanto para a madeira de *E. saligna* como para *P. caribaea* var. *hondurensis*, considerando-se L,  $a^*$ ,  $b^*$ , C e H, os resultados de F foram significativos, o que levou à aplicação do teste de Tukey aos valores médios dos parâmetros (Tabelas 27 e 28).

Observou-se para o *E. saligna*, tendência para a redução dos valores dos parâmetros L e  $a^*$  das madeiras termorreificadas em função do aumento da temperatura. A tendência foi mais evidente para a claridade (L).

Pode-se interpretar que a termorretificação levou ao escurecimento e à redução da cor vermelha da madeira, sendo o escurecimento o resultado mais expressivo. Ressalte-se que Luro (1997), afirma que a madeira se torna mais escura em consequência das modificações químicas devido ao tratamento térmico. Houve uma tendência inicial para a redução dos valores dos parâmetros  $b^*$ , C e H considerando-se, sobretudo, as temperaturas de 120 e 140 °C. Acima de 140 °C, observou-se uma tendência para aumento dos valores de tais parâmetros. Era de se esperar que os parâmetros C e H apresentassem comportamento similar ao  $b^*$ , pois os mesmos mostram-se correlacionados positivamente com  $b^*$  (95 e 54 %, respectivamente), segundo Camargos<sup>25</sup>. Deduz-se então que, num primeiro momento, ocorreu redução da cor amarela e da sua saturação e tonalidade. Após essa fase, com o aumento da temperatura, a madeira termorretificada tornou-se cada vez mais amarelada, com as respectivas acentuações da saturação e tonalidade da cor.

A respeito do *P. caribaea* var. *hondurensis*, houve tendência para a redução dos valores dos parâmetros L e H das madeiras termorretificadas em relação ao aumento da temperatura. O comportamento de ambos os parâmetros foi semelhante, de acordo com o teste de Tukey, o que pode ser explicado pela correlação positiva (76 %) entre os parâmetros, segundo Camargos<sup>25</sup>. Desta maneira, pode-se dizer que as madeiras tornaram-se mais escuras em função das termorretificações. O parâmetro  $a^*$ , apresentou uma tendência para o aumento dos seus valores em função do aumento das temperaturas de termorretificação. Nesse caso, as madeiras se tornaram mais avermelhadas devido às termorretificações. Observou-se tendência para o aumento dos valores dos parâmetros  $b^*$  e C até a temperatura de 160 °C. A partir de 160 °C, constatou-se uma tendência para a diminuição drástica dos valores de tais parâmetros. Pode-se concluir que, a princípio, ocorreu aumento

---

<sup>25</sup> CAMARGOS, J.A.A. (IBAMA. Laboratório de Produtos Florestais, Brasília). Comunicação pessoal, 1998.

da cor amarela e da saturação, e a partir de 160 °C, as madeiras termorretrificadas tornaram-se menos amareladas e menos saturadas.

Os resultados indicam, portanto, que a termorretrificação das madeiras pode ser um instrumento para alteração de seus parâmetros colorimétricos. Abrem-se, desse modo, duas possibilidades. A primeira refere-se à adoção do processo de termorretrificação como instrumento para obtenção de distintos produtos para atendimento de diferentes demandas quanto à cor da madeira. A segunda é a possibilidade de se controlar o processo de termorretrificação através de análise dos parâmetros colorimétricos, resultado este, que vai ao encontro do que relatam Machinery Business Society (1997b) e Luro (1997).

## 5 CONCLUSÕES

1 - Com base nos resultados do presente estudo, pode-se concluir que a termorreificação não exerceu influência nas características de envernizamento da madeira, tanto para o *E. saligna* como para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, em relação aos seguintes ensaios: resistência do filme de verniz ao risco e ao corte; aderência do filme de verniz ao substrato; resistência ao impacto e resistência do filme de verniz ao ataque (manchas) de produtos químicos domésticos. As diferenças eventualmente observadas não estão vinculadas às madeiras propriamente ditas, mas sim relacionadas às características intrínsecas dos próprios vernizes.

2 - A estabilidade dimensional da madeira submetida a condições extremas de climatização, ou seja, em ambientes seco e úmido, sofreu influência das termorreificações, tanto para o *E. saligna* como para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, independentemente do tipo de verniz aplicado. A maior estabilidade dimensional observada foi para a madeira termorreificada a 180 °C.

3 - Ainda como resultado do ensaio de climatização, nas avaliações das alterações do brilho e da lisura do verniz, o verniz poliuretano brilhante aplicado sobre o substrato de *E. saligna*, apresentou alteração bem menos acentuada que a do verniz nitrocelulose brilhante, demonstrando sua maior elasticidade, independentemente das alterações sofridas pela madeira

através da termorretificação. Tal resultado foi menos pronunciado no caso de *P. caribaea* var. *hondurensis*.

4 - Para ambas as espécies e para todos os adesivos, considerando-se os estados seco e úmido, constatou-se tendência na redução da resistência ao cisalhamento da madeira em função da termorretificação. No entanto, pode-se considerar que as características de colagem não foram afetadas pelas retificações térmicas, pelo fato de que a avaliação da porcentagem de ruptura indicou que a incidência da mesma foi maior na madeira do que na linha de colagem. Isso significa que o ponto fraco em relação à resistência mecânica se encontrava no substrato em si mesmo e não na linha de interação madeira/cola.

5 - Respeitando-se as características próprias das madeiras, as formulações e os métodos de aplicação dos respectivos vernizes e colas, pode-se concluir que os processos usuais de envernizamento e colagem adotados na indústria madeireira/moveleira são passíveis de serem indicados para madeiras termorretificadas.

6 - As termorretificações alteraram os parâmetros colorimétricos L, a\*, b\*, C e H das madeiras de *E. saligna* e *P. caribaea* var. *hondurensis*. As alterações foram, em sua maioria, significativas na comparação pareada antes e após a aplicação do tratamento, bem como na comparação entre as madeiras termorretificadas obtidas nas diferentes temperaturas.

7 - Na comparação pareada antes e após cada termorretificação, tanto para o *E. saligna* como para o *P. caribaea* var. *hondurensis*, observou-se redução da claridade (L) das madeiras. Semelhante comportamento foi verificado ao se comparar os resultados de L das madeiras termorretificadas

obtidas nas diferentes temperaturas. Constata-se, então, que a termorreificação levou ao escurecimento das madeiras.

8 - Considerando-se, ainda, a colorimetria das madeiras, o *E. saligna* apresentou redução da cor vermelha, enquanto o *P. caribaea* var. *hondurensis* registrou aumento. No caso da madeira de *E. saligna*, houve inicialmente uma redução da cor amarela até 140 °C, a partir da qual passou a haver uma recuperação dessa cor. Para o *P. caribaea*, o amarelecimento foi crescente até 160 °C, após o que houve uma drástica redução do mesmo.

**ANEXO**

### Gráficos de temperatura versus tempo de termorretificação

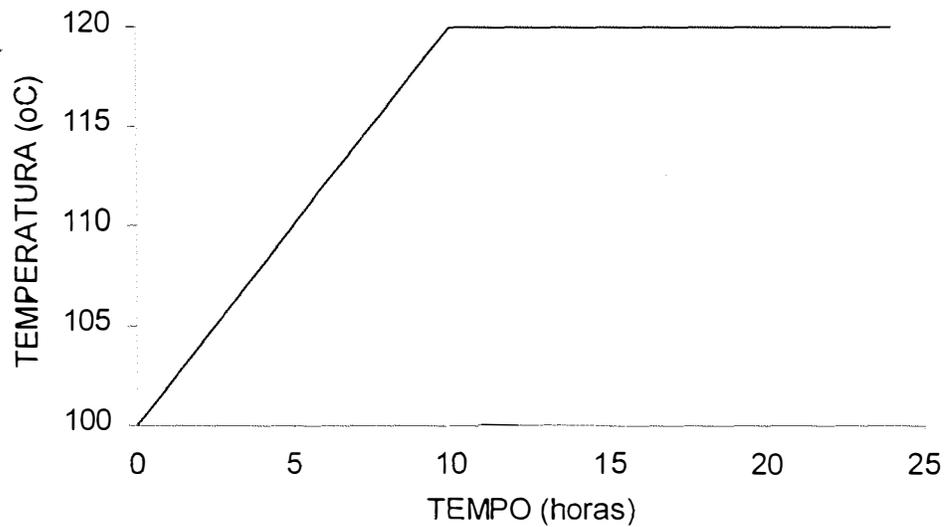


Figura 1 - Gráfico de temperatura versus tempo, usado para termorretificação a 120 °C.

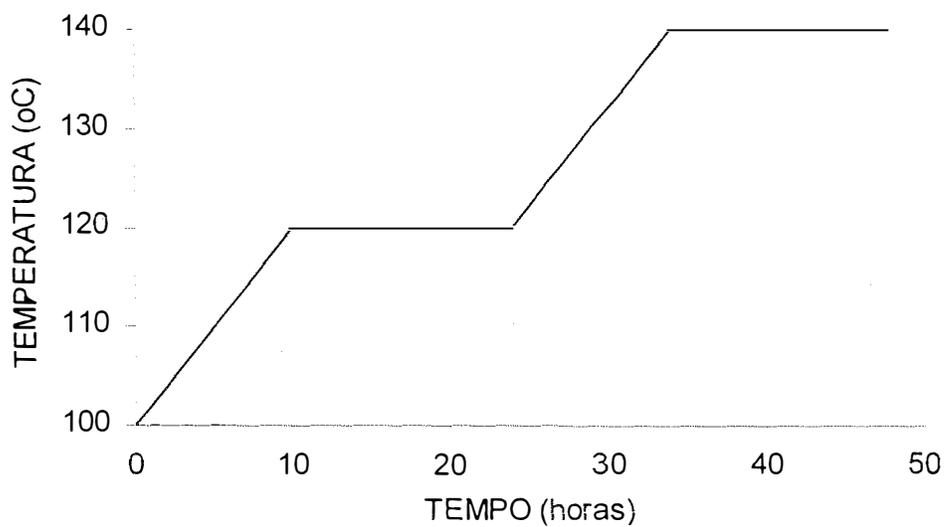


Figura 2 - Gráfico de temperatura versus tempo, usado para termorretificação a 140 °C.

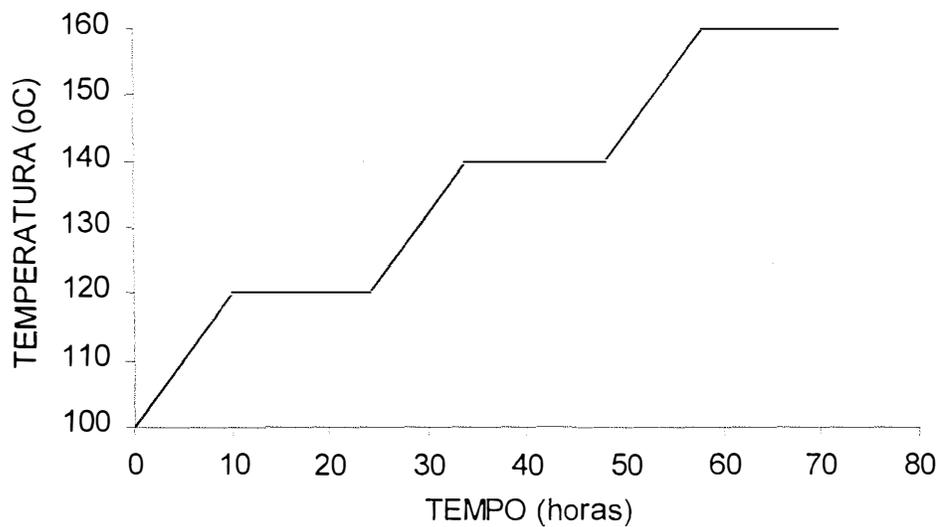


Figura 3 - Gráfico de temperatura versus tempo, usado para termorretificação a 160 °C.

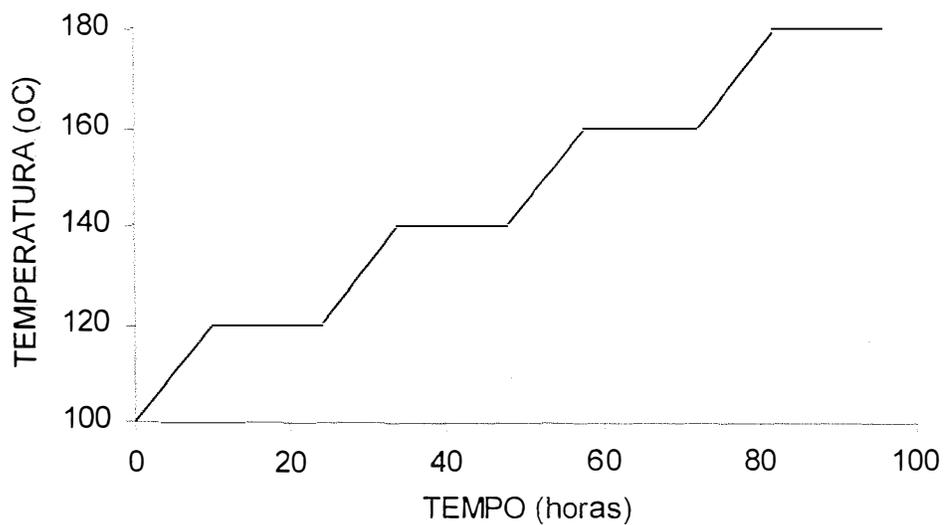


Figura 4 - Gráfico de temperatura versus tempo, usado para termorretificação a 180 °C.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABE, F. Manufacture of charcoal from fast-grown trees. In: SMITH, W.R. **Energy from forest biomass**. New York: Academic Press, 1982. p.129-146.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Comportamentos isolados da lignina e da celulose da madeira frente à carbonização. **Circular Técnica IPEF**, n.28, p.1-4, 1979.
- BROWN, H.P.; PANSHIN, A.J.; FORSAITH, C.C. **Textbook of wood**. New York: McGraw-Hill, 1952. 783p.
- CROW, S.Z.; PICKLES, K.J. Thermal softening and degradation of wood and bark. **Wood Fiber**, n.3, p.166-178, 1971.
- DEGLISE, X.; MAGNE, P. Pyrolysis and industrial charcoal. In: HALL, D.O.; OVEREND, R.P. (Ed.) **Biomass regenerable energy**. New York: John Willey, 1987.
- DELLA LUCIA, R.M.; VITAL, B.R. Avaliação da qualidade de juntas coladas de madeira de 3 espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v.2, n.5, p.172-180, 1981.
- DUCHEZ, L.; GUYONNET, R. Principles & applications of wood retification. /Apresentado ao 5. World Conference on Timber Engineering, Lausanne, 1998/

- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. Forest Products Laboratory. **Adhesives in building construction**. Washington, 1978. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 516).
- FARMER, R.M. **Handbook of hardwoods**. London: Her Majesty's Stationery Office, 1972. 244p.
- FERREIRA, A.B.H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2.ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1986. 1838p.
- GIRARD, P.; SHAH, N. Recent developments on torrefied wood, an alternative to charcoal for reducing deforestation. /Apresentado ao Workshop of the European Cooperative Networks on Rural Energy on Charcoal Production and Pyrolysis Technologies, Norway, 1989/
- GOHAR, P.; GUYONNET, R. Development of wood retification process at the industrial stage. /Apresentado ao 4. Symposium International, Cannes, 1998/
- GOMES, P.A.; OLIVEIRA, J.B. Teoria da carbonização da madeira. In: PENEDO, W.R. (Comp.) **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte: CETEC, 1980. p.27-41.
- GONÇALEZ, J.C. Caracterisation technologique de quatre especes peu connues de la Foret Amazonienne: anatomia, chimie, couleur, propriétés physiques e mécaniques. Nancy, 1993. 445p. Thèse (Doctorat) - Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts - Université de Nancy I.

- GRAHAM, R.G.; BERGOUGNOU, M.A.; OVEREND, R.P. Fast pyrolysis of biomass - a review. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, n.6, p.95-135, 1984.
- GUEDIRA, F. Pyrolyse lente de la biomasse: comportement compare des tourteux d'olives, de la bagasse de canne a sucre et de la sciure de bois ( Pin maritime). Maroc, 1988. 122p. Thèse (D.E.S. 3ème Cycle - Sciences Chimie) - Université Mohamed V.
- HSE, C.; KUO, M. Influence of extractives on wood gluing and finishing - a review. **Forest Products Journal**, v.38, n.1, p.52-55, 1988.
- JANIN, G.; KLUMPERS, J.; MAZET, J.F. Etude de l'évolution de la couleur du bois de coeur des chenes en fonction de l'age e evaluation de leur contenu polyphenoplique. /Apresentado ao 3. Colloque "Sciences et Industries du Bois", Arbora, 1990a.
- JANIN, G.; MAZET, J.F.; FLOT, J.L. et al. Couleur et qualité du bois de chêne de tranchage: chêne sessile, chêne pédonculé e chêne rouge. **Revue Forestière Française**, v.2, n.42, p.134-139, 1990b.
- JANKOWSKY, I.P. **Colagem de madeiras**. Piracicaba: ESALQ, Depto. Ciências Florestais, 1988. 45p. F2906
- JODIN, P.; GILGERT, J. **Étude de l'effet du traitement de chauffage d'un bois sur certaines propriétés mécaniques**: rapport d'essais. Metz: Université de Metz, / 1997? /. 7p.

- KAILA, P. Architecture en Finlandia: tecnologia de la construcción. Los paneles. **Vetas: Revista Internacional para la Industria Maderera para Latino América**, v.19, n.202, p.8-19, Mayo. 1999.
- KLUMPERS, J. Le déterminisme de la couleur du bois de chêne. Etude sur les relations entre la couleur et des propriétés physiques, chimiques et anatomiques ainsi que des caractéristiques de croissance. Nancy, 1994. 109p. Thèse (Doctorat) - Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts - Université de Nancy I.
- KLUMPERS, J.; JANIN, G.; BECKER, M. et al. The influences of age, extractive content and soil water on wood color in oak: the possible genetic determination of wood color. **Annales des Sciences forestières**, v.50, n.1, p.403-409, 1993.
- LURO, D. Traitement thermique du bois: l'aboutissement de dix ans de recherche. **Le Bois National**, 06 dec. 1997. p.12-15.
- MARRA, G.G. The role of adhesion and adhesives in the wood products industry. In: SYMPOSIUM "WOOD ADHESIVES-RESEARCH, APPLICATION AND NEEDS", Madison, 1980. **Proceedings** Madison: Forest Products Lab., 1980. p.1-8.
- MARTIN, G. Pyrolyse-gazéification du bois-aspects physicochimiques. Nancy, 1984. 204p. Thèse (Docteur) - Université de Nancy.
- MACHINERY BUSINESS SOCIETY. **Les nouveaux matériaux**. Saint-Clair, 1997b. 23p.

MACHINERY BUSINESS SOCIETY. **The perdure wood**. Saint-Clair, 1997a. 12p.

MICHOT, S. **Classification subjective des parquets de chêne**: rapport de stage. Epinal: Université de Nancy I, 1994. 48p.

MOORE, G.R.; BLANKENHORN, P.R.; BEALL, F.C. et al. Some physical properties of birch carbonized in a nitrogen atmosphere. **Wood and Fiber**, v.6 n.3, p.193-199, 1974.

NEYA, B.; DÉON, G.; LOUBINOUX, B. Conséquences de la torréfaction sur la durabilité naturelle du bois de hêtre. **Bois et Forêts des Tropiques**, n.244, p.67-73, 1995.

OSSE, L. Eucalipto e siderurgia. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, v.9, n.9, p.193-206, 1957.

PETROFF, G.; DOAT, J. Pyrolyse des bois tropicaux: influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation. **Bois et Forêts des Tropiques**, n.177, p.51-64, jan./fev., 1978.

SELBO, M.L. **Adhesive bonding of wood**. Washington: USDA, Forest Products Laboratory, 1975. 122p.

SHAFIZADEH, F. **Thermal uses and properties of carbohydrates and lignins**. New York: Academic Press, 1976. 320p.

SLOCUM, D.H.; MCGINNES, E.A.; BEALL, F.C. Charcoal yield, shrinkage, and density changes during carbonization of oak and hickory woods. **Wood Science**, v.11, n.1, p.42-47, 1978.

STERNADT, G.H.; CAMARGOS, J.A. **Ação da luz solar na cor de 62 espécies de madeiras da Região Amazônica.** Brasília: IBAMA, 1991. 14p. (LPF. Série técnica, 22)

SUTTIE, E.D. **Novel wood preservatives.** <http://ci.mond.org/9718/971811.htm>: (09 apr. 1998)

THÉVENON, M.F.; HALUK, J.P. **Determination de la resistance biologique d'éprouvettes de bois torrefie a 230 °C face a des champignons basidiomycetes.** Nancy: Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur le Matériau Bois, 1997. 1v.

VERGNET, L. F. **Torrefied wood: characteristics, economics and prospects at the present stage of process development.** Nogent Sur Marne: CIRAD, Head of Energy Department, 1988. 1v.

VETTER, R.E.; CORADIN, V.R.; MARTINO, E.C. et al. Wood colour - a comparison between determination methods. **IAWA Bulletin**, v.11, n.4, p.429-439, 1990.

VOVELLE, C.; MELLOOTTEE, H. Modelisation de la pyrolyse oxydante ou non-oxydante de bois ou de déchets végétaux à partir de leurs composants. In: **Energy from biomass.** 2.ed. London: Applied Sciences, 1982. p.925-929.

WATAI, L.T. Colagem e acabamento de madeiras de reflorestamento. **Silvicultura**, v.9, n.35, p.15-7, mar./abr., 1984.

WATAI, L.T. **Tecnologia básica em acabamento de madeiras.** São Paulo: IPT, 1995. 103p.

WEILAND, J.J.; GUYONNET, R.; GIBERT, R. Analyse de la Pyrolyse Menagee du Bois par un Couplage TG-DSC-IRTF. **Journal of Thermal Analysis**, v.51, p.265-274, 1998.

WENZL, H.F.J. **The chemical technology of wood**. New. York: Academic Press, 1970. 692p.

WOSNIAK, E. Evolution de la texture poreuse du bois de hêtre au cours de sa pyrolyse-contribution aux phénomènes de transport et d'adsorption dans les matériaux ligneux. Alsace, 1982. 128p. Thèse (Docteur) - Université de Haute.

## APÊNDICES

## APÊNDICE 1: Características das Madeiras Usadas no Presente Estudo

Tabela 1. Características das madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Espécie	Massa específica		Resistência ao cisalhamento		Lignina <sup>2</sup>		NaOH 1 % <sup>3</sup>		Extrativos <sup>4</sup>	
	Média <sup>5</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	C.V. <sup>6</sup> (%)	Média <sup>5</sup> (MPa)	C.V. <sup>6</sup> (%)	Média <sup>5</sup> (%)	C.V. <sup>6</sup> (%)	Média <sup>5</sup> (%)	C.V. <sup>6</sup> (%)	Média <sup>5</sup> (%)	C.V. <sup>6</sup> (%)
<i>E. saligna</i>	0,7	16,0	15,5	20,2	27,1	3,5	17,4	2,5	4,8	6,6
<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	0,5	25,4	13,1	22,7	23,6	0,5	31,9	0,3	26,3	0,4

Fonte: Brito (1997)<sup>1</sup>

<sup>2</sup> Teor de lignina

<sup>3</sup> Teor de materiais solúveis em NaOH 1 %

<sup>4</sup> Teor de extrativos totais em solventes orgânicos neutros

<sup>5</sup> Os dados apresentados são valores médios (10 amostras/sp)

<sup>6</sup> Coeficiente de variação

<sup>1</sup> BRITO, J.O. **Estudo sobre retificação térmica das madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus saligna***. Piracicaba: ESALQ, Depto. Ciências Florestais, 1997. 198p. (Relatório Final do Projeto FAPESP/93/4639-0)

## APÊNDICE 2: Perda de Massa das Madeiras Termorretificadas

Tabela 2. Perda de massa das madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* após a termorretificação.

Tratamento (°C)	<i>E. saligna</i>		<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	
	Média <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>	Média <sup>1</sup>	C.V. <sup>2</sup>
	(%)	(%)	(%)	(%)
120	0,49	25,14	0,41	30,41
140	0,88	10,23	0,84	10,58
160	0,63	22,51	1,02	27,42
180	2,11	19,26	4,17	7,19

<sup>1</sup> Cada valor corresponde à média de 5 amostras-controle durante a termorretificação

<sup>2</sup> Coeficiente de variação