

Avaliação da termorretificação sobre a colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Valuation of the "thermo-retificated wood" in adhesive bonding of *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Ana Lúcia Piedade Sodero Martins Pincelli
José Otávio Brito
José Eduardo Corrente

RESUMO: Madeiras de *Eucalyptus saligna* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foram submetidas à ação do calor num processo denominado de "termorretificação" ou "retificação térmica", conduzido em estufa elétrica laboratorial, numa faixa de temperatura entre 120 e 180°C. O objetivo foi estudar as alterações que a termorretificação pudesse proporcionar às características da madeira, em relação ao seu comportamento de colagem mediante a avaliação da resistência ao cisalhamento. Os resultados indicaram que a termorretificação reduz os valores de resistência ao cisalhamento da madeira, não havendo, porém, efeito sobre tal resistência em se tratando da linha de colagem, ou seja, na interação madeira/adetivo. Conclui-se disso que a termorretificação não reduz a eficácia da interação entre a madeira e o adesivo. Pode-se então considerar que os processos usuais de colagem adotados na indústria madeireira / moveleira são passíveis de serem indicados para madeiras termorretificadas.

PALAVRAS-CHAVE: *Eucalyptus saligna*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Processo de termorretificação, Madeira termorretificada, Colagem

ABSTRACT: *Eucalyptus saligna* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* woods were submitted to a "thermorectification process", conducted in a laboratorial electrical furnace, with temperature ranging 120-180°C. The aim was to evaluate the changes likely to be provided by the process to the characteristics of adhesive bonding of the wood. Thereby, a shearing strength trial was conducted. The results showed that the "thermorectification process" influences the shearing strength of the woods, but not the strength of "wood / adhesive" bonding line. Thus one can consider that the usual adhesive bonding processes adopted by the logging / furniture industry are likely to be indicated for "thermorectified woods".

KEYWORDS: *Eucalyptus saligna*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, "Thermo-rectification process", "Thermo-retificated wood", Adhesive bonding

INTRODUÇÃO

São vários os processamentos industriais da madeira em que o calor é usado como componente básico, sendo que a sua ação pode se dar de forma mais ou menos intensa,

segundo as transformações estruturais necessárias.

É preciso lembrar, no entanto, que nem sempre o calor é, isoladamente, o único res-

ponsável 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 quanto ao produto final a ser obtido. Dentre os processos em que o calor tem papel de destaque, 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. Outros exemplos típicos são ainda: a carbonização, a destilação seca e a gaseificação, através dos quais a madeira é totalmente transformada, com os objetivos principais da produção de carvão vegetal, líquidos pirolenhosos e gases. Por outro lado, 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, quando da sua interação com o calor.

Desta maneira, com exceção da secagem, a maioria dos tradicionais processos em que o calor é componente importante, produzem significativas alterações na estrutura da madeira. Em tais casos, são obtidos produtos que possuem características significativamente diferenciadas da madeira original.

Constata-se, portanto, ser possível administrar a interação “madeira x calor” de tal forma a atender um objetivo específico do processo. É nesse contexto, que surge a “termoretificação” ou “retificação térmica”, conforme relatam Duchez e Guyonnet (1998); Gohar e Guyonnet (1998) e Guyonnet e Bourgois, citados por Weiland et al. (1998).

Segundo Gohar e Guyonnet (1998), a otimização do processo de retificação permite produzir um material com reduzida higroscopicidade, sem diminuição significativa das

propriedades mecânicas. O autor ressalta, porém, que o tratamento deve ser previamente muito bem avaliado em relação à espécie de madeira e a uma série de parâmetros, tais como: 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.

De acordo com Machinery Business Society (1997), 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.).

O estágio do desenvolvimento dos estudos sobre retificação térmica indica que o processo é atualmente operacional 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 e Guyonnet, 1998).

No Brasil, provavelmente as primeiras referências sobre o emprego da termoretificação de madeiras foram apresentadas por Brito (1993). O autor obteve resultados específicos sobre a influência da temperatura do processo na redução de massa, alteração na densidade, composição química, capacidade de retração volumétrica da madeira de *E. saligna*. Mencionava ainda que a retificação térmica poderia se tornar um instrumento interessante no sentido da alteração das características da madeira, sugerindo a ampliação dos estudos sobre o assunto.

A respeito de colagem, a diversidade atual que se observa no emprego da madeira deve-se, sem dúvida, aos avanços obtidos em relação aos produtos e às técnicas usadas para tal. 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 os compensados, as vigas laminadas, alguns tipos de chapas de fibras, as chapas de partículas, os derivados de papel, os móveis etc. É, portanto, perfeitamente deduzível que a colagem se torne um componente fundamental em relação ao processamento e ao emprego da madeira termorreificada, o que trás a necessidade de estudos sobre o assunto.

É diante do exposto, que se pretendeu reavaliar o presente trabalho, cujo objetivo foi avaliar as alterações que a termorreificação pudesse proporcionar às características de colagem da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

Foram utilizadas 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 Indústria e Comércio (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 3cm.

Preparo do material para termorreificação

As pranchas foram armazenadas sob abrigo do sol e chuva em ambiente com livre circulação de ar, por um período de 3 a 4 meses, quando atingiram umidade situada entre 10 e 15%. A seguir, foram cortadas em peças menores de 70 x 18 x 3cm, sendo que aquelas que se encontravam com defeitos (rachaduras, nós, empenamentos etc.) foram descartadas. Parte

das peças em seu estado natural foram usadas como testemunha e parte delas destinadas às termorreificações.

As peças selecionadas para as retificações térmicas foram secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 100°C, até atingirem peso constante, pretendendo-se com isso eliminar ao máximo a eventual influência da umidade da madeira no processo de termorreificação.

Termorreificações

As retificações térmicas foram conduzidas no Laboratório de Química, Celulose e Energia do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP. As madeiras foram termorreificadas 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 litros.

Foi utilizada uma taxa de aquecimento de 0,033°C / min e temperaturas finais de 120°C, 140°C, 160°C e 180°C.

A taxa de aquecimento encontra-se compatível com aquelas indicadas por Deglise e Magne (1987) e Graham et al. (1984) e as temperaturas empregadas, tendo como referência os trabalhos de Guedira (1988); Vovelle e Mellottee (1982) e Crow e Pickles (1971).

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

As madeiras foram colocadas na estufa com a temperatura pré-regulada a 100°C, após o que se iniciou o processo de termorreificação. Após as termorreificações, a estufa era desligada e as madeiras permaneciam no seu interior em resfriamento natural até atingirem a temperatura de 30°C.

A avaliação da perda de massa foi realizada mediante a pesagem de peças de madeira antes e após a aplicação do processo.

Após as termorretificações, as peças permaneceram armazenadas em laboratório, com livre circulação de ar, durante 3 meses, aguardando o início dos ensaios de colagem. Após este período, foram realizadas avaliações de umidade, através de medidor elétrico. Tais avaliações foram efetuadas por amostragem aleatória das peças termorretificadas e das peças usadas como testemunhas.

Foram definidos os seguintes tratamentos:

- ✓ tratamento T_1 : madeira não termorretificada (testemunha, madeira seca ao ar e com umidade entre 10 e 15%);
- ✓ tratamento T_2 : madeira termorretificada a 120°C;
- ✓ tratamento T_3 : madeira termorretificada a 140°C;
- ✓ tratamento T_4 : madeira termorretificada a 160°C;
- ✓ tratamento T_5 : madeira termorretificada a 180°C.

Análises e determinações de colagem

As madeiras foram submetidas a avaliações de comportamento em relação a tratamentos com colas, nos laboratórios do Agrupamento de Propriedades Básicas da Madeira da Divisão de Produtos Florestais do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

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 2cm. Eles foram então separados em três sub-lotes e condicionados em uma câmara de climatização a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa, durante três semanas, para então

serem colados com os seguintes adesivos (Fabricação Alba Química):

- adesivo à base de resina de fenol-resorcinol-formaldeído, curável à temperatura ambiente, à prova d'água, de coloração escura (Cascophen RS-216-M);
- adesivo à base de resina de uréia-formaldeído, curável à temperatura ambiente, resistente à água (Cascamite PL-117);
- adesivo à base de resina de acetato polivinílico com ligações cruzadas, à prova d'água (Cascarez 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.

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 as Normas ASTM D 905 e NBS PS-74. (ASTM, 1994; NBS, 1974)

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

- ✓ para colagem com fenol-resorcinol-formaldeído e acetato polivinílico: fervura em água durante 4h; secagem em estufa a $63 \pm 3^\circ\text{C}$, durante 16h; nova fervura em água por mais 4h;
- ✓ para colagem resistente à água com uréia-formaldeído: imersão em água a $49 \pm 3^\circ\text{C}$, sob um vácuo de 38mm de Hg, durante 30 minutos; imersão em água à pressão atmosférica e temperatura não inferior a 24°C .

Após tais procedimentos, os corpos-de-prova foram ensaiados quanto à resistência ao cisalhamento, registrando-se 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. Foram avaliados os efeitos de cola (fenol-resorcinol-formol, acetato de polivinila modificada e uréia-formol), tratamento (testemunha, 120°C, 140°C, 160°C e 180°C) e estado (seco e úmido).

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 termorreificadas a 120°C, 140°C, 160°C e 180°C), e nas subparcelas para dois estados (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. Foram realizadas doze repetições de cada ensaio para resistência ao cisalhamento para cada espécie analisada. O resumo do quadro da análise de variância, com a disposição dos graus de liberdade por fonte de variação é apresentado na Tabela 1. Sendo a interação tripla significativa, seria efetuada a decomposição dessa interação em efeitos aninhados de Estado x Tratamento para cada cola, com aplicação do teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de perda de massa de madeira das termorreificações e do teor de umidade das peças usadas nos ensaios de colagem são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1.

Resumo do quadro de análise da variância.
(Summary of the test of variance analysis)

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

Os resultados de avaliação do desempenho da colagem são apresentados nas Tabelas de 3 a 6.

As Figuras de 1 a 6 mostram os diagramas comparativos com o teste de Tukey a 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.

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 5 e 6).

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.

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. Em relação ao comportamento dos adesivos, os mesmos não diferiram significativamente para o lote de testemunhas e para os tratamentos a 120 e 140°C, no estado seco. As diferenças significativas observadas foram entre o acetato de

polivinila modificada e uréia-formol a 160°C, e entre o fenol-resorcinol-formol e acetato de polivinila modificada a 180°C. No estado úmido, o fenol-resorcinol-formol apresentou diferença significativa na comparação com as outras colas, com exceção para o tratamento a 180°C e para a uréia-formol no lote de testemunhas.

Tabela 2.

Perda de massa de madeiras termoretificadas e teor de umidade das peças usadas nos ensaios de colagem. (Mass loss of thermorectified woods and moistures content of the pieces used in bonding tests).

Tratamento ¹	<i>E. saligna</i>				<i>P. caribaea var. hondurensis</i>			
	Perda de massa		Teor de umidade		Perda de massa		Teor de umidade	
	Média ² (%)	C.V. ³ (%)	Média(%)	C.V. ³ (%)	Média ² (%)	C.V. ³ (%)	Média(%)	C.V. ³ (%)
T ₁	-	-	9,77	2,33	-	-	10,22	3,34
T ₂	0,49	25,14	9,62	1,72	0,41	30,41	10,22	7,84
T ₃	0,88	10,23	9,64	2,87	0,84	10,58	10,30	0,84
T ₄	0,63	22,51	10,15	2,86	1,02	27,42	10,22	4,37
T ₅	2,11	19,26	10,83	1,35	4,17	7,19	10,49	2,91

¹ T₁ = testemunha; T₂ = madeira termoretificada a 120°C; T₃ = madeira termoretificada a 140°C; T₄ = madeira termoretificada a 160°C; T₅ = madeira termoretificada a 180°C.

² Cada valor corresponde à média de 5 amostras-controle durante a termoretificação.

³ Coeficiente de variação.

Tabela 3.

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

(Variance analysis with application of F test for bonding resistance at the strain of shearing - *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 ^{n.s.}
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.

^{n.s.} Não significativo.

Tabela 4.

Análise da variância com aplicação do teste F para resistência da colagem ao esforço de cisalhamento - *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.
(Variance analysis with application of F test for bonding resistance at the strain of shearing - *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 5.

Teste de Tukey para resistência da colagem ao esforço de cisalhamento ao nível de 5% de probabilidade - *Eucalyptus saligna*.
(Tukey test for bonding resistance at the strain of shearing with 5% of the probability - *Eucalyptus saligna*)

Tratamento ¹		Adesivo								
		Fenol-resorcinol-formol			Acetato de polivinila modificada			Uréia-formol		
Estado		Tensão de ruptura ²	Teste de Tukey ³	Falha na madeira ²	Tensão de ruptura ²	Teste de Tukey ³	Falha na madeira ²	Tensão de ruptura ²	Teste de Tukey ³	Falha na madeira ²
T ₁	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 ₂	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 ₃	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 ₄	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 ₅	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

¹ T₁ = testemunha; T₂ = madeira termorreificada a 120°C; T₃ = madeira termorreificada a 140°C; T₄ = madeira termorreificada a 160°C; T₅ = madeira termorreificada a 180°C.

² Média de doze repetições.

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

Tabela 6.

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

 (Tukey test for bonding resistance at the strain of shearing with 5% of the probability - *Pinus caribaea* var. *hondurensis*)

Tratamento ¹		Adesivo								
		Fenol-resorcinol-formol			Acetato de polivinila modificada			Uréia-formol		
Estado	Tensão de ruptura ² (MPa)	Teste de Tukey ³	Falha na madeira ² (%)	Tensão de ruptura ² (MPa)	Teste de Tukey ³	Falha na madeira ² (%)	Tensão de ruptura ² (MPa)	Teste de Tukey ³	Falha na madeira ² (%)	
										T ₁
	úmido	4,47	A b	82	2,14	B b	20	4,83	A b	58
T ₂	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 ₃	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 ₄	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 ₅	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

¹ T₁ = testemunha; T₂ = madeira termorretrificada a 120°C; T₃ = madeira termorretrificada a 140°C; T₄ = madeira termorretrificada a 160°C; T₅ = madeira termorretrificada a 180°C.

² Média de doze repetições.

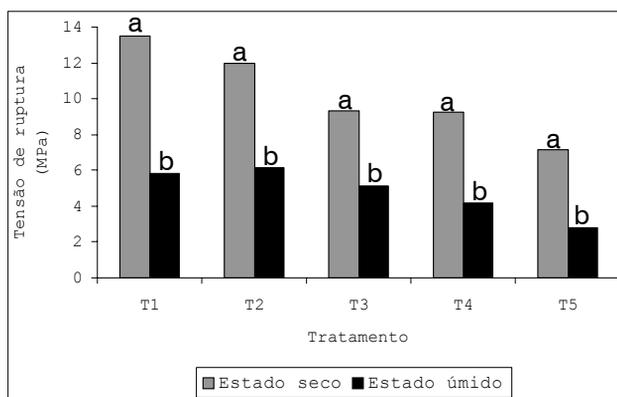
³ Médias com a mesma letra não são significativamente diferentes. As letras maiúsculas comparam adesivo e as minúsculas comparam estado, dentro de cada tratamento.

Figura 1.

 Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos: T₁ = testemunha; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Fenol-resorcinol-formol - *E. saligna*.

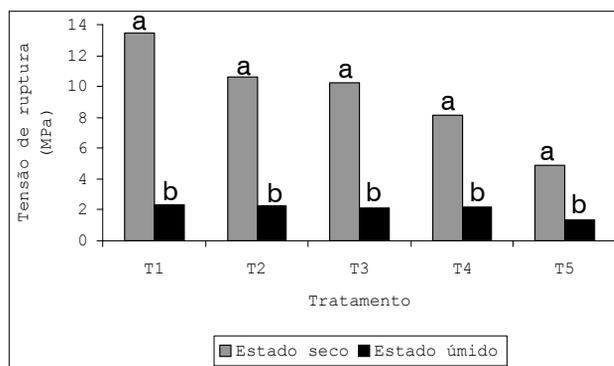
 (Comparative diagram with Tukey test at 5% of the probability for break strain to the treatments: T₁ = witness; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Fenol-resorcinol-formol - *E. saligna*)

Figura 2.

 Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos: T₁ = testemunha; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Acetato de polivinila modificada - *E. saligna*.

 (Comparative diagram with Tukey test at 5% of the probability for break strain to the treatments: T₁ = witness; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Acetato de polivinila modificada - *E. saligna*)

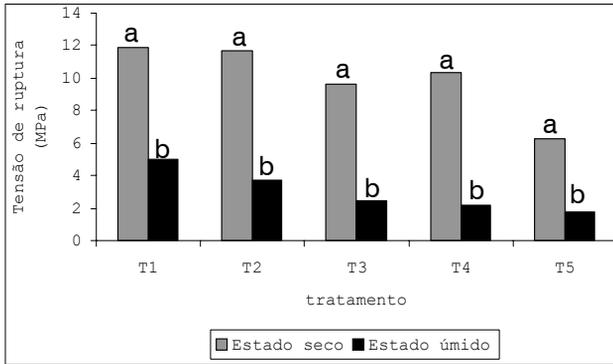
**Figura 3.**

Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos: T₁ = testemunha; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Uréia-formol - *E. saligna*.

Comparative diagram with Tukey test at 5% of the probability for break strain to the treatments: T₁ = witness; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Urea-formol - *E. saligna*.

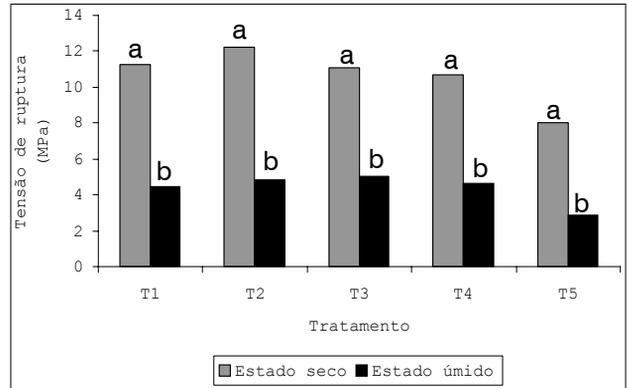
**Figura 4.**

Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos: T₁ = testemunha; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Fenol-resorcinol-formol - *P. caribaea var. hondurensis*. (Comparative diagram with Tukey test at 5% of the probability for break strain to the treatments: T₁ = witness; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Fenol-resorcinol-formol - *P. caribaea var. hondurensis*)

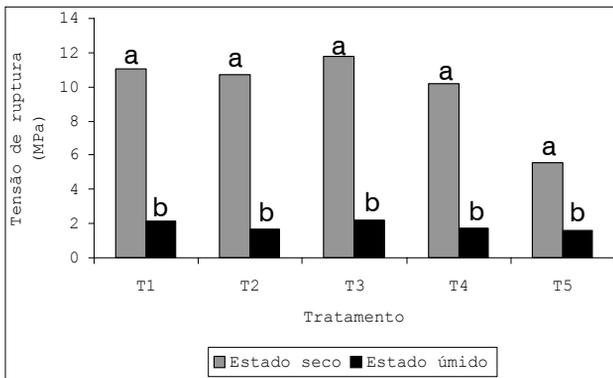
**Figura 5.**

Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos: T₁ = testemunha; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Acetato de polivinila modificada - *P. caribaea var. hondurensis*.

(Comparative diagram with Tukey test at 5% of the probability for break strain to the treatments: T₁ = witness; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Acetato de polivinila modificada - *P. caribaea var. hondurensis*)

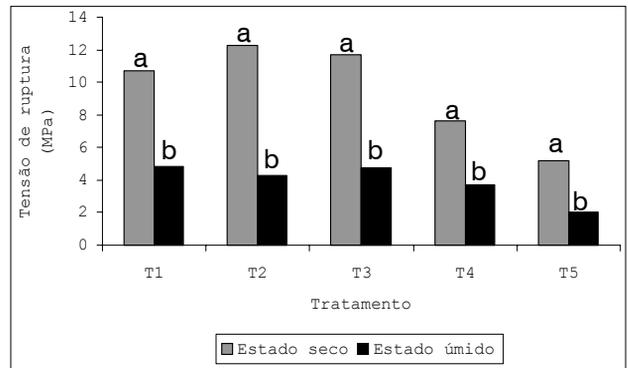
**Figura 6.**

Diagrama comparativo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a tensão de ruptura em função dos tratamentos: T₁ = testemunha; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Uréia-formol - *P. caribaea var. hondurensis*.

(Comparative diagram with Tukey test at 5% of the probability for break strain to the treatments: T₁ = witness; T₂ = 120°C; T₃ = 140°C; T₄ = 160°C; T₅ = 180°C - Urea-formol - *P. caribaea var. hondurensis*)

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 termorreificação. Foi constatado também, para a maioria dos casos, que já a 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, as-

sim como o estado úmido provocou redução da resistência das madeiras coladas. Quanto ao comportamento das colas testadas, as mesmas não diferiram significativamente entre si para as testemunhas e tratamentos a 120 e 140°C, no estado seco. Foram constatadas diferenças significativas para a uréia-formol a 160°C e para o fenol-resorcinol-formol a 180°C, quando comparadas às demais colas. No estado úmido, destaque foi dado para o 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.

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.

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. Isso significa que as colas apresentaram excelentes

interações com o substrato madeira, tanto a testemunha como as madeiras termorretificadas.

Para o estado úmido, destacou-se o 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 do que na linha de colagem, quando a análise leva em conta a superfície de ruptura dos corpos-de-prova ensaiados.

CONCLUSÕES

Para ambas as espécies e para todos os adesivos, considerando-se os estados seco e úmido, as características de colagem não foram afetadas pelas retificações térmicas. A avaliação da porcentagem de ruptura através do teste de cisalhamento, 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 e não na linha de interação madeira / cola.

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

AUTORES

ANA LÚCIA PIEDADE SODERO MARTINS PINCELLI é Mestre em Ciência e Tecnologia de Madeiras pelo Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP. E-mail: anapincelli@netprimavera.com.br

JOSÉ OTÁVIO BRITO é Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ / USP – Av. Pádua Dias, 11 - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13418-900 - e-mail: jotbrito@esalq.usp.br

JOSÉ EDUARDO CORRENTE é Professor Associado do Departamento de Ciências Exatas da ESALQ / USP - Av. Pádua Dias, 11 - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13418-900 - E-mail: jecorren@esalq.usp.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading: ASTM D 905**. Philadelphia, 1994.
- BRITO, J.O. Estudo preliminar de retificação térmica da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7, Curitiba, 1993. **Anais**. Curitiba: SBS / SBEF, 1993. p.774
- 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.
- DUCHEZ, L.; GUYONNET, R. Principles and applications of wood retification. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 5, Lausanne, 1998. **Proceedings**. Lausanne, 1998.
- GOHAR, P.; GUYONNET, R. Development of wood retification process at the industrial stage. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL, 4, Cannes, 1998. **Proceedings**. Cannes, 1998.
- GRAHAM, R.G.; BERGOUIGNOU, 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. Tese (Doutorado). Université Mohamed V
- MACHINERY BUSINESS SOCIETY. **The perdure wood**. Saint-Claire, 1997. 12p.
- MARRA, G.G. The role of adhesion and adhesives in the wood products industry. In: SYMPOSIUM ON WOOD ADHESIVES RESEARCH, APPLICATION AND NEEDS, Madison, 1980. **Proceedings**. Madison: Forest Products Laboratory, 1980. p.1-8
- NBS – NATIONAL BUREAU OF STANDARDS. **Construction and industrial plywwod with typical APA grade-trademarks: US Product Standard PS 1-74**. Wahington, 1974.
- 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
- WEILAND, J.J.; GUYONNET, R.; GIBERT, R. Analyse de la pyrolyse menagée du bois par un couplage TG-DSC-IRTF. **Journal of thermal analysis**, v.51, p.265-274, 1998.