

Estudo da interface madeira-adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden.

Study of the interface wood - adhesive joints glued with resorcinol-formaldehyde and wood from *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden.

Vanessa Cristina do Sacramento Albino¹, Fábio Akira Mori² e Lourival Marin Mendes³

Resumo

A compreensão da interação dos substratos madeira-adesivo é de grande importância, pois tal conhecimento contribuirá para a confecção de produtos de madeira de boa qualidade. Objetivou-se nesse estudo avaliar a interface madeira-adesivo por meio de fotomicrografias, mensuração da espessura da linha de cola principal, teste de resistência ao cisalhamento e percentagem de falhas na madeira utilizando juntas coladas provenientes das posições radial e longitudinal da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Prepararam-se juntas coladas de acordo com a norma ASTM D 2339-98. Para a visualização da interface madeira-adesivo retiraram-se duas amostras de cada posição (radial e longitudinal) da tora, sendo que de cada uma retirou-se um cubo central de 0,5 cm³ que foi amolecido em água e posteriormente procedeu-se o seccionamento em micrótopo de deslizamento. Verificou-se que foi possível visualizar a linha de cola produzida pela ligação entre o adesivo e a madeira. Pode-se observar a penetrabilidade do adesivo na estrutura anatômica da madeira. Tanto os valores médios da espessura da linha de cola principal quanto os valores médios da resistência ao cisalhamento, densidade básica e percentagem de falhas na madeira variaram no sentido radial da tora. No sentido longitudinal, tanto os valores médios da espessura da linha de cola quanto os valores médios da resistência ao cisalhamento e da percentagem de falhas na madeira variaram de uma extremidade a outra da tora. Em relação à densidade básica da madeira essa apresentou valores médios iguais no sentido longitudinal da tora.

Palavras-Chave: interface madeira-adesivo, eucalipto, linha de cola.

Abstract

Understanding the interaction of wood-adhesive substrates is of great importance, because such knowledge will contribute to the making of wood products of good quality. The objective of this study was to evaluate the wood-adhesive interface in photomicrographs, measuring the thickness of glue line main, shear strength test and percentage of failure in bonded joints using wood from the radial and longitudinal positions of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Bonded joints were prepared in accordance with ASTM D 2339-98. To visualize the wood-adhesive interface, two samples of each position (radial and longitudinal) were taken from the log and from each a central hub of 0.5 cm³ was taken, and this was softened in water and then used to the sliding microtome sectioning. It was possible to see the glue line produced by the connection between the adhesive and wood. The penetration of the adhesive in the anatomical structure of wood could be seen. Both the average thickness of glue line on the main average values of shear strength, basic density and percentage of failures in wood varied in the radial direction of the log. Longitudinally, both the average thickness of glue line and the average values of shear strength and the percentage of failures in the wood varied from one end of the log to the other. Regarding the basic density of wood, these presented the same mean values in the longitudinal sense of the log.

Keywords: wood-adhesive interface, eucalyptus, glue line.

INTRODUÇÃO

Com a crescente utilização de produtos à base de compostos de madeira torna-se importante compreender a interação da interface

entre a madeira e o adesivo utilizado na confecção de produtos colados, principalmente em relação à madeira do gênero *Eucalyptus*, que apresenta rápido crescimento, boa produtividade e grande capacidade de adaptação, além

¹Mestre em Ciência e Tecnologia da Madeira pela Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: vanessa.floresta@hotmail.com

²Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: morif@ufla.br

³Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: lourival@ufla.br

de representar uma grande área no que se refere a florestas plantadas.

Os principais componentes em uma ligação adesiva são: adesivo, adesão e aderentes. Industrialmente, os adesivos têm sido utilizados para produzir uma gama de produtos de madeira de alto valor, tais como vigas laminadas, compensados, OSB e aglomerados (SINGH *et al.*, 2008). A função de um adesivo, além de aderir dois substratos, é fluir e preencher espaços vazios entre as juntas a serem coladas, diminuindo assim, a distância entre elas, gerando interações entre o próprio adesivo e o substrato (PIZZI, 1994).

Sernek *et al.* (1999) definem penetração do adesivo como a distância espacial a partir da interface do substrato adjacente. A profundidade da penetração do adesivo determina o tamanho da região de interface, que Brady e Kamke (1988) definem como o volume que contém células de madeira e adesivo.

A adesão (fenômeno interfacial ou a energia de separação de dois substratos) entre a madeira e o adesivo depende de uma série de fatores como, as características inerentes à própria madeira (anatomia, química e física), características do adesivo (químicas e físicas) e do processo adotado durante a colagem propriamente dita.

Os mecanismos envolvidos no processo de adesão podem ser explicados pelas teorias mecânicas, difusão de polímeros e adesão química (MARRA, 1992).

Segundo Schultz e Nardin (1994), a teoria da adesão mecânica parte de uma chave mecânica, ou ancoramento, do adesivo dentro de cavidades, poros e asperezas da superfície da madeira. O aumento da adesão mecânica pode ser atribuído simplesmente ao aumento da área interfacial devido à rugosidade da superfície e não as características do substrato. A teoria da difusão de polímeros admite que a adesão ocorra através da difusão de segmentos de cadeias de polímeros a nível molecular através da interface, que permite consequentemente uma absorção gradual. E a teoria da adesão química admite que a adesão ocorra através de ligações primárias iônicas ou covalentes, e/ou por forças intermoleculares secundárias que ocorre entre o adesivo e o substrato. A formação da ligação química irá depender da reatividade entre o adesivo e o substrato.

Na prática, diversos mecanismos de adesão ocorrem simultaneamente no processo de colagem da madeira (SCHULTZ e NARDIN, 1994).

A influência da anatomia da madeira no processo de colagem está relacionada à sua estrutura

no que se refere às diferenças de dimensões dos elementos celulares, tamanho, disposição e frequência das cavidades celulares que, por sua vez, estão relacionadas com a porosidade e permeabilidade da madeira, ou seja, essas características influenciam na mobilidade e penetrabilidade do adesivo (MARRA, 1992; PIZZI, 1994).

A madeira laminada colada é um produto utilizado na construção de pequenas passarelas, escadas, abrigos, cobertura, pontes e vigas estruturais. São peças reconstituídas a partir de lâminas de madeira (tábuas), que são de dimensões relativamente reduzidas se comparadas às dimensões da peça final assim constituída. Essas lâminas, que são coladas, ficam dispostas de tal maneira que as fibras da madeira fiquem paralelas entre si (SZUCS *et al.*, 2006). Assim, na madeira laminada colada é possível ver a linha de cola em um plano transversal e em um plano longitudinal.

Os estudos que envolvem o conhecimento científico sobre a colagem da madeira de eucalipto são escassos, principalmente no que se refere a interação desta madeira com adesivos sintéticos existentes no mercado. Os estudos já realizados estão mais voltados para o comportamento da resistência das juntas coladas, mas não trazem informações de como essa resistência é formada, ou seja, como ocorreu a interação do adesivo com a madeira.

O objetivo desse estudo foi avaliar a interface madeira – adesivo por meio de fotomicrografias, mensuração da espessura da linha de cola principal, teste de resistência ao cisalhamento e percentagem de falhas na madeira utilizando juntas coladas provenientes das posições radial e longitudinal da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

MATERIAL E MÉTODOS

Material de estudo e caracterização da área

Utilizou-se madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, provenientes de duas árvores cultivadas no município de Lavras, MG. As árvores apresentavam 18 anos de idade, altura média de 12,50 m e diâmetro médio de 23 cm a 1,30 m do solo.

A cidade de Lavras, no Sul de Minas, localiza-se nas coordenadas 21°14'S de latitude e longitude de 45°00'W, à altitude média de 900 m. A precipitação média anual está em torno de 1.400 mm e a temperatura média anual é de 19,4° C. A área de plantio possui relevo declivoso, com predomi-

nância de solo podzólico. O plantio foi feito em covas, com espaçamento de 2 x 2 m. Na área realizaram-se desbastes sucessivos e corte seletivo.

Obtenção das tábuas

De cada árvore retirou-se uma tora com 4 metros de comprimento, sendo esta obtida a partir da base da árvore. As toras foram processadas na forma de tábuas com espessuras médias de 25 mm (Figura 1). Foram obtidas amostras próximo à medula (A), próximo à casca (C) e à região intermediária (B) (Figura 2). Tais amostras foram secas ao ar livre e após a secagem foram cortadas em três posições adjacentes considerando-se o sentido longitudinal da tora, a partir das quais obteve-se tábuas de 1,3 m de comprimento que foram consideradas como posição I (região próxima à base da árvore), posição II (região que compreende o meio da tora) e posição III (extremidade oposta à posição I).

Confecção das juntas coladas e avaliação da colagem nas diferentes posições da tora

As tábuas obtidas foram processadas para obtenção de peças de madeira (lamelas), nas dimensões de 0,5 x 10 x 30 cm (espessura x largura x comprimento), destinadas à preparação das juntas coladas de acordo com a norma ASTM D 2339-98 (ASTM, 2000).

O material obtido foi acondicionado em uma câmara de climatização a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura a $60 \pm 2\%$ de umidade relativa, para posterior colagem, ficando a madeira com umidade média final em torno de 12%.

O adesivo utilizado foi o resorcinol - formaldeído (Cascophen- RS-216) com adição de endurecedor (FM), na proporção de uma para cinco partes de adesivo.

A gramatura do adesivo utilizada foi de 250 g/m² aplicado em face dupla. O adesivo foi preparado previamente antes de seu emprego e espalhado sobre as superfícies com auxílio de um pincel. As juntas foram imediatamente fechadas (sem aplicação de pressão) e permaneceram por aproximadamente 15 minutos, sendo, então, prensadas a frio em prensa hidráulica elétrica com uma pressão de 12 kgf/cm² durante 24 horas. Foram confeccionados 36 pares de juntas por árvore, resultado de um delineamento fatorial completo do tipo 3 x 3 x 3, correspondentes às combinações entre posição radial, posição longitudinal e três repetições.

Após a colagem, as juntas foram novamente acondicionadas na câmara de climatização, nas mesmas condições já citadas, por aproximadamente 15 dias e então foram desdobradas em 12 corpos de prova cada uma (Figura 3).

Foram realizados testes de resistência ao cisalhamento em todos os corpos de prova, em uma máquina de ensaio pneumática, marca Contenco-Pavitest Cisalhamento na Colagem 1.01-0, modelo I 4230, instalada no Laboratório de Adesão e Adesivos na Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira DCF - UFLA, Lavras, MG. Após a ruptura, a quantificação da percentagem de falhas na madeira, foi realizada por quatro pessoas da área de Ciência e Tecnologia da Madeira, inspecionando todos os corpos de prova, com o auxílio de uma lâ-

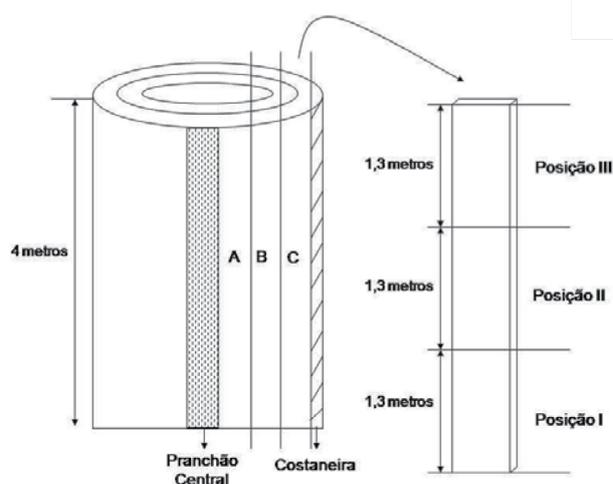


Figura 1. Esquema de obtenção das tábuas: vista frontal da tora.

Figure 1. Scheme for obtaining the boards: front view of the log.

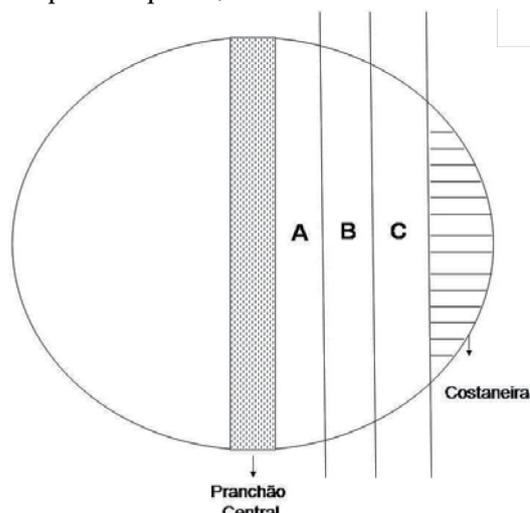


Figura 2. Esquema de obtenção das tábuas: vista superior da tora. A: região próxima à medula; B: região intermediária; C: região próxima à casca.

Figure 2. Scheme for obtaining the boards: top view of the log. A: region close to the pith; B: intermediate region; C: region close to the bark.

mina reticulada. As avaliações da percentagem de falhas na madeira foram julgadas pela norma ASTM D-3110 (ASTM, 1994).

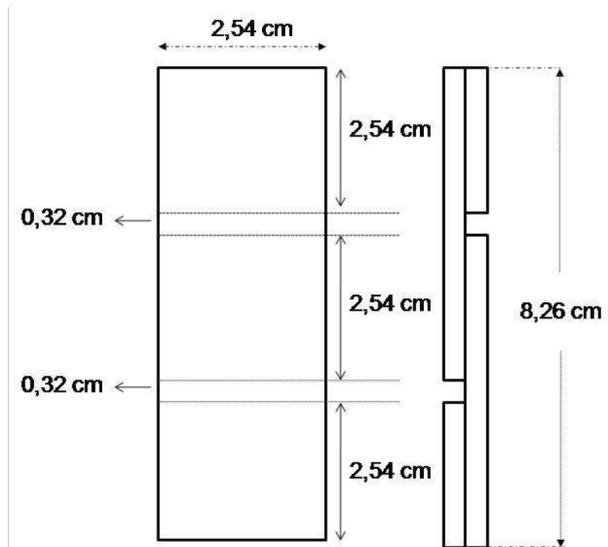


Figura 3. Esquema do corpo de prova de acordo com a norma ASTM D 2339-98.

Figure 3. Schematic of the sample according to ASTM D 2339-98.

Visualização da interface madeira-adesivo

Para a visualização da interface madeira-adesivo foram retirados duas amostras de cada posição (radial e longitudinal) da tora. Em cada amostra foi cortado um cubo central de 0,5 cm de aresta, conforme Figura 4. Os cubos ficaram em um dessecador com água até ficarem macios ao corte. Realizou-se o seccionamento das amostras (cubos) em micrótomo de deslizamento modelo Jung SM 2000, com espessura de 18 micrômetros, utilizando-se navalha específica para madeira tipo C. Os cortes obtidos da direção transversal e da direção longitudinal foram fixados em lâminas permanentes com o adesivo Entellan®.

Foram feitas duas lâminas de cada amostra (cubo) contendo cortes da face transversal e da face longitudinal. Para a obtenção da espessura média da linha de cola principal realizaram-se, em cada corte, 40 medições ao longo da mesma (indicadas pelas setas no esquema da Figura 5). Cada medição foi feita de uma extremidade a outra na largura da linha de cola. Utilizou-se o software de análise de imagem (Wincell Pro) pertencente ao Laboratório de Anatomia da Madeira do DCF - UFPA. As fotomicrografias foram feitas usando câmera digital Olympus BX51 e programa Image Pro-Plus 5.1.

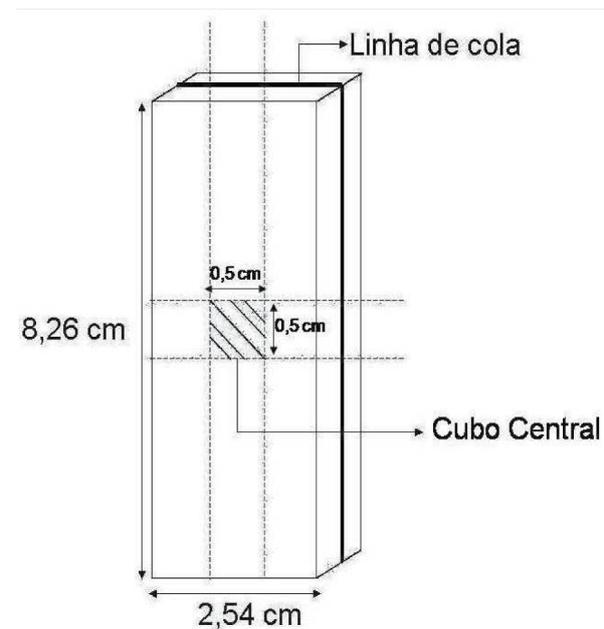


Figura 4. Esquema de corte do cubo central.

Figure 4. Scheme cutting of the central block.

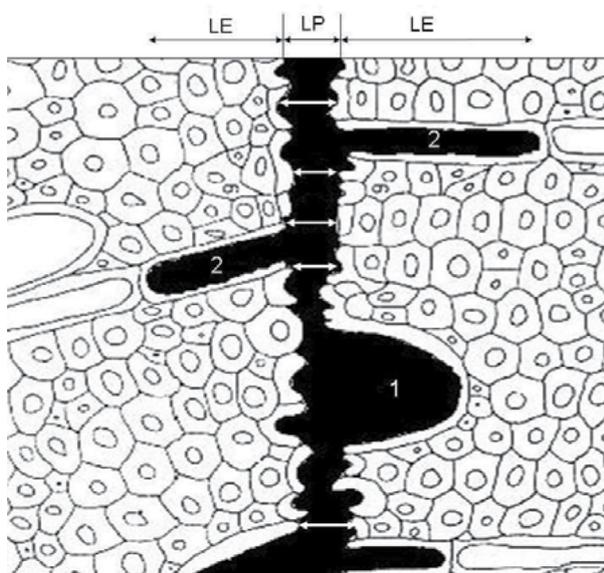


Figura 5. Esquema da mensuração da espessura da linha de cola. LP: linha de cola principal; LE: linha de cola estendida; 1: vaso preenchido com adesivo; 2: raios preenchidos com adesivo. As setas indicam onde foi mensurada a espessura da linha de cola. Adaptado de Tsoumis (1991).

Figure 5. Scheme of measuring the thickness of glue line. LP: main glue line; LE: glue line extended; 1: vessel filled with adhesive, 2: Rays filled with adhesive. Arrows indicate where it was measured the thickness of glue line Adapted Tsoumis (1991).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados através da avaliação das fotomicrografias, mensuração da espessura da linha, teste de resistência ao cisalhamento e percentagem de falhas na madeira das juntas coladas provenientes das posições radial e longitudinal da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

Interface madeira-adesivo

As Figuras de 6 a 8 mostram a interface madeira - adesivo das juntas coladas com adesivo resorcinol-formaldeído da madeira de *Eucalyptus grandis*.

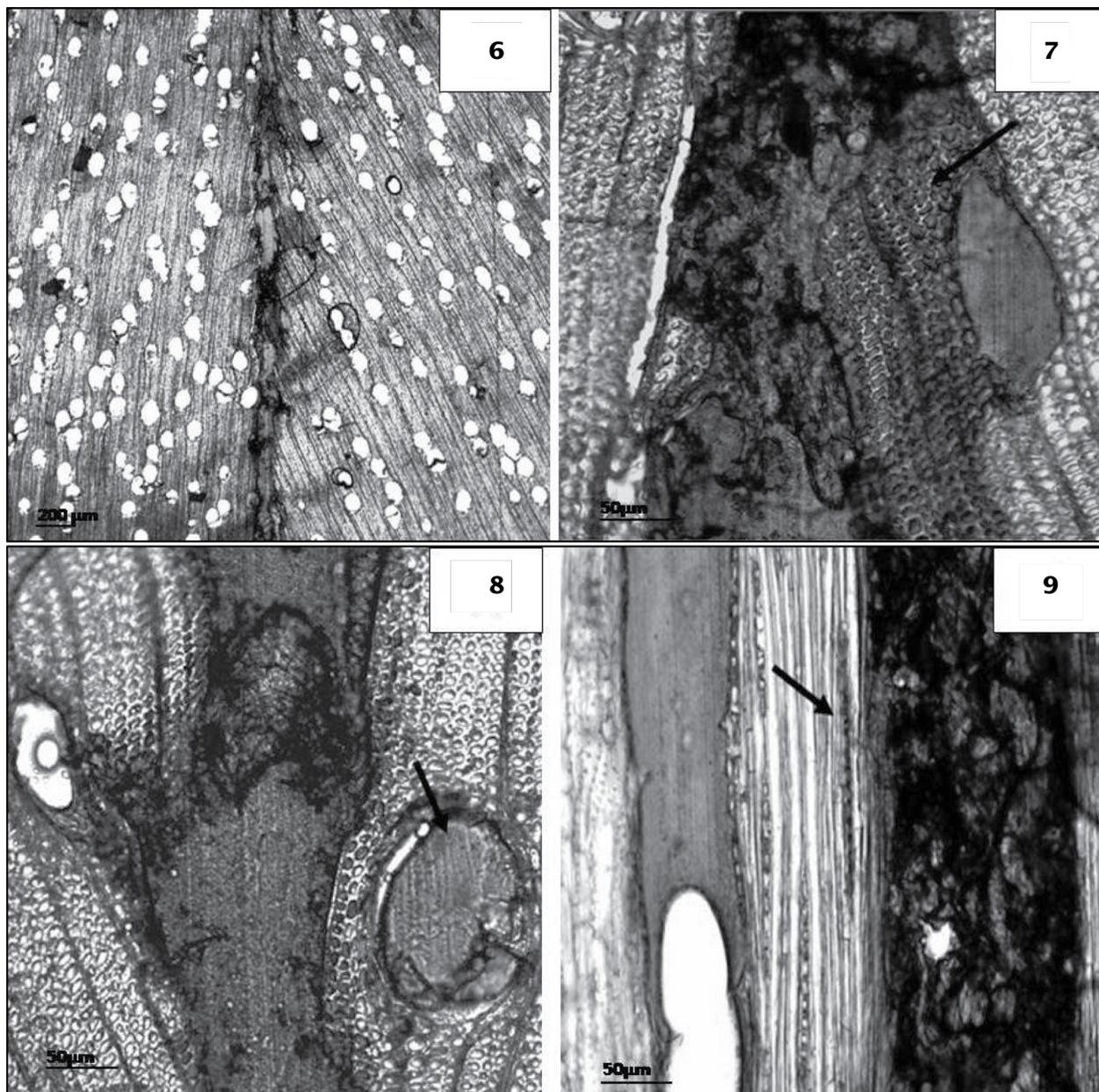
Por meio das fotomicrografias foi possível distinguir o adesivo (de coloração marrom - avermelhada) na estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus grandis*.

Na Figura 6 é possível ver que a linha de cola se apresenta de maneira desuniforme, ou seja, ela não possui a mesma espessura ao longo da interface.

Pode - se observar a penetrabilidade do adesivo na estrutura anatômica da madeira. Houve a penetração do adesivo nos elementos de vasos (indicado pela seta da Figura 8), no lume das fi-

bras (indicado pela seta na Figura 7) e ao longo dos raios (indicado pela seta na Figura 9). Na Figura 9, pode-se notar que a placa de perfuração não foi preenchida pelo adesivo.

Chandler *et al.* (2005) mencionam que a penetração do adesivo na estrutura da madeira só é possível quando há boas condições de molhabilidade e que a criação de um vínculo entre o adesivo e a madeira requer uma quantidade de adesivo suficiente para penetrar na estrutura da madeira e estabelecer a ligação entre esses dois componentes. Sendo assim, pode-se dizer que a superfície da madeira apresentava boas condições para a ligação e que a quantidade de adesivo utilizada foi suficiente.



Figuras 6-9. Fotomicrografias da interface madeira - adesivo, nas faces transversais (6 a 8) e longitudinal (9) das juntas coladas da madeira de *Eucalyptus grandis* com adesivo resorcinol-formaldeído. As setas indicam a penetração do adesivo (coloração marrom-avermelhada) na estrutura anatômica da madeira.

Figures 6-9. Photomicrographs of the interface wood - adhesive, cheeks cross (6 a 8) and longitudinal (9) of the glue joints of *Eucalyptus grandis* with resorcinol-formaldehyde adhesive. The arrows indicate the penetration of adhesive (reddish-brown color) in the anatomical structure of wood.

Os elementos de vaso são células com perfurações em suas paredes terminais e/ou laterais e essas células se comunicam através dessas perfurações, que são regiões completamente abertas, desprovidas de paredes primárias e secundárias. A dimensão dos elementos dos vasos quando comparada à dimensão das fibras é muito maior. Essas características podem ter contribuído para a entrada do adesivo nessa estrutura e assim formado uma maior região de ancoramento entre os elementos de vaso. Como os mesmos se dispõem um sobre o outro em séries longitudinais, formando longos tubos de comprimento variado, o adesivo pode fluir de um vaso para outro.

A parte perfurada da parede do elemento de vaso é chamada placa de perfuração, que é uma região desprovida de parede primária e secundária. Como essa estrutura não apresenta parede, não foi possível haver o ancoramento do adesivo na mesma e assim ocorrer a ligação entre esses dois elementos (Figura 9).

As fibrotraqueídes (fibras) são células alongadas, não perfuradas, com pontuações areoladas nas suas paredes que são responsáveis pela resistência mecânica da madeira. Em seu interior encontra-se o lume, canal central circundado pela parede celular da fibra. Esse canal facilita a penetração do adesivo na estrutura das fibras, formando assim a ligação entre o adesivo e a madeira.

Os raios são feixes horizontais de comprimento indeterminado, formado por células parenquimáticas, dispostas radialmente no tronco. Uma das funções dos raios é a de transporte e

essa função é possível devido às células parenquimáticas que possuem parede celular com células de transferência que são modificadas para permitir o transporte, que em geral é de curta distância. A penetração do adesivo nas células de raio pode ter ocorrido através das células de transferência.

Além do preenchimento das células próximas à linha de cola principal, houve também o preenchimento das cavidades celulares adjacentes a ela, aumentando assim a profundidade da ligação melhorando, possivelmente, a adesão entre o adesivo e a madeira.

Análise da espessura da linha de cola principal e qualidade de colagem, para as posições radial e longitudinal

Nas Tabelas 1 e 2 estão inseridos os valores médios e os coeficientes de variação para a espessura da linha de cola, densidade básica da madeira, resistência ao cisalhamento e percentagem de falhas na madeira para as juntas coladas com adesivo resorcinol-formaldeído para as posições radial e longitudinal, respectivamente.

No sentido radial da tora é possível perceber que a espessura da linha de cola principal variou, sendo maior na região próxima à medula e menor na região próxima à casca.

Quanto à densidade básica da madeira e a resistência ao cisalhamento, as duas variáveis foram maiores na região próxima à casca e menor na região próxima à medula. E a percentagem de falha na madeira foi maior na região próxima à medula e menor na região próxima à casca.

Tabela 1. Variação da espessura da linha de cola, densidade básica da madeira, resistência ao cisalhamento e percentagem de falhas na madeira para a posição radial.

Table 1. Variation of the thickness of glue line, basic density wood, shear strength and percentage of failures in the wood for the radial position.

Parâmetros	Posição Radial					
	Medula		Intermediária		Casca	
	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)
Espessura da linha de cola (μm)	164,00	10,61	129,00	15,38	109,00	17,60
Densidade básica (g/cm^3)	0,55	15,37	0,55	6,94	0,64	4,22
Resistência ao cisalhamento (Mpa)	3,81	16,64	4,72	10,99	5,73	10,42
Percentagem de falhas na madeira (%)	97,15	28,71	93,04	12,35	76,96	34,19

CV: Coeficiente de variação

Tabela 2. Variação da espessura da linha de cola, densidade básica da madeira, resistência ao cisalhamento e percentagem de falhas na madeira para a posição longitudinal.

Table 2. Variation of the thickness of glue line, basic density wood, shear strength and percentage of failures in the wood for the longitudinal position.

Parâmetros	Posição Longitudinal					
	Posição I		Posição II		Posição III	
	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)
Espessura da linha de cola (μm)	141,00	13,36	143,00	13,11	118,00	17,12
Densidade básica (g/cm^3)	0,58	8,80	0,58	6,16	0,58	11,57
Resistência ao cisalhamento (Mpa)	4,82	13,96	4,78	11,58	4,67	12,52
Percentagem de falhas na madeira (%)	84,22	37,79	90,09	14,51	92,84	22,96

CV: Coeficiente de variação

No sentido longitudinal da tora, tanto a espessura da linha de cola quanto à resistência ao cisalhamento sofreram decréscimo no sentido da posição I para a posição III. E a percentagem de falhas na madeira sofreu acréscimo nesse sentido. Quanto à densidade básica da madeira essa teve o mesmo comportamento nas três posições do sentido longitudinal.

A região próxima à casca é uma região de alburno que possui células fisiologicamente ativas e, conseqüentemente, mais permeável. Este fato pode ter contribuído para a entrada do adesivo na região adjacente à linha de cola principal, fazendo com que esta apresentasse uma espessura menor. Porém, com uma maior profundidade do adesivo na madeira, pode ter ocorrido uma forte ligação e contribuído para a maior resistência nessa região.

A região próxima à medula é uma região que possui baixa densidade, o que favorece a entrada do adesivo nas células. Porém a entrada excessiva de adesivo nas células ocasiona linha de cola "faminta" provocando um elo de ligação mais fraco e, conseqüentemente, baixa resistência ao cisalhamento.

Segundo Burguer e Richter (1991) em algumas madeiras de folhosas, durante a formação do cerne, ocorre a oclusão de vasos por tiloses. A tilose provoca entupimento dos poros e, conseqüentemente, reduz de forma significativa a permeabilidade da madeira com relação ao adesivo. Na posição III da tora pode ter ocorrido tal fato ocasionando menor resistência na junta colada.

A posição I da tora é a mais próxima da base da árvore. Esta região possui células com maiores comprimentos e constituídas com paredes mais espessas, tanto nas fibras como nos vasos. Tais características podem contribuir para a formação de uma linha de cola mais resistente. A elevada resistência das juntas coladas associada à baixa percentagem de falhas na madeira pode ter ocorrido devido à própria espécie de eucalipto estudada indicando que as condições de adesão podem não ser indicadas para tal espécie.

Segundo Tsoumis (1991), quanto maior a espessura da linha de cola menor será a resistência da junta colada. Tal fato ocorreu no sentido radial da tora, pois quando ocorreu uma linha de cola com uma menor espessura ocorreu maior resistência ao cisalhamento. Porém no sentido longitudinal este fato não ocorreu, sendo que na posição I da tora observou-se uma linha de cola com maior espessura e resistência ao cisalhamento também maior.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados por este trabalho, pode-se concluir que:

- Foi possível visualizar a linha de cola produzida pela ligação entre o adesivo resorcinol-formaldeído e a madeira de *Eucalyptus grandis* distinguindo o adesivo na estrutura anatômica da madeira, pois a coloração marrom-avermelhada do adesivo favoreceu tal observação.
- Pode-se observar a penetrabilidade do adesivo na estrutura anatômica da madeira.
- O adesivo foi além da interface madeira – adesivo, preenchendo as cavidades celulares adjacentes a linha de cola principal.
- Tanto os valores médios da espessura da linha de cola principal quanto os valores médios da resistência ao cisalhamento, densidade básica e percentagem de falhas na madeira variaram no sentido radial da tora.
- No sentido longitudinal, tanto os valores médios da espessura da linha de cola quanto os valores médios da resistência ao cisalhamento e da percentagem de falhas na madeira variaram de uma extremidade a outra da tora.
- Em relação à densidade básica da madeira essa apresentou valores médios iguais no sentido longitudinal da tora.

AGRADECIMENTOS

Ao Cnpq- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D-3110 Standard specification for adhesives used in nonstructural glued lumber products. In: _____ **Annual book of ASTM standards: adhesives**. Philadelphia: ASTM, 1994. 600p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D2339-98 Standard test method for strength properties of adhesives in two-ply wood construction in shear by tension loading. In: **Annual book of ASTM standards**. Philadelphia: 2000. 600 p

BURGUER, M.L.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 224p.

- BRADY, D.A.; KAMKE, F.A. Effects of hot-pressing parameters on resin penetration. **Forest Products Journal**, Madison, v.38, n.11/12, p.63-68, 1988.
- CHANDLER, J. G.; BRANDON, R. L.; FRIHART, C. R. Examination of adhesive penetration in modified wood using fluorescence microscopy. In: ASCSPRING 2005 CONVENTION AND EXPOSITION, 2005, Columbus, **Anais eletrônicos...** Bethesda: Adhesive and Sealant Council, 2005. 10p. Disponível em: <<http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/23115>>. Acesso em 01 set. 2010.
- MARRA, A.A. **Technology of wood bonding: principles and practice**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 454 p.
- PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: M. Dekker, 1994. 289 p.
- SCHULTZ, J.; NARDIN, M. Theories and mechanisms of adhesion. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. (Eds.). **Handbook of adhesive technology**. New York: M. Dekker, 1994. p.19-32.
- SERNEK, M.; RESNIK, J.; KAMKE, F.A. Penetration of liquid urea-formaldehyde adhesive into beech wood. **Wood and Fiber Science**, Madison, v.31, n.1, p.41-48, 1999.
- SINGH, A.P.; DAWSON, B.; RICKARD, C.; BOND, J.; SINGH, A. Light, confocal and scanning electron microscopy of wood-adhesive interface. **Microscopy and Analysis**, Surrey, v.22, n.3, p.5-8, 2008.
- SZUCS, C.A.; TEREZO, R.F.; VALLE, Â.; MORAES, P.D. **Estruturas de madeira**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. 186 p. Apostila. Disponível em: <<http://www.ecv.ufsc.br/secdepto/graduacao/planoensino/AEstruturaMadeiras.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2009.
- TSOUMIS, G. Adhesion and adhesives. In: _____ **Science and technology of wood**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1991. Cap.21, p.327-338.

Recebido em 23/03/2010

Aceito para publicação em 14/07/2010