



**PAINEL ESTRUTURAL DE LÂMINAS PARALELAS
(PLP) DE *Eucalyptus grandis* UTILIZANDO ADESIVO
RESORCINÓLICO, TANINO E POLIURETANO
DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA**

Renata Renzo

2008

RENATA RENZO

**PAINEL ESTRUTURAL DE LÂMINAS PARALELAS (PLP) DE
Eucalyptus grandis UTILIZANDO ADESIVO RESORCINÓLICO,
TANINOS E POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Fábio Akira Mori

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Renzo, Renata.

Painel estrutural de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona / Renata Renzo. – Lavras : UFLA, 2008.

115 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Fábio Akira Mori.

Bibliografia.

1. Painéis estruturais de lâminas paralelas. 2. *Eucalyptus grandis*. 3. Adesivos alternativos. 4. Propriedades. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.836

RENATA RENZO

PAINEL ESTRUTURAL DE LÂMINAS PARALELAS DE *Eucalyptus grandis* UTILIZANDO ADESIVO RESORCINÓLICO, TANINOS E POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 28 de novembro de 2008

Prof. Dr. Fábio Akira Mori UFLA

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes UFLA

Prof. Dr. Francisco Carlos Gomes UFLA

Prof. Dr. Fábio Akira Mori
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Ao meu pai, minha mãe, minhas irmãs, meus sobrinhos, meu cunhado
meus avós, minha tia, meus sogro e sogra e meu amado esposo,

OFEREÇO

Aos meus amados pais, Roberto Carlos Renzo e Sonia Regina Menha
Renzo, pelos ensinamentos e amor incondicional.

Aos meus avós, Benedito Pedroso e Egidia Pedroso, por tudo que foram e são
em minha vida.

A minha amada tia, Rachel Pedroso, pelo amor, carinho e respeito.

As minhas maravilhosas irmãs, Claudía e Roberta, minhas eternas amigas.

Aos meus queridos sogros, Zé Antônio e Vanda, meus pais adotivos que tanto
admiro.

Aos meus lindos sobrinhos, João Pedro, Júlia e Matheus, que amo tanto.

Ao meu amor, Daniel, por me ensinar a ser uma pessoa melhor, mais generosa e
mais justa, estando sempre ao meu lado, me confortando e me amando sempre.

Com toda minha gratidão e amor.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado, me ensinando, respeitando e amando e a quem devo eterna gratidão.

A meus avós e tia, que sempre apoiaram minhas decisões e me aconselharam em momentos precisos, com grande sabedoria e amor.

A minhas irmãs, que sempre estarão presentes no meu coração.

Aos meus sobrinhos que, com toda pureza, me fazem ver a vida de uma forma positiva, acreditando sempre em meus sonhos.

A meus queridos Zé e Vanda, que hoje fazem parte da minha vida e certamente o serão por muito tempo.

Ao meu amor, Daniel, meu maior incentivador e companheiro, alguém que sempre vou amar, respeitar e que quero sempre ter ao meu lado.

Aos meus amigos, que sempre me acompanharam, mesmo a distância e àqueles que fiz nesses últimos anos e que foram fundamentais nessa vitória.

Ao Heber e a Taciana, que me ajudaram no desenvolvimento e na conclusão deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade de realização do mestrado.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

À Fapemig, pelo apoio financeiro na execução desta pesquisa.

À ALBA Química e à TANAC adesivo, pela doação dos adesivos resorcinólico e taninos neste trabalho.

Ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo, em São Carlos, pela doação do adesivo poliuretano de óleo de mamona utilizado neste trabalho.

Aos professores Fábio Akira Mori, Lourival Marin Mendes e Francisco Carlos Gomes, pela orientação acadêmica e incentivo.

Ao professor Francisco Rodarte, pelo apoio e amizade.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciências Florestais
e do curso de Ciência e Tecnologia da Madeira da UFLA.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo Geral.....	3
2.2. Objetivos Específicos.....	3
3. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	4
3.1. O Brasil e o mercado de produtos florestais.....	4
3.2. O gênero <i>Eucalyptus</i>	6
3.2.1. <i>Eucalyptus grandis</i> (Hill ex-Maiden)	8
3.3. Produtos reconstituídos de madeira.....	9
3.3.2. Painéis estruturais.....	10
3.4. Adesivos estruturais.....	13
3.4.1. Adesivo fenol-formaldeído.....	15
3.4.2. Adesivo resorcinol-formaldeído.....	16
3.4.3. Adesivo Tanino-formaldeído.....	16
3.4.4. Adesivo poliuretano à base de mamona.....	17
3.5. Painéis estruturais de lâminas paralelas.....	19
3.5.1. Processos de produção.....	20
3.5.2. Fatores que interferem nas propriedades dos painéis de lâminas paralelas.....	23
3.5.3. Vantagens de utilização.....	24
3.5.4. Utilizações.....	24
3.5.5. Mercado do LVL.....	25
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1. Material utilizado.....	26
4.2. Amostragem.....	26

4.3. Processamento das toras.....	27
4.4. Obtenção de lâminas.....	28
4.5. Armazenamento e secagem das lâminas.....	30
4.6. Seleção das lâminas.....	30
4.7. Montagem dos painéis de lâminas paralelas.....	32
4.8. Adesivos empregados.....	33
4.9. Preparo das composições adesívicas.....	33
4.10. Aplicação das composições adesívicas.....	34
4.11. Prensagem dos painéis.....	35
4.12. Confecção dos corpos-de-prova.....	36
4.13. Ensaio das propriedades físicas.....	39
4.14. Ensaio das propriedades mecânicas.....	40
4.15. Ensaio de cisalhamento em linha de cola por tração.....	41
4.16. Análise Estatística.....	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5.1. Propriedades da madeira.....	44
5.1.1. Análise química da madeira.....	44
5.1.2. Massa específica básica.....	44
5.2. Propriedades físicas dos painéis de lâminas paralelas.....	45
5.2.1. Massa específica do painel.....	45
5.2.2. Absorção de água após 24 horas – imersão em água.....	47
5.2.3. Umidade.....	52
5.3. Propriedades mecânicas dos painéis de lâminas paralelas.....	56
5.3.1. Flexão estática paralela e perpendicular à linha de cola.....	56
5.3.1.1. Módulo de Elasticidade - MOE (perpendicular).....	56
5.3.1.2. Módulo de Ruptura – MOR (perpendicular).....	58
5.3.1.3. Módulo de Elasticidade – MOE (paralela).....	60
5.3.1.4. Módulo de Ruptura – MOR (paralela).....	63

5.3.2. Compressão paralela às fibras.....	66
5.3.3. Cisalhamento em linha de cola por tração.....	69
6. CONCLUSÕES.....	76
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
8. RECOMENDAÇÕES.....	78
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS.....	89

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Diagrama das etapas de produção contínua de LVL.....	21
FIGURA 2 - Árvore-amostra por procedências.....	27
FIGURA 3 - Tanque utilizado para acondicionamento das toras.....	28
FIGURA 4 - Torno mecânico desenrolador.....	29
FIGURA 5 - Processo de guilhotinagem das lâminas.....	29
FIGURA 6 - Equipamento de medição <i>Stress wave timer</i> da marca Metriguard.....	31
FIGURA 7 - Composição do painel LVL.....	32
FIGURA 8 - Misturador mecânico vertical.....	34
FIGURA 9 - Aplicação do adesivo.....	35
FIGURA 10 - Prensagem dos painéis em prensa hidráulica.....	36
FIGURA 11 - Painéis após prensagem.....	36
FIGURA 12 - Confecção dos corpos-de-prova em serra circular.....	37
FIGURA 13 - Corpos-de-prova retirados de cada painel.....	38
FIGURA 14 - Condicionamento dos corpos-de-prova.....	39
FIGURA 15 - Máquina de ensaio universal.....	40
FIGURA 16 - Máquina de ensaio de cisalhamento por tração.....	41
FIGURA 17 - Valores médios de absorção de água, observados e estimados, para cada uma das procedências, em função das porcentagens de resorcinólica.....	50
FIGURA 18 - Valores médios de umidade, observados e estimados, para cada uma das procedências, em função das porcentagens de resorcinólica.....	54
FIGURA 19 - Valores médios de modulo de ruptura, observados e estimados, em função das porcentagens de resorcinólica.....	60

FIGURA 20 - Valores médios de modulo de elasticidade, paralela a linha de cola, observados e estimados, para cada uma das procedências, em função das porcentagens de resorcinólica.....	63
FIGURA 21 - Valores médios de modulo de ruptura paralelo à linha de cola, observados e estimados, em função das porcentagens de resorcinólica.....	64
FIGURA 22 - Valores médios de tensão da força máxima, observados e estimados, para cada uma das procedências, em função das porcentagens de resorcinólica.....	67
FIGURA 23 - Valores médios de tensão de ruptura, observados e estimados, no teste de cisalhamento seco, em função das porcentagens de resorcinólica.....	70
FIGURA 24 - Valores médios de tensão de ruptura, observados e estimados, no teste de cisalhamento úmido, em função das porcentagens de resorcinólica.....	72
FIGURA 25 - Valores médios de tensão de ruptura, observados e estimados, no teste de cisalhamento pós-fervura, em função das porcentagens de resorcinólica.....	74

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Tratamentos arranjados entre procedência e porcentagem de resorcinólica.....	43
TABELA 2 - Tratamentos adicionais arranjados entre procedência e adesivo de mamona.....	43
TABELA 3 - Análise química da madeira de procedências de <i>Eucalyptus grandis</i>	44
TABELA 4 - Valores médios de densidade da madeira (entre parênteses erro padrão da média).....	45
TABELA 5 - Valores médios de densidade (g/cm ³) dos painéis em função dos níveis de adesivo e procedências da espécie de eucalipto.....	46
TABELA 6 - Valores médios de razão de compactação em função dos níveis de adesivo e procedências da espécie de eucalipto.....	47
TABELA 7 - Valores médios de absorção de água (%) em função das porcentagens de resorcinólica, complementada por tanino e procedências da espécie de eucalipto.....	49
TABELA 8 - Valores médios de absorção de água (%) em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% mamona.....	51
TABELA 9 - Valores médios de umidade (%) em função das porcentagens de resorcinólica complementada por tanino e procedências da espécie de eucalipto.....	53
TABELA 10 - Valores médios de umidade (%), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.....	55
TABELA 11 - Valores médios de modulo de elasticidade (MPa), em	

função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.....	57
TABELA 12 - Valores médios de modulo de ruptura (MPa), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.....	59
TABELA 13 - Valores médios de módulo de elasticidade (MPa), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto.....	61
TABELA 14 - Valores médios de módulo de elasticidade (MPa), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.....	62
TABELA 15 - Valores médios de modulo de ruptura (MPa) em função das procedências da espécie de eucalipto.....	65
TABELA 16 - Valores médios de módulo de ruptura (MPa), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.....	65
TABELA 17 - Valores médios de tensão máxima (MPa), em função das porcentagens de resorcinólica tanino e procedências da espécie de eucalipto.....	68
TABELA 18 - Valores médios de tensão máxima (MPa), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.....	68
TABELA 19 - Valores médios de tensão de ruptura (MPa) no teste de cisalhamento seco, em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona. Entre parênteses, notas dadas para falha da madeira, em percentagem.....	71
TABELA 20 - Valores médios de tensão de ruptura (MPa) no teste de	

cisalhamento úmido, em função das porcentagens de resorcinólica e procedências, comparados à média do tratamento com 100% de mamona. Entre parênteses, notas dadas para falha da madeira em percentagem.....	73
TABELA 21 - Valores médios de tensão de ruptura (MPa) no teste de cisalhamento pós-fervura, em função das porcentagens de resorcinólica e procedências, comparados à média do tratamento com 100% de mamona. Entre parênteses, notas dadas para falha da madeira em percentagem.....	75

RESUMO

RENZO, Renata. **Painel estrutural de lâminas paralelas de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona.** 2008. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras¹.

O trabalho teve como objetivo produzir e avaliar painéis de lâminas paralelas de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona. Os painéis foram montados a partir de 9 lâminas de uma mesma procedência, posicionadas todas no mesmo sentido de suas grãs. A dimensão final de cada painel foi nominalmente de 20 x 480 x 480 mm (espessura x largura x comprimento), tendo as lâminas de maior resistência sido colocadas nas camadas externas do painel e as de menor resistência, no miolo. Foram confeccionados 15 painéis por procedência. Empregaram-se três tipos de adesivo, resorcinol-formaldeído, tanino formaldeído e poliuretano à base de óleo de mamona, que foram preparados nas seguintes proporções: 100% resorcinol, 75% resorcinol com 25% tanino, 50% resorcinol com 50% tanino, 25% resorcinol com 75% tanino e 100% mamona. Os painéis foram submetidos a ensaios físicos e mecânicos, com a finalidade de verificar sua resistência e comportamento em diversas possíveis aplicações. As linhas de cola produzidas com as composições adesivas já citadas, foram avaliadas e comparadas entre si, confirmando a potencialidade de adesivos alternativos na produção de painéis estruturais de madeira.

Palavras-chave: painéis estruturais de lâminas paralelas, propriedades, adesivos alternativos.

¹ Comitê orientador: Fábio Afira Mori (Orientador) – UFLA, Lourival Marin Mendes e Francisco Carlos Gomes (Co-orientadores)

ABSTRACT

RENZO, Renata. **Structural panel of laminated venner lamber of *Eucalyptus grandis* using resorcina-formaldehyde, tannin and castor oil-based polyurethane adhesive.** 2008. 100p. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras¹.

The study has as objective to evaluate and produce structural panel of laminated venner lamber of *Eucalyptus grandis* using resorcina-formaldehyde, tannin and castor oil-based polyurethane adhesive. The panels were assembled from 09 sheets of the same origin oriented in the same direction of its grains. The final size of each panel was nominally 20 x 480 x 480 mm (width x length x thickness), where the sheets more resistance were placed in the external layers of the panel and those of the smaller kernels. Were produced 15 panels by origin. Were employed three types of adhesive, resorcinol-formaldehyde, tannin formaldehyde and castor oil-based polyurethane adhesive, which were prepared in the following proportions: 100% resorcinol, 75% resorcinol with 25% tannin, 50% resorcinol with 50% tannin, 25 % Resorcinol with 75% tannin and 100% castor oil-based polyurethane. The panels were subjected to physical and mechanical tests in order to verify their resistance and behavior in various possible applications. The gluelines produced with the adhesives compositions already mentioned, were evaluated and compared with each other, confirming the potential of alternative adhesives in the production of wood structural panels.

Key words: structural panels of laminated venner lumber; properties; alternative adhesive.

¹ ¹ Guidance Committee: Fábio Afira Mori (Adviser) – UFPA, Lourival Marin Mendes and Francisco Carlos Gomes (Co-advisers)

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um produto que possibilita uma infinidade de aplicações, sendo muito valorizada por diversos setores da economia mundial. Atualmente, o setor florestal gera diversos produtos à base de madeira, como toras, madeira serrada, polpa de papel e celulose, painéis reconstituídos, visando produtividade e qualidade em produtos ambientalmente corretos. Essa tendência de valorização ambiental, por produtos alternativos e menos danosos ao meio ambiente, tende a se consolidar e se fortalecer.

O mercado de produtos industrializados de madeira apresenta-se favorável, já que atende aos requisitos da atual tendência. A produção de painéis reconstituídos enquadra-se nesse contexto, já que utiliza como matéria-prima espécies provenientes de reflorestamentos, como pinus e eucaliptos, em substituição a madeiras mais nobres e ou nativas.

Um dos principais setores que utilizam produtos reconstituídos de madeira é o da construção civil, porém, essa utilização ainda é pouco representativa em relação a outros materiais, principalmente pela carência de conhecimento dos profissionais da área e por sistemas construtivos pouco difundidos entre os mesmos.

Em alguns países, como os EUA e Canadá, o uso de estruturas de madeira já é comum e vem sendo aprimorado, com o desenvolvimento de componentes estruturais mais resistentes e de menor peso. Um exemplo dessa tecnologia é o desenvolvimento de compostos estruturais de madeira (*structural composite lumber*), que apresentam alto desempenho em resistência. Esses compostos, normalmente, são formados por parte de madeiras unidas por adesivos estruturais resistentes à água, formando produtos de tamanhos variáveis. Entre os compostos estruturais mais utilizados estão os painéis estruturais de lâminas paralelas (*laminated veneer lumber* ou LVL).

O LVL foi desenvolvido como uma alternativa à madeira maciça e já está estabilizado no mercado internacional da construção civil, principalmente na América do Norte e na Europa.

Um fator desfavorável para a produção comercial deste produto é seu alto custo, principalmente em decorrência dos adesivos estruturais empregados. Os adesivos possuem excelentes propriedades, no entanto, são derivados de petróleo, cujo preço tem se elevado continuamente nos últimos anos.

Os adesivos utilizados na confecção dos painéis estruturais são, geralmente, os sintéticos resorcinol e fenol-formaldeído, derivados de petróleo. Esses adesivos, atualmente, são considerados os grandes encarecedores do produto e, certamente, não se enquadram na tendência de preservação ambiental. Algumas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para que se encontre um adesivo estrutural natural, que possa substituir ou compor combinações com os adesivos sintéticos utilizados pela indústria de painéis. Esses adesivos devem atingir as propriedades de resistência e qualidade encontradas nos adesivos já utilizados, garantindo um produto que promova menos danos.

Os adesivos à base de taninos surgiram em substituição aos adesivos sintéticos, como o fenol e, em parte, o resorcinol-formaldeído. As pesquisas realizadas com estes adesivos tiveram início na década de 1950, com o objetivo de desenvolver um adesivo proveniente de fontes naturais e renováveis. Esse interesse se fortaleceu após a crise do petróleo e segue até os dias atuais como uma realidade para a indústria de painéis. Junto ao tanino, o adesivo poliuretano à base mamona vem sendo estudado como uma alternativa ao mercado de painéis estruturais de madeira. É um produto de grande versatilidade de aplicação, podendo alcançar valores menores que os adesivos sintéticos.

A necessidade de se produzir um produto viável economicamente, de excelentes propriedades e alta resistência é o que impulsiona diversas pesquisas na área de ciência e tecnologia da madeira. O LVL é um produto que atende a

todas essas necessidades, além de ser uma ferramenta importante para a substituição de produtos estruturais, como ferro, aço e tijolos, que consomem altos níveis de energia em sua produção.

Nesse contexto, torna-se interessante produzir um painel estrutural de grande resistência, economicamente viável, utilizando como matéria-prima uma espécie proveniente de florestas plantadas e adesivos estruturais naturais renováveis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Produzir e avaliar painéis de lâminas paralelas (LVL) compostas por lâminas de procedências de *Eucalyptus grandis*, utilizando adesivos resorcinólico, à base de taninos e poliuretano de mamona.

2.2. Objetivos específicos

1. Avaliar as propriedades mecânicas e físicas dos painéis estruturais de lâminas paralelas, produzidos com diferentes procedências de *Eucalyptus grandis*.
2. Avaliar as diferentes composições adesílicas produzidas com as resinas resorcinol formaldeído, tanino-formaldeído e poliuretano à base de óleo de mamona.
3. Verificar a qualidade das linhas de cola produzidas com compostos adesivos alternativos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 O Brasil e o mercado de produtos florestais

O Brasil, atualmente, apresenta-se como grande competidor no mercado mundial de produtos florestais que, em 1999, atingiu US\$ 450 bilhões em produção, sendo o setor de celulose e papel responsável por 62% desse valor (FAO, 2008). A representatividade brasileira nesse mercado tem como razões suas características edafoclimáticas (solo e clima) e o grande desenvolvimento silvicultural.

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em 2001, o PIB florestal brasileiro atingiu R\$ 21 bilhões e as exportações somaram US\$ 4 bilhões. Somente a indústria de papel e celulose gerou receitas com vendas externas de US\$ 2,2 bilhões, no mesmo ano, e um saldo comercial positivo de US\$ 1,4 bilhão. Outros produtos, como carvão vegetal, painéis de madeira e serrados, contribuem para fazer do Brasil um participante importante do mercado mundial de produtos florestais, seja como produtor consumidor ou exportador.

O processo de globalização, o crescimento da economia mundial, nos últimos anos e melhorias na logística são fatores que têm colaborado para aumentar o comércio mundial de produtos de madeira, que hoje movimenta algo em torno de US\$260 bilhões, quando incluídos produtos de maior valor agregado. Se mantida a tendência dos últimos 20 anos, o comércio internacional de produtos florestais devesse atingir, em 2020, cerca de US\$ 500 bilhões (Tomaselli, 2007).

O setor de produtos florestais compreende os segmentos de madeira em tora, madeira serrada, produtos reconstituídos (painéis de madeira) e polpa de papel e celulose, sendo esse último o mais representativo. Os setores de

moveleira e de construção civil entre outros, consomem grande parte desses produtos e incentivam sua produção.

A produção de painéis de madeira tem acompanhado o crescimento da indústria moveleira que, nos últimos anos, vem apresentando altas taxas de desenvolvimento. Outro setor que promove o incentivo dessa produção é o da construção civil, que sempre teve papel de destaque na economia nacional.

O país dispõe de condições bastante especiais para se tornar um importante produtor mundial de painéis de madeira, uma vez que é detentor de tecnologia que permite a utilização de extensas plantações de florestas de rápido crescimento (pinus e eucalipto). Essa característica, associada ao dinamismo do mercado interno e internacional, tem sido um dos principais alavancadores dos novos investimentos (BNDES, 2002).

Porém, a defasagem do Brasil em relação aos principais países produtores de chapas de madeira reconstituída é considerável e precisa ser urgentemente reduzido, a fim de que se atinja, a médio e a longo prazo, uma igualdade técnica e competitiva com estes países, o que é plenamente viável. É nesse sentido que a previsão para o início deste milênio de mudança do perfil da produção brasileira de painéis caminha cada vez mais para uma realidade bem próxima com a entrada dos painéis MDF e OSB (Mendes et al., 1999).

A indústria nacional de painéis de madeira desfruta de situação extremamente vantajosa, seja pelas dimensões e pelo dinamismo do mercado interno, seja pelo acesso à matéria-prima. O país tem condições de formar extensas áreas plantadas com espécies florestais de rápido crescimento, que podem sustentar uma expansão considerável da produção atual de painéis de madeira (BNDES, 2002).

Atualmente, no país, apenas alguns tipos de painéis à base de madeira são produzidos em escala industrial, como os compensados convencionais, os aglomerados, o MDF (do inglês *medium density fiberboard*) e o OSB (do inglês

oriented strand board), sendo os painéis estruturais, como o OSL (*Oriented strand lumber*), LVL (*laminated veneer lumber*) e o painel de madeira-cimento, produzidos apenas em pesquisas acadêmica.

Segundo Mendes et al. (2002), a considerável defasagem do Brasil em relação aos principais países produtores de painéis de madeira é motivada pela baixa competitividade e, principalmente, pela falta de recursos voltados para avanços tecnológicos na área, porém, essa desigualdade pode ser reduzida com a mudança do perfil da indústria brasileira.

3.2 O gênero *Eucalyptus*

As espécies do gênero *Eucalyptus* têm sua origem na Austrália, Tasmânia e ilhas da Oceania. São árvores de grande porte e de crescimento rápido, porém, produzem uma madeira que requer certos cuidados por ocasião do seu processamento, pois possui algumas características desfavoráveis, como retratibilidade relativamente alta, susceptibilidade ao colapso durante a secagem da madeira serrada e presença das altas tensões de crescimento (Muñiz, 2002).

O *Eucalyptus* é uma espécie de grande aceitação no setor de produtos florestais, sendo responsável por grande parte da substituição de espécies nativas. Diversos autores citam as espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, em razão da redução das fontes de madeira proveniente de florestas nativas e da distância dos centros consumidores, como uma alternativa viável para o suprimento de madeira para a demanda do mercado.

O *Eucalyptus* está sendo apresentado como substituto de madeiras nativas e da madeira de pinus que, segundo alguns estudos, têm se mostrado insuficiente para o atual mercado florestal de produtos industrializados. De acordo com o Sociedade Brasileira de Silvicultura (2000), a diminuição dos estoques de toras de pinus já é uma realidade e tem sido sentido ainda mais na

segunda metade desta década, como decorrência das reduzidas taxas de plantio nos anos 1980 e 90.

Segundo Pio (2002), o reconhecimento do potencial econômico do *Eucalyptus* spp. Iniciou-se com o cultivo de pequenas plantações no Sul da Europa e Norte da África há, aproximadamente, 100 anos.

No Brasil há uma grande variedade de eucaliptos e, atualmente, são cultivadas diversas delas, com uma ampla faixa de densidade, constituição química e anatômica, o que gera grandes diferenças nas propriedades físicas e químicas, tornando o uso da madeira bastante amplo (Vital & Della Lucia, 1986).

Para Ponce (1994), o eucalipto tem tudo para ser a principal madeira industrializada do país. Para isso, são necessárias pesquisas intensivas, tanto do ponto de vista tecnológico como silvicultural. Sem emprego intensivo de pesquisa, os resultados serão lentos e não confiáveis.

É comum a madeira, da grande maioria das espécies de *Eucalyptus* de rápido crescimento, apresentar limitações técnicas, as quais representam real entrave quando se objetiva a substituição das madeiras tropicais pela indústria madeireira. As limitações mais importantes são representadas pelos empenamentos e rachaduras em toras e tábuas, as quais constituem os principais fatores de redução do rendimento industrial, sendo ambas causadas, principalmente, pelas tensões de crescimento (Trugilho et al., 2004).

Costa (1996) afirma que o *Eucalyptus* apresenta boa aparência e fácil trabalhabilidade e características muito semelhantes às do mogno, em termos de propriedades físico-mecânicas, principalmente densidade, resistência e elasticidade.

Segundo Bortolletto (2003), os primeiros estudos feitos no Brasil, relacionados com a produção de lâminas e compensados a partir de espécies do gênero *Eucalyptus*, tiveram início na ESALQ/USP, com Jankowsky, em 1979. O autor utilizou as madeiras de *Eucalyptus saligna*, *E. urophylla* S.T.Blake e *E.*

grandis Hill ex Maiden. Nesse estudo, somente foi possível a produção de compensados com as lâminas de *E. grandis*, que resultou em um painel de alta densidade, resistente e estável. As outras duas espécies geraram lâminas de qualidade inadequada, inviabilizando a produção dos compensados (Jankowsky, 1979).

Carvalho & Lahr (2003) concluíram, em seu trabalho, que o eucalipto tem demonstrado um grande potencial na confecção de painéis LVL, devido às suas características e, principalmente, à sua grande disponibilidade em plantios comerciais.

3.2.1. *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden)

De acordo com Aguiar (1985), o *Eucalyptus grandis*, por ser uma espécie de rápido crescimento, é, atualmente, de grande importância em programas de reflorestamentos.

O *Eucalyptus grandis* possui grande adaptabilidade, o que faz com que o gênero seja um dos mais utilizados, dentre todos aqueles introduzidos até agora no Brasil. Segundo alguns autores, tem boas características e alto potencial para a produção de lâmina e painéis. Em alguns estudos, foi tido como uma espécie de valores medianos de densidade, o que o classificaria como uma madeira resistente e apta a usos estruturais.

Aguiar (1985), avaliando madeira de *Eucalyptus grandis*, concluiu ser possível produzir lâminas dessa espécie por meio do processamento em torno desenrolador e sugeriu ser a mesma de grande potencial para a manufatura de compensados. Porém, revelou que as lâminas produzidas em seu trabalho prestariam quase que exclusivamente para compor o miolo dos painéis. A madeira de *Eucalyptus grandis* é considerada de média densidade, tornando-se

uma vantagem técnica significativa na fabricação de painéis compensados para fins estruturais, que requerem maior resistência mecânica (Iwakiri et al., 2007).

3.3. Produtos reconstituídos à base de madeira

Os produtos reconstituídos de madeira são fabricados por meio da colagem de lâminas, tábuas, sarrafos, partículas ou fibras com dimensões e características definidas em função de suas aplicações finais. O balanço estrutural do produto é conferido por meio da ligação adesiva entre os elementos de madeira, sua distribuição e orientação na estrutura do composto (Marra, 1992).

A principal utilização de produtos reconstituídos é na indústria moveleira e na construção civil. Esse fato se deve, principalmente, a uma tendência mundial de substituição da madeira maciça, em diversos setores, gerando grandes benefícios ecológicos, econômicos e sociais.

A indústria de painéis de madeira tem ganhado destaque, principalmente pela otimização do uso de madeiras menos nobres, promovendo produtos de alto valor agregado. Outro fator favorável na produção de produtos reconstituídos é a utilização de madeiras provenientes de florestas plantadas, o que sugere a diminuição de pressão sobre as florestas nativas.

As indústrias de reconstituição de madeira, tais como as de fibras, vêm apresentando novos produtos de características estruturais para serem empregados como elementos de coberturas, pisos ou paredes. A maioria desses produtos é obtida graças ao desenvolvimento de tecnologias de preparação de partículas, formação de painéis, colagem e prensagem (Watai, 1996).

A indústria moveleira é, ainda, o setor que mais aplica produtos reconstituídos, porém, diversos outros se beneficiam de suas propriedades e de suas amplas possibilidades de aplicações. As principais utilizações desses

produtos, atualmente, no mercado mundial são na confecção de divisórias, pequenos objetos, paredes não estruturais, vigas e paredes estruturais, entre outros.

As propriedades dos diversos tipos de painéis de madeira industrializadas sofrem interferência direta pelo seu processamento, assim como a matéria-prima e o adesivo utilizado. Esses são definidos pelas propriedades requeridas, o local e o tipo de aplicação. Os fatores positivos para a produção dos painéis de madeira são maior homogeneidade dos compostos, estabilidade, maior aproveitamento das toras, variabilidade de dimensões do produto e aproveitamento de resíduos.

Os painéis de madeira reconstituída podem ser subdivididos de acordo com os elementos constituintes, o processamento, as dimensões, a resistência a esforços, a resistência à umidade e a finalidade de uso. De forma simplificada, os painéis podem ser classificados em (Iwakiri, 2005):

1. compostos laminados: compensado laminado
 compensado sarrafeado
 painel estrutural de lâminas paralelas (PLP)
2. compostos particulados: compostos minerais
 compostos fibrosos
 aglomerados

3.3.1 Painéis estruturais

Os principais componentes estruturais para edificações desenvolvidos nos últimos 20 anos são os painéis de partículas orientadas (*oriented strand board*, ou OSB), painéis de flocos ou escamas (*wafer board* ou WB) e vigas de lâminas paralelas (*laminated venner lumber* ou LVL).

Os compostos estruturais de madeira, tradução do inglês *structural composite lumber* (SCL), são, por definição, pequenas partes de madeira, coladas para formar produtos de tamanhos conhecidos (de madeira sólida convencional), de alto desempenho em resistência e, normalmente, unidos por adesivos resistentes à água, incluindo os painéis formados a partir de lâminas completas (PLP ou LVL), os painéis de partículas (LSL e OSL) e painéis de tiras de laminados (*parallel strand lumber* ou PSL) (Emission Factor Industry, 2002). Alguns autores fizeram as seguintes definições dos compostos estruturais citados:

- *laminated veneer lumber* (LVL) - consiste em um produto à base de lâminas de madeira, coladas com resina fenólica. Sua resistência supera até mesmo a da madeira sólida. Seu emprego direciona-se para vigas laminadas coladas (“*glulam beams*”), vigas, armaduras, andaimes, guias não estruturais e carpintaria em geral (Lelles & Silva, 1998);
- *oriented strand lumber* (OSL) - desenvolvido por MacMillan Bloedel Ltd., recentemente denominado como *TimberStrand™* LSL, ou *laminated strand lumber* (LSL). Este produto é confeccionado de filetes (*strands*) de maior comprimento (30cm), submetidos a uma prensagem por injeção de vapor, proporcionando um produto de densidade uniforme (Maloney, 1996);
- *parallel strand lumber* (PSL) - *Parallam™* é um PSL desenvolvido no Canadá, por McMillan Bloedel Ltd., confeccionado a partir de partículas orientadas tipo filete (*strand*), derivadas de lâminas de madeira de coníferas, ou de lâminas obtidas especificamente para este fim. As dimensões das partículas se situam em torno de 0,5 pol ($\pm 1,3$ cm) de espessura e comprimento de até 37 pol (± 94 cm). Os filetes são colados com a utilização de adesivos de compensados para uso exterior (Maloney, 1996).

Em volume total, os produtos engenheirados de madeira – PEMs – (LVLS, MLC e vigas “I”) formam um mercado pequeno. Eles contam com

menos de 1% do que é consumido em madeira sólida na Europa e menos de 2% na América do Norte e no Japão. Entretanto, o crescimento dos produtos engenheirados de madeira nos anos 1990 foi extraordinário, particularmente na América do Norte, onde eles contam, agora, com 5% do suprimento em madeira para fim estrutural (Schuler et al., 2001).

A América do Norte consome, pelo menos, 75% da produção mundial de produtos engenheirados de madeira, 3,5 vezes a mais que a Europa e 5,5 vezes a mais que o Japão (Schuler et al., 2000).

Matsunaga (1995), citado por Pio (2002), afirma que o dimensionamento de estruturas utilizando-se de SCLs é mais preciso, proporcionando economias no projeto, melhor controle de umidade das peças (pequenas peças) e o peso total da estrutura ficaria mais leve.

Para a confecção dos SCLs, algumas características restringem a matéria-prima. Para tanto, a massa específica das espécies de madeiras que for muito baixa irá produzir lâminas felpudas, de difícil acabamento e que irão interferir negativamente nos processos de colagem. Por outro lado, espécies com massa específica alta produzirão lâminas muito quebradiças, além de consumirem muita energia para processá-las (Pio, 2002). Na América do Norte, a faixa ideal de massa específica para a confecção de lâminas para os SCLs é entre $0,32 \text{ g/cm}^3$ - $0,65 \text{ g/cm}^3$.

Como todo produto, os SCLs também apresentam algumas desvantagens. Nielsen (1998), citado por Pio (2002), define, como desvantagens dos SCLs, os altos custos de produção e o emprego de técnicas, equipamentos e mão-de-obra específicos.

3.4. Adesivos estruturais

Adesivos são uma das partes mais importantes na produção de compostos de madeira no mundo; sua evolução sempre seguiu à frente da dos diversos compostos de madeira existentes atualmente. O adesivo permite o reordenamento e a reconstituição por meio de ligações adesivas, de peças de madeira de tamanhos reduzidos. O adesivo utilizado na fabricação de um painel estrutural é determinante para a utilização final desse produto.

A American Society for Testing and Materials (ASTM, 1994) define um adesivo como uma substância capaz de unir materiais por meio do contato entre suas superfícies. As condições físicas e químicas da superfície durante a adesão são extremamente importantes para que ela tenha um desempenho satisfatório, uma vez que o adesivo líquido tem que umedecer e se espalhar livremente nas superfícies para que se estabeleça um contato íntimo entre elas.

A colagem da madeira é importante nas indústrias madeireiras, permitindo um melhor aproveitamento das nossas florestas. Atualmente, cerca de 70% ou mais dos produtos derivados de madeira consomem algum tipo de adesivo, sendo que a utilização dos adesivos permitiu e ainda permite o crescimento das indústrias de base florestal, adequando um uso mais racional do material madeira (Mori et al., 2006).

As primeiras substâncias empregadas como adesivos foram, provavelmente, a lama e a argila, seguindo-se ceras, resinas e, mais tarde, a utilização de sangue, ovos, caseína, peles fervidas e ossos. Cerca de 4000 a.C., resinas e aglutinantes betuminosos foram empregados e, no período dos faraós, já eram conhecidas as aplicações de adesivo à base de caseína e, provavelmente, de peixes, animais e amido (Stumbo, 1965 citado por Kollmann, 1975).

Na manufatura de produtos reconstituídos de madeira, o adesivo é um componente fundamental, tendo em vista ser responsável pela ligação entre as

peças de madeira e a transferência de tensões geradas no plano de cola durante a sua utilização, além da participação significativa na composição de custos de produção (Abrahão, 2001).

Entre os adesivos mais usuais, destacam-se os fenólicos, por apresentarem propriedades como alta resistência à umidade, durabilidade e resistência ao ataque de microrganismos, possibilitando, portanto, produtos colados mais duráveis (Moslemi, 1974 e Skeisk, 1990, citados por Santos et al. 2003).

Diferentes tipos de resinas de cura a frio para vigas laminadas estruturais à base de madeira são utilizados, hoje em dia, no mercado de produtos florestais. Entre as mais conhecidas estão as resinas à base de poliuretano (Rajakamura, 2001), de resorcinol-formaldeído (Sellers, 2001, Pizzi & Cameron, 1984) e o fenol-resorcinol formaldeído (Pizzi & Cameron, 1984), as quais apresentam boas propriedades de resistência mecânica e resistência à umidade de espaços externos.

Segundo a The Engineered Wood Association (2005), os principais adesivos empregados em compostos estruturais de madeira são o fenol-formaldeído e o resorcinol-formaldeído.

Segundo Lima et al. (2007), o custo do resorcinol pode chegar a até 60% do custo final de peças feitas em madeira laminada colada.

O alto preço dessas resinas se deve ao constante aumento do petróleo (base de adesivos estruturais) e à expansão da produção de produtos reconstituídos de madeira. Essa realidade tem impulsionado diversas pesquisas, no intuito de se encontrar adesivos alternativos mais econômicos, menos danosos ao meio ambiente e com alta resistência.

3.4.1 Adesivo fenol-formaldeído

O primeiro adesivo sintético desenvolvido foi o fenol-formaldeído, que surgiu em 1929, seguido de uréia-formaldeído em 1931, melamina-formaldeído no final dos anos 1930 e a resorcina-formaldeído, em 1943 (Tsoumis, 1991). O fenol é muito utilizado pela indústria de compensados e painéis de uso estrutural, principalmente por ser um adesivo de uso externo e de custo menor que o resorcinol.

O adesivo fenol-formaldeído é um adesivo sintético, porém, apresenta alguns fatores negativos, tais como alto consumo de energia, pois necessita de altas temperaturas para ser curado (130° a 160°C); tem alto preço de mercado porque a matéria-prima é o petróleo e é um produto tóxico, o que provoca significativos danos ambientais (Dias & Lahr, 2007).

3.4.2 Adesivo resorcinol-formaldeído

Resorcinol apresenta reatividade química muito mais elevada do que o fenol, todavia, é um produto muito mais caro, o que o leva a ser misturado, em partes iguais, com o fenol ou, ainda, ser utilizado como co-condensado de resorcinol e fenol (Pizzi, 1983). O adesivo resorcinol formaldeído é quimicamente semelhante ao fenol-formaldeído, porém, tem um peso molecular menor (Sellers, 1994).

Nos aspectos que dizem respeito às propriedades da resorcina, não há o que se opor ao seu uso, sendo ela até superior à resina fenólica quanto à resistência à umidade e resistência para usos estruturais exteriores (Pedrosa, 2003). A cura da resina ocorre à temperatura ambiente, o que reduziria drasticamente o custo energético na confecção dos LVLs. Entretanto, este custo poupado na confecção é direcionado para a aquisição da resina.

Os adesivos à base de resorcinol produzem uma boa adesão para temperaturas acima de 20°C. Nessa mesma temperatura aumentam a capacidade de absorção do adesivo em madeiras de baixa massa específica e a resistência ao intemperismo (Pizzi, 1994; Forest Products Laboratory, 1987).

3.4.3 Adesivo Tanino-formaldeído

Jorge (2001) definiu tanino como um composto fenólico, de peso molecular suficientemente elevado, contendo um número suficiente de grupos hidroxílicos ou outros grupos adequados (ex. carboxílicos), de forma a possibilitar a formação de complexos estáveis com proteínas e outras macromoléculas, nas condições particulares de ambiente em estudo.

O termo tanino é utilizado para definir duas classes distintas de compostos químicos de natureza fenólica: os taninos hidrolisáveis e os taninos condensados. O primeiro grupo está presente em extratos de cascas e madeiras das árvores de *Terminalia*, *Phyllanthus* e *Caesalpinia*, dentre outros gêneros. São constituídos de misturas de fenóis simples, tais como pirogalol e ácido elágico, e também ésteres do ácido gálico ou digálico com açúcares, principalmente glicose (Hergert, 1989).

As moléculas dos taninos hidrolisáveis apresentam uma estrutura caracterizada por um poliol como núcleo central (geralmente D-glucose), cujos grupos hidroxilo se encontram parcial ou totalmente esterificados por grupos fenólicos (Cannas, 1999).

Ao contrário dos taninos hidrolisáveis, que geralmente estão presentes em pequenas quantidades nos tecidos vegetais, os taninos condensados, também designados por proantocianidinas, são mais comuns, estando amplamente distribuídos na natureza. Deste modo, são, do ponto de vista comercial, consideravelmente mais importantes (Jorge, 2001).

As pesquisas sobre resinas de tanino foram iniciadas na década de 1950, na Austrália, Indonésia, Índia, Estados Unidos e Venezuela. Mas, o crescente interesse pelo desenvolvimento das resinas partindo de fontes naturais ocorreu somente após a crise do petróleo. Os adesivos à base de taninos são denominados tanino-formaldeído, ou TF, e são obtidos pela reação de flavonóides poliméricos naturais (taninos condensados) com formaldeído (Pizzi, 1994).

Os taninos são extrativos utilizados desde a antigüidade para curtir couro e recentemente vêm sendo empregados na fabricação de adesivos para madeira. Em alguns países, como a Austrália e a África do Sul, já são usados há algum tempo em escala comercial (Pizzi, 1983).

Os adesivos à base de tanino-formaldeído, contudo, apresentam algumas limitações. Os extratos tânicos contêm, além de ingredientes fenólicos ativos, outras substâncias, principalmente açúcares e gomas de alto peso molecular. Pesquisas mostram que, à medida que aumenta a quantidade de açúcares e gomas, a resistência da linha de cola diminui (Pizzi & Mital, 1994).

Os adesivos de taninos oriundos da casca de Acácia negra, utilizados na produção de chapas aglomeradas para uso externo, vêm dominando o setor industrial de adesivos à base de tanino desde 1971 (Pizzi et al., 1998).

Pizzi & Cameron (1984) aplicaram tanino a frio em laminados (*glulam*) e como componentes de sistema de *fingerjointing* e obtiveram resultados satisfatórios.

3.4.4 Adesivo poliuretano à base de mamona

O adesivo poliuretano à base de mamona tem sido estudado por diversos autores, em pesquisas conduzidas pelo Prof. Gilberto Orivaldo Chierice e demais pesquisadores nacionais, no Laboratório de Química Analítica e Tecnologia de

Polímeros, do Departamento de Química e Física Molecular, do Instituto de Química de São Carlos, USP. Tais pesquisas visam o desenvolvimento de novos adesivos naturais, com maior resistência mecânica e a umidade.

O poliuretano à base de mamona é classificado como impermeável, não sendo agressivo ao meio ambiente e ao ser humano, de tecnologia brasileira. Sua cura é à temperatura ambiente, podendo ser acelerado com temperaturas de 60° a 90°C (Dias & Lahr, 2002). É considerado, por muitos autores, como uma boa alternativa ao mercado de painéis estruturais de madeira.

Entre as principais vantagens de utilização, este adesivo se apresenta como um produto de grande versatilidade de aplicação, podendo alcançar valores até 30% menores que os adesivos sintéticos. Ele foi desenvolvido para aplicações médicas e dentárias, como implante de ossos e dentes.

A mamona (*Ricinus communis*) é conhecida internacionalmente como *castor oil* e, no Brasil, como caturra e, segundo Araújo (1992) e Jesus (2000), é facilmente encontrada na maioria das regiões do país, principalmente em seu estado natural.

O comportamento do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona tem sido objeto de estudo de alguns trabalhos desenvolvidos pelo Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM), tais como os de Jesus (2000) e Azambuja (2002), que avaliaram sua eficiência de colagem em corpos-de-prova isentos de defeito de tração paralela às fibras da madeira com emendas dentadas, cisalhamento, tração perpendicular, determinando parâmetros de colagem adequados para seu uso, para espécies de *Pinus caribea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus grandis*.

Os adesivos à base de isocianatos, tais como os poliuretanos, estão ganhando aceitação na América do Norte para muitas aplicações estruturais e não estruturais. As ligações com estes adesivos apresentam boa resistência à fluência, à umidade, aos tratamentos com exposição ao calor e, além disso, a

cura pode ser feita em condições ambientais (Bustos et al., 2003 citado por Azambuja, 2002).

3.5. Painéis estruturais de lâminas paralelas (LVL)

O estudo sobre LVL começou na década de 1940, quando se propôs colar lâminas de madeira no mesmo sentido de suas fibras, para a confecção de elementos estruturais de aviões (Luxford, 1944, citado por Schaffer et al., 1972). O mesmo autor cita em sua revisão o histórico da origem dos painéis de lâminas paralelas e relaciona diversos autores que contribuíram para a evolução do produto.

Segundo ainda o mesmo autor, a origem dos painéis de lâminas paralelas estaria no trabalho de Luxford (1944), citado por Schaffer et al. (1972) e também por Laufenberg (1983). Luxford produziu elementos estruturais de aviões, com elevada resistência, a partir de painéis de lâminas paralelas, fabricados de madeira de 3,6mm de espessura coladas a frio (Matos, 1997).

Com relação ao compensado, as principais diferenças apresentadas pelo LVL diz respeito à montagem dos painéis (mesma orientação das lâminas), número de lâminas (até mais de 20), espessura das lâminas (de 2,5 a 12,7mm), forma e dimensões dos painéis (até 70 mm de espessura e comprimentos até maiores do que de 20m) e utilização (prioritariamente estrutural) (Carvalho e Lahr, 2003).

Em painéis de LVL, as lâminas são sempre orientadas na mesma direção, o número destas pode ser superior a 20, a sua espessura deve variar entre 2,5mm até 12,7mm e as dimensões do painel produzido podem ser maiores que 70 mm de espessura e mais de 20 metros de comprimento, além da utilização prioritariamente estrutural (Carvalho et al., 2004).

De acordo com Shaffer et al. (1972), citados por Pio (2002), diversas variações no processo de produção de painéis de lâminas paralelas são possíveis: número de lâminas, espessura, tipo de junções entre lâminas, espaços entre junções de lâminas, além de definição do tipo do produto, que resultará em modificações nas propriedades do mesmo.

Segundo Lelles e Silva, a resistência do LVL supera até mesmo a da madeira sólida. Seu emprego direciona-se para vigas laminadas coladas (*glulam beams*), vigas, armaduras, andaimes, guias não estruturais e carpintaria em geral. O uso de painéis de lâminas paralelas para elementos estruturais críticos, que exijam grandes esforços, provou ser comercialmente possível por mais de uma década (Laufenberg, 1982).

3.5.1. Processos de produção

De acordo com Emission Factor Industry (2002), o processo de fabricação de painéis de lâminas paralelas (PLP ou LVL) é relativamente complexo, envolvendo muitas operações, mas resultam em um produto bastante uniforme e resistente.

Matos (1997) produziu painéis de lâminas paralelas com *Pinus taeda* L. e fez referência a diversos autores que utilizaram espécies de coníferas.

Diversas variações no processo de produção de painéis de lâminas paralelas são possíveis, em função da espécie utilizada, da espessura das lâminas e, principalmente, o adesivo empregado.

As principais espécies utilizadas na produção de PLP são as coníferas, já que os maiores consumidores são a América do Sul e a Europa.

No Brasil, estão sendo realizados alguns estudos com espécies de *Eucalyptus*, porém, as principais referências de qualidade se referem a painéis produzidos com coníferas, principalmente *Pinus*.

Matos (1997) produziu painéis de lâminas paralelas com *Pinus taeda* L., e fez referência a diversos autores que utilizaram espécies de coníferas.

Segundo o Forest Products Laboratory (1987), existem dois tipos básicos de produção de PLP produzidos em prensas contínuas em comprimento maior que 2,44m e aqueles produzidos em prensas tradicionais de compensados de comprimento nominal de 2,44m.

O processo de produção de um painel de lâminas paralelas é similar ao do compensado convencional e segue as etapas definidas na Figura 1.

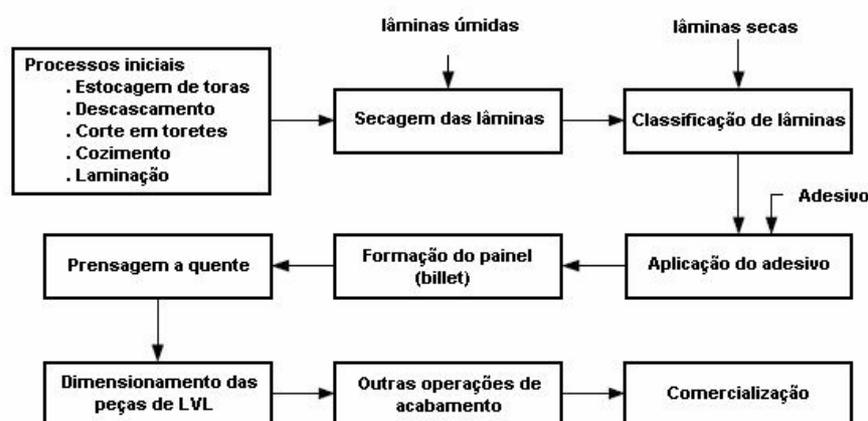


FIGURA 1. Diagrama das etapas de produção contínua de LVL.

Fonte: modificado de Emission Factor Industry (2002).

Um diferencial no processo de produção é o sistema de classificação das lâminas em classes de resistência (ou classes de qualidade), em que algumas indústrias possuem tecnologia de classificação por meio de ultra-som ou por meio de propagação de ondas acústicas. Normalmente, as lâminas classificadas como mais fracas são posicionadas na parte interna (“miolos”) dos painéis de LVL e as classificadas como mais resistentes são posicionadas nas faces (Souza, 2007).

Segundo Matos (1997), a classificação das lâminas por meio de ondas acústicas é uma importante ferramenta para desenvolver um plano de montagem do painel LVL, a fim de aumentar a resistência mecânica deste.

Por definição, a avaliação não destrutiva é dita como sendo a ciência de identificar as propriedades físicas e mecânicas de uma peça de determinado material sem alterar suas capacidades de uso final, utilizando tais informações das propriedades para tomar decisões, resguardando uma aplicação apropriada (Ross et al., 1998).

Os métodos não destrutivos, em comparação com os métodos convencionais para a caracterização da madeira, possibilitam a maior rapidez para analisar um grande estoque de produtos e versatilidade para se adequar a uma rotina padronizada numa linha de produtos (Oliveira & Sales, 2002).

A técnica que utiliza ondas acústicas tem recebido considerável atenção. Nas últimas décadas, este tipo de avaliação cresceu muito e tem sido extensivamente pesquisado, pois podem ser avaliadas as propriedades mecânicas do material, em condição seca (Pellerin & Ross 2002).

Outro ponto importante na produção de um painel estrutural de LVL é a obtenção de uma linha de cola resistente, sendo necessários alguns cuidados em relação à umidade das lâminas, ao adesivo empregado e à pressão e à temperatura adequada.

As lâminas obtidas em tornos são secas, aspergidas com adesivo, montadas na espessura desejada e consolidadas em prensas convencionais, utilizando pressão e temperatura. A temperatura pode ser a ambiente e ou artificial. Essa definição é feita a partir do adesivo empregado.

O teor de umidade adequado para a madeira de peças laminadas deve ser de um nível que proporcione alta resistência na linha de cola e que a umidade da madeira, somada à umidade do adesivo, seja a umidade de equilíbrio do painel

quando em uso (Freas e Selbo, 1954; Chung, 1964 e Matsunaga, 1995 citados por Pio, 2002).

O principal adesivo empregado na produção de PLP é o resorcinol-formaldeído, que apresenta alta resistência à umidade e aos esforços mecânicos. A resina resorcinólica tem cura a frio (25° C), o que reduz significativamente a energia empregada na prensagem do painel, porém, apresenta alto valor de mercado, o que representa um aumento de custo de até 35%.

Atualmente, não tem sido verificada a possibilidade de se utilizar adesivos alternativos que possam substituir com eficácia o já consolidado resorcinol-formaldeído. Porém, essa é uma proposta viável e pode baratear o custo final do produto.

3.5.2. Fatores que interferem as propriedades dos painéis de lâminas paralelas

Qualquer característica relacionada à madeira, que afetar a qualidade das lâminas, deve ser considerada, desde o abate da árvore até o acabamento final dos painéis. É lógico que, em se tratando de matéria-prima como a madeira, que é um material biológico, ela está sujeito a adversidades de crescimento que é próprio do vegetal em questão. No entanto, a grande variabilidade dentro dos grupos vegetais produtores de madeira, quanto às características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas, leva certas espécies a apresentarem vantagens em relação a outras quanto à produção e determinados produtos. Logicamente, o processo de produção do LVL segue esta linha de raciocínio (Mendes et al., 2003).

Segundo Zangiaco (2003), é preciso considerar a compatibilização entre a madeira e o adesivo, condicionada pela permeabilidade da espécie aos adesivos. E, por sua vez, a permeabilidade está associada não somente às

particularidades anatômicas da espécie como também às características de viscosidade do adesivo. Superfícies paralelas e planas permitem que o adesivo flua livremente e forme uma camada uniformemente fina, que é essencial ao melhor desempenho dos adesivos (Forest Products Laboratory, 1987).

3.5.3. Vantagens de utilização

No caso das peças de LVL, estas vantagens não são diferentes. Por exemplo, para a confecção deste tipo de painel, podem ser utilizadas toras de menores dimensões e ocorrer um melhor aproveitamento de madeiras de baixas qualidades, geralmente as de baixa resistência mecânica (ex: madeiras de rápido crescimento: *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp.) (Bohlen, 1972 citado por Souza, 2007).

Guss (1995) cita alguns fatores práticos que levam ao uso preferencial desses produtos: confiabilidade do material, estabilidade das peças, possibilidade de confecção de peças cujas dimensões não são encontradas em madeira maciça, uso em aplicações modernas e completas, com baixa relação custo/benefício e aproveitamento significativo da madeira.

3.5.4. Utilizações

O LVL é um produto de muita versatilidade, podendo ser o substituto para muitas peças de madeiras convencionais, em usos estruturais, externos e de interiores, acabamentos e mobília, entre outras utilizações. Alguns dos usos são: paredes estruturais ou não estruturais, batentes de portas e janelas, corrimãos, degraus de escadas, pisos, estruturas de telhados, tampos de mesas e estruturas de móveis em geral (Carvalho et al., 2004; Eckelman, 1993).

Os principais usos do LVL são: confecção de paredes estruturais ou não estruturais, batentes de portas e janelas, corrimãos, degraus de escadas, pisos,

estruturas de telhados, pontes, tampos de mesa e estruturas de móveis em geral. Na América do Norte, 45% do LVL produzido é utilizado na fabricação de vigas-I para a sustentação de pisos. (Carvalho & Lahr, 2003) e, sem dúvida, este é o principal segmento para a utilização deste material.

3.5.5 Mercado do LVL

Segundo Matos (1997), o uso de produtos estruturais reconstituídos de madeira, como é o caso de painéis estruturais PLP ou LVL, depende, essencialmente, de uma somatória de fatores culturais e econômicos. Os aspectos culturais relacionam-se, principalmente, com a tradição de uso de madeira e produtos da madeira na construção civil. Os aspectos econômicos estão relacionados à existência de mercado consumidor potencial para esse tipo de produto e custo de produção que o torne competitivo com outros produtos existentes no mercado.

Em 1987, o consumo anual mundial de LVL, de ambos os tipos (estrutural e não estrutural), foi de 350.000m³. Em 1998, este número já tinha crescido para 1.760.000 m³, quase triplicando seu volume nos anos 1990. O crescimento na América do Norte, particularmente nos Estados Unidos, tem sido espetacular. A Europa obteve o quádruplo do aumento, enquanto a Ásia, que também se desenvolveu fortemente, teve somente uma parada nos últimos três anos devido a um retardamento econômico, que afetou desfavoravelmente a saúde econômica do continente. Como grandes produtores e consumidores de LVL estrutural, os Estados Unidos representam claramente um forte potencial de crescimento desse produto. A produção de madeira serrada macia é o segmento de mercado objetivado pela indústria de LVL, tendo alcançado 146 milhões m³, em 1998 (Sinko, 2001).

Segundo Sellers (2001), a produção de LVL na América do Norte tem crescido consideravelmente (excedendo 1 milhão de m³ por ano), especialmente para a produção de vigas “I” e de peças estruturais (arcos e vigas).

Apesar de já concretizado no mercado internacional como um produto de grande aceitação e grande valor, principalmente nos países da América do Norte, no Brasil, ainda não existem indústrias de LVL, embora alguns desses produtos já estejam sendo produzidos, em escala laboratorial, em instituições de pesquisa (Carvalho et al., 1994).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Material utilizado

No presente trabalho, foram utilizadas lâminas de quatro procedências de *Eucalyptus grandis*, pertencentes ao programa de introdução de espécies e procedências de *Eucalyptus* no sul de Minas Gerais, com 28 anos. Este programa fazia parte do projeto de desenvolvimento de pesquisa florestal do antigo IBDF/PRODEPEF. Em Lavras, este projeto foi instalado na Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), hoje Universidade Federal de Lavras (UFLA). Esses materiais genéticos foram escolhidos por apresentar melhor potencial silvicultural, desde a instalação do projeto em 1975.

A cidade de Lavras está localizada à latitude de 21°14' e longitude de 45°00'w, à altitude média é de 900m. A precipitação média anual é em torno de 1.400 mm e a temperatura média anual é de 19,4°C.

4.2. Amostragem

Foram empregadas amostras de quatro árvores por procedência, totalizando dezesseis fustes considerados até o diâmetro comercial.

Posteriormente, eles foram subdivididos em quatro toretes de 92cm cada, sendo aquele próximo à base submetido à laminação e os outros destinados a outros processos (Figura 2).

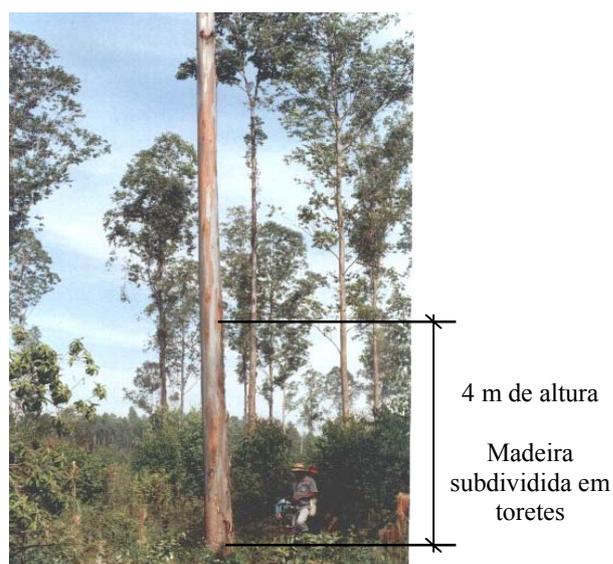


FIGURA 2. Árvore-amostra por precedência.

4.3. Processamento das toras

Os toretes destinados à laminação de cada árvore foram levados para um tanque com água, onde ficaram submersos até o momento de sua laminação. O objetivo desse procedimento foi manter a umidade da madeira vinda do campo, prevenindo o ataque de xilófagos e diminuindo as liberações de tensões provenientes da liberação de água da madeira.

Antes do início do processo de obtenção das lâminas fez-se o aquecimento das toras, à temperatura de 66°C, em um tanque com água aquecida por meio de resistência elétrica, conforme recomendação de Iwakiri (2005).



FIGURA 3. Tanque utilizado para acondicionamento das toras.

A temperatura da água na qual as toras foram imersas foi determinada em função da densidade da madeira utilizada, diâmetro da tora, temperatura inicial e final da madeira, gradiente de temperatura e seu teor de umidade.

O aquecimento foi necessário para aumentar a plasticidade da madeira, já que a lignina se torna mais “maleável”, facilitando o processo de laminação da tora. Com o aquecimento das toras, verificou-se uma condição favorável de laminação, reduzindo o desgaste das ferramentas de corte e, principalmente, a uniformidade da qualidade das lâminas.

4.4. Obtenção das lâminas

O torno utilizado para a obtenção de lâminas é dotado de facas que produzem cortes paralelos aos anéis de crescimento, por meio do desenrolamento da tora. O processo de laminação no equipamento descrito acima está ilustrado na Figura 4.



FIGURA 4. Torno mecânico desenrolador

Durante o processo, foram observadas algumas perdas geradas pelo arredondamento da tora e o rolo resto, sendo que uma parte desse resíduo aproveitada para a produção de partículas utilizadas na produção de painéis particulados.



FIGURA 5. Processo de guilhotinagem das lâminas

As lâminas obtidas apresentam espessura nominal de 2,00 mm e, posteriormente, foram guilhotinadas para a obtenção de lâminas individuais, nas seguintes dimensões: 480 mm x 480 mm (comprimento e largura).

4.5. Armazenamento e secagem das lâminas

As lâminas foram empilhadas umas sobre as outras por meio de tabiques, em que, posteriormente, foi colocado um peso para o impedimento da formação de empenamentos. Essas pilhas estavam locadas em lugar coberto em temperatura ambiente, sendo secas de forma gradativa até atingirem umidade de equilíbrio higroscópico.

As lâminas empregadas nos painéis compostos pelo adesivo poliuretano à base de mamona foram levadas à estufa com circulação forçada até que as lâminas atingissem umidade entre 4% e 6%. Esses valores foram definidos, pelos fornecedores do adesivo (Instituto de Química da Universidade de São Paulo de São Carlos), como ideais para uma colagem adequada.

A umidade das lâminas é de grande importância para uma colagem eficaz, evitando a delaminação da linha de cola e formação de bolsas de água durante a prensagem do painel.

4.6. Seleção das lâminas

Antes da secagem das lâminas em estufa, foi realizada uma prévia seleção das mesmas, visualmente, sendo descartadas as que apresentavam grandes quantidades de nós, fendas ou algum tipo de mancha causada por fungos. Após prévia classificação, as lâminas foram classificadas pelo método não destrutivo de resistência, com o equipamento de medição *Stress Wave Timer* da marca Metriguard, constituído por sistema de garras, acelerômetro e

registrador de tempo, com o qual foram obtidos os tempos de propagação acústica em microssegundos. As ondas acústicas foram aplicadas no sentido axial de cada lâmina, como ilustrado na Figura 6. As lâminas que apresentaram melhores valores de resistência foram posicionadas nas camadas superficiais dos painéis e as de menores nos miolos, onde é exigida menor resistência da madeira.

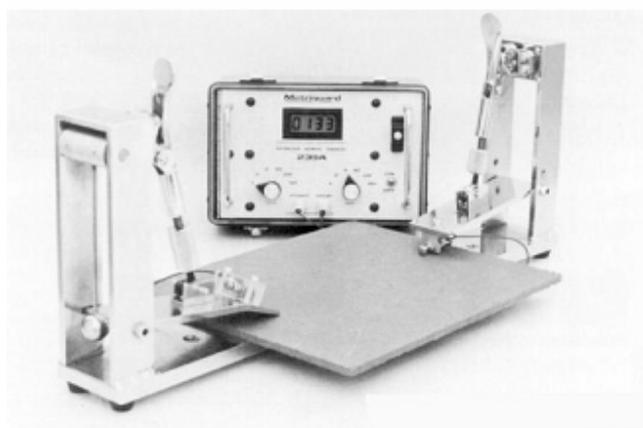


FIGURA 6. Equipamento de medição *Stress Wave Timer* da marca Metriguard.

Para o cálculo do módulo de elasticidade para cada lâmina, das quais se mede o tempo de propagação das ondas de tensão, utiliza-se a seguinte equação (Metriguard, 1997):

$$\text{MOEd} = \delta \times V^2 \times (1/g) \quad (1)$$

em que:

MOEd = módulo de elasticidade dinâmico (kgf/cm²)

δ = massa específica da lâmina (kg/m³)

g = aceleração da gravidade (9,804m/s²)

V = velocidade da onda longitudinal (cm/s)

A velocidade é obtida pela Equação 2:

$$V = d / t \text{ (2)}$$

em que:

V = velocidade (cm/s)

d = distância entre os transdutores (cm)

t = tempo de propagação (s)

O processamento descrito anteriormente foi realizado no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (DCF/UFLA), durante projetos de pesquisas desenvolvidos.

4.7. Montagem dos painéis de lâminas paralelas

Os painéis foram montados a partir de nove lâminas de uma mesma procedência, posicionadas todas no mesmo sentido de suas grãs.

Foram confeccionados 15 painéis por procedência, sendo 3 painéis por composição adesívica, utilizando um total de 540 lâminas.

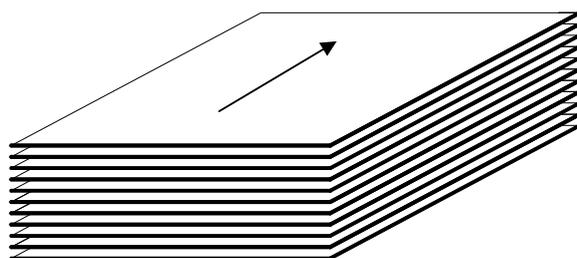


FIGURA 7. Composição do painel LVL (9 lâminas)

4.8. Adesivos empregados

O adesivo resorcinol-formaldeído foi cedido pela Alba Química Indústria e Comércio Ltda. A resina é composta por duas partes, a resina Cascophen RS-216-M e o pré-endurecedor FM-60-M, que foram misturados na proporção de uma parte do peso do endurecedor para cinco partes do peso da resina, conforme recomendação do fabricante.

O adesivo de tanino de origem de acácia-negra foi fornecido pela Tanac adesivos, em forma de pó, sendo necessária sua prévia hidratação, em que se utilizou uma parte do pó de tanino para uma parte de água destilada. A hidratação foi realizada 24 horas antes sua aplicação, sendo necessário, após esse período, sua mistura com o endurecedor (formaldeído) FM-60-M, na proporção de 100% de tanino para 8% de pó endurecedor.

A resina poliuretana à base de óleo de mamona é um bicomposto formado por dois óleos, polioli e um pré-polímero, obtidos do óleo vegetal (*Ricinus communis*). O adesivo de cura a frio foi produzido pela empresa Khel e cedida pelo Instituto de Química da Universidade de São Carlos/USP, ambas localizadas na cidade de São Carlos, SP.

4.9. Preparo das composições adesivas

Foram empregados três tipos de adesivo, resorcinol-formaldeído, tanino-formaldeído e poliuretano à base de óleo de mamona, que foram preparados nas seguintes proporções:

- (01)** 100% resorcinol;
- (02)** 75% resorcinol com 25% tanino;
- (03)** 50% resorcinol com 50% tanino;

(04) 25% resorcinol com 75% tanino;

(05) 100% mamona.

4.10. Aplicação das composições adesivas

Os componentes de todas as composições adesivas foram pesados e combinados nas proporções já citadas e misturadas em um misturador mecânico vertical.



FIGURA 8. Misturador mecânico vertical.

Após a mistura, as composições foram imediatamente aplicadas na superfície das lâminas que compunham os painéis de lâminas paralelas. No caso da resina de poliuretano de mamona, foi necessária a retirada de ar da mistura, por meio de um compressor de ar junto a um dissecador, no qual foi colocado o recipiente já com o adesivo misturado. Esse cuidado foi recomendado pelo fornecedor do adesivo, como forma de precaução no aparecimento de bolhas de

ar que, durante a prensagem do painel, poderiam formar falhas na linha de cola ou, até mesmo, pequenos estouros. Durante a aplicação do adesivo de mamona, foi preciso maior agilidade, já que deve ser realizada em menos de 15 minutos, como indicou o fornecedor.

Os adesivos foram aplicados com a ajuda de uma espátula na quantidade de 250 g/m² em linha simples (uma face por camada).



FIGURA 9. Aplicação do adesivo.

4.11. Prensagem dos painéis

Todos os painéis foram prensados com pressão de 12kgf/cm², mas com alguma variação de temperatura em função do adesivo empregado em cada um. Os painéis produzidos com resorcinol foram prensados em temperatura ambiente, o que representa, aproximadamente, 25°C, durante 24 horas; os que foram confeccionados com as composições adesívicadas formadas por tanino foram prensados com temperatura de 60°C por, aproximadamente, 2 horas. Essa metodologia surgiu com a confecção de painéis “testes pilotos” que chegassem a um melhor resultado de colagem.

Os painéis nos quais se empregou o adesivo de mamona foram prensados durante 20 minutos, à temperatura de 90°C e, assim como no caso anterior, foi empregada uma metodologia correspondente a revisões e testes.



FIGURA 10. Prensagem dos painéis em prensa hidráulica.



FIGURA 11. Painéis após prensagem.

4.12 Confeção dos corpos-de-prova

Os painéis de lâminas paralelas foram aclimatizados por aproximadamente, duas semanas para término da colagem. Posteriormente, foram confeccionados os corpos-de-prova, segundo as especificações da norma da ABNT 31:000.05-001/2.

Foram retirados corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos nas seguintes dimensões:

- densidade aparente: todos os corpos-de-prova retirados de cada painel;
- teor de umidade: 50 x 50 x 18 mm (comprimento x largura x espessura);
- absorção de água: 75 x 25 x 18 mm (comprimento x largura x espessura);
- flexão estática paralela e perpendicular à linha de cola: 410 x 50 x 18 mm (comprimento x largura x espessura);

- compressão paralela às fibras (adaptação da norma ABNT 31:000.05-001/2): 150 x 50 x 18 mm (comprimento x largura x espessura);
- resistência da colagem ao esforço de cisalhamento: 150 x 25 x 18 mm (comprimento x largura x espessura).

Os corpos-de-prova foram obtidos por meio de uma serra circular esquadrejadeira, tendo sido previamente retirados aproximadamente 2 cm das extremidades de cada painel, como mostrado na Figura 12.



FIGURA 12. Confecção dos corpos-de-prova em serra circular.

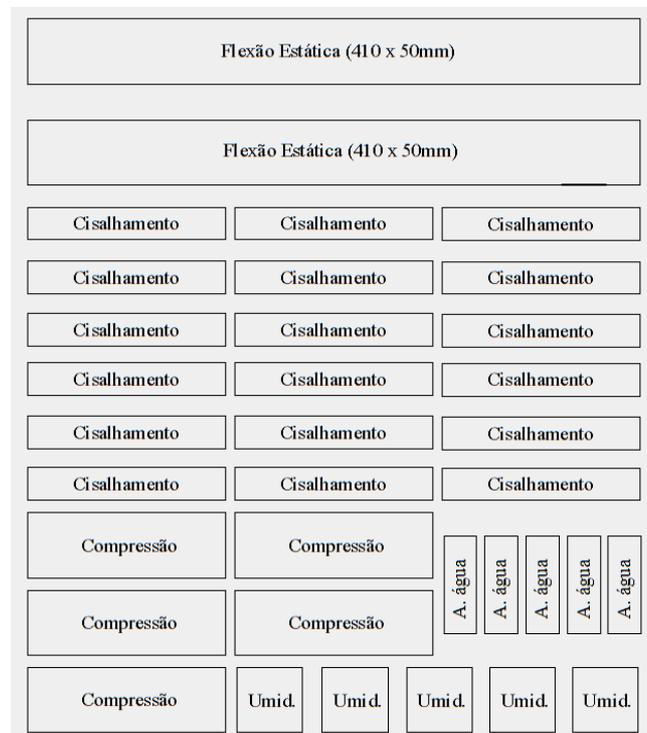


FIGURA 13. Corpos-de-prova retirados de cada painel.

Após a confecção dos corpos-de-prova, os mesmos foram levados e mantidos empilhados em câmara de climatização, à temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa, onde ficaram até atingirem peso constante. Esse procedimento seguiu as condições exigidas pela norma de ensaios, a fim de obter a padronização dos corpos-de-prova. A locação dos corpos-de-prova na sala de climatização descrita acima é mostrada na Figura 14.



FIGURA 14. Condicionamento dos corpos-de-prova.

4.13 Ensaios de propriedades físicas

Os ensaios físicos têm como fim a caracterização do comportamento físico de um determinado material exposto a intempéries, verificando-se sua variação dimensional.

Os ensaios físicos realizados nos painéis de lâminas paralelas foram os seguintes:

- densidade aparente: ABNT 31:000.05-001/2;
- teor de umidade: ABNT 31:000.05-001/2;
- absorção de água: ABNT 31:000.05-001/2.

Os ensaios físicos foram realizados no Laboratório de Adesão e Adesivos da Unidade Experimental de Produção de Painéis (UEPAM), do Departamento de Ciências Florestais, no campus da Universidade Federal de Lavras.

4.1 4 Ensaios de propriedades mecânicas

Os ensaios mecânicos caracterizam um determinado material como apto ou não a um trabalho específico. Por meio desses ensaios foi possível verificar o comportamento elástico e de rigidez do produto ensaiado.

Os ensaios mecânicos realizados foram os seguintes:

- flexão estática paralela e perpendicular: ABNT 31:000.05-001/2;
- compressão paralela às fibras: adaptação da norma ABNT 31:000.05-001/2;

Os testes mecânicos foram realizados na máquina de ensaio universal (EMIC DL-30000), localizada no Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira.



FIGURA 15. Máquina de ensaio universal.

4.15 Ensaio de cisalhamento em linha de cola por tração

O ensaio de cisalhamento tem como objetivo verificar a resistência da colagem ao esforço de tração por meio de estimativas de porcentagem de falha da madeira. O ensaio padrão foi executado seguindo as recomendações da norma ABNT 31:000.05-001/2, para as seguintes condições de ensaio:

- resistência em condições normais;
- resistência à água fria;
- resistência à água quente (pós-fervura).

Os ensaios foram realizados na máquina pneumática de ensaio de resistência ao cisalhamento, específica para testes de avaliação de linha de cola, localizada no laboratório de Adesão e Adesivos da Unidade Experimental de Produção de Painéis (UEPAM), como apresentado na Figura 16.



FIGURA 16. Máquina de ensaio de cisalhamento por tração

4.16 Análise estatística

O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os tratamentos estavam arranjados em um esquema fatorial 4 x 4 (4 porcentagens de resorcinólica e 4 procedências) mais 4 tratamentos adicionais (100% de mamona com 4 procedências). O modelo estatístico que descreve as observações é dado por: $y_{ij} = \mu + a_i + e_{ij}$, em que:

y_{ij} é o valor da variável dependente (variável resposta-dados) na j-ésima repetição e i-ésimo tratamento, com $j = 1, 2, 3$;

μ é uma constante inerente a cada observação (média geral);

a_i é o efeito do i-ésimo tratamento, com $i = 1, \dots, 20$;

e_{ij} é o erro experimental associado à parcela, considerado independente e identicamente distribuído de uma Normal com média zero e variância σ^2 .

Para $i = 1, \dots, 16$, o efeito de tratamento é dado por: $a_i = u_l + p_m + up_{lm}$, em que:

u_l é o efeito da l-ésima porcentagem de resorcinólica, com $l = 1, \dots, 4$;

p_m é o efeito da m-ésima procedência, com $m = 1, \dots, 4$;

up_{lm} é o efeito da interação entre a l-ésima porcentagem de resorcinólica e a m-ésima procedência.

Para $i = 17, 18, 19$ e 20 , o efeito de tratamento é dado por: $a_i = t_k$, em que:

t_k é o efeito de procedência com 100% de mamona, com $k = 1, \dots, 4$.

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando rotinas do software Statistical Analysis System (SAS, 1999). A combinação dos níveis dos fatores (porcentagem e procedência) foi considerada como tratamentos e comparada à média do tratamento adicional (100% mamona), dentro de sua respectiva procedência, por meio do teste Dunnett, com um nível nominal de significância de 5%. Os níveis do fator procedência e os níveis do tratamento adicional, quando significativos, foram comparados pelo teste Tukey, com o mesmo nível nominal de significância e o efeito de porcentagens de resorcinólica, quando significativos, teve suas médias ajustadas por regressão polinomial.

TABELA 1 Tratamentos arranjados entre procedência e porcentagem de resorcinólica

Procedências	Composições adesívicicas (% resorcinólica)			
	100	75	50	25
01	T1	T2	T3	T4
02	T5	T6	T7	T8
03	T9	T10	T11	T12
04	T13	T14	T15	T16

TABELA 2 Tratamentos adicionais arranjados entre procedência e adesivo de mamona

Procedências	Adesivo poliuretano à base de mamona (%)
	100
01	T17
02	T18
03	T19
04	T20

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Propriedades da madeira

5.1.1 Análise química da madeira

As médias ilustradas na Tabela 3 são referentes aos constituintes químicos das quatro procedências de *Eucalyptus grandis* utilizadas na produção dos painéis de lâminas paralelas. Para extrativos totais, o menor valor encontrado foi representado pela procedência 04, com 6,55%.

TABELA 3 Análise química da madeira de procedências de *Eucalyptus grandis*.

Procedência	Água fria*	Água quente*	Extrativos totais*	Lignina*	Cinzas*	Holocelulose*
01	4,53	5,45	7,66	28,57	0,14	63,78
02	5,92	6,65	8,37	28,32	0,22	63,32
03	5,55	6,37	8,00	30,05	0,21	61,95
04	4,00	4,58	6,55	27,27	0,25	66,19

*Valores na tabela apresentados em percentagem.

5.1.2 Massa específica básica

Guimarães (2008), estudando as procedências de *Eucalyptus grandis*, não encontrou diferenças significativas para a massa específica básica, mostrando que as mesmas apresentam material genético homogêneo, sendo o maior valor (0,61 g/cm³) referente à procedência 01 e o menor (0,56 g/cm³), à procedência 04.

TABELA 4 Valores médios de densidade da madeira (entre parênteses erro padrão da média).

Procedência	Massa específica básica (g/cm ³)
01	0,61 (0,03) a
02	0,59 (0,03) a
03	0,59 (0,02) a
04	0,56 (0,02) a

1 Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a um nível nominal de significância de 5%.

Todas as médias das propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* apresentadas foram determinadas por Guimarães (2008), que estudou as referentes procedências na confecção de compensados e aglomerados.

5.2 Propriedades físicas dos painéis de lâminas paralelas

5.2.1. Massa específica

A massa específica é uma propriedade que pode afetar nas propriedades mecânicas de um painel, assim como na qualidade da linha de cola nas diferentes camadas do mesmo, pois interfere no processo de penetração e de ancoragem do adesivo.

A massa específica do produto final é a soma da densidade da matéria-prima (madeira e adesivo) e do processo de prensagem que, geralmente, compacta o material, aumentando os valores.

Os resultados experimentais apresentados na Tabela 1A do anexo mostram que os resíduos, para a variável densidade e razão de compactação, seguem uma distribuição normal segundo o teste de Shapiro-Wilk. Ainda nesta tabela, verificou-se efeito significativo sobre as referentes propriedades, as

procedências, as composições adesívicas e a interação entre as mesmas. As procedências utilizadas na confecção dos painéis LVL utilizando como resina o poliuretano à base de óleo de mamona (tratamentos adicionais) também apresentaram efeito significativo sobre a absorção dos painéis

As médias de densidade do painel entre as procedências dentro do tratamento a 100 % resorcinólica apresentaram diferenciação estatística, sendo o maior valor referente à procedência 02 (0,92 g/cm³) e o menor à procedência 03 (0,78 g/cm³). No tratamento a 75% resorcinólica, a melhor média foi da procedência 01 (0,92 g/cm³) e a menor das procedências 02 e 03 (0,83 g/cm³). As melhores médias nos tratamentos a 50% e 25% resorcinólica foram de 0,89 g/cm³ referentes à procedência 04, sendo a menor referente à procedência 03.

Os tratamentos adicionais apresentaram médias entre 0,86 g/cm³ e 0,79 g/cm³, sendo o primeiro valor referente às procedências 01 e 02 e o segundo à procedência 03.

TABELA 5. Valores médios de densidade (g/cm³) dos painéis em função dos níveis de adesivo e procedências da espécie de eucalipto.

Tanino (%)	Resorcinólica (%)	Procedências			
		1	2	3	4
0	100	0,84 b B	0,92 a A	0,78 c B	0,81 b B
25	75	0,92 a A	0,83 c C	0,83 c A	0,87 b A
50	50	0,82 b B	0,74 d D	0,79 c B	0,89 a A
75	25	0,84 b B	0,82 b C	0,79 c B	0,89 a A
	100% Mamona	0,86 a B	0,86 a B	0,79 b B	0,83 a B

1- Média seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%.

Benites (2003), produzindo painéis de LVL com lâminas de *Eucalyptus grandis*, encontrou 0,68 g/cm² como média da densidade dos painéis, valor muito abaixo dos observados no presente trabalho.

A razão de compactação é a relação entre a densidade da madeira e a densidade final do painel produzido, valor que influencia diretamente as propriedades físicas e mecânicas do painel. Quanto maior quantidade de material comprimido em um painel, maior será sua resistência a esforços externos (compressão e flexão) e maior será a liberação de tensões quando expostos à umidade, gerando maiores alterações dimensionais, ou seja, suas características mecânicas serão melhoradas e as físicas, prejudicadas.

As melhores médias de razão de compactação dos painéis LVL foram de 1,60 para o tratamento a 50% resorcinólica na procedência 04, que, estatisticamente, foi igual aos tratamentos a 75%, 25% resorcinólica e 100% mamona, na mesma procedência. Para as procedências 01, 02 e 03, os melhores valores foram referentes aos tratamentos a 75%, 100% e 75% resorcinólica, respectivamente.

TABELA 6. Valores médios de razão de compactação em função dos níveis de adesivo e procedências da espécie de eucalipto.

Tanino (%)	Resorcinólica (%)	Procedências			
		1	2	3	4
0	100	1,39 c B	1,56 a A	1,32 d B	1,46 b B
25	75	1,51 b A	1,40 c C	1,41 c A	1,57 a A
50	50	1,36 b C	1,26 c D	1,34 b B	1,60 a A
75	25	1,39 b B	1,39 b C	1,35 b B	1,58 a A
	100% Mamona	1,41 b B	1,46 a B	1,34 c B	1,49 a B

1- Média seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%

5.2.2 Absorção de água após 24 horas – imersão em água

Um painel que absorve uma considerável quantidade de água é considerado um produto vulnerável, já que sofre alterações dimensionais, o que promove instabilidade física e estrutural. Quando se pretende utilizar um

material como estrutura, é necessário que ele tenha resistência a condições climáticas diversas.

Os resultados experimentais apresentados na Tabela 2A do Anexo mostram que os resíduos, para a variável umidade seguem uma distribuição normal segundo o teste de Shapiro-Wilk. Ainda nesta tabela verificou-se efeito significativo, sobre a absorção de água, da interação entre as porcentagens de resorcinólica, utilizadas na confecção de painéis LVL e procedências de *Eucalyptus grandis*. As procedências utilizadas na confecção dos painéis LVL, utilizando como resina o poliuretano à base de óleo de mamona (tratamentos adicionais), também apresentaram efeito significativo sobre a absorção dos painéis

Na Tabela 7 são apresentadas as médias de absorção de água após 24 horas nos 16 tratamentos formados pelas 4 procedências com as 4 diferentes composições adesivas à base de resorcinólica. No adesivo a 100% resorcinol, o menor valor foi de 14,41%, referente à procedência 02 que, estatisticamente, é igual à média da procedência 04, de 18,33%. No tratamento composto pelo adesivo 75% resorcinólica, a menor média foi de 16,51%, que é igual, estatisticamente, às médias da procedência 02 e 04. Nos tratamentos compostos pelos adesivos 50% e 25% resorcinólica, as menores médias correspondem à procedência 04.

TABELA 7. Valores médios de absorção de água (%) em função das porcentagens de resorcinólica, complementada por tanino e procedências da espécie de eucalipto.

Tanino (%)	Resorcinólica (%)	¹ Procedências			
		1	2	3	4
0	100	21,37 ab	14,41 c	23,37 a	18,33 bc
25	75	16,51 b	20,25 ab	23,79 a	18,94 b
50	50	26,21 a	20,37 b	25,35 a	15,89 b
75	25	21,31 b	21,38 b	28,28 a	17,59 b

1-Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%.

Os resultados apresentados na Figura 17 mostram que houve efeito significativo das porcentagens de resorcinólica sobre a absorção de água dos painéis confeccionados com as procedências 1, 2 e 3. Para a procedência 04, a absorção de água dos painéis se manteve constante nas diferentes porcentagens de resorcinólica. Esse fato pode ser explicado pelos valores de razão de compactação do tratamento, que tiveram baixa amplitude entre as médias, quando comparadas aos demais tratamentos.

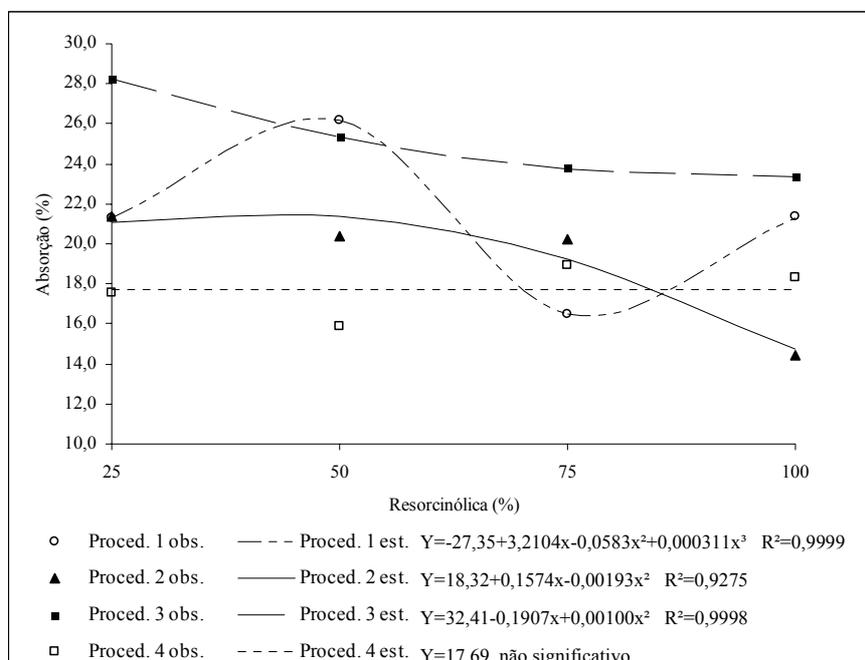


FIGURA 17. Valores médios de absorção de água, observados e estimados, para cada uma das procedências, em função das porcentagens de resorcinólica.

Pelos dados da Tabela 8 observa-se que, para os painéis confeccionados com a procedência 01, com 100%, 50% e 25% de resorcinólica, a absorção de água foi superior à dos painéis confeccionados com adesivo poliuretano à base de mamona na mesma procedência.

Os melhores valores foram observados para as procedências 01, 02 e 03 dos tratamentos adicionais que apresentaram médias estatisticamente iguais, sendo o menor valor igual a 12,75%. O tratamento adicional na procedência 04 apresentou média maior que a dos tratamentos com resorcinólica na mesma procedência (19,08%). Os painéis confeccionados com a procedência 02 e composições adesivas a 75%, 50% e 25% resorcinólica apresentaram maior absorção que a do tratamento adicional com a mesma procedência.

Para a procedência 03, a absorção de água foi superior em todas as porcentagens de resorcinólica, quando comparada aos painéis que utilizaram o adesivo à base de mamona. Para a procedência 04, a absorção de água de painéis confeccionados com a resorcinólica, em qualquer porcentagem, foi estatisticamente igual, quando comparados aos que utilizaram o adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. Os resultados acima são reflexos da razão de compactação e de densidade das procedências avaliadas. A procedência 03 teve os menores valores nas duas propriedades, enquanto que, para a procedência 04, foi observada menor amplitude de médias, em relação às demais procedências.

Os tratamentos com 25% resorcinólica apresentaram maior absorção de água, fato que pode ser explicado pela porcentagem do adesivo à base de tanino, que apresenta certa fragilidade em contato com água.

TABELA 8. Valores médios de absorção de água (%) em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% mamona.

Resorcinólica (%)	¹ Procedências (valor <i>p</i>)			
	1	2	3	4
100	21,37(p<0,0001)	14,41(p=0,9999)	23,37(p=0,0006)	18,33(p=0,9999)
75	16,51(p=0,1602)	20,25(p=0,0127)	23,79(p=0,0003)	18,94(p=0,9999)
50	26,21(p<0,0001)	20,37(p=0,0105)	25,35(p<0,0001)	15,89(p=0,5116)
25	21,31(p<0,0001)	21,38(p=0,0020)	28,28(p<0,0001)	17,59(p=0,9959)
100% mamona	12,75 b	14,05 b	15,30 ab	19,08 a

1 - Média com valor *p* maior que 0,0500 não difere da média do tratamento adicional, pelo teste Dunnett, dentro da mesma procedência; 2 - médias do tratamento 100% de mamona seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%.

Pio (2002) produziu painéis estruturais com lâminas de *Eucalyptus grandis* com idades de 15 e 20 anos e encontrou valores médios de absorção de

água entre 19% e 13%. Estes valores estão próximos dos encontrados em todas as procedências de *Eucalyptus* estudadas no presente trabalho.

As diferenças estatísticas entre as composições adesívicicas podem ser justificadas pelo acréscimo de temperatura durante a prensagem dos painéis que foram colados com 75%, 50% e 25% resorcinólica. No caso dos tratamentos adicionais com adesivo poliuretano à base de mamona, além do acréscimo de temperatura no processo de prensagem dos painéis, foi utilizada maior temperatura durante a secagem das lâminas, o que pode ter interferido ainda mais na variação de sorção do painel.

5.2.3 Umidade

A umidade do painel pode influenciar as propriedades de resistência e rigidez do painel, o que compromete sua aplicação final, sendo necessário seu controle e homogeneidade. No caso de um produto estrutural, como o PLP, a umidade é de suma importância, já que o produto estará em uso em diversas situações de intemperismo.

Na Tabela 3A do Anexo são apresentados os resultados experimentais para a variável umidade, que seguiram uma distribuição normal segundo o teste de Shapiro-Wilk. Ainda na mesma tabela verifica-se um efeito significativo sobre a umidade, da interação entre as porcentagens de resorcinólica utilizadas na confecção de painéis LVL e procedências de *Eucalyptus grandis*. As procedências de *Eucalyptus grandis* na confecção de painéis LVL utilizando como resina o poliuretano à base de óleo de mamona (tratamentos adicionais) também apresentaram efeito significativo.

Os resultados apresentados na Tabela 4A do Anexo mostram que apenas houve efeito significativo das procedências de *Eucalyptus grandis* sobre a umidade dos painéis que foram confeccionados com 100% e 50% de

resorcinólica. Para as demais porcentagens desta resina não houve efeito das procedências.

TABELA 9. Valores médios de umidade (%) em função das porcentagens de resorcinólica complementada por tanino e procedências da espécie de eucalipto.

Tanino (%)	Resorcinólica (%)	¹ Procedências			
		1	2	3	4
0	100	11,45 b	11,92 ab	12,61 a	12,65 a
25	75	13,14 a	12,92 a	12,77 a	12,98 a
50	50	12,41 b	13,44 a	13,93 a	13,20 ab
75	25	13,45 a	13,47 a	14,26 a	13,53 a

1- Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%.

As médias apresentadas para 100% resorcinólica na procedência 01 e 02 são estatisticamente iguais, sendo menores em relação às procedências 03 e 04 que também apresentam médias estatisticamente iguais. Estatisticamente, não foram observadas diferenças entre as médias das composições adesívicicas a 50% resorcinólica nas procedências 01 e 04, que apresentaram valores menores que as médias das procedências 02 e 03. Nas composições adesívicicas a 75% e a 25% resorcinólica não houve diferença estatística entre as médias nas quatro procedências.

Os menores valores de umidade entre as composições foram de 11,45% e 12,41% referentes a 100% e 50% resorcinólica, respectivamente. As duas médias foram encontradas nos painéis produzidos com lâminas da procedência 01. A maior média observada foi de 14,26%, referente à procedência 03 e 25% resorcinólica. Essa média é estatisticamente igual às demais da mesma composição adesívica e procedência.

De acordo com a Figura 18, houve efeito significativo das porcentagens de resorcinólica sobre a umidade dos painéis que foram confeccionados com *Eucalyptus grandis* das procedências 01, 02 e 03. Para a procedência 04, a

umidade dos painéis manteve-se constante nas diferentes porcentagens de resorcinólica, o que pode ser explicado pela compactação do material durante sua prensagem, sendo a mesma reflexo da densidade da espécie utilizada.

O resumo da análise de desdobramento da variável umidade pode ser conferido na Tabela 4A do Anexo.

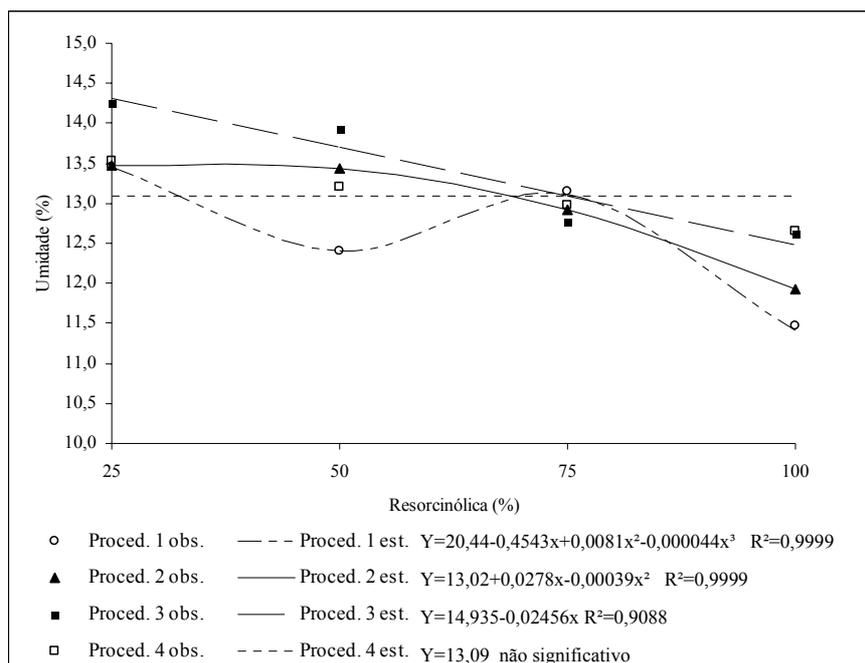


FIGURA 18. Valores médios de umidade, observados e estimados, para cada uma das procedências, em função das porcentagens de resorcinólica.

Os resultados experimentais mostram que, para todas as procedências, os painéis confeccionados utilizando como resina a resorcinólica, em composição com o tanino, apresentaram umidade superior à dos painéis que utilizaram como resina o poliuretano à base de óleo de mamona. Os menores valores de umidade dos painéis produzidos com adesivo de mamona foram de 9,13%, 9,29% e 9,77%, que podem ser considerados iguais estatisticamente e referem-se às procedências 04, 01 e 03, respectivamente.

TABELA 10. Valores médios de umidade (%), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.

Resorcinólica (%)	¹ Procedências (valor <i>p</i>)			
	1	2	3	4
100	11,45(p<0,000)	11,92(p=0,0013)	12,61(p<0,0001)	12,65(p<0,0001)
75	13,14(p<0,000)	12,92(p<0,0001)	12,77(p<0,0001)	12,98(p<0,0001)
50	12,41(p<0,000)	13,44(p<0,0001)	13,93(p<0,0001)	13,20(p<0,0001)
25	13,45(p<0,000)	13,47(p<0,0001)	14,26(p<0,0001)	13,53(p<0,0001)
100% ² Mamona	9,29 b	10,32 a	9,77 ab	9,13 b

1 - Média com valor *p* maior que 0,0500 não diferem da média do tratamento adicional, pelo teste Dunnett, dentro da mesma procedência; 2 - médias do tratamento 100% de mamona, seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%.

Benites (2003), em trabalho no Laboratório Tecnológico del Uruguay (LATU), encontrou valores médios de umidade de 11,8% em painéis LVL com 10 lâminas de *Eucalyptus grandis* coladas com adesivo resorcinólico a 100%. Essa média é similar às encontradas para o mesmo adesivo no presente trabalho e superior aos obtidos nos tratamentos adicionais com adesivo de mamona.

Deve-se levar em conta que, nos tratamentos adicionais, houve acréscimo de temperatura na prensagem dos painéis e durante a secagem das lâminas e que isso pode ter afetado a composição química da espécie e a sua instabilidade à umidade.

5.3. Propriedades mecânicas dos painéis de lâminas paralelas

5.3.1. Flexão estática paralela e perpendicular à linha de cola

O ensaio de flexão estática visa avaliar a resistência e a rigidez dos painéis de estruturais por meio dos valores de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE).

A carga foi aplicada nos sentidos paralelo e perpendicular à linha de cola como forma de simulação de uma peça estrutural, em que a resistência pode variar em função da seção (altura) da peça em uso.

5.3.1.1 Módulo de elasticidade - MOE (perpendicular)

Os resultados experimentais apresentados na Tabela 8A do Anexo mostram que os resíduos, para o módulo de elasticidade, perpendicular à linha de cola, seguem uma distribuição normal segundo o teste de Shapiro-Wilk. Ainda na mesma Tabela, verifica-se um efeito significativo sobre o módulo de elasticidade, das procedências de *Eucalyptus grandis* mediante a utilização de poliuretano à base de óleo de mamona (tratamentos adicionais).

A média de MOE nos tratamentos adicionais da procedência 01 foi superior aos encontrados em todos os tratamentos com resina resorcinólica, tendo os maiores valores sido de 8217 MPa, seguidos por 7024 MPa da procedência 04, iguais estatisticamente. A amplitude dos dados dos tratamentos adicionais dentro das procedências foi de 5842 a 8217 MPa, referentes às procedências 01 e 02, sendo o pior e o melhor resultado para a propriedade de elasticidade.

TABELA 11. Valores médios de módulo de elasticidade (MPa), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.

Resorcinólica (%)	¹ Procedências (valor <i>p</i>)			
	1	2	3	4
100	7267(p=0,8189)	7494(p=0,1788)	6720(p=0,9955)	7007(p=0,9999)
75	6964(p=0,4952)	7140(p=0,4490)	6603(p=0,9997)	7106(p=0,9999)
50	6360(p=0,0945)	6954(p=0,6477)	6864(p=0,9667)	7126(p=0,9999)
25	7979(p=0,9999)	6904(p=0,7033)	7053(p=0,8477)	6990(p=0,9999)
100% mamona	8217 a	5842 b	6135 b	7024 ab

1 - Média com valor *p* maior que 0,0500 não difere da média do tratamento adicional, pelo teste Dunnett, dentro da mesma procedência; 2 - médias do tratamento 100% de mamona, seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%

Os valores encontrados no presente trabalho foram superiores aos descritos por Benites (2003) para LVL produzidos com *Eucalyptus grandis* (6140 MPa) e inferiores aos valores do mesmo ensaio em protótipos de madeira maciça da mesma espécie (12200 MPa).

Matos (1997), trabalhando com LVL produzidos com lâminas classificadas e aleatórias de *Pinus taeda L.*, encontrou valores de 9673 MPa e 5688 MPa, respectivamente, sendo a média entre os valores descritos compatível com as médias aqui observadas. O mesmo autor trabalhou com lâminas de 3,2 mm e 4,2 mm, classificadas e não classificadas e afirmou que os painéis confeccionados com lâminas em classes de resistência produziram painéis mais resistentes. Os valores para MOE aqui descritos foram inferiores aos encontrados por Carvalho (2004a), que encontrou valor médio de 1379 MPa para LVLs produzidos com lâminas de *Eucalyptus grandis*.

5.3.1.2 Módulo de ruptura – MOR (perpendicular)

Os resultados experimentais dos resíduos, para o módulo de elasticidade, perpendicular a linha de cola, seguem uma distribuição normal segundo o teste de Shapiro-Wilk, como mostrado na Tabela 9A do Anexo. Ainda nesta tabela verifica-se um efeito significativo sobre o módulo de ruptura, da porcentagem de resorcinólica, utilizada na confecção de painéis LVL e efeito significativo da procedência de *Eucalyptus grandis* mediante a utilização de poliuretano à base de óleo de mamona (tratamentos adicionais).

Os dados da Tabela 12 demonstram que todas as médias de MOR, para os tratamentos com adesivo poliuretano à base de mamona, foram superiores aos encontrados nos tratamentos à base de resorcinólica, sendo que o maior valor corresponde à procedência 01 (199,6 MPa).

As médias para os tratamentos adicionais variaram entre 134,2 MPa a 199,6 MPa. Esses valores foram muito superiores ao descrito por Benites (2003), que foi de 72,4 MPa, assim como a média descrita por Carvalho (2004a) que foi de 590kgf/cm². Essa diferença de valores pode ser justificada pela densidade da espécie estudada, que pode variar dentro de uma mesma espécie e gênero. Outro fator que se deve considerar é a anatomia do material genético estudado, que interfere de forma direta nas propriedades mecânicas.

TABELA 12. Valores médios de modulo de ruptura (MPa), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.

Resorcinólica (%)	¹ Procedências (valor <i>p</i>)			
	1	2	3	4
100	1345 (p<0,0001)	1555 (p=0,9996)	1276 (p=0,9999)	1379 (p=0,3545)
75	1368 (p<0,0001)	1285 (p=0,0539)	1285 (p=0,9999)	1285 (p=0,0724)
50	1101 (p<0,0001)	1279 (p=0,0481)	1232 (p=0,9902)	1129 (p=0,0021)
25	1113 (p<0,0001)	1152 (p=0,0026)	978 (p=0,0424)	840 (p<0,0001)
100% Mamona	1996 a	1638 b	1342 b	1623 b

1- Média com valor *p* maior que 0,0500 não difere da média do tratamento adicional, pelo teste Dunnett, dentro da mesma procedência; 2 - médias do tratamento 100% de mamona, seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%

As médias de MOR nos tratamentos indicam relação direta com as densidades dos painéis, tendo os melhores valores na propriedade avaliada sido compatíveis com os de densidade. Na procedência 03, foram observadas as menores médias.

O gráfico da Figura 19 mostra que os valores de MOR são crescentes em relação à porcentagem, também crescente, de adesivo resorcinólico, afirmando a influência do adesivo nas propriedades mecânicas dos painéis.

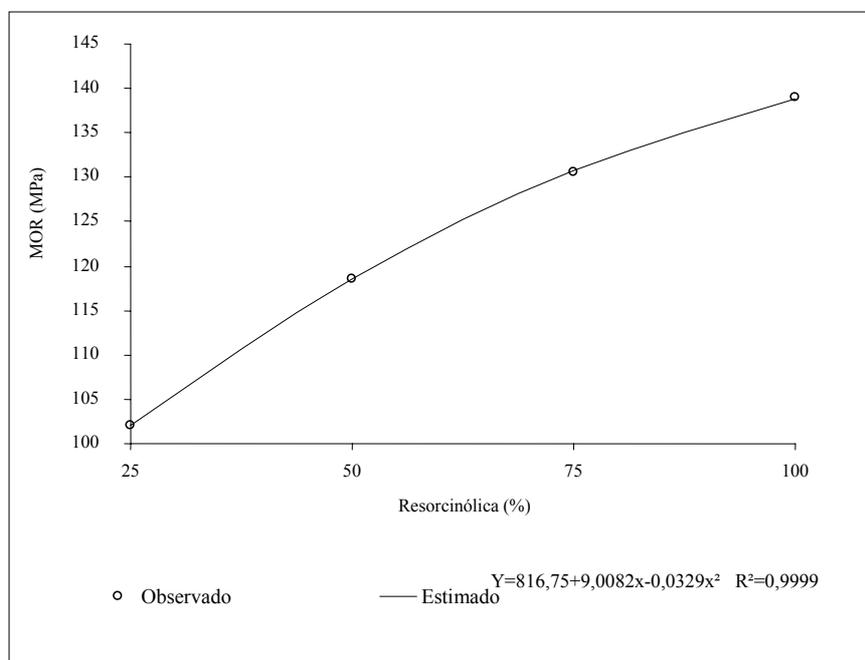


FIGURA 19. Valores médios de módulo de ruptura, observados e estimados, em função das porcentagens de resorcinólica.

5.3.1.3 Módulo de elasticidade – MOE (paralela)

A Tabela 10A do Anexo mostra que os resíduos, para o módulo de elasticidade, paralelo à linha de cola, seguem uma distribuição normal segundo o teste de Shapiro-Wilk. Ainda nesta tabela verifica-se um efeito significativo sobre o módulo de elasticidade, da interação entre porcentagens de resorcinólica e procedência de *Eucalyptus grandis* e efeito significativo das procedências de *Eucalyptus grandis* mediante a utilização de poliuretano à base de óleo de mamona (tratamentos adicionais). O desdobramento da variável módulo de elasticidade é descrito na Tabela 11A do Anexo, que apresenta efeito significativo das procedências com todas as porcentagens de resorcinólica.

Os dados da Tabela 12A do Anexo mostram que houve efeito significativo das porcentagens de resorcinólica sobre o módulo de elasticidade dos painéis que foram confeccionados com *Eucalyptus grandis* das procedências 01, 02 e 03. Para a procedência 04 de *Eucalyptus grandis*, o módulo de elasticidade dos painéis manteve-se constante nas diferentes porcentagens de resorcinólica.

Na Tabela 13 são apresentadas as médias para MOE nos tratamentos à base de resorcinólica, que foram maiores para 100% resorcinólica, em que, estatisticamente, foram iguais às médias das procedências 01,03 e 04, sendo o maior valor correspondente à procedência 02 (8347 MPa).

O menor valor para MOE no sentido paralelo à linha de cola foi de 5677 MPa, correspondente ao tratamento com 25% resorcinólica na procedência 03. Os valores descritos no presente trabalho são inferiores aos encontrados por Pio (2002), que variaram entre 9400 MPa e 9900 MPa. Benites (2003) encontrou valor superior para MOE no sentido paralelo À linha de cola, que ficou em 11200 MPa.

TABELA 13. Valores médios de módulo de elasticidade (MPa), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto.

Tanino (%)	Resorcinólica (%)	¹ Procedências			
		1	2	3	4
0	100	78.911 a	83.471 a	67.069 b	73.081 ab
25	75	76.218 a	68.468 ab	60.645 b	68.674 ab
50	50	61.844 bc	74.345 a	56.770 c	72.516 ab
75	25	62.196 ab	70.491 a	59.602 b	69.524 ab

1- Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%.

Entre os tratamentos adicionais, verificou-se diferença estatística entre as médias 01 e 02, não tendo as procedências 01, 03 e 04 se diferenciado.

A maior média de MOE para os tratamentos adicionais foi de 8446 MPa, que superou todas as médias apresentadas, porém, o valor é inferior às ilustradas pelos autores já citados.

TABELA 14. Valores médios de módulo de elasticidade (MPa), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.

Resorcinólica (%)	¹ Procedências (valor <i>p</i>)			
	1	2	3	4
100	7891 (p=0,8506)	8347 (p=0,1991)	67070 (p=0,6499)	7308 (p=0,9999)
75	7622 (p=0,3907)	6847 (p=0,8972)	6065 (p=0,0315)	6867 (p=0,6330)
50	6184 (p<0,0001)	7435 (p=0,9999)	5677 (p=0,0024)	7252 (p=0,9994)
25	6220 (p<0,0001)	7050 (p=0,9987)	5960 (p=0,0163)	6952 (p=0,7839)
100% Mamona	8446 a	7367 b	7381 ab	7551 ab

1 - Média com valor *p* maior que 0,0500 não difere da média do tratamento adicional, pelo teste Dunnett, dentro da mesma procedência; 2 - médias do tratamento 100% de mamona, seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%

O gráfico da Figura 20 mostra que, para a procedência 01, o efeito de porcentagem da resina resorcinólica foi crescente, sendo o melhor resultado para 100% resorcinólica. Para a procedência 02, o melhor resultado, assim como em todas as outras, foi de 100% resorcinólico, seguido por 50%, enquanto que para 25% e 75% ficaram os menores valores. As médias para a procedência 03 também foram crescentes em função do acréscimo de resorcinólica, porém, houve uma pequena queda na porcentagem, a 50% de resorcinólica. A única procedência que, assim como nas propriedades físicas, não apresentou variação de valores em função das porcentagens de resorcinólica foi a 04, podendo ter sido afetada pela razão de compactação do painel, como descrito anteriormente.

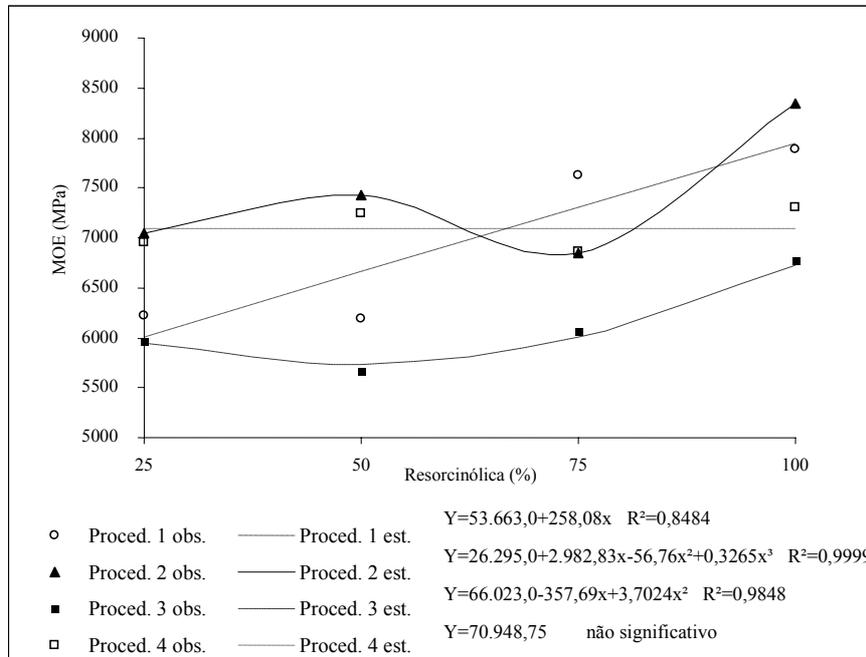


FIGURA 20. Valores médios de módulo de elasticidade, paralela à linha de cola, observados e estimados, para cada uma das procedências, em função das porcentagens de resorcinólica.

5.3.1.4 Módulo de ruptura – MOR (paralela)

Os resultados experimentais apresentados na Tabela 13 do Anexo mostram que os resíduos, para o módulo de elasticidade, paralela à linha de cola, seguem uma distribuição normal segundo o teste de Shapiro-Wilk. Ainda na mesma tabela, verifica-se um efeito significativo sobre o módulo de ruptura, da porcentagem de resorcinólica utilizada na confecção de painéis LVL e efeito significativo da procedência de *Eucalyptus grandis*.

O gráfico da Figura 21 mostra que, com o acréscimo da resina resorcinólica, os valores de MOR cresceram, tendo a amplitude dos dados

apresentados sido de 80 MPa a 115 MPa, referente às porcentagens 25% e 100% resorcinólica.

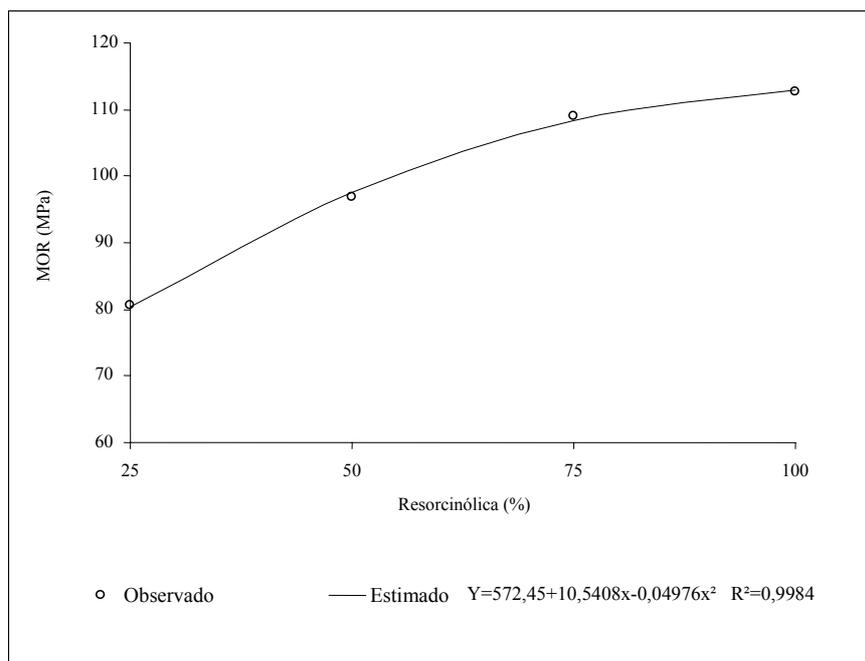


FIGURA 21. Valores médios de modulo de ruptura paralelo à linha de cola, observados e estimados, em função das porcentagens de resorcinólica.

Na Tabela 15 apresentam-se as médias para as diferentes procedências, tendo os valores das procedências 01 (98,7 MPa), 02 (112 MPa) e 04 (102,5 MPa) se mostrado iguais estatisticamente. Todos os resultados apresentados para MOR foram superiores ao encontrado por Benites (2003), que foi de 96,4 MPa e por Carvalho (2004), de 55 MPa.

TABELA 15. Valores médios de modulo de ruptura (MPa) em função das procedências da espécie de eucalipto.

Procedências	¹ Médias (erro padrão)
Procedência 1	98,7 (34,62) ab
Procedência 2	112 (34,62) a
Procedência 3	85,8 (34,62) b
Procedência 4	102,5 (34,62) ab

1 - médias seguida de mesma letra minúscula, não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%.

Todos os valores de MOR nos tratamentos com adesivo à base de mamona (adicionais) foram iguais, estatisticamente, aos encontrados nos tratamento a 100% resorcinólica; em todas as procedências, não houve variação estatística. A média para os tratamentos adicionais foi superior às encontradas por Matos (1997), que variaram entre 37,4 MPa e 51,9 MPa, para lâminas de 3,2mm de *Eucalyptus grandis*.

TABELA 16. Valores médios de módulo de ruptura (MPa), em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.

Resorcinólica (%)	¹ Procedências (valor <i>p</i>)			
	1	2	3	4
100	1164 (p=0,9995)	1286 (p=0,9357)	979 (p=0,9999)	1077 (p=0,9999)
75	1134 (p=0,9999)	1208 (p=0,9999)	829 (p=0,8568)	1186 (p=0,8729)
50	848 (p=0,3309)	1114 (p=0,9999)	928 (p=0,9999)	983 (p=0,9999)
25	802 (p=0,1528)	871 (p=0,1506)	700 (p=0,1597)	856 (p=0,6497)
100% Mamona	1084	1154	979	1039

1 - Média com valor *p* maior que 0,0500 não difere da média do tratamento adicional, pelo teste Dunnett, dentro da mesma procedência; 2 - médias do tratamento 100% de mamona, seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%

As melhores médias para MOR foram observadas na procedência 0,2 nos tratamentos a 100% e a 75% resorcinólica, com 1286 MPa e 1208 MPa, respectivamente. Os menores valores foram observados na procedência 03, em todos os tratamentos. Esses valores reafirmam a relação da densidade dos painéis da mesma procedência com suas características mecânicas.

Os valores de MOE e MOR, no sentido paralelo ao da linha de cola, foram muito próximos aos observados para as mesmas propriedades no sentido perpendicular. Geralmente, o aumento da seção (altura) na peça ensaiada permite que a mesma alcance valores superiores de resistência. Porém, esse resultado não foi verificado, podendo ser justificado pelo aumento dos esforços de cisalhamento (escorregamento) entre às lâminas em função da seção do painel.

5.3.2 Compressão paralela às fibras

Os resultados experimentais apresentados na Tabela 14A do Anexo mostram que houve efeito significativo para a interação entre procedência (P) e resorcinólica (R), sobre os resultados de tensão máxima.

Os resultados de tensão da força máxima em compressão nas procedências 01, 02 e 03 de *Eucalyptus grandis* tiveram influência significativa das porcentagens de resorcinólica, tendo a procedência 04 se mantido constante nas diferentes composições adesívas à base de resorcinólica.

O valor de tensão máxima, na procedência 01, manteve-se igual estatisticamente em 100% e 75% resorcinólica, tendo uma queda na composição 50% e significativo aumento em 25% resorcinólica. Na procedência 02, os valores de tensão foram crescentes em função da porcentagem de resorcinólica da composição adesíva, tendo seu maior valor a 100% resorcinólica. A procedência 03 apresentou aumento de valores da resorcinólica a 100% para 75% e, em seguida, uma queda até seu menor valor, que foi de 53,6 MPa. Como

dito anteriormente, a procedência manteve-se constante em todas as composições adesivas.

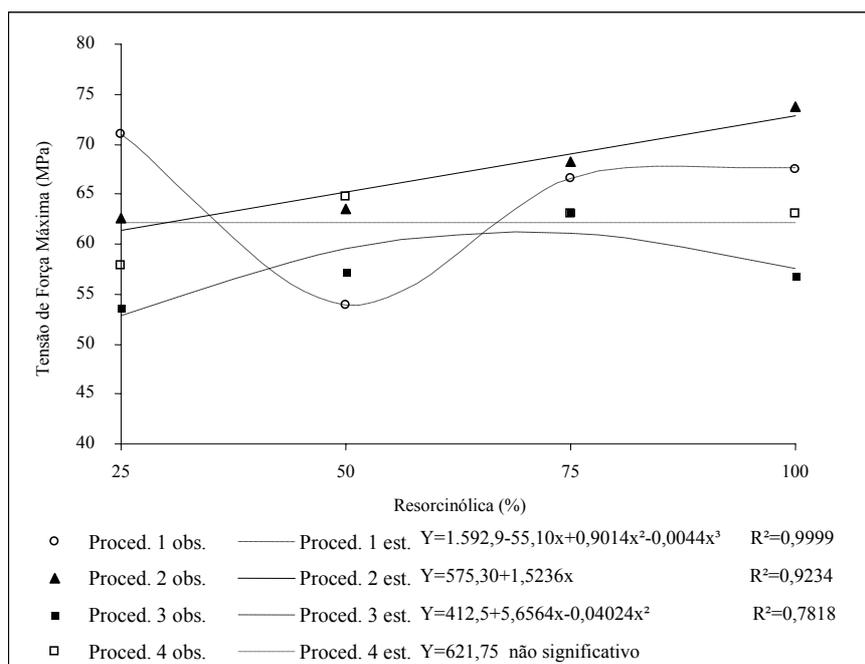


Figura 22. Valores médios de tensão máxima, observados e estimados, para cada uma das procedências, em função das porcentagens de resorcinólica.

A procedência 01 obteve como melhor resultado o valor de 71 MPa correspondente a 25% resorcinólica e que, estatisticamente, é igual aos valores que correspondem a 100% e 75% resorcinólica. Na procedência 02, a maior média foi em 100% resorcinólica (73,8 MPa), porém, a mesma se apresentou estatisticamente igual às demais. Na procedência 03, as médias em 75% e 50% resorcinólica são estatisticamente iguais, assim como as médias em 100% e 25%. Para a procedência 04, as médias em 100%, 75% e 50% resorcinólica foram de 69,1 MPa, 63 MPa e 64,8 MPa, respectivamente e são estatisticamente iguais.

TABELA 17. Valores médios de tensão máxima (MPa), em função das porcentagens de resorcinóica tanino e procedências da espécie de eucalipto.

Tanino (%)	Resorc. (%)	¹ Procedências			
		1	2	3	4
0	100	67,4 ab	73,8 a	56,9 c	63 a
25	75	66,5 a	68,2 a	63,2 a	63 a
50	50	53,9 b	63,5 a	57,3 ab	64,8 a
75	25	71 a	62,7 ab	53,6 c	57,9 bc

1 - Médias seguidas de mesma letra minúscula, na linha, não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%.

Na Tabela 18 são apresentadas as médias para os tratamentos com 100% mamona. Nas procedências 01, 03 e 04, os valores foram superiores aos encontrados nos tratamentos com resorcinóica complementada por tanino; na procedência 02, a média em mamona a 100% é estatisticamente igual à média em 100% resorcinóica. Todas as médias em 100% mamona apresentaram-se estatisticamente iguais, sendo o maior valor igual a 83,2 MPa, referente à procedência 01.

TABELA 18. Valores médios de tensão máxima (MPa), em função das porcentagens de resorcinóica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona.

Resorcinóica (%)	¹ Procedências (valor <i>p</i>)			
	1	2	3	4
100	67,4 (p=0,0105)	73,8 (p=0,9999)	56,6 (p=0,0131)	63,0 (p=0,0680)
75	66,5 (p=0,0058)	68,2 (p=0,8396)	63,2 (p=0,2877)	63 (p=0,0673)
50	53,9 (p<0,0001)	63,5 (p=0,1599)	57,3 (p=0,0169)	64,8 (p=0,1697)
25	71 (p=0,0827)	62,7 (p=0,1055)	53,6 (p=0,0019)	57,9 (p=0,0030)
100% Mamona	83,2	73,6	72,8	74,7

1 - Média com valor *p* maior que 0,0500 não difere da média do tratamento adicional, pelo teste Dunnett, dentro da mesma procedência.

A propriedade de compressão foi afetada de forma significativa pela densidade das espécies utilizadas e dos painéis, fato que se repetiu nas demais propriedades mecânicas.

5.3.3 Cisalhamento em linha de cola por tração

A qualidade da linha de cola produzida é resultado da interação das propriedades anatômicas, químicas e físicas da espécie utilizada. O material genético influencia na penetração e na cura do adesivo.

Com o ensaio de cisalhamento, é possível verificar a qualidade da linha de cola produzida. Durante o ensaio, são obtidos os valores da tensão de ruptura e o percentual de falha na madeira, ou seja, qual o esforço necessário para romper a linha de cola e se a mesma teve maior resistência que a madeira utilizada. O ensaio de cisalhamento em linha de cola foi realizado nas condições seca, úmida e pós-fervura, como forma de simulação das condições de uso do painel.

No gráfico da Figura 23 observam-se os valores observados e estimados para tensão de ruptura para o ensaio de cisalhamento em estado seco. Nos dois casos, os valores cresceram em função da porcentagem de resorcinólica na composição adesívica. No tratamento a 75% resorcinólica, o valor observado para tensão de ruptura ficou próximo ao tratamento a 100%, superando a média estimada. Esse decréscimo foi observado em todas as procedências.

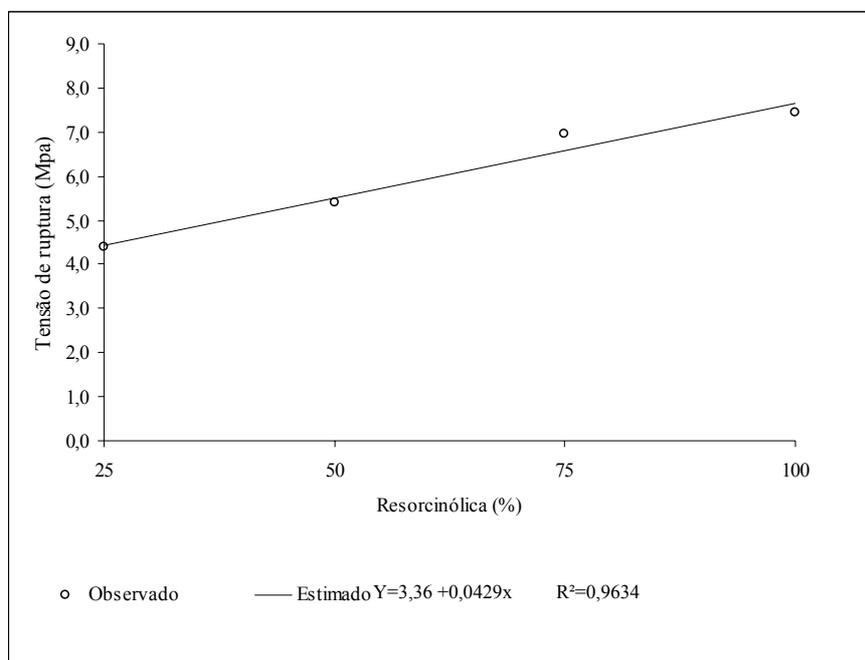


FIGURA 23. Valores médios da tensão de ruptura, observados e estimados, no teste de cisalhamento seco, em função das porcentagens de resorcinólica.

Os valores apresentados na Tabela 19 mostram que não houve diferença estatística entre as procedências dentro de cada tratamento, sendo observada essa variação apenas entre as porcentagens de adesivo resorcinólico. As melhores médias observadas foram as do tratamento adicional com mamona, com amplitude entre 9,49 MPa e 6,94 MPa, referentes às procedências 01 e 03.

Os valores para tensão de ruptura no ensaio de cisalhamento em condição seca ficaram próximos aos encontrados por Lobão (2006), que avaliou a linha de cola entre lâminas de *Eucalyptus* sp. de alta densidade coladas paralelamente. O autor utilizou o adesivo resorcinólico puro e encontrou valor médio de 9,6 MPa. As médias obtidas pra os tratamentos com adesivo resorcinólico ficaram abaixo das médias citadas pelo autor, sendo o maior valor igual a 7,93 MPa, referente à procedência 02.

TABELA 19. Valores médios de tensão de ruptura (MPa) no teste de cisalhamento seco, em função das porcentagens de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto, comparados à média do tratamento com 100% de mamona. Entre parênteses, notas dadas para falha da madeira, em percentagem.

Resorcinólica (%)	¹ Procedências (% falha na madeira)			
	1	2	3	4
100	7,24 (55,14)	7,93 (54,31)	7,25 (49,22)	7,29 (56,36)
75	7,04 (68,33)	6,62 (55,14)	7,22 (32,01)	6,99 (11,41)
50	4,82 (48,12)	6,02 (59,26)	5,52 (19,01)	5,19 (11,34)
25	4,75 (14,11)	3,99 (17,33)	4,52 (12,57)	4,26 (30,09)
^{100%} ² Mamona	9,49(63,23) a	7,39(63,11) b	6,94(51,55) b	7,87(90,05) ab

1 - Média com valor p maior que 0,0500 não diferem da média do tratamento adicional, pelo teste Dunnett, dentro da mesma procedência; 2 - médias do tratamento 100% de mamona, seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si, pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%.

O valor estimado para 100% resorcinólica ficou abaixo do estimado, mantendo-se muito próximo à média observada para o tratamento a 75% resorcinólico. O tratamento com 75% resorcinólica superou as expectativas, posicionando-se acima do valor estimado. As médias estimadas pra 50% e 25% resorcinólica ficaram próximas as estimadas, apresentando valores um pouco abaixo. As médias em todas as procedências apresentaram queda em função do decréscimo de resorcinólica na composição adesívica, como já era esperado.

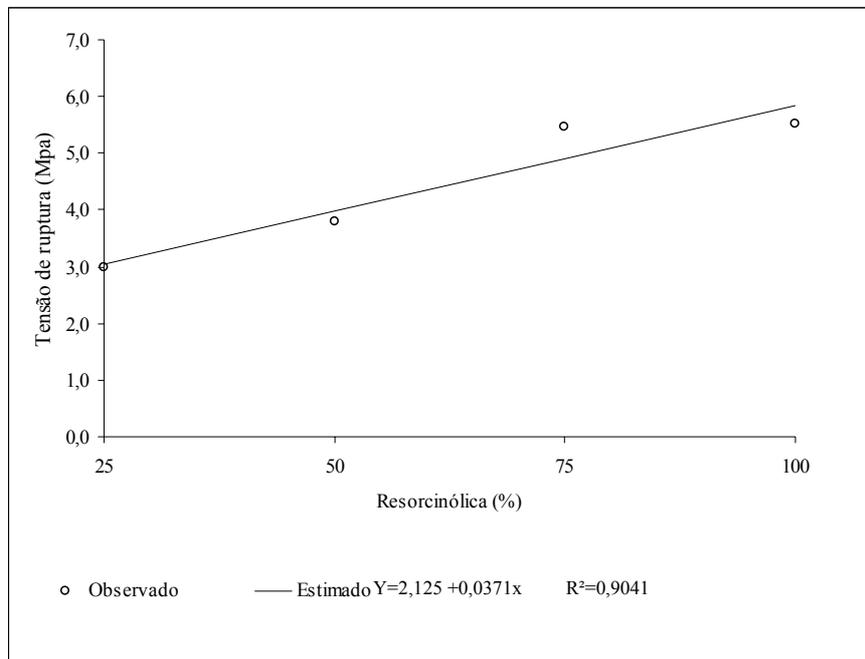


FIGURA 24. Valores médios de tensão de ruptura, observados e estimados, no teste de cisalhamento úmido, em função das porcentagens de resorcinólica.

O tratamento a 75% resorcinólico teve valores iguais estatisticamente em todas as procedências, sendo o maior valor para tensão de ruptura na procedência 03 (5,71 MPa). O melhor resultado para o ensaio de cisalhamento em condição úmida foi o do tratamento adicional com adesivo de mamona na procedência 01 (7,29 MPa), que mostrou-se igual, estatisticamente, às procedências 03 e 04.

TABELA 20. Valores médios de tensão de ruptura (MPa) no teste de cisalhamento úmido, em função das porcentagens de resorcinólica e procedências, comparados à média do tratamento com 100% de mamona. Entre parênteses, notas dadas para falha da madeira em percentagem

Resorcinólica (%)	¹ Procedências (% falha na madeira)			
	1	2	3	4
100	5,32 (62,15)	5,72 (47,12)	5,08 (66,08)	5,96 (62,23)
75	5,24 (60,11)	5,34 (40,28)	5,71 (38,13)	5,59 (21,07)
50	3,64 (42,33)	4,16 (38,11)	3,57 (34,04)	3,76 (34,10)
25	2,98 (29,21)	2,78 (28,03)	3,06 (25,01)	3,16 (40,66)
100% Mamona	7,29 (14,78)a	4,86(34,10) b	5,74(26,35) ab	6,03(64,21) ab

1 - Média com valor *p* maior que 0,0500 não difere da média do tratamento adicional, pelo teste Dunnett, dentro da mesma procedência; 2 - médias do tratamento 100% de mamona, seguidas de mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%

Na Figura 25 são apresentados os valores observados e estimados para tensão de ruptura para o ensaio de cisalhamento em estado de pós-fervura.

Assim como nos ensaios de cisalhamento nas condições seca e úmida, o valor estimado para 100% resorcinólica ficou abaixo do estimado, mantendo-se muito próximo à média observada para o tratamento a 75% resorcinólico. O tratamento com 75% resorcinólica superou as expectativas, posicionando-se acima do valor estimado. As médias estimadas pra 50% mantiveram-se abaixo do valor estimado e próximas ao valor observado para o tratamento a 25% resorcinólica, que esteve acima do estimado.

Esse decréscimo de valores foi observado em todos os ensaios, o que mostra um ótimo desempenho da procedência a 75% resorcinólica que, mesmo tendo uma porcentagem de 25% de tanino, obteve bom resultado nos ensaios úmido e de pós-fervura.

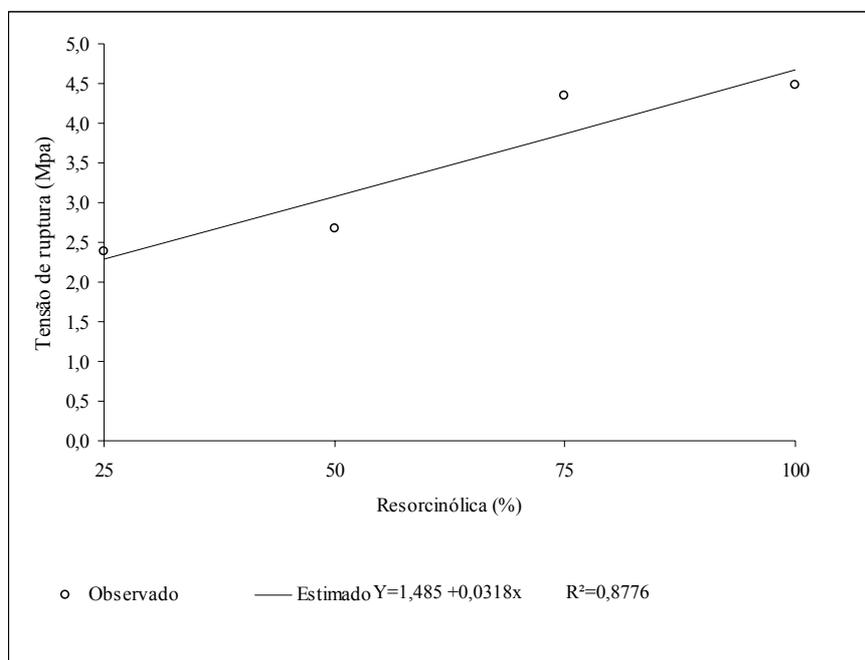


FIGURA 25. Valores médios de tensão de ruptura, observados e estimados, no teste de cisalhamento pós-fervura, em função das porcentagens de resorcinólica.

Na Tabela 21 são apresentadas as médias para todos os tratamentos, confirmando o ótimo desempenho para a composição adesívica com 75% resorcinólica que, nas procedências 03 e 04, apresentou valores superiores aos tratamentos a 100% resorcinólica e 100% mamona, com valores entre 4,56 MPa e 4,59 MPa. A maior média verificada foi a da procedência 02, com 100% resorcinólica (5,03 MPa).

TABELA 21. Valores médios de tensão de ruptura (MPa) no teste de cisalhamento pós-fervura, em função das porcentagens de resorcinólica e procedências, comparados à média do tratamento com 100% de mamona. Entre parênteses, notas dadas para falha da madeira em percentagem

Resorcinólica (%)	¹ Procedências (% falha na madeira)			
	1	2	3	4
100	4,41 (46,11)	5,03 (48,33)	3,83 (21,13)	4,66 (55,87)
75	4,37 (55,41)	3,86 (68,27)	4,56 (24,33)	4,59 (38,52)
50	2,35 (20,08)	2,81 (23,19)	2,63 (20,44)	2,91 (25,31)
25	2,59 (26,22)	1,99 (19,35)	2,55 (10,61)	2,47 (9,72)
100% Mamona	4,57(21,11) a	2,08(15,26) b	3,13 (23,71) ab	2,50(5,01) b

1 - Média com valor *p* maior que 0,0500 não difere da média do tratamento adicional, pelo teste Dunnett, dentro da mesma procedência.

Os valores encontrados para a propriedade de cisalhamento nos estados seco, úmido e pós-fervura, nos tratamentos adicionais com adesivo poliuretano à base de mamona e 75% resorcinólica, foram muito satisfatórios, pois se mostraram próximos e até mesmo superiores ao adesivo resorcinólico.

Nas procedências adicionais, houve perda significativa de valores no ensaio pós-fervura, tendo, nas procedências 02, 03 e 04, as médias sido inferiores às melhores médias dos tratamentos com resorcinólica nas mesmas procedências. A melhor média para o ensaio pós-fervura foi da procedência 02 a 100% resorcinólica (5,03 MPa), seguida pela média do mesmo adesivo na procedência 04.

6 CONCLUSÕES

- A massa específica dos painéis PLP não demonstrou associação com as propriedades físicas e mecânicas.
- As composições adesivas à base de resorcinólica tiveram influência sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.
- O tratamento adicional de mamona correspondente à procedência 01 de *Eucalyptus grandis* foi o que teve melhor desempenho nas propriedades físicas dos painéis PLP.
- Para o MOE no sentido perpendicular à linha de cola, as melhores médias encontradas foram as dos tratamentos adicionais (mamona), tendo o melhor resultado sido o da procedência 02.
- O tratamento adicional referente à procedência 01 apresentou o melhor resultado de MOR, no sentido perpendicular à linha de cola.
- Para MOE e MOR no sentido paralelo à linha de cola, o tratamento adicional de mamona correspondente à procedência 01 apresentou melhor resultado.
- Os tratamentos adicionais com poliuretano de mamona apresentaram os melhores resultados para a propriedade de compressão paralela à fibra, tendo o melhor resultado correspondido à procedência 01.
- O tratamento com 75% resorcinólica apresentou resultados próximos aos melhores valores para as propriedades mecânicas.
- Os tratamentos a 75% resorcinólica confirmam a viabilidade da combinação do tanino com o resorcinol.

- A linha de cola de adesivo de mamona apresentou alta resistência nas condições seca, úmida e pós-ferveira.
- Todos os tratamentos tiveram queda de resistência quando submetidos a condições úmidas e de altas temperaturas.
- É viável a utilização de composições adesívicadas alternativas na produção de painéis estruturais de lâminas paralelas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É viável a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas com procedências de *Eucalyptus grandis*.

8. RECOMENDAÇÕES

Recomendam-se maiores investigações do processamento de painéis utilizando adesivos alternativos, sendo necessária uma melhor adequação das variáveis do processo. É preciso, ainda, identificar propriedades ideais dos adesivos para determinada espécie empregada, assim como definição de gramaturas, ciclos e temperaturas de prensagem.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, C.P. **Efeito da redução da área colada no comportamento de vigas e colunas de madeira laminada de *Eucalyptus grandis***. 2001. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- ABRAHÃO, C.P.; PINTO, F.A.C.; JÚNIOR, J.K.K. Quantificação da falha na madeira em juntas coladas utilizando técnicas de visão artificial. **Revista *Árvore***, Viçosa, MG, v.27, n.1, p.71-78, jan./fev. 2003.
- AGUIAR, O.J.R. **Métodos para controle das rachaduras de topo para toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden visando a produção de lâminas para desenrolamento**. 1985. 104p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Resistance of adhesives to cyclic laboratory aging conditions. ASTM D 1183. **Annual book of A.S.T.M. Standards**, Philadelphia, v.3, n.4, p.405-407, 1984.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual Book of ASTM Standars: adhesives**. Washington: ASTM, 1994. 608 p.
- ARAÚJO, L. C. R. **Características químicas e mecânicas de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais óleoquímicos**. 1992. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Instituto de Física e Química de São Carlos, São Carlos, SP.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/CB-31-Projeto de Normas 31.000.05.001/1**: Chapas de madeira compensada. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- AZAMBUJA, M.A. **Avaliação do adesivo poliuretano à base de mamona para fabricação de MLC**. 2002. 103 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.
- BALDWIN, R.F. **Plywood and veneer-based products: manufacturing practices**. San Francisco: M. Freeman, 1995. 388 p.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Produtos florestais**. Área de operações industriais: gerência setorial 1. Rio de Janeiro: BNDES setorial, 2002.

BENITES, L. Propiedades mecánicas y resistencia de unions encoladas de vigas laminadas. **Informe de Investigación**, n. 10. 2002. Disponível em: <http://www.latu.org.uy>. Acesso em 15 nov. 2008.

BENITES, L. **Características de madera de chapas laminadas (LVL) de plantaciones de rápido crecimiento del Uruguay**. Montevideú: Laboratório Tecnológico del Uruguay, 2006. (Nota Técnica, 3).

BORTOLETTO JUNIOR, G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero Eucalyptus, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p.65-78, jun. 2003.

CANNAS, A. **Tannins**: Fascinating but Sometimes Dangerous Molecules. Ithaca, NY: Cornell University, 1999. Disponível em: <http://www.ansci.cornell.edu/toxicagents/tannin/tannin.htm>. Acesso em: 17 nov. 2008.

CARVALHO, A.M.; Lahr, F.A.R.; Bortoletto Júnior, G. Use of Brazilian eucalyptus to produce LVL panels. **Forest Products Journal**, Madison, v.54, n.11, p.61-64, 2004.

CARVALHO, A. M. de; LAHR, F. A. R.; MACHADO, J. M. S. Avaliação da porcentagem de delaminação em painéis LVL de Eucalipto segundo normas européias. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, IX., 2004b, Cuiabá. **Anais...Cuiabá**: Universidade Federal do Mato Grosso, 2004b.

CARVALHO, A.M.; ZANGIÁCOMO, A.L.; LAHR, F.A.R. Comparação entre painéis LVL de Eucalipto e a madeira maciça do mesmo material genético. In: JORNADAS SULAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 32., Campinas. **Anais eletrônicos...Campinas**: UNICAMP, 2006. Disponível em: http://www.eventoweb.com.br/jornadas/sc/relat/list_techsession.php?TS=26. Acesso em: 20 set. 2006.

CARVALHO, A.M.; LAHR, F.A.R. Painéis laminados estruturais, LVL's. **Revista da Madeira**, Curitiba, 17 maio 2003. Disponível em: http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=78&id=488. Acesso em: 3 ago.2008.

COSTA, E.M. A madeira do eucalipto na indústria moveleira. In: **SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO**, 1996, Curitiba. **Anais...**Curitiba: ABPM, 1996. p.75-89.

DELLA LUCIA, R.M.; VITAL, B.R. Avaliação da qualidade de juntas coladas de madeira de 3 espécies de Eucalyptus. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.5, n.2, p. 172-180, jul./ago. 1981.

DIAS, F.M.; LAHR, F.A.R. Alternative Castor Oil-Based Polyurethane adhesive used in the production of plywood. **Materials Research**, Pittsburgh, v.7, n.3, p.413-420, Mar. 2004.

DIAS, F.M.; LAHR, F.A.R. Resistência da colagem ao cisalhamento em compensados produzidos com Eucalyptus e adesivo à base de mamona. In: **ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA**, 9., 2004, Cuiabá. **Anais...**Cuiabá: EBRAMEN, 2004.

ECKELMAN, C.A. Potential uses of laminated veneer lumber in furniture. **Forest Products Journal**, Madison, v.43, n.4, p.19-25, 1993.

EMISSION FACTOR INDUSTRY FOR AP-42. Chapter 10, Wood Products Industry, prepared for the U. S. Environmental Protection Agency, OAQPS/EFIG, by Midwest Research Institute, Cary, NC, May 2002.

ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Engineered Wood Systems. **Understanding Engineered Wood Products**. Disponível em <[http://www.apawood.org/woodu/secure/101/unit one/1unit1 sotry.cfm](http://www.apawood.org/woodu/secure/101/unit%20one/1unit1_sotry.cfm)>. Acesso em: 17 ago. 2008.

EUROPEAN STANDARD. **EN 314 – 2 – Plywood: bonding quality. Part 2: Requirements**. Bruxelas: ES, 1993. 10p.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. **FAO Statistical**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 3 ago. 2008.

FORD-ROBERTSON, F.C. **Terminology of forest science, technology practice and products**. Washington: Society of American Foresters, 1971. 349 p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook – wood as an engineering material**. Washington: US Department of Agriculture, 1987. 466 p.

GUSS, L.M. Engineered wood products: The future is bright. **Forest Products Journal**, Madison, v.45, n.7/8, p.17-24, 1995.

GUSS, L. **Market perspectives for laminated veneer lumber**. Contract rept. For Druand-Raute, Bellevue, WA. 52p. 1993. 1993-2002.

IWAKIRI, S. Utilização de diferentes espécies do gênero *Pinus* para produção de painéis “waferboard”. **IPEF**, Piracicaba, SP, n.43-44, p.65-69, jan./dez. 1990.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF, 1998. Apostila

IWAKIRI, S.; NIELSEN, I.R.; ALBERTI, R.A.R. Avaliação da influência de diferentes composições de laminas em compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v.6, n.2, p.19-24, jul./dez. 2000.

IWAKIRI, S.; MENDES, L.M.; SALDANHA, K.L.; SANTOS, J.C.I. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas - OSB. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v.10, n.1, p. 46-52, jan./jun. 2002.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

IWAKIRI, S.; JR, S.K.; PRATA, J.G.; ROSSO, S. Produção de painel compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v.37, n.3, p.363-367, set./dez. 2007.

JANKOWSKY, I.P. Manufatura de painéis compensados com madeira de *Eucalyptus* spp: resultados preliminares. **Circular técnica IPEF**, Piracicaba, SP, n.82, p.1-4, 1979.

JESUS, J.M.H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada**. 2000. 106 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.

JORGE, F.C.; BRITO, P.; PEPINO, L.; PORTUGAL, A.; GIL, H.; COSTA, R.P. Aplicações para as cascas de árvores e para os extractos taninosos: uma revisão. **Silva Lusitana**, Lisboa, v.9, n.2, p.225-236, dez. 2001.

KOLLMANN, F.; COTÉ, W. **Principles of wood Science and Technology:** solid wood New York: Springer-Verlag, 1968. 592p.

KOLLMANN, F.F.P., KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. **Principles of wood science and technology.** Berlin: Springer-Verlag, 1975. v.2. 703 p.

LAUFENBERG, T.L. Exposure effect upon performance of laminated veneer lumber and glulam materials. **Forest Products Journal**, Madison, v.32, n.5, p.42-48, May 1982.

LAUFENBERG, T.L. Parallel-laminated veneer: processing and performance research review. **Forest Product Journal**, Madison, v.33, n.9, p.21-28, September, 1983.

LELLES, J.G.; SILVA, J.C. Novos usos para a madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba: março/abril, 1998. v.6, n.36, p.42-45.

LIMA, J.T.; TRUGILHO, P.F.; ROSADO, S.C.S.; CRUZ, C.R. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.1, p. 107-116, jan./fev. 2004.

LIMA, C.K.P.; MORI, F.A.; MENDES, L.M.; CARNEIRO, A.C.O. Características anatômicas e químicas de madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 13, n.2, p.123-129, jul./dez. 2007.

LOBÃO, M.S.; Gomes, A. Qualidade da adesão de madeira de Eucalipto em corpos-de-prova colados em dois diferentes planos e densidades. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v.12, n.2, p.194-200, jul./dez. 2006.

LUXFORD, R.F. **Strength of glue-laminated Sitka spruce made up of rotary-cut veneers:** USDA Forest Service, FPL Rep. 1512. Madison: Department of Agriculture, 1944.

MALONEY, T.M. The Family of Wood Composite Materials, **Forest Products Journal**, Madison, v.46, n.2, p.19-26, february, 1996.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding: principles in practice.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 1997. 117 f. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Agrárias, Curitiba, Curitiba, PR.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C.E.C.; IWAKIRI, S. Qualidade dos sarrafos para produção de compensados sarrafeados. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 5., 1999, Curitiba. **Anais...**Rio de Janeiro: Biosfera, 1999. v.1, p.2063.

MENDES, L.M.; ALBUQUERQUE, C.E.C. OSB: aspectos técnicos e econômicos da indústria brasileira de chapas de fibras e de partículas. **Revista da Madeira**, Curitiba, PR, n.53, p.14-22, Novembro, 2000.

MENDES, Lourival Marin ; NAZARENO, A. G. ; MENDES, Soraya Aparecida; MORI, Fábio Akira ; SILVA, José Reinaldo Moreira da . Produção de compensados a partir da produção de lâminas por tornos laminadores. **Revista da Madeira**, Curitiba, PR, v.76, p.67-74, 1 set. 2003.

MORI, F.A.; Mendes, L.M.; MORI, C.L.S.O.; SIQUEIRA, D. Colagem com adesivo termo fixo fenol-formaldeído em três diferentes substratos de madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...**São Carlos: IBRAMEM, 2006.

MUÑIZ, G.I.B. Fatores que limitam a utilização da madeira de *Eucalyptus*. In: In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFLA, 15., 2002, Lavras. **Anais...**Lavras: UFLA, 2002. p.30-63.

OLIVEIRA, J.T. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil.** 1997. 2v. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo.

OLIVEIRA, F.G.R.; SALES, A. Ultrasonic measurements in Brazilian hardwood. **Materials Research**, Pittsburgh, v.5, n.1, p.51-55, Mar. 2002.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Text book of wood technology.** 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 705 p.

PEDROSA, A.L. **Desempenho estrutural de vigas “I” constituídas por PLP e compensado de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden e OSB de *Pinus spp.*** Curitiba 2003. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Agrárias, Curitiba.

PELLERIN, R. J. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Laboratory**, Madison, v.56, n.2, p. 210, 2002.

PETRAUSKY, A. **Comportamento de ligações adesivas e avaliação experimental de tesouras de telhados feitas de laminado colado com madeira de *Eucalyptus grandis***. Viçosa 2000. 128 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.

PIO, N. S. **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. Curitiba 2002, 168 f. Dissertação (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Agrárias, Curitiba.

PIZZI, A., Tannin-based wood adhesives. In:-----**Wood Adhesives: Chemistry and Technology**. New York:, Marcel Dekker, 1983. cap. , p.177-248.

PIZZI, A. **Wood adhesives: chemistry and technology**. New York: Marcell Dekker, 1983. 364p.

PIZZI, A.; CAMERON, F.A. Fast-set adhesives for glulam. **Forest Products Journal**, Madison, v.9, n.34, p.61-64, 1984.

PIZZI, A. Natural phenolic adhesives I: Tannin In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.347 – 358

PIZZI, A., Tannin-based wood adhesives. In ----- **Advanced Wood Adhesives Technology**. New York, ed., , Marcel Dekker, 1994. cap. 5, p. 149-217.

PIZZI, A.; MITTAL, K.L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcell Dekker, 1994. 680p.

PONCE, P.H. Perspectivas do Eucalipto na substituição de madeiras nativas. In: SEMINÁRIOS SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 1994, Curitiba, 1994. **Anais...** Curitiba: SBS, 1994. p. 86

RAJAKARUNA, M.P. Joint in Timber Structures. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM, 22., 2001, Stuttgart. **Proceedings...** Stuttgart: RILEM, 2001.

ROSS, R.J.; BRASHAW, B.K.; PELLERIN, R.F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v.48, n.1, p.14-19, January, 1998.

ROSS, R.J. Using sound to evaluate standing timber: review. **Forest Products Journal**, Madison, v.1, n.1, p.43-44, 1999.

SANTOS, C.B.; PIMENTA, A.S.; VITAL, B.R.; BARBOSA, L.C. Efeito da variação do pH e da temperatura de síntese no desempenho de adesivos à base de creosoto vegetal desmetilado-formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.27, n.4, p.551-559, 2003.

SAS Institute. **SAS Procedures guide for computers**. 6 ed. Cary, NC, 1999. v.3, 373p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Contribuição do grupo de trabalho “madeira e florestas” ao fórum de competitividade da cadeia produtiva da indústria de madeira e móveis do MDIC**. São Paulo: SBS, 2000. 33p.

SCHAFFER, E.L. et al. FPL Press-lam process: Fast, efficient conversion of logs into structural products. **Forest Products Journal**, Madison, v.22, n.11, p.11-18. 1972.

SCHAFFER, E. L. et al. **Press-Lam**: progress in technical development of laminated veneer structural products. Madison: U.S. Forest Products Laboratory. 1977. (Research Paper FPL , 279).

SCHULER, A.; ADAIR, C. Engineered and other wood products – An opportunity to “Grow the pie”. In: INTERNATIONAL WOOD COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM, 37., 2000, Wester, Hungary. **Proceeding...** Western: University of Western, 2000, p. 43-53. 2000.

SCHULER, A.; ADAIR, C.; ELIAS, E. Engineered lumber products: Taking their place in the global market. **Journal of Forestry**, Washington, v. 99, n. 12, p. 28-35, Dec. 2001.

SELLERS, T. **Plywood and adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661p.

SELLERS, T. Wood adhesive innovations and applications in North America. **Forest Products Journal**, Amsterdam, v.51, n.6, p.12-22, Jun. 2001.

SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2002. 160 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Agrárias, Curitiba, PR.

SINKO, H. Aumenta presença de painéis LVL no mercado. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 60, out. 2001. Disponível em <http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=60&id=43>. Acesso em: 10 ago. 2008.

SOUZA, F. **Produção de painéis de lâminas paralelas (LVL) com madeira de espécie do gênero Pinus SP.** Brasília 2007. Projeto de Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Brasília. Brasília, DF.

TOMASELI, I. Tendências de mudanças na indústria de painéis. **Revista da madeira**, Curitiba, PR, n. 43, p. 36-42, 1999.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MORI, F.A. Correlação canônica das características químicas e físicas de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v.9, n.1, p.66-80, jan./jun. 2003.

TRUGILHO, P.F.; IWAKIRI, S.; ROCHA, M.P.; MATOS, J.L.M.; SALDANHA, L.K. Efeitos da idade e classe diamétrica na formação residual em árvores de *Eucalyptus dunnii* maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.5, set./out. 2004.

TRUGILHO, P.F.; BIANCHI, M.L.; ROSADO, S.C.S.; LIMA, J.T. Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n.73, p.55-62, mar. 2007.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization.** New York: Van Reinhold, 1991. 494 p.

VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto. **Informe Agropecuário**, v.12, n.141, p.71-74, 1986.

WATAI, L. T. Painéis derivados da Madeira. **Boletim ABPM**, São Paulo, n.52, nov. 1987.

WATAI, L.T. Painéis estruturais: tendências e desenvolvimento no Brasil.
Revista da Madeira, Curitiba, PR, v.5, n.28, p.32-34, 1996.

ZANGIÁCOMO, A.L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. São Carlos 2003. 78 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A - Resumo da análise de variância para as variáveis densidade dos painéis e razão de compactação.....	89
TABELA 2A - Análise de variância para a variável absorção de água, segundo os tratamentos estudados.....	89
TABELA 3A - Análise de variância para a variável umidade, segundo os tratamentos estudados.....	89
TABELA 4A - Análise de desdobramento da variável umidade, estudando níveis do fator procedência dentro de cada porcentagem de resorcinólica.....	90
TABELA 5A - Análise de desdobramento da variável umidade, estudando níveis do fator porcentagem de resorcinólica dentro de cada procedência.....	90
TABELA 6A - Análise de desdobramento da variável umidade, estudando níveis do fator procedência dentro de cada porcentagem de resorcinólica.....	90
TABELA 7A - Análise de desdobramento da variável umidade, estudando níveis do fator porcentagem de resorcinólica dentro de cada procedência.....	90
TABELA 8A - Análise de variância para a variável módulo de elasticidade em flexão (perpendicular), segundo os tratamentos estudados.....	91
TABELA 9A - Análise de variância para a variável módulo de ruptura em flexão (perpendicular), segundo os tratamentos estudados.....	91
TABELA 10A - Análise de variância para a variável módulo de elasticidade em flexão (paralela), segundo os tratamentos estudados.....	92
TABELA 11A - Análise de desdobramento da variável módulo de elasticidade, estudando níveis do fator procedência dentro de cada	

porcentagem de resorcinólica.....	92
TABELA 12A - Análise de desdobramento da variável: módulo de elasticidade, estudando níveis do fator porcentagem de resorcinólica dentro de cada procedência.....	92
TABELA 13A - Análise de variância para a variável: módulo de ruptura em flexão (paralela), segundo os tratamentos estudados.....	93
TABELA 14A - Análise de variância para a variável tensão da força máxima em compressão segundo os tratamentos estudados.....	93
TABELA 15A - Análise de desdobramento da variável tensão da força máxima, estudando níveis do fator porcentagem de resorcinólica dentro de cada procedência.....	93
TABELA 16A - Análise de variância para a variável tensão de ruptura no teste de cisalhamento seco, segundo os tratamentos estudados.....	94
TABELA 17A - Análise de variância para a variável tensão de ruptura no teste de cisalhamento úmido, segundo os tratamentos estudados.....	94
TABELA 18A - Análise de variância para a variável tensão de ruptura no teste de cisalhamento pós-fervura, segundo os tratamentos estudados.....	95

TABELA 1A. Resumo da análise de variância para as variáveis densidade dos painéis e razão de compactação.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (<i>valor-p</i>)	
		Densidade	RC
Procedência (P)	3	0,0130 (p<0,0001)	0,0926 (p<0,0001)
Adesivo (A)	4	0,0039(p<0,0001)	0,0104 (p<0,0001)
P x A	12	0,0059(p<0,0001)	0,0174 (p<0,0001)
Erro	40	0,0002	0,0005
CV (%)		1,73	1,60
¹ Pr <W		0,2706	0,3351

1- teste de normalidade de Shapiro-Wilk

TABELA 2A. Análise de variância para a variável absorção de água, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (<i>valor p</i>)
Tratamentos	19	56,1093 (p<0,0001)
Procedência (P)	3	128,6897 (p<0,0001)
Resorcinólica (R)	3	24,1396 (p=0,0034)
P x R	9	24,3940 (p=0,0001)
Entre adicionais	3	25,7361 (p=0,0024)
Adicional versus Fatorial	1	310,8333 (p<0,0001)
Erro	40	4,5116
CV (%)		10,78
¹ Pr <W		0,3235

1- teste de normalidade de Shapiro-Wilk

TABELA 3A. Análise de variância para a variável umidade, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (<i>valor p</i>)
Tratamentos	19	7,1142 (p<0,0001)
Procedência (P)	3	1,2624 (p=0,0014)
Resorcinólica (R)	3	4,9002 (p<0,0001)
P x R	9	0,4897 (p=0,0260)
Entre adicionais	3	0,8669 (p=0,0101)
Adicional versus Fatorial	1	109,6472 (p<0,0001)
Erro	40	0,2013
CV (%)		3,64

¹Pr<W 0,3356

1- teste de normalidade de Shapiro-Wilk- tem que ser maior que 5% ou 0,05

TABELA 4A. Análise de desdobramento da variável umidade, estudando níveis do fator procedência dentro de cada porcentagem de resorcinólica.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Procedências/ 100% resorc.	3	0,9936 (p=0,0052)
Procedências/ 75% resorc.	3	0,0703 (p=0,7900)
Procedências/ 50% resorc.	3	1,2072 (p=0,0018)
Procedências/ 25% resorc.	3	0,4603 (p=0,0933)
Erro	40	0,2013

TABELA 5A. Análise de desdobramento da variável umidade, estudando níveis do fator porcentagem de resorcinólica dentro de cada procedência.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Resorcinólica / procedência 1	3	2,3524 (p<0,0001)
Resorcinólica / procedência 2	3	1,5649 (p=0,0003)
Resorcinólica / procedência 3	3	2,0487 (p<0,0001)
Resorcinólica / procedência 4	3	0,4121 (p=0,1226)
Erro	40	0,2013

TABELA 6A. Análise de desdobramento da variável umidade, estudando níveis do fator procedência dentro de cada porcentagem de resorcinólica.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Procedências/ 100% resorc.	3	32,4768 (p=0,0006)
Procedências/ 75% resorc.	3	25,7766 (p=0,0024)
Procedências/ 50% resorc.	3	68,1069 (p<0,0001)
Procedências/ 25% resorc.	3	44,9134 (p<0,0001)
Erro	40	4,5116

TABELA 7A. Análise de desdobramento da variável umidade, estudando níveis do fator porcentagem de resorcinólica dentro de cada procedência.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Resorcinólica / procedência 1	3	36,1972 (p=0,0003)
Resorcinólica / procedência 2	3	24,6181 (p=0,0031)
Resorcinólica / procedência 3	3	18,2427 (p=0,0133)
Resorcinólica / procedência 4	3	10,5853 (p=0,0872)

Erro	40	4,5116
------	----	--------

TABELA 8A. Análise de variância para a variável módulo de elasticidade em flexão (perpendicular), segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Tratamentos	19	87.928.570,1579 (p=0,2377)
Procedência (P)	3	28.209.663,7333 (p=0,7420)
Resorcinólica (R)	3	38.624.359,5333 (p=0,6377)
P x R	9	43.817.821,2889 (p=0,7501)
Entre adicionais	3	341.843.747,3333 (p=0,0046)
Adicional versus Fatorial	1	50.249.129,6000 (p=0,3941)
Erro	40	67.707.828,5750
CV (%)		11,78
¹ Pr<W		0,0855

1- teste de normalidade de Shapiro-Wilk

TABELA 9A. Análise de variância para a variável: módulo de ruptura em flexão (perpendicular), segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Tratamentos	19	193.883,5877 (p<0,0001)
Procedência (P)	3	56.505,7127 (p=0,0559)
Resorcinólica (R)	3	306.667,8416 (p<0,0001)
P x R	9	24.182,5268 (p=0,3385)
Entre adicionais	3	215.042,8413 (p<0,0001)
Adicional versus Fatorial	1	1.731.496,2388 (p<0,0001)
Erro	40	20.629,7604
CV (%)		10,96
¹ Pr<W		0,8521

1- teste de normalidade de Shapiro-Wilk

TABELA 10A. Análise de variância para a variável módulo de elasticidade em flexão (paralela), segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Tratamentos	19	174.728.980,4211 (p<0,0001)
Procedência (P)	3	380.233.500,000 (p<0,0001)
Resorcinólica (R)	3	254.994.279,0000 (p<0,0001)
P x R	9	64.640.845,8889 (p=0,0186)
Entre adicionais	3	79.143.704,8000 (p=0,0344)
Adicional versus Fatorial	1	594.968.563,6000 (p<0,0001)
Erro	40	24.935.550,4500
CV (%)		7,08
¹ Pr<W		0,7661

1- teste de normalidade de Shapiro-Wilk

TABELA 11A. Análise de desdobramento da variável módulo de elasticidade, estudando níveis do fator procedência dentro de cada porcentagem de resorcinólica.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Procedências/ 100% resorc.	3	152.035.682,00 (p=0,0016)
Procedências/ 75% resorc.	3	121.304.748,00 (p=0,0056)
Procedências/ 50% resorc.	3	214.018.894,33 (p=0,0002)
Procedências/ 25% resorc.	3	86.796.713,00 (p=0,0245)
Erro	40	24.935.550,45

TABELA 12A. Análise de desdobramento da variável módulo de elasticidade, estudando níveis do fator porcentagem de resorcinólica dentro de cada procedência.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Resorcinólica / procedência 1	3	245.322.014,00 (p=0,0001)
Resorcinólica / procedência 2	3	132.586.921,00 (p=0,0035)
Resorcinólica / procedência 3	3	56.798.874,67 (p=0,0443)
Resorcinólica / procedência 4	3	14.209.006,67 (p=0,6381)
Erro	40	24.935.550,45

TABELA 13A. Análise de variância para a variável módulo de ruptura em flexão (paralela), segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Tratamentos	19	75.800,0779 (p<0,0001)
Procedência (P)	3	140.662,3200 (p=0,0004)
Resorcinólica (R)	3	249.239,6000 (p<0,0001)
P x R	9	19.902,6667 (p=0,4045)
Entre adicionais	3	16.306,0400 (p=0,4609)
Adicional versus Fatorial	1	42.453,6000 (p=0,1385)
Erro	40	18.582,3120
CV (%)		13,48
¹ Pr<W		0,4626

1- teste de normalidade de Shapiro-Wilk

TABELA 14A. Análise de variância para a variável tensão da força máxima em compressão, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Tratamentos	19	13.347,0882 (p<0,0001)
Procedência (P)	3	15.124,0942 (p=0,0001)
Resorcinólica (R)	3	8.123,3856 (p=0,0041)
P x R	9	7.236,3897 (p=0,0003)
Entre adicionais	3	3.851,7683 (p=0,0776)
Adicional versus Fatorial	1	114.823,4363 (p<0,0001)
Erro	32	1.572,8820
CV (%)		6,79
¹ Pr<W		0,0714

1- teste de normalidade de Shapiro-Wilk

TABELA 15A. Análise de desdobramento da variável tensão da força máxima, estudando níveis do fator porcentagem de resorcinólica dentro de cada procedência.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Resorcinólica / procedência 1	3	16.748,0000 (p<0,0001)
Resorcinólica / procedência 2	3	7.860,3333 (p=0,0049)
Resorcinólica / procedência 3	3	3.202,7879 (p=0,0491)
Resorcinólica / procedência 4	3	2.655,7186 (p=0,1849)

Erro	32	1.572,8820
------	----	------------

TABELA 16A. Análise de variância para a variável tensão de ruptura no teste de cisalhamento seco, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Tratamentos	19	6,4084 (p<0,0001)
Procedência (P)	3	0,1449 (p=0,9195)
Resorcinólica (R)	3	23,8738 (p<0,0001)
P x R	9	0,4948 (p=0,8193)
Entre adicionais	3	3,7391 (p=0,0107)
Adicional versus Fatorial	1	34,0341 (p<0,0001)
Erro	40	0,8799
CV (%)		14,61
¹ Pr<W		0,0558

1- teste de normalidade de Shapiro-Wilk- tem que ser maior que 5% ou 0,05

TABELA 17A. Análise de variância para a variável tensão de ruptura no teste de cisalhamento úmido, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Tratamentos	19	4,8111 (p<0,0001)
Procedência (P)	3	0,2574 (p=0,8109)
Resorcinólica (R)	3	18,9746 (p<0,0001)
P x R	9	0,2127 (p=0,9807)
Entre adicionais	3	3,0356 (p=0,0178)
Adicional versus Fatorial	1	22,6937 (p<0,0001)
Erro	40	0,8045
CV (%)		18,87
¹ Pr<W		0,7890

1- teste de normalidade de Shapiro-Wilk

TABELA 18A. Análise de variância para a variável tensão de ruptura no teste de cisalhamento pós-fervura, segundo os tratamentos estudados.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio (valor <i>p</i>)
Tratamentos	19	3,0639 (p<0,0001)
Procedência (P)	3	0,1758 (p=0,8008)
Resorcinólica (R)	3	13,7003 (p<0,0001)
P x R	9	0,4276 (p=0,6078)
Entre adicionais	3	3,4414 (p=0,0012)
Adicional versus Fatorial	1	2,4136 (p=0,0389)
Erro	32	0,5261
CV (%)		21,24
¹ Pr<W		0,4633

1- teste de normalidade de Shapiro-Wilk