



**NERCI NINA LIMA**

**PAINÉIS LAMINADOS E PARTICULADOS À  
BASE DE MADEIRAS TROPICAIS DA  
AMAZÔNIA**

**LAVRAS – MG**

**2011**

**NERCI NINA LIMA**

**PAINÉIS LAMINADOS E PARTICULADOS À BASE DE MADEIRAS  
TROPICAIS DA AMAZÔNIA**

Tese 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 Doutor.

Orientador

Dr. Lourival Marin Mendes

**LAVRAS – MG**

**2011**

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

Lima, Nerci Nina.

Painéis laminados e particulados à base de madeiras tropicais da  
Amazônia / Nerci Nina Lima. – Lavras : UFLA, 2011.

207 p.: il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Bibliografia.

1. Madeiras amazônicas. 2. LVL. 3. Aglomerado. 4. Cimento-  
madeira. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.835

**NERCI NINA LIMA**

**PAINÉIS LAMINADOS E PARTICULADOS À BASE DE MADEIRAS  
TROPICAIS DA AMAZÔNIA**

Tese 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 Doutor.

APROVADA em 25 de março de 2011.

PhD. Holmer Savastano Júnior	USP
Dr. Fábio Akira Mori	UFLA
Dr. Gustavo Henrique Denzin Tonoli	UFLA
Dr. Juliano Fiorelli	UNESP

Dr. Lourival Marin Mendes  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2011**

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Lourival Marin Mendes, pela sua gentileza e incentivo ao longo deste trabalho, pelo qual tenho muito respeito e consideração.

À Universidade Federal do Amazonas, pela oportunidade de me qualificar.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, pela ajuda financeira na concessão da bolsa de doutorado.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, por ter me proporcionado um estudo de qualidade.

À Empresa Cikel Brasil Verde S.A., pelo fornecimento das madeiras e apoio ao longo da coleta.

A minha mãe, à minha filha e aos meus irmãos, por acreditaram em mim;

Ao meu esposo, Sérgio, pela paciência, ajuda e companheirismo nas horas difíceis, ao longo deste trabalho.

A todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira.

Às minhas amigas Lina, Simonne e Vânia, que me ajudaram muito e contribuíram com seus talentos técnicos e profissionalismo, durante este trabalho, agradeço de coração.

A todos os amigos que ingressaram no ano de 2007, tanto no mestrado como no doutorado, pelas diversões nas horas de laser e pela contribuição no meu aprendizado durante esses 4 anos, muito obrigada.

E a todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

*A Deus, pela vida que me deu e a força de buscar os meus ideais, permitindo,  
assim, chegar a esse momento.*

DEDICO

Foi o tempo que perdeste com tua rosa  
que tornou tua rosa importante.

Antoine de Saint-Exupéry

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE</b> .....	11
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	11
<b>2</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	14
<b>2.1</b>	<b>Madeiras tropicais da Amazônia</b> .....	14
<b>2.2</b>	<b>Madeiras alternativas</b> .....	14
<b>2.3</b>	<b>Características das espécies estudadas</b> .....	16
<b>2.3.1</b>	<b>Características gerais de <i>Parkia gigantocarpa</i> Ducke (Leguminosae-mimosoideae)</b> .....	16
<b>2.3.2</b>	<b>Características gerais de <i>Brosimum parinarioides</i> Ducke (Moraceae)</b> .....	17
<b>2.3.3</b>	<b>Características gerais de <i>Cordia goeldiana</i> Huber (Boraginaceae)</b> .....	18
<b>2.4</b>	<b>Trabalhos com espécies amazônicas</b> .....	20
<b>2.5</b>	<b>Painéis à base de madeira</b> .....	21
<b>2.6</b>	<b>Adesão e adesivo</b> .....	23
<b>2.7</b>	<b>Características tecnológicas dos painéis laminados e particulados</b> .....	26
<b>2.7.1</b>	<b>Painéis compensados</b> .....	26
<b>2.7.1.1</b>	<b>Fatores que afetam as características dos painéis compensados</b> ...	27
<b>2.7.1.2</b>	<b>Características da madeira</b> .....	27
<b>2.7.1.3</b>	<b>Características das lâminas</b> .....	28
<b>2.7.1.4</b>	<b>Colagem e prensagem dos painéis</b> .....	29
<b>2.7.2</b>	<b>Painéis de lâminas paralelas (LVL/PLP)</b> .....	32
<b>2.7.2.1</b>	<b>Fatores que afetam as características dos painéis LVL</b> .....	33
<b>2.7.3</b>	<b>Fatores que afetam as propriedades dos painéis particulados</b> .....	34
<b>2.7.3.1</b>	<b>Fatores inerentes a madeira</b> .....	34
<b>2.7.3.2</b>	<b>Fatores inerentes ao processo</b> .....	36
<b>2.7.4</b>	<b>Painéis de madeira aglomerada</b> .....	40
<b>2.7.5</b>	<b>Painéis cimento-madeira</b> .....	41
<b>2.8</b>	<b>Composição e produção de painéis cimento-madeira</b> .....	43
<b>2.8.1</b>	<b>Composição</b> .....	43
<b>2.8.2</b>	<b>Cimento</b> .....	43
<b>2.8.3</b>	<b>Madeira</b> .....	45
<b>2.8.4</b>	<b>Água</b> .....	46
<b>2.8.5</b>	<b>Aditivos químicos</b> .....	46
<b>2.9</b>	<b>Processo de fabricação dos painéis</b> .....	47
<b>2.10</b>	<b>Aplicações</b> .....	48
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	49



<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS</b> .....	58
<b>ARTIGO 1</b> Propriedades anatômica, química e densidade básica de três espécies florestais amazônicas .....	58
<b>ARTIGO 2</b> Painéis <i>laminated veneer lumber</i> (LVL) produzidos com madeiras de espécies alternativas da amazônia .....	89
<b>ARTIGO 3</b> Painéis compensados produzidos com madeiras de espécies alternativas da amazônia .....	114
<b>ARTIGO 4</b> Painéis aglomerados produzidos com madeira de espécies alternativas da amazônia .....	138
<b>ARTIGO 5</b> Painéis cimento-madeira produzidos com madeiras de espécies alternativas da amazônia .....	178

## RESUMO

Diante da grande demanda por madeiras, tanto pelas indústrias de madeira serradas como de painéis de madeira reconstituídos, espécies alternativas vêm sendo pesquisadas, no intuito de suprir as espécies mais utilizadas como também conhecer o seu potencial tecnológico. Este trabalho foi realizado com o objetivo de conhecer o potencial de três espécies tropicais da Amazônia, *Cordia goeldiana*, *Brosimum parinarioides* e *Parkia gigantocarpa*, no aproveitamento da produção de painéis laminados e particulados com a inclusão da madeira de *Pinus* sp. Os painéis compensados foram confeccionados com cinco lâminas de 2,0 mm de espessura e colados com resina fenol-formaldeído e duas gramaturas, 280 e 320 g/m<sup>2</sup>, em linha dupla, no total de 22 tratamentos. Os painéis puros de faveira apresentaram maiores valores de propriedades físicas e os compostos por freijó e amapá obtiveram maiores valores de propriedades físicas e mecânicas. Para os painéis LVL, foram produzidos com nove lâminas de 2,0 mm de espessura e colados com resina resorcinol-formaldeído, no total de 6 tratamentos. Os painéis produzidos com madeiras amazônicas apresentaram melhor desempenho. Os painéis de madeira aglomerada foram produzidos nas proporções de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, colados com resina ureia-formaldeído, no total de treze tratamentos. A inclusão da madeira de *Pinus* sp. na composição dos painéis não influenciou as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, exceto para a ligação interna. Para os painéis compostos por cimento-madeira nas proporções de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, tendo como ligante o cimento Portland CPV ARI PLUS, para a madeira de freijó, os resultados não foram claros, contudo, a inclusão da madeira de amapá apresentou melhor desempenho.

Palavras-chave: Madeiras amazônicas. LVL. Aglomerado. Cimento-madeira.

## ABSTRACT

Due to a great demand for wood of both by saw wood and panel industries, alternative species have been researched with the aim to supply most used species and to know their technological potential. This work aimed to study the potential of three tropical species from Amazônia, *Cordia goeldiana*, *Brosimum parinarioides* and *Parkia gigantocarpa*, for their use in plywood and LVL veneer panels and particle production for conventional particleboard and cement wood production with *Pinus* sp. wood inclusion. Physical and mechanical properties of each product were analyzed. Plywood panels were made with five 2 mm-thick veneers and glued with phenol-formaldehyde resin in two glue spread amounts 280 e 320 g/m<sup>2</sup> (double line) totalizing twenty two treatments. Faveira panels presented higher values for physical properties and the ones comprised of freijó and amapá had higher mechanical properties. For LVL panel production, nine 2mm-thick veneers were used and they were glued with resorcinic-formaldehyde was used, totalizing 6 treatments. Panels made from Amazonian species presented better quality. Particleboards were produced with the following proportions of Amazonian and *Pinus* sp. woods: 0, 25, 50, 75 and 100%. The inclusion of *Pinus* sp. wood in panel composition did not influence physical and mechanical properties of panels, except for internal bonding. Cement-wood panels were also produced in 0, 25, 50, 75 and 100% proportions of Amazonian woods in relation to *Pinus* sp. woods. Portland CPV ARI PLUS cement was used as binder, totalizing twelve treatments. For freijó wood, the results were not clear. However, inclusion of amapá wood had better result.

Keywords: Amazonian woods. LVL. Particleboard. Cement-wood.

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO GERAL**

A Amazônia, juntamente com a Mata Atlântica, tem a maior diversidade florestal do mundo. Contudo, existem ainda muitas espécies desconhecidas, tanto na parte tecnológica como botanicamente.

Ainda nos dias de hoje, o preconceito quanto ao uso de madeiras nativas, principalmente da Amazônia, como matéria-prima é muito forte. Diante de uma exploração seletiva e predatória que é praticada abertamente, muitos defendem que não se deve utilizá-las, mantendo-as intocadas. Porém, há os que acham explorar somente as florestas plantadas, já que, por questões ambientais, a utilização de madeiras nobres encontra-se hoje em uso restrito.

Devido ao fato de a madeira de reflorestamento ser uma excelente alternativa às madeiras nativas, isso não impede que essas espécies sejam utilizadas, desde que seja feito um controle de exploração e que se obedeça às restrições impostas pelo IBAMA.

A variabilidade de madeiras que a floresta nativa da Amazônia possui atende a um número maior de usos e, se a disponibilidade dessa potencialidade for explorada de forma racional, seria uma forma de valorizar a floresta e não removê-la.

O conhecimento de novas informações tecnológicas a respeito de espécies alternativas é necessário para mostrar que essas espécies apresentam propriedades físico-mecânicas de excelente desempenho e sejam compatíveis com as madeiras já consagradas e sua matéria-prima empregada em diversos produtos, como, por exemplo, nos particulados.

Com a escassez da madeira de árvores de coníferas de maiores diâmetros, as quais estão sendo destinadas aos segmentos de madeira serrada e

de compensados, as empresas verticalizadas de painéis têm utilizado madeiras de árvores de menor idade, menor densidade e maior relação lenho inicial/tardio, dentre outros inconvenientes. Devido a esse problema, surgiu a oportunidade de manufatura de outros tipos de painéis utilizando-se madeiras de folhosas ou, mesmo, sua mistura com madeiras de coníferas.

Devido à exploração de madeiras de maior densidade, cresce a disponibilidade de árvores de espécies de menor densidade que são pouco conhecidas ou, mesmo, desconhecidas. Podem ter bastante utilização não só as espécies citadas, mas outros tipos, cujo potencial seja mais promissor, considerando sua multiplicidade de usos. Assim, é necessário que sejam desenvolvidos trabalhos de pesquisas que permitam o adequado conhecimento de sua aplicabilidade às mais diversas situações práticas incluindo, entre elas, os painéis reconstituídos.

Para a utilização das espécies *Parkia gigantocarpa* Ducke (faveira), *Cordia goeldiana* Huber (freijó) e *Brosimum parinarioides* Ducke (amapá-doce) no aproveitamento de sua matéria-prima como uso múltiplo, é indispensável o conhecimento de suas características físicas, mecânicas, químicas e anatômicas, bem como de seu desempenho em diferentes condições de serviços. São madeiras pouco conhecidas, de baixo valor econômico, que podem ser inseridas no mercado agregando valor ao material, além de serem espécies disponíveis na região Amazônica.

Na manufatura de painéis à base de madeira, são utilizados os adesivos sintéticos como ureia-formaldeído, fenol-formaldeído, melanina-formaldeído e resorcinol. O alto custo desses adesivos faz com que suas formulações sejam alteradas visando seu menor custo, pois é o componente de maior custo na produção de painéis reconstituídos de madeira.

A busca por novas fontes de matéria-prima e características favoráveis de madeiras para serem utilizadas na produção de painéis laminados e

particulados, considerando-se razões econômicas e científicas, constitui forte argumento para a realização de pesquisas que busquem conhecer o potencial de novas espécies de madeiras como opção alternativa às utilizadas.

Sendo assim, este trabalho foi realizado com o objetivo de definir variáveis de processamento das espécies *Cordia goeldiana*, *Brosimum parinarioides* e *Parkia gigantocarpa* para a produção de painéis laminados e particulados.

Os objetivos específicos foram:

- a) caracterizar as propriedades físicas, químicas e anatômicas das madeiras;
- b) manufaturar painéis laminados e particulados de madeira a partir das três espécies tropicais da Amazônia, como:
  - a) painéis de madeira compensada;
  - b) painéis de lâminas paralelas (LVL);
  - c) painéis de madeira aglomerada;
  - d) painéis cimento-madeira;
- c) avaliar a qualidade desses painéis pela determinação de suas propriedades físicas e mecânicas.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Madeiras tropicais da Amazônia**

Apesar da ocorrência exploratória seletiva na região norte, a mesma ainda é considerada importante fornecedora de madeiras. Contudo, muitas espécies são excessivamente exploradas em detrimento das menos valorizadas, prejudicando de forma significativa a floresta, mesmo havendo grande diversidade de espécies.

Barbosa et al. (2001) estabelecem que a produção madeireira na Amazônia não é condizente com toda a potencialidade existente, apesar da região abrigar cerca de 30% do estoque mundial de madeira tropical, pois o sistema de produção regional ainda é centrado no corte seletivo de espécies, ocasionando, com isso, um gradual empobrecimento da floresta e, talvez, a extinção das espécies mais intensamente exploradas.

Araújo (2002) cita que, atualmente, o número de espécies de madeira efetivamente exploradas para fins comerciais pode ser considerado baixo, quando se verifica que há muitas outras com características que as credenciem também a ter um valor econômico e, conseqüentemente, ganhar espaço nos mercados nacionais e internacionais, que se mostram em constante crescimento.

### **2.2 Madeiras alternativas**

São chamadas madeiras alternativas as espécies que estão substituindo aquelas em via de extinção ou escassez no mercado de madeiras provenientes de reflorestamento e da floresta Amazônica.

O uso da madeira como matéria-prima está, ainda hoje, cercado de preconceitos. Algumas pessoas, preocupadas com a exploração desordenada,

defendem que não se deve utilizar a madeira. Outras, em nome da questão ambiental, sustentam que somente as florestas plantadas devem ser exploradas, mantendo-se as florestas nativas intocadas (GIUSTINA, 2001).

Cerca de 60% da madeira utilizada para manufatura de painéis compensados é de florestas tropicais e o restante de florestas plantadas localizadas nas regiões sul e sudeste (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA - ABIMCI, 1999).

Devido aos fatores relacionados com a utilização de madeiras nativas tropicais, como custo de exploração, grandes distâncias com o transporte de matéria-prima até os centros de consumo, pressões ambientais e necessidade de certificações, não significa que não se deva utilizar madeiras nativas da Amazônia, como justificativa a substituição por florestas plantadas.

Pio (2002) cita que um dos principais fatores que contribuem para o desenvolvimento tecnológico na manufatura de painéis à base de madeira foi a mudança da matéria-prima utilizada, sobretudo a necessidade de empregar madeiras provenientes de espécies florestais alternativas e de qualidade considerada inferior. Diante disso, a utilização dessas madeiras constitui uma das melhores opções para o fornecimento de matéria-prima, quando elas são bem manejadas.

A Amazônia tem a maior extensão de floresta tropical do mundo e a mais rica biodiversidade do planeta. Mais de quatro mil espécies de madeira compõem um patrimônio que deve ser preservado. Isso, contudo, não significa que as madeiras da região não possam ser aproveitadas. A exploração racional e o manejo correto da floresta podem garantir o desenvolvimento sustentável, gerando renda e emprego para a população de uma área carente de outras opções, isso sem comprometer o meio ambiente (SOUZA, 1997).



## 2.3 Características das espécies estudadas

### 2.3.1 Características gerais de *Parkia gigantocarpa* Ducke (Leguminosae-mimosoideae)

O gênero *Parkia*, Leguminosae subfamília Mimosoideae, compreende árvores encontradas principalmente em florestas tropicais úmidas, que são cerca de 40 gêneros e 2.000 espécies. Há aproximadamente 17 espécies que ocorrem em áreas de terra firme, várzea sazonal e floresta secundária (HOPKINS, 1986). A família Leguminosae está dividida em três subfamílias: Caesalpinioideae, Mimosoideae e Papilinoideae. A subfamília Mimosoideae tem cerca de 78 gêneros e 3.270 táxons específicos (LEWIS et al., 2005).

As Leguminosae são consideradas, por Wojciechowski, Lavin e Sanderson (2004), a segunda maior família em importância econômica e agropecuária, ficando atrás da Poaceae.

A subfamília Mimosoideae está subdividida em quatro tribos: Acacieae, Ingeae, Mimoseae e Mimozygantheae (LEWIS et al., 2005).

Mimosoideae é distribuída nas regiões pantropical e subtropical e ocorre em climas úmidos e, frequentemente, em áreas de clima seco (LUCKOW et al., 2003); no Brasil, ocorrem 580 espécies nativas e 26 gêneros.

A espécie *Parkia gigantocarpa* Ducke pertence à família Leguminosae da subfamília Mimosoideae, sendo conhecida por vários nomes comuns, como fava-tanã, faveira, faveira-branca, faveira-amarela, japacanim e visgueiro. Esta espécie ocorre em todo o estado do Amazonas, além de Acre, Amapá, Pará, Rondônia, sul da Guiana Inglesa e Peru amazônico. Seu hábitat é em matas primárias e secundárias de terra-firme, em solo arenoso (LOUREIRO et al., 1979).

São árvores de dimensões enormes, provavelmente a maior do gênero em todos os aspectos, chegando à altura comercial de 12,80 m; é muito leve e sua resistência ao corte é macia, com grã reversa e textura média (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA, 2010). O cerne e o alborno são indistintos pela cor, com cerne branco-palha ou ainda castanho-claro a castanho-rosado (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT, 2010).

Sua densidade básica é de 0,26 g/cm<sup>3</sup>, com as seguintes contrações: tangencial de 5,8%, radial de 2,18% e volumétrica de 8,76%. Suas propriedades mecânicas são MOR 312 kgf/cm<sup>2</sup>, MOE 90000 kgf/cm<sup>2</sup>, compressão paralela 226 kgf/cm<sup>2</sup> e tração perpendicular 17 kgf/cm<sup>2</sup>, todas na condição seca (IBAMA, 2010).

A madeira de *Parkia gigantocarpa* é empregada na construção civil como cordões e molduras; outros usos são na fabricação de chapas compensados, lâminas em uso geral, embalagens e brinquedos (IPT, 2010).

### **2.3.2 Características gerais de *Brosimum parinarioides* Ducke (Moraceae)**

Com 1.500 espécies, a família Moraceae inclui, aproximadamente, 50 gêneros predominantemente tropicais e subtropicais. No Brasil, é representada por 27 gêneros, com cerca de 250 espécies, incluindo arbustos, árvores, ervas ou lianas, geralmente latescentes (SOUZA; LORENZI, 2005).

Esse gênero se destaca pelo látex (leite), que é muito utilizado devido às suas propriedades medicinais (SOUZA; LORENZI, 2005).

Os gêneros *Brosimum* Sw. e *Brosimum gaudichaudii* Trécul se destacam entre os gêneros nativos dessa família, como representante dos cerrados (SOUZA; LORENZI, 2005).

Corrêa (1990), estudando polpas semiquímicas de folhosas da Amazônia da família Moraceae, concluiu que as espécies de amapá (*Brosimum parinarioides*) e imbauburana (*Pourouma longipendule*) são suscetíveis de fornecerem polpas semiquímicas kraft e sulfito neutro de boa qualidade, podendo, assim, ser catalogadas como essências papeleiras para reflorestamento.

*Brosimum parinarioides* Ducke é uma espécie da família Moraceae. São árvores grandes, de até 40 m de altura, tronco, muitas vezes, volumoso com DAP de até 90 cm e tronco reto cilíndrico (LOUREIRO et al., 1979). Ocorre desde o território do Amapá, aos estados do Amazonas e Pará, além de Guiana e Suriname. É conhecido pelos nomes vulgares de amapá, amapá-roxo (Amazonas), Amapá-doce, amaparana e mururerana (Pará e Óbidos) e doekali (Suriname).

Sua madeira é moderadamente pesada, com densidade básica de 0,57g/cm<sup>3</sup>, de cerne marrom-avermelhado-escuro e alburno branco de tom rosado; grã cruzada revessa e textura média. Apresenta propriedades físicas médias de contração radial de 4,5%, tangencial de 7,7% e volumétrica de 12,6%, e propriedades mecânicas de MOR 1043 kgf/cm<sup>2</sup>, MOE de 115.000 kgf/cm<sup>2</sup>, compressão paralela de 581 kgf/cm<sup>2</sup> e tração perpendicular de 30 kgf/cm<sup>2</sup>, na condição seca (IBAMA, 2010).

A madeira de *Brosimum parinarioides* Ducke é empregada na fabricação de móveis, estacas, esteios, marcenaria e construções gerais.

### **2.3.3 Características gerais de *Cordia goeldiana* Huber (Boraginaceae)**

Com aproximadamente 300 espécies, o gênero *Cordia* é representado por espécies arbóreas, arbustivas e liana, com ampla distribuição em áreas tropicais e subtropicais, desde a América Central à do Sul (FERNANDES, 2005).

Barroso e Oliveira (2009) citam que uma das características presentes em Boraginaceae Jussieu é a capacidade de muitas espécies se estabelecerem em áreas bastante perturbadas, ou seja, ocupar áreas próximas a rodovias. São espécies úteis para reflorestamento de áreas nas quais a ação antrópica é evidente.

A espécie *Cordia goeldiana* Huber pertence à família Boraginaceae. É conhecida com o nome vulgar de freijó, frei-jorge, cordia-preta, claraiba, louro-freijó, freijó-cinza, freijó-rajado e louro-amarelo. No comércio internacional, é conhecido por *brazil walnut*, *cordia wood* e *jenny wood*, *laurel-blanco* (América Central), freijó, *salmwood* (Grã-Bretanha) e *pardillo* (Venezuela) (IPT, 2010).

A altura das árvores varia de 7 a 26 m e diâmetro variando de 45 a 61 cm com tronco reto e cilíndrico. Madeira de densidade básica de 0,48 g/cm<sup>3</sup> (IBAMA, 2010). Para Loureiro et al. (1979), a madeira é moderadamente pesada, variando de 0,60 a 0,70 g/cm<sup>3</sup>. A madeira apresenta cerne de coloração marrom-acinzentado-claro a marrom e alburno branco-acinzentado; textura média, grã geralmente direita, superfície lustrosa (IBAMA, 2010).

Suas propriedades físicas são consideradas baixas, como a contração radial de 4,1%, tangencial 6,6% e volumétrica 10,6% e propriedades mecânicas médias de compressão paralela de 517 kgf/cm<sup>2</sup>, MOR de 932 kgf/cm<sup>2</sup>, MOE de 104.000 kgf/cm<sup>2</sup> e tração perpendicular de 31 kgf/cm<sup>2</sup>, sendo esta baixa (IBAMA, 2010).

Ocorre em toda floresta Amazônica de terra firme, principalmente no Amazonas e no Pará.

Na indústria moveleira, é utilizada como torneados, folhas faqueadas e móveis. É também utilizada em paisagismo.

## 2.4 Trabalhos com espécies amazônicas

Devido ao fato de as madeiras da Amazônia serem consideradas nativas, assim como preservadas, o seu emprego se torna dificultoso, até mesmo para a realização de pesquisas. Assim, o conhecimento das propriedades físico-mecânicas dessas espécies é dificultado. Entretanto, esse preconceito está aos poucos se desfazendo, pois algumas pesquisas já estão sendo realizadas, principalmente com espécies de baixo valor econômico.

O Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA vem realizando estudos com madeiras amazônicas não tradicionais para o Programa de Incentivo ao Uso de Novas Madeiras para a Fabricação de Móveis. Essa pesquisa é concentrada na utilização de madeiras nativas alternativas para reduzir a pressão sobre as mais nobres, evitando ou desacelerando a extinção das reservas.

Giustina (2001) realizou um estudo com madeiras reflorestadas, verificando seu potencial de aplicação como mobiliário doméstico. Para sua surpresa, muitos *designers* utilizavam, em seus projetos de móveis, madeiras alternativas da Amazônia. A aceitação dessas madeiras que estão sendo introduzidas no mercado passa por uma análise dos produtos, que leva em conta certas características que representam o diferencial no mercado, como culturais, técnicas, de segurança, ergonômicas e econômicas.

Zangiácomo (2003) fez um trabalho com objetivo de gerar subsídios que contribuam para o emprego de espécies tropicais, com densidade até  $0,75 \text{ g/cm}^3$  a 12% de umidade para a produção de peças estruturais de MLC. Foram testadas quatro espécies de madeira: envira-branca (*Xylopi* sp.), cambará (*Moquinia polymorpha*), castanheira (*Bertholetia excelsa*) e cedrinho (*Erism* sp.). Como resultado, a espécie escolhida foi o cedrinho, pois apresentou resultados estatisticamente satisfatórios nos ensaios realizados.

Lima (2006) utilizou as espécies *Copaifera duckei* e *Eperua oleifera* na confecção de painéis compensados. Como resultado, as espécies foram indicadas para uso industrial e uso exterior, pois apresentaram boa estabilidade dimensional nos ensaios realizados.

Em 2003, o Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA apresentou o primeiro resultado do projeto “Avaliação de Madeiras Amazônicas para utilização em instrumentos musicais”. Esses instrumentos foram gaitas diatônicas fabricadas com espécies alternativas (ipê, louro, copaíba e açoita-cavalo) que poderão substituir, com vantagens, as madeiras importadas para essa finalidade. Os objetivos são agregar valor aos produtos florestais, divulgar as potencialidades das espécies alternativas em nível interno e externo, reduzir a importação de madeiras com essa finalidade, tornar esses instrumentos acessíveis e abrir mercado para músicos e para os que manejam a Floresta Amazônica (O SOM..., 2003).

Maciel et al. (2008) realizaram um estudo com base nos aspectos teóricos e práticos da tecnologia dos produtos florestais e do *design*, habilitado na área da comunicação visual. Foram selecionadas três espécies de folhosas: pau-rainha (*Brosimum rubescens*), angelim-pedra (*Himanelobium* spp.) e guariuba (*Clarisia racemosa*), por apresentarem grande variação de elementos visuais, como cores e formas inusitadas para a aplicação em algumas alternativas de vestuários femininos. Após os estudos da composição dos padrões visuais, foram desenvolvidas algumas propostas de roupa feminina.

## **2.5 Painéis à base de madeira**

Os principais tipos de painéis reconstituídos de madeira podem ser classificados em três categorias básicas: painéis laminados, particulados e de fibras. A partir dos limites de desempenho de cada tipo, pode-se definir a

aplicação final do painel. Variando a configuração física da madeira e ajustando a densidade dos painéis, esses são classificados como estruturais ou não estruturais. Outras variações incluem tipo de resina, quantidade e acréscimo de aditivos para aumentar resistência à água e ao fogo ou para melhorar o desempenho nas variações ambientais (YOUNGQUIST, 1999).

Os painéis à base de madeira apresentam uma série de vantagens inerentes a esta matéria-prima, como renovabilidade, boa resistência em relação à massa específica, elevada disponibilidade, reciclabilidade, capacidade de imobilizar em sua massa grande quantidade de gás carbônico proveniente da atmosfera e exigindo menor quantidade de energia para produção, transporte e instalação (SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2010).

A tecnologia para a fabricação de painéis reconstituídos permite utilizar, como matéria-prima, subprodutos da indústria madeireira, como, por exemplo, costaneiras ou madeira de diâmetro reduzido proveniente de desbastes, agregando valor a este material e diminuindo a demanda por madeira industrial e a pressão sobre os recursos naturais (MALONEY, 1989).

Para Saldanha (2004), a importância do setor de painéis de madeira reconstituída pode ser atribuída a fatores como a necessidade do uso racional dos recursos florestais; restrições ao uso e à comercialização de madeiras nativas e o melhor aproveitamento da matéria-prima madeira no processamento, fortalecendo a indústria de painéis reconstituídos, que utilizam exclusivamente madeiras de florestas plantadas, sendo, na sua maioria, dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

Segundo o mesmo autor, os painéis reconstituídos, principalmente os particulados, assumiram papel de destaque no mercado nacional, no final dos anos 1990, pois foram eles que apresentaram a maior evolução em inovações tecnológicas, disponibilizando ao mercado novos produtos, como MDF e OSB,

matéria-prima alternativa para os setores moveleiros e de construção civil respectivamente.

Inúmeros produtos novos vêm substituindo os produtos tradicionalmente utilizados e vários tipos de painéis vêm ganhando espaço em relação ao compensado tradicional, em virtude da melhor relação preço/desempenho e da crescente conscientização da sociedade moderna de que não é mais viável a convivência com processos que utilizam reservas florestais, com níveis elevados de perdas (TOMASELLI; DELESPINASSE, 1997).

Contudo, a não utilização da madeira tropical da Amazônia, por causa da preservação da floresta, bem como as grandes distâncias do transporte de toras até o centro de consumo, não justifica que sejam exploradas, desde que sejam manejadas corretamente.

## **2.6 Adesão e adesivo**

Alguns conceitos são necessários para entender o processo de colagem de madeiras, como cita Selbo (1975). São eles:

- a) adesivo: material com propriedades aderentes, ou seja, uma substância capaz de manter juntos outros materiais em sua superfícies;
- b) adesão: atração entre uma superfície sólida e uma segunda fase, composta de partículas individuais, como moléculas, pequenas gotas e pó, ou de partículas contínuas líquidas ou sólidas;
- c) aderente ou substrato: materiais sólidos unidos por adesivo.

Para a manufatura de painéis laminados é necessário que as lâminas de madeira sejam fortemente coladas entre si. Porém, em algumas espécies de elevada densidade, torna-se difícil a obtenção de uma boa colagem. Algumas espécies absorvem a cola mais facilmente que outras e, neste caso, torna-se



necessário modificar a viscosidade do adesivo. Isso pode ocasionar problemas quando se cola madeira com diferentes características (SELLERS, 1985).

O processo de colagem da madeira se inicia com o derramamento da cola sobre a superfície da madeira e envolve várias fases de movimento até a sua solidificação. O grau de adesão depende da intensidade adesiva em cada elo de ligação, ou seja, dos aderentes, do adesivo e das interfaces (MARRA, 1992).

A resina deve possuir baixa tensão superficial. O adesivo e o aderente devem ter polaridade igual ou semelhante para garantir uma boa umectação do aderente e também devem ser compatíveis, pois o adesivo não pode ter maior resistência mecânica (NOCK; RICHTER, 1978).

Na formação da ligação madeira-adesivo, o adesivo realiza cinco ações de movimento que, de acordo com Marra (1992), são: fluidez, transferência, penetração, umedecimento e solidificação. Esses movimentos variam em magnitude de acordo com a sua composição e as condições de colagem.

A resina adequada para certo substrato poderá ocorrer em uma junção boa, com a resistência mecânica do substrato. Entretanto, devem-se levar em consideração suas propriedades mecânicas, pois, caso se polimerize ou cure, deve-se verificar sua similaridade com as propriedades mecânicas do substrato. Caso a junta seja submetida a esforços de flexão e rigidez do adesivo, é incapaz de absorver as tensões atuantes, rompendo-se em consequência (SELBO, 1975).

Os adesivos são importantes na produção de compósitos de madeira e desempenham papel singular no desenvolvimento e no crescimento da indústria de produtos florestais, sendo um fator chave na eficiência de utilização de produtos madeireiros.

As colas sintéticas são as mais empregadas na fabricação de painéis à base de madeira, como fenol-formaldeído, ureia-formaldeído, resorcinol-formaldeído e malamina-formaldeído, os quais compõem aproximadamente 90% de todas as resinas adesivas em painéis de madeira, todas derivadas de

combustíveis fósseis (CAMPOS, 2005). Sendo derivados do petróleo, esses adesivos são tóxicos e sofrem, constantemente, alteração de preços.

A resina é um componente que representa alto custo de produção, por isso é importante definir o tipo e a quantidade a serem utilizadas, já que os custos são diferenciados por resina, e deve-se buscar uma otimização na relação custo e benefício (IWAKIRI, 2003).

A resina fenol-formaldeído (FF) foi introduzida na década de 1930 e tem como característica alta resistência à umidade, sendo classificada como de uso exterior. É empregada na produção de compensados à prova de água, painéis de fibras, painéis aglomerados e OSB (SELLERS, 1985).

Os adesivos fenol-formaldeído são classificados como adesivos sintéticos termoendurecedores ou termofixos que, ao serem submetidos a aquecimento, sofrem modificações químicas e físicas irreversíveis, de maneira que se tornam duros e insolúveis (NOCK; RICHTER, 1978).

Esses adesivos apresentam as seguintes características: são, normalmente, líquidos vermelho-escuros e requerem, para a sua cura, prensagem à temperatura igual ou superior a 140°C; teor de sólidos entre 48 e 51; pH na faixa de 11 a 13; viscosidade entre 300 e 600 cP; temperatura de cura na faixa de 130° a 150°C e vida útil em armazenagem de 4 a 5 meses à temperatura de 20°C (SELBO, 1975).

A resina ureia-formaldeído é a mais utilizada pelas indústrias de painéis aglomerados devido ao fato de seu custo ser menor em relação às outras resinas. Porém, sua baixa resistência à umidade limita o seu emprego para uso interno (MARRA, 1992).

A resina ureia-formaldeído, de acordo com Iwakiri (2005), é produzida em solução aquosa com conteúdo de sólidos de 60% a 70%, tem coloração branca, pH de 7,4 a 7,8, viscosidade de 400 a 1.000 cP e a sua cura se processa

pela redução do pH por meio da adição de um catalisador ácido e incidência de calor.

Pizzi (1994) cita que as resinas ureia-formaldeído são as mais importantes e as mais aplicadas na indústria de chapas e painéis de madeira. São polímeros condensados produzidos pela reação entre formol e ureia, tendo como principais vantagens solubilidade em água, dureza, infusibilidade, boas propriedades térmicas e fácil adaptação às várias condições de cura.

A resina resorcinol-formaldeído é de uso estrutural, porém, é um produto mais caro, o que faz com que seja misturado, em partes iguais, com o fenol (PIZZI, 1983).

O resorcinol-formaldeído é empregado em madeiras laminadas e junções que devem suportar pesos extremos e sua cura se dá em temperatura ambiente na faixa de 21° a 66°C (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 1999). Suas propriedades físicas são superiores à resina fenólica quanto à resistência à umidade (PEDROSA, 2003).

## **2.7 Características tecnológicas dos painéis laminados e particulados**

### **2.7.1 Painéis compensados**

De acordo com César (2002), as chapas de madeira compensada, também conhecidas por “contraplacados”, têm como conceito de produto o emprego de lâminas finas de madeira coladas perpendicularmente umas sobre as outras para formar a chapa de compensado. As lâminas de madeira podem ser provenientes de árvores de coníferas ou de folhosa de florestas nativas.

No Brasil, os compensados são divididos de acordo com sua forma de fabricação, seja multilaminados (*plywood*) ou sarrafeados (*blockboard*). São utilizados, principalmente na indústria moveleira; em forma de concreto, com

colagem à prova d'água, na construção civil; como decorativo: a chapa recebe uma superfície de lâmina decorativa; também na indústria e tem uso naval, por ser à prova d'água e resistência mecânica (ABIMCI, 2007).

A composição do painel compensado na forma de laminação cruzada juntamente com a restrição da linha de cola procura balancear os diferentes comportamentos físicos-mecânicos exercidos pelas lâminas de camadas adjacentes, dispostas nos sentidos longitudinal e perpendicular ao plano da chapa (SUCHSLAND, 1972).

O processo de prensagem à alta temperatura requer alguns cuidados especiais como controle do teor de umidade das lâminas do miolo abaixo de 8% e tempo de prensagem suficiente para evitar a formação de “bolhas” e delaminações, em função da alta pressão interna de vapor entre as linhas de colagem das lâminas (MARRA, 1992).

#### **2.7.1.1 Fatores que afetam as características dos painéis compensados**

#### **2.7.1.2 Características da madeira**

Segundo Lutz (1978), as folhosas são mais facilmente transformadas em lâminas que as coníferas. Isso ocorre porque as folhosas respondem melhor aos esforços de flexão, produzindo lâminas menos danificadas por fendilhamento. Lâminas com fendas superficiais obtidas no desenrolamento e faqueamento podem aumentar a penetração e o consumo do adesivo e, com isso, reduzir a resistência da ligação.

Silva (1994) descreve que a madeira, por ser um produto natural, está sujeita a sofrer uma série de defeitos que, em conjunto com as características da própria madeira, podem limitar tecnicamente o seu uso em laminados e

compensados. Por outro lado, certas características intrínsecas da madeira são desejáveis na formação desses produtos por possuírem usos específicos.

Na colagem de lâminas de madeira compensada, a textura tem grande importância, pois madeiras com textura grossa tendem a uma excessiva absorção de adesivo, podendo causar má colagem e ultrapassagem da cola até a outra face da lâmina, ao contrário de madeiras com superfície lisa em que há uma deficiência de penetração do adesivo, apresentando, frequentemente, uma linha de cola fraca (BURGER; RICHTER, 1991).

A permeabilidade da madeira também tem grande influência, pois Hse (1971) cita que os pinus do sul dos Estados Unidos são conhecidos por sua alta permeabilidade. Isso ocorre, provavelmente, porque, durante a colagem, há uma excessiva penetração do adesivo, ocasionando o fenômeno denominado de linha de cola faminta.

Além da celulose, hemicelulose e lignina, a madeira apresenta, em sua composição, substâncias distintas que apresentam diferenças quando ligadas aos adesivos. Essas substâncias fazem parte de materiais estranhos, podendo causar dificuldades nas operações de manufatura do compensado (LUTZ, 1978).

### **2.7.1.3 Características das lâminas**

Lutz (1978) descreve lâminas como folhas finas de madeira obtidas por corte em faqueadeira, tornos rotativos ou serras com espessuras que podem variar entre 0,13 mm até 6,35 mm.

As características da madeira determinam a qualidade das lâminas, por isso, a madeira adequada para laminação está relacionada, principalmente, com a densidade da madeira (baixa a média), as características do fuste (diâmetro e forma) e a grã direita levemente inclinada (TSOUMIS, 1991).

Uma lâmina ideal poderia ser definida como uniformidade em espessura, com rugosidade maior que a sua própria estrutura, plana, com nenhuma fenda e com cor e figura agradáveis (LUTZ, 1978).

Conduzindo um trabalho com a finalidade de determinar o efeito das fendas de laminação na resistência ao cisalhamento da linha de cola em seco após a ebulição, Chow (1974) determinou que, à medida que diminui a profundidade das fendas, a resistência ao cisalhamento aumenta de tal modo que a diminuição de 1% na profundidade das fendas aumenta a resistência em 0,01 N/mm<sup>2</sup> e a porcentagem de falha na madeira não sofre nenhuma variação significativa. Além disso, também foi detectada uma relação linear entre a penetração do adesivo e os valores de resistência ao cisalhamento. Isso mostra que a redução na profundidade das fendas ou a maior penetração do adesivo resultam no aumento do valor de resistência ao cisalhamento. Para painéis compensados nos quais o grau de cura da resina é ótimo, o valor do cisalhamento é um indicador da qualidade da lâmina.

Para Lutz (1978), a presença de fendas de laminação afeta a qualidade e o rendimento das lâminas, pois no manuseio se originam as rachaduras. A uniformidade da espessura contribui para uma colagem de alta qualidade na fabricação de compensados. A rugosidade da superfície das lâminas pode causar problemas na colagem o que requer lixamento excessivo e também no acabamento.

#### **2.7.1.4 Colagem e prensagem dos painéis**

A secagem das lâminas tem como objetivo oferecer condições adequadas para sua colagem e formação de painéis. Por isso, a secagem das lâminas é um processo de retirada da água até um determinado teor de umidade,

com mínimos defeitos, no menor tempo possível e de forma técnica e economicamente viável ao uso que se destina (IWAKIRI, 2005).

Os fatores temperatura da madeira, cola e ambiente influenciam diretamente a velocidade de fixação. Durante o verão, o tempo de montagem pode ser metade daquele encontrado em ambiente frio no inverno (SELBO, 1975).

Na colagem com resina ureia-formaldeído, as lâminas devem ser secas com teor de umidade na faixa de 10% a 12%, enquanto a resina fenol-formaldeído deve ser na faixa de 4% a 8%.

As colas, normalmente, são preparadas para um determinado período de tempo de montagem na manufatura dos painéis, pois, segundo Medina (1986), esse tempo permite que parte da umidade da cola seja absorvida pela lâmina, acarretando um aumento da viscosidade. Um tempo muito curto gera uma qualidade inferior na colagem, provavelmente por conter demasiada água na linha de cola, levando a uma cura incompleta do adesivo.

Baldwin (1981) cita que o tipo, a quantidade e a composição do adesivo, bem como os procedimentos empregados na colagem de lâminas, são de importância fundamental na qualidade dos painéis.

Entre os vários fatores que causam a ineficiência da colagem está a falha de controle do teor de umidade do substrato, antes e depois da colagem. São importantes as exigências quanto ao teor de umidade da madeira, pois elas afetam diretamente a qualidade da ligação e o desempenho do produto colado (SELBO, 1975).

Iwakiri (2005) cita que a formulação do adesivo é definida em função do tipo de resina e dos níveis de qualidade requeridos do compensado e que os componentes, bem como a quantidade em partes por peso de cada um destes, determinam a formulação específica a ser utilizada na colagem de lâminas. Além

da quantidade de cada um dos componentes da cola, a viscosidade e o teor de sólidos da batida da cola devem ser controlados na preparação do adesivo.

Recomenda-se, para adesivo com resina ureia-formadeído, gramatura na faixa de 320 g/m<sup>2</sup>, para lâminas com espessura de 1 mm e 380 g/m<sup>2</sup> para lâminas de 3 mm em linha dupla e quanto maior o grau de extensão, maior deverá ser a gramatura (KOLLMANN; KUENZI; STAM, 1975).

O espaço de tempo entre o espalhamento da cola e a aplicação da pressão é chamado de tempo de montagem. Esse intervalo de tempo pode ainda ser subdividido em tempo de montagem aberta, que é o espaço de tempo entre a aplicação da cola e fechamento e tempo de montagem fechada, relacionado ao espaço de tempo entre o fechamento e aplicação de pressão. Esse tempo é necessário para que ocorra a transferência adequada do adesivo para as lâminas adjacentes e para possibilitar a absorção do adesivo pelas lâminas (SELBO, 1975).

O mesmo autor cita que uma aplicação insuficiente de pressão durante a colagem poderá causar uma linha de cola espessa, ou seja, haverá apenas um contato parcial entre duas superfícies coladas.

O tempo de prensagem de um painel está relacionado ao tempo necessário para que a linha de cola mais interna atinja a temperatura de cura da resina (CHOW et al., 1973). As principais variáveis a serem observadas na prensagem são: pressão, tempo e temperatura de prensagem. Estas variáveis devem ser controladas para assegurar um contato superficial adequado entre as lâminas e permitir a cura da resina. A linha de cola formada deve ter resistência suficiente para a transferência de tensões entre as lâminas durante a utilização do painel (BALDWIN, 1981).

A prensagem reduz o volume de espaços vazios na madeira devido à compressão e melhora a difusão de calor a partir da superfície no centro do painel. O nível de pressão a ser aplicado está em função principalmente da



densidade da madeira, da superfície da lâmina e da quantidade de adesivo (IWAKIRI, 2005).

### **2.7.2 Painéis de lâminas paralelas (LVL/PLP)**

Foi durante a Segunda Guerra Mundial que o LVL foi utilizado pela primeira vez, para a confecção de hélices de avião e outras peças de alta resistência de aeronaves. Muitos trabalhos pioneiros com esse tipo de painel foram publicados ao longo da década de 1940 (CARVALHO; LAHR, 2003).

Em meados da década de 1970, as indústrias de painéis laminados nos EUA e Canadá iniciaram a produção de painéis de lâminas paralelas, denominados de *laminated venner lumber* (LVL) para uso estrutural. O LVL é fabricado a partir de lâminas com espessuras de 2,5 a 3,2 mm, dispostas na mesma direção da grã e coladas com resina fenol-formaldeído por meio de prensagem a quente (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Os painéis LVL são produzidos com lâminas orientadas na mesma direção, podendo ser superior a 20 lâminas e sua espessura pode variar entre 2,5 mm a 12,7 mm. As dimensões podem ser maiores que 70 mm de espessura e mais de 20 m de comprimento de uso estrutural (CARVALHO; LAHR; BOTOLETTO JÚNIOR, 2004).

Matos (1997) cita que o LVL apresenta inúmeras vantagens, quando comparado com a madeira sólida, tais como: (i) maior resistência em função do processo de classificação das lâminas para camadas externas da chapa; (ii) flexibilidade dimensional e (iii) utilização de grande variedade de espécies. Seu uso principal é como “flange” na composição de vigas em “I”, no entanto, pode também ser empregadas em outras aplicações como: formas de concreto, carrocerias e revestimentos para caminhões e vagões, casas pré-fabricadas, sistemas de forros e coberturas, componentes de móveis, etc. (MATOS, 1997).

O processo de produção de painéis LVL, como cita Emission Factor Industry (2002), é relativamente complexo, envolvendo muitas operações, porém, resulta em um produto bastante uniforme e resistente.

Os painéis LVL têm o mesmo processo de produção das lâminas do compensado convencional, com espessuras entre 2,5 mm e 3,5 mm, que são obtidas em torno desfolhador, porém, são montados com a direção da grã no mesmo sentido, com aplicação de adesivo resorcinólico e prensados a frio.

A produção mundial de LVL, atualmente, é de aproximadamente 4,0 milhões de m<sup>3</sup>. A América do Norte detém 2,7 milhões m<sup>3</sup>; a Ásia, 0,7 milhões m<sup>3</sup>; Austrália, 0,4 milhões m<sup>3</sup> e Europa, 0,2 milhões m<sup>3</sup>. A previsão para o fim desta década é de 4,7 milhões de m<sup>3</sup>, pois o crescimento no mercado mundial tem sido muito significativo nos últimos anos (PLY VISIONS, 2005).

No Brasil, o LVL ainda não é utilizado industrialmente, no entanto, existem grandes possibilidades de produção com o aproveitamento de espécies de madeira de rápido crescimento, combinadas com lâminas de folhosas tropicais, baseado no processo de produção similar ao compensado “combi”, com ganhos significativos na resistência dos painéis.

#### **2.7.2.1 Fatores que afetam as características dos painéis LVL**

Como o processo produtivo do LVL é semelhante ao processo do compensado, os mesmos fatores que interferem em um também afetam as propriedades do outro. Sendo assim, qualquer característica relacionada à madeira afetará a qualidade desse produto.

A variabilidade dentro das espécies madeireiras, como as características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas, pode apresentar vantagens entre espécies e, com isso, afetar a qualidade de produção de terminados produtos.

A compatibilização entre a madeira e o adesivo deve ser levada em consideração, pois está condicionada pela permeabilidade da espécie aos adesivos e, por sua vez, a permeabilidade está associada não somente à anatomia da espécie como também às características de viscosidade do adesivo (ZANGIÁCOMO, 2003).

A variabilidade estrutural e anatômica, segundo Albuquerque e Latorraca (2000), existente na madeira afeta de modo significativo a performance da ligação adesiva. Vital, Maciel e Della-Lucia (2006) citam que a variabilidade que ocorre na densidade e na porosidade entre os lenhos iniciais e tardio, cerne e alborno, e ainda nas madeiras de reação, além da presença de extrativos nas cavidades dos elementos anatômicos, é o fator que mais afeta o processo de adesão.

Outro fator que influencia diretamente na qualidade da adesão é densidade da madeira, pois madeira de alta densidade ocorre um aumento da resistência e uma diminuição para o percentual de falha de madeira (PLASTER et al., 2008).

### **2.7.3 Fatores que afetam as propriedades dos painéis particulados**

Os fatores inerentes à madeira, em conjunto com fatores do processo de produção de painéis, interagem e a interação desses fatores proporcionará um alcance mais completo que o processo pode atingir (MALONEY, 1993).

#### **2.7.3.1 Fatores inerentes a madeira**

Uma das mais importantes variáveis do processo de produção de painéis é a espécie. É de fundamental importância a seleção da espécie, pois determina

sua qualidade e quais impactos sua variação natural pode ocasionar no processo de produção.

A espécie interage com todas as outras variáveis do processo e determina quão reduzido o painel pode ser em massa específica, bem como o tipo de resina a ser utilizada. Algumas espécies fornecem partículas mais adequadas para a produção de painéis (MALONEY, 1993).

A mais importante variável relativa à espécie, que regula as propriedades da chapa, é a densidade da própria matéria-prima lenhosa. Esta densidade tem sido um importante fator na determinação de que espécies podem ser empregadas na manufatura dos painéis. Em termos gerais, madeiras de densidade mais reduzida possibilitam a produção de painéis dentro da faixa adequada de densidade, além de possuir, normalmente, propriedades de resistência superiores a espécies de densidades mais elevadas (MALONEY, 1993).

O emprego de espécies de alta densidade pode ser viabilizado por meio da mistura com espécies de baixa densidade, a fim de obter uma mistura de espécies com densidade média (MALONEY, 1993).

Em painéis reconstituídos, a madeira com o teor de umidade muito alto, mesmo resistindo menos ao corte, pode produzir superfície felpuda, levando a uma adesão pobre e, conseqüentemente, elevando os custos de secagem (CLOUTIER, 1998).

O elevado teor de umidade pode ocasionar problemas na picagem ou na moagem das madeiras, por causa da obstrução do equipamento, tornando a secagem dispendiosa em função da necessidade de uma maior quantidade de energia. Há casos em que alta umidade produzirá partículas com superfícies encrespadas, tornando difícil sua colagem e, conseqüentemente, pode necessitar de maior quantidade de resina. No entanto, madeiras com alto teor de umidade, normalmente, têm melhor rendimento em partículas (MALONEY, 1993).

Os extrativos são compostos químicos e não fazem parte da estrutura da madeira, geralmente formados a partir de graxas, ácidos graxos, fenóis, terpenos, taninos, óleos essenciais gorduras, resinas, ceras, gomas amidos, etc. Os extrativos variam em proporção quantitativa de 5% a 30% e podem ser extraídos por solventes (SJOSTRON, 1993).

Em geral, a maioria dos extrativos está localizada no cerne, tanto nas folhosas quanto nas coníferas e alguns são responsáveis pela cor, odor e durabilidade da madeira. Qualitativamente, a diferença dos extrativos entre as espécies é baseada na quimiotaxonomia, ou seja, taxonomia baseada nos constituintes químicos (ROWELL et al., 2005).

Estudos sobre tipos e variações de extrativos nas espécies têm sido realizados ao longo dos anos, porém, são poucas as informações relacionadas à confecção de painéis particulados de madeira (MALONEY, 1993).

Em alguns casos, em que as variações quantitativas e os tipos de extrativos representam importante parte no processo produtivo, podem ocorrer problemas no consumo de resina e na sua taxa de cura. Com isso, podem ser observadas baixas resistências à umidade em produtos acabados e problemas com o estouro de painéis durante a prensagem. Problemas desses tipos devem ser avaliados quando forem utilizadas espécies que possuam extrativos que afetem negativamente o processo de composição do painel (MALONEY, 1993).

Espécies com alto teor de extrativos, em geral, são propensas a estouros no final do ciclo de prensagem; já espécies com baixo teor de extrativos são as mais indicadas para a produção de aglomerado convencional (CLOUTIER, 1998).

#### **2.7.3.2 Fatores inerentes ao processo**

A densidade do painel é uma das variáveis do processo produtivo que influenciam de maneira significativa suas propriedades (ZHOU, 1990). Painéis

de maior densidade têm maior resistência mecânica, porém, têm sua estabilidade dimensional prejudicada em função do maior inchamento em espessura (KELLY, 1977). Este fato, segundo o mesmo autor, deve-se à maior quantidade de partículas de madeira e à maior densificação do painel, pois está relacionado ao inchamento higroscópico da madeira e à liberação das tensões de compressão que são geradas durante o processo de prensagem.

Estudando painéis aglomerados com densidades de 0,5, 0,7 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, Albuquerque (2002) constatou aumentos nos valores de ligação interna, flexão estática e inchamento em espessura para painéis com maiores densidades, mas os valores de absorção de água diminuíram com o aumento na densidade dos painéis.

Wu (1999) e Zhang et al. (1998) também encontraram um aumento no MOR, MOE e ligação interna quando as densidades dos painéis passaram de 0,55 a 1,15 g/cm<sup>3</sup> e 0,60 a 0,70 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

A razão de compactação é um dos fatores que afetam as propriedades dos painéis particulados. As propriedades mecânicas dos painéis podem ser melhoradas com o aumento da relação entre o comprimento e a espessura das partículas, chamada de razão de esbeltez e da razão de compactação, que é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira (KELLY, 1977).

O uso de madeiras de baixa densidade resulta em chapas de alta razão de compactação e maior área de contato entre as partículas, melhorando as propriedades mecânicas do painel (MALONEY, 1993). No entanto, a maior razão de compactação do painel aumenta o inchamento em espessura, prejudicando sua estabilidade dimensional (MARRA, 1992). A razão de compactação estabelece a relação entre a densidade da chapa pela densidade da madeira:

$$RC = \frac{d_{chapa}}{d_{madeira}} = \frac{t_{colch\tilde{a}o}}{t_{chapa}}$$

sendo:

RC: razão de compactação;

dchapa : densidade da chapa (kg/m<sup>3</sup>);

dmadeira: densidade da madeira (kg/m<sup>3</sup>);

tcolchão: espessura do colchão (mm);

tchapa: espessura da chapa (mm).

As resinas mais utilizadas na indústria de painéis compostos à base de madeira são: ureia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (FF), melamina-formaldeído (MF) e isocianatos (MDI). A quantidade e o tipo de cada resina dependem da aplicação final do produto (VICK, 1999).

Conforme Cloutier (1998), a resina FF é, atualmente, a mais utilizada pela indústria de painéis, enquanto a resina MDI é empregada aproximadamente 35%.

A escolha do adesivo é um fator importante na fabricação de produtos reconstituídos de madeira, no que diz respeito a quais adesivos são compatíveis com as propriedades físicas e químicas da ligação adesiva requerida em termos de propriedades da superfície do material a ser colado e desempenho do produto colado (VICK, 1999).

As dimensões e a geometria das partículas estão entre as variáveis mais importantes na manufatura das chapas e que mais influenciam nas propriedades mecânicas (BODIG; JAYNE, 1990).

Os parâmetros que controlam o grau de orientação na formação das chapas são o comprimento e a largura das partículas. A relação entre o

comprimento e a largura das partículas, segundo Maloney (1977), deve ser de, no mínimo, três para proporcionar boa orientação das partículas na chapa.

Portanto, partículas mais longas e mais finas produzirão chapas com maior resistência à flexão estática e estabilidade dimensional, e as partículas mais curtas e mais espessas produzirão chapas com maior resistência de ligação adesiva e menor estabilidade dimensional (MOSLEMI, 1974).

Comprimento, largura e espessura são os elementos dimensionais das partículas. A razão entre comprimento e espessura é denominada razão de esbeltez, sendo um parâmetro de grande importância. A área de contato entre as partículas na chapa e o consumo relativo de resina vai depender da razão de esbeltez (IWAKIRI, 1989).

O conteúdo de resina, conforme Kelly (1977), baseado no peso seco das partículas é altamente dependente da geometria das partículas, devido à diferença na área superficial das partículas por unidade de peso. Assim, cada tipo de partículas deverá ter a quantidade ótima de resina, considerando-se a qualidade desejada da chapa e o aspecto econômico da produção.

A influência do conteúdo de umidade das partículas é extremamente crítico, pois interfere no processo de produção e na qualidade das chapas, além de interferir no tempo de prensagem e no desenvolvimento do gradiente vertical de densidade. A umidade presente nas partículas e no adesivo líquido é o que determina a umidade do colchão (IWAKIRI, 1989).

O elevado teor de umidade das partículas necessita de menos tempo para atingir, sob pressão, uma determinada espessura. A umidade e a temperatura, em conjunto, proporcionam maior plasticidade da madeira que oferecerá menor resistência à compactação. A importância do teor de umidade das partículas no ciclo de prensagem deve-se à influência que exerce sobre a resistência da madeira à compressão (MATOS, 1988). O excesso de umidade interferirá na reação química de polimerização da resina, pois esta reação afetará



especialmente as camadas mais internas e, no momento em que os pratos aquecidos da prensa tocam o material, ocorre transferência de calor entre as camadas e a umidade das camadas superficiais, mais aquecidas, migra para o interior do painel, menos aquecido, o que dificulta o processo de cura da resina (KELLY, 1977).

Portanto, o controle de umidade das partículas é de grande importância na formação do colchão e no cálculo da quantidade de resina, pois, na produção de chapas, as partículas de madeira devem estar com teor de umidade entre 3% e 6% (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO, 1991).

O gradiente de densidade, segundo Cloutier (1998), é determinado por vários fatores, sendo os mais importantes o tempo de fechamento da prensa e o teor de umidade das camadas superficiais do colchão.

#### **2.7.4 Painéis de madeira aglomerada**

Os painéis de madeira aglomerada podem ser definidos como um compósito formado por partículas de madeira ou outros materiais lignocelulósicos aglutinados com resina sintética em presença de calor e pressão.

Os painéis aglomerados apresentam vantagens tecnológicas que são atribuídas, principalmente, à sua estrutura homogênea e à possibilidade de utilização de matéria-prima sem restrições quanto à forma e às dimensões. A matéria-prima empregada para a sua manufatura pode ser proveniente de desbaste e poda, resíduos industriais (costaneiras, sobras de topo, miolos de toras laminadas), resíduos industriais finos (pó de serra e cavacos de plainas), cavacos de madeira provenientes das indústrias de móveis e carpintaria, bagaço de cana, palha de arroz e outros resíduos agrícolas puros ou misturados com partículas de madeira (MALONEY, 1977).

Os painéis de madeira aglomerada apresentam inúmeras vantagens quando comparados aos painéis de madeira sólida, como a eliminação de defeitos da anisotropia; eliminação dos fatores redutores de resistência, como nós, madeira juvenil, inclinação da grã; menor exigência quanto à matéria-prima; menor custo de produção e possibilidade de adequação e controle das propriedades físicas e mecânicas do produto final (MALONEY, 1993). Outra característica é que apresentam densidade entre 0,59 a 0,80 g/cm<sup>3</sup> e são classificados quanto à geometria das partículas e podem ser, ainda, classificados quanto ao adesivo (IWAKIRI, 2005).

O Pinus é a espécie mais utilizada na fabricação de chapas aglomeradas no Brasil devido à sua baixa densidade, o que contribui para a maior razão de compactação do painel. Um parâmetro importante no processo produtivo é a geometria das partículas. Quanto ao comprimento, largura e espessura das partículas são controladas durante o seu processo, visando à homogeneidade das dimensões que irão influenciar a área superficial específica e, conseqüentemente, o consumo de resina e a propriedades dos painéis (KELLY, 1977).

### **2.7.5 Painéis cimento-madeira**

No final dos anos 70 do século XX, na Europa, surgiu o painel de cimento-madeira como elemento construtivo. Esses painéis têm tido boa aceitação no mundo, pois se busca, por meio dessa mistura, reunir propriedades desejáveis da madeira e do cimento (COATES, 1994).

Os painéis cimento-madeira são definidos como uma mistura de partículas de madeira, água, aditivos e aglomerantes, consolidada por prensagem a frio. São considerados especiais, pois apresentam como aglutinante o cimento, diferenciando do aglomerado convencional.

Os compósitos de cimento-madeira apresentam vantagens, como baixa densidade, quando comparados aos de concreto e melhor desempenho por resistir às intempéries, ao fogo, aos fungos e aos ataques de insetos, neste caso em relação à madeira (WEI; BUNICHIRO, 2000).

O painel cimento-madeira é composto, basicamente, de partículas de madeira e cimento, na proporção de 1:3 (base peso seco). Aditivos químicos têm sido empregados com o propósito de reduzir o tempo de cura do cimento, acelerando o desenvolvimento da resistência (LATORRACA, 2000).

De acordo com Hachmi e Campbel (1989), o compósito cimento-madeira é um material estrutural, altamente resistente ao fogo, aos agentes biodegradadores e à água, além de apresentar excelente propriedade de isolante térmico e acústico. O maior problema tecnológico, segundo os autores, é quanto às características químicas da espécie de madeira utilizada. As reações entre extrativos da madeira e o cimento podem retardar ou incompatibilizar a cura e endurecimento do cimento.

Tratamentos de partículas de madeira têm sido empregados para melhorar a qualidade do produto. Entre eles, inclui-se a extração das substâncias químicas inibidoras, por meio da imersão das partículas em água fria ou quente e adição de produtos químicos aceleradores de cura do cimento. Os principais tipos de aceleradores de cura empregados são cloreto de cálcio, silicato de sódio e hidróxido de sódio, em quantidades que podem variar de 3% a 5% em relação ao peso do cimento (LATORRACA, 2000).

Na Europa e na Ásia, esses painéis têm muita aceitação e são de grande aplicabilidade na construção civil, pois são bons isolantes térmicos e acústicos, resistem mais ao ataque de agentes biodegradadores, possuem alta estabilidade dimensional e são de fácil trabalhabilidade (LATORRACA; IWAKIRI, 2001).

Em 1996, a produção mundial foi de 2,5 milhões de m<sup>3</sup>, o que demonstra o potencial desse produto. Os países que mais produzem são: Japão, Alemanha,

Rússia, Estados Unidos, Austrália, Holanda, França, Finlândia, Hungria, Costa Rica, Bulgária, Israel, Egito, Índia, Sérvia, Malásia, China, Canadá, Irã, Indonésia, Dinamarca, Áustria, Reino Unido, Bélgica, Portugal e México (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2002).

No Brasil, a produção em escala industrial é inexistente, apesar de em muitos países já ser um produto consolidado. O que existe são estudos em escala laboratorial, com o objetivo de aprimorar esse produto, já que o país possui disponibilidade de madeira e resíduos florestais para ser um grande produtor.

## **2.8 Composição e produção de painéis cimento-madeira**

### **2.8.1 Composição**

A composição dos painéis cimento-madeira é relativamente simples, pois são compostos de partículas do tipo excelsior, strands, flakes ou fibras de materiais lignocelulósicos sendo misturadas a cimento Portland, água e aditivos. Essas partículas são agregadas aos agentes reforçantes, em que o cimento é o ligante, a água é empregada como reagente e os aditivos químicos para reduzir o tempo de endurecimento do cimento e dar maior resistência (OKINO et al., 2003).

Sua composição será abordada subdividindo-se em cada componente.

### **2.8.2 Cimento**

Antes, esses painéis eram produzidos com cimento magnesiano ou gesso. Atualmente, o cimento Portland passou a ser o aglutinante mineral mais empregado em virtude dos melhores resultados sobre as propriedades desses painéis (MOSLEMI; PFISTER, 1987).

Por definição, o cimento Portland é um material aglomerante ou ligante que se apresenta na forma de um pó muito fino e que, em contato com a água, provoca reações químicas, liberando calor e formando uma pasta capaz de endurecer por secagem natural (MEDEIROS, 2010), sendo seu principal componente o clínger. As adições, quando misturadas ao clínger na fase de moagem, permitem a fabricação de vários tipos de cimento Portland, como gesso, materiais pozzolânicos, escórias de alto forno e materiais carbonáticos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP, 2010).

Quando o cimento é hidratado, há liberação de calor e essa quantidade liberada depende dentre outros fatores, do tipo de cimento da sua finura, da temperatura, do tempo de hidratação, etc. (ABCP, 2010). A maior parte desse calor liberado é atribuída aos produtos hidratados do cimento que são silicatos de cálcio hidratados ( $C_3S$  e  $C_2S$ ) e aluminatos tricálcicos hidratados ( $C_3A$ ) (NEVILLE, 1982). Sendo assim, cimento com altos teores de  $C_3S$  e  $C_3A$  apresentarão alto calor de hidratação, como é o caso do cimento CPV – ARI, que é de alta resistência inicial. Devido ao fato de apresentar alto calor de hidratação, suas reações químicas são mais rápidas (pega) e, por isso, são normalmente adequados ao uso de painéis cimento-madeira (LATORRACA, 2000).

Esse tempo de “pega” é o tempo percorrido entre a mistura dos componentes e o tempo necessário para que a temperatura máxima de hidratação seja alcançada e a pasta deixar de ser deformável para pequenas cargas, tornando-se um bloco rígido (PETRUCCI, 1987). Esse processo de pega se dá por mudanças de temperatura na pasta do cimento, apresentando dois estágios: início, quando há uma rápida elevação de temperatura e o fim, da pega ao pico da temperatura (NEVILLE, 1982).

A massa, após a “pega”, continua a aumentar em coesão e resistência, ocorrendo a fase de endurecimento (PETRUCCI, 1987). Por isso essa fase pode durar muitos dias, indicando que, aos 28 dias de endurecimento, considera-se a

massa do cimento com uma resistência relativa de 100% (GIAMMUSSO, 1992). Devido a isso é que os ensaios de resistência são realizados aos 28 dias.

### **2.8.3 Madeira**

Materiais lignocelulósicos são os principais componentes na composição de painéis cimento-madeira, no que diz respeito aos outros tipos de painéis, que apresentam menores exigências quanto à forma, às dimensões e aos defeitos naturais, podendo ser empregados na produção desses painéis. Sua maior exigência refere-se à sua composição química, podendo afetar a solidificação do cimento.

A solidificação do cimento, na presença da madeira, pode ser determinada pela composição química da mesma, podendo ser o principal fator de impedimento da viabilização da manufatura desses painéis, pois os extrativos da madeira são os responsáveis pela inibição da solidificação do cimento. Seus princípios ativos são os compostos fenólicos e os carboidratos livres (IWAKIRI, 2005).

Os compostos fenólicos presentes na madeira podem retardar ou, até mesmo, impedir a “pega” do cimento. Para isso é preciso utilizar algum processo de compatibilização da madeira com a matriz de cimento para que ocorra a menor influência possível no processo de hidratação do cimento (SAVASTANO JÚNIOR; WARDEN; COUTTS, 2000).

Moslemi, Garcia e Hofstrand (1983) citam três métodos de tratamento de partículas para viabilizar o uso de espécies com altos teores de extrativos: imersão em água fria por 24 horas, imersão em água quente por 6 horas e imersão em solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1%.

#### **2.8.4 Água**

Para que ocorram as reações químicas do aglutinante (cimento), é necessário que a água seja adicionada para que os aditivos sejam dissolvidos e permitam a mistura do cimento com as partículas de madeira uniformemente (IWAKIRI, 2005).

A presença de poros na pasta influencia a resistência dos painéis cimento-madeira devido à quantidade excessiva de água. Assim, a quantidade de água a ser adicionada deve ser mantida em níveis mínimos, pois, como ocorre com o concreto, a propriedade de resistência dos painéis varia com a quantidade de água adicionada (SIMATUPANG; SCHWARZ; BRÖKER, 1978).

Na mistura dos componentes dos painéis, a água presente no material lignocelulósico irá se misturar à água adicionada. Portanto, essa água deve ser computada no cálculo da quantidade de água adicionada com relação à relação água:cimento (NEVILLE, 1982).

#### **2.8.5 Aditivos químicos**

Os aditivos, também conhecidos como aceleradores, têm como função reduzir o tempo de endurecimento do cimento, acelerando a pega e encurtando a cura, além de eliminar os efeitos desfavoráveis das substâncias da madeira solúveis em água sobre o endurecimento. Dentre os vários aditivos utilizados estão o cloreto de cálcio, o cloreto de magnésio, o sulfato de alumínio, o silicato de potássio e o silicato de sódio. O cloreto de cálcio tem sido o mais utilizado como acelerador durante décadas, talvez por ser eficiente no aceleração da hidratação dos silicatos de cálcio, principalmente no  $C_3S$ , além de seu baixo custo (IWAKIRI, 2005).

## 2.9 Processo de fabricação dos painéis

O processo de produção dos painéis cimento-madeira é similar ao processo de produção do aglomerado convencional; o que o diferencia é o tipo de aglutinante utilizado, pois o aglomerado utiliza a resina sintética e sua prensagem a quente, enquanto nos painéis cimento-madeira o seu aglutinante é o cimento e consolidado a frio.

Os painéis cimento-madeira, de acordo com Moslemi (1998), são produzidos em plantas relativamente pequenas, quando comparadas às de aglomerado convencional, devido à lenta velocidade de cura desses painéis.

O processo de produção industrial, segundo Lopes (2004), é da seguinte forma: as partículas de madeira são misturadas à quantidade de água calculada, a qual pode conter os aditivos aceleradores da pega do cimento. Em seguida, o cimento Portland é adicionado e todos esses componentes são misturados até obter-se uma homogeneidade dessa mistura. Após essa homogeneidade, começa a formação dos painéis, em que essa massa é depositada sobre uma esteira móvel ou lâmina de aço para formar o colchão. Certo número de colchões é empilhado sobre uma base de chapa de aço colocada sobre um carrinho (aparato) e outra chapa de aço de alto peso é colocada no topo da pilha. Então, o aparato é movido para uma prensa hidráulica e os colchões são prensados para produzir painéis de espessuras pré-ajustadas. A seguir, uma pressão de 1,5-3,0 MPa é requerida para se obter painéis coesos. Enquanto ocorre a pressão, os painéis podem ser aquecidos à temperatura de 80°C. Esse aquecimento é para ajudar a reduzir o tempo exigido para que o compósito atinja a resistência interna suficiente para compensar as forças de retorno da espessura das partículas de madeira. Entretanto, um tempo mínimo de 8 horas é requerido. Para reduzir ainda mais este tempo, algumas modificações podem ser feitas, como o uso de um cimento de endurecimento rápido e, assim, o tempo de prensagem dos painéis pode ser



reduzido para entre 10 e 16 minutos, a 70°-90°C. Em seguida, os painéis são curados por duas semanas em temperatura ambiente, para completar o endurecimento.

Depois de maturados, os painéis são secos em estufa para garantir que ficarão com umidade entre 9% e 10%. Já acondicionados, os painéis recebem acabamento para serem comercializados (LATORRACA, 2001).

## **2.10 Aplicações**

Devido ao fato de os painéis cimento-madeira terem características vantajosas sobre outros painéis, como alta durabilidade e alta resistência ao fogo, a mudanças drásticas de temperatura, à umidade, etc., eles são bastante utilizados na construção civil. Na Europa e na Ásia são muito utilizados como paredes, pisos, forros e muros (OKINO et al., 2003). Também podem ser utilizados em residências, pavilhões, estádios, edifícios públicos, banheiros, lavanderias e cozinhas (LATORRACA, 2001).

A baixa densidade da madeira de faveira dificulta sua utilização para painéis laminados estruturais. No entanto, para painéis aglomerados foi observado grande potencial de utilização dessa espécie.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ARAÚJO, H. J. B. **Agrupamentos das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do projeto de colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. 2002. 184 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA. **Estudo setorial**. Curitiba, 1999. 54 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Curitiba, 2007. 41 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p. (Boletim Técnico, 106).

BALDWIN, R. F. **Plywood manufacturing practies**. San Francisco: M. Freeman, 1981. 326 p.

BARBOSA, A. P. et al. Considerações sobre o perfil tecnológico do setor madeireiro na Amazônia Central. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 12, n. 421, p. 42-61, set. 2001.

BARROSO, I. C. E.; OLIVEIRA, F. de. Caracterização farmacognóstica dos frutos de *Cordia sellowiana* Cham. e de *Cordia myxa* L. (Boraginaceae Jussieu). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, São Paulo, v. 19, n. 2A, p. 458-470, abr./jun. 2009.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Nostrand, 1990. 711 p.

BURGER, M. L.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CAMPOS, C. I. de. **Propriedades físico-mecânicas de MDF a partir de fibras de madeira de reflorestamento e adesivos alternativos**. 2005. 113 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

CARVALHO, A. M.; LAHR, F. A. R. Painéis laminados estruturais LVL'S. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 1, maio 2003. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/artigos>>. Acesso em: 15 set. 2010.

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

CÉSAR, S. F. **Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente**: projeto conceitual. 2002. 301 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CHOW, S. **Lathe-check influence on plywood shear strength**. Ottawa: Canadian Forest Service, 1974. 123 p.

CHOW, S. et al. **Quality control in veneer drying and plywood gluing**. Ottawa: Canadian Forest Service, 1973. 123 p.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (osb): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 173-185.

COATES, G. R. Product application of wood-cement particleboards including applied finishes. In: INTERNATIONAL INORGANIC-BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS CONFERENCE, 4., 1994, Washington. **Proceedings...** Madison: Forest Products Society, 1994. v. 1, p. 189-192.

CORRÊA, A. de A. Polpas semíquimas de folhosas da Amazônia, da família Moraceae comparadas com pastas Semíquimas de essências papeleiras de reflorestamento. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 20, p. 239-255, dez. 1990.

EMISSION FACTOR INDUSTRY. **Wood products industry, prepared for the U.S.** Cary: Midwest Research Institute, 2002. 24 p.

FERNANDES, N. M. **Biologia floral de cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken. e Cordia Trichotoma (Vell.) Arrab. Ex Steud. (Boraginaceae) em floresta secundária do vale do Acre, Brasil.** 2005. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Conservación de energia em las industrias mecânicas forestales.** Rome, 1991. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 20 set. 2010.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engeneering material.** Madison: United States Department of Agriculture, 1999. 463 p.

GIAMMUSSO, S. E. **Manual do concreto.** São Paulo: Pini, 1992. 161 p.

GIUSTINA, M. D. **As madeiras alternativas como opção ecológica para o mobiliário brasileiro.** 2001. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

HACHMI, M.; CAMPBELL, A. G. Woodcement chemical relationships. In: \_\_\_\_\_. **Inorganic bonded wood and fiber composite materials: session II, raw material considerations.** Spokane: USA, 1989. v. 1, p. 43-47.

HOPKINS, H. C. F. **Flora neotrópica.** New York: The New York Botanical Garden, 1986. 44 p.

HSE, C. Y. Properties of phenolic adhesive related to Bond quality in southern pine plywood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 21, n. 1, p. 44-52, 1971.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Madeiras brasileiras.** Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 15 out. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Informações sobre madeiras.** Disponível em: <<http://www.ipt.br/informacoes-madeiras>>. Acesso em: 9 set. 2010.

IWAKIRI, S. **A influencia de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. 1989. 129 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

\_\_\_\_\_. **Painéis de madeira**. 2. ed. Curitiba: FUPEF, 2003. 120 p. (Série Didática, 1/03).

\_\_\_\_\_. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: UFPR, 2005. 25 p.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: USDA, 1977. 66 p.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAM, A. J. Principles of wood scienc and technology. **Wood Based Materials**, Berlin, v. 2, p. 703-705, 1975.

LATORRACA, J. V. de F. **Eucalyptus spp. na produção de painéis de cimento-madeira**. 2000. 191 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

\_\_\_\_\_. Painéis de cimento-madeira: processo de produção, características e aplicações. In: SEMINÁRIO DE INDUSTRIALIZAÇÃO E USOS DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, 2., 2001, Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: UCS, 2001. p. 99-106.

LATORRACA, J. V. de F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Produção de painéis cimento-madeira de eucalipto. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. 1 CD-ROM.

LATORRACA, J. V. de F.; IWAKIRI, S. Efeito da cura a vapor sobre as propriedades mecânicas de painéis de cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 84-93, jun. 2001.

LEWIS, G. P. et al. **Legumes of the world**. London: Royal Botanic Gardens, 2005. 577 p.

LIMA, N. N. **Influência da gramatura de cola na produção de painéis compensados**. 2006. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

LOPES, Y. L. V. **Utilização da madeira e cascas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na produção de painéis cimento-madeira.** 2004. 60 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

LOUREIRO, A. et al. **Essências madeireiras da Amazônia.** Manaus: INPA, 1979. v. 2, 187 p.

LUCKOW, M. et al. A phylogenetic analysis of the Mimosoideae (Leguminosae) based on chloroplast DNA sequence data. In: KLITGAARD, B. B.; BRUNEAEU, A. (Ed.). **Advances in legumes systematics.** Kew: Royal Botanic Garden, 2003. p. 165-180.

LUTZ, J. F. **Wood veneer: log selection, cutting and drying.** Washington: USDA, 1978. 137 p.

MACIEL, K. M. F. et al. Anatomia da madeira amazônica: estudo de padrões visuais para aplicação em vestuário feminino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 8., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: AEND, 2008. 1 CD-ROM.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing.** San Francisco: M. Freeman, 1977. 672 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. San Francisco: M. Freeman, 1989. 672 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MARRA, A. A. **Techhnology of wood bonding principles in practice.** New York: V. N. Reinhold, 1992. 453 p.

MATOS, J. L. M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais “Waferboards”.** 1988. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

\_\_\_\_\_. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 1997. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MEDEIROS, H. A. de. **A versatilidade do cimento brasileiro.** Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>>. Acesso em: 3 nov. 2010.

MEDINA, J. C. **Efeito da temperatura de aquecimento na obtenção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliotti* Engelm.** 1986. 113 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.

MOSLEMI, A. A. Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber composites. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1.; ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE EUCALIPTO, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 1998. p. 144-156.

\_\_\_\_\_. **Particleboard:** technology. London: Southern Illinois University, 1974. v. 2, 245 p.

MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. F.; HOFSTRAND, A. D. Effect of various treatments and additives on wood-Portland cement water systems. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 15, n. 2, p. 164-176, Apr. 1983.

MOSLEMI, A. A.; PFISTER, S. C. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 19, n. 2, p. 165-175, Apr. 1987.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini, 1982. 738 p.

NOCK, H. P.; RICHTER, N. G. **Apostila de adesão e adesivo.** Curitiba: UFPR, 1978. 93 p.

OKINO, E. Y. A. et al. Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood. **Cement & Concrete Composites**, Barking, v. 12, p. 1-6, Jan. 2003.

O SOM da Amazônia pode ultrapassar fronteiras. **Revista da Madeira**, São Paulo, ano 13, n. 73, jul. 2003. Disponível em:  
<<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira>>. Acesso em: 14 ago. 2010.

PEDROSA, A. L. **Performance de vigas “T” constituídas por flanges de PLP e almas de compensado de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden, e alma de OSB de *Pinus spp.*** 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto armado Portland**. 11. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987. 307 p.

PIO, N. S. **Produção de painéis estruturais de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden**. 2002. 168 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: M. Dekker, 1994. 289 p.

\_\_\_\_\_. Tannin-based wood adhesives. In: \_\_\_\_\_. **Wood adhesives: chemistry and technology**. New York: M. Dekker, 1983. p. 177-248.

PLASTER, O. B. et al. Comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus sp.* **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 251-258, jul./set. 2008.

PLY VISIONS. **Hannover: raute**. Woodinville, 2005. 20 p.

ROWELL, R. M. et al. **Cell wall chemistry: handbook of wood chemistry and wood composites**. Madison: CRC, 2005. 72 p.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibers as reinforcement of cement-based composites. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 22, n. 25, p. 379-384, Oct. 2000.

SELBO, M. L. **Adhesive bonding of wood**. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1975. 122 p. (Technical Bulletin, 1512).

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

SILVA, F. M. **Espécies tropicais para manufatura de painéis compensados**. 1994. 68 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1994.



SIMATUPANG, M. H.; SCHWARZ, G. H.; BRÖKER, F. W. Small plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 8., 1978, Jakarta. **Proceedings...** Jakarta: World Forestry, 1978. p. 1-21.

SJOSTROM, F. **Wood chemistry fundamentals and application**. New York: Academic, 1993. 223 p.

SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Environmental implications of the use of wood-based products**. Disponível em: <<http://www.fpf.fs.fed.us/swst/environ.htm>>. Acesso em: 12 jul. 2010.

SOUZA, M. H. **Incentivo ao uso de novas madeiras para a fabricação de móveis**. Brasília: IBAMA, 1997. 70 p.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. São Paulo: Instituto Plantarum, 2005. 640 p.

SUCHSLAND, O. **Warping of furniture panels**. Michigan: Agriculture Experimental Station, 1972. 48 p. (Extension Bulletin, E-745).

TOMASELLI, I.; DELESPINASSE, B. **A indústria de painéis do Brasil: a tendência de mudança no perfil da produção brasileira**. Curitiba: UFPR, 1997. 20 p. (STCP Informativo, 1).

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Wood handbook: wood as engineering material**. Washington, 1999. 473 p.

VICK, C. B. **Adhesive bonding of wood materials**. Madison: U. S. Department of Agriculture, 1999. 463 p.

VITAL, B. R.; MACIEL, A. S.; DELLA-LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com madeira oriunda de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 4, p. 637-644, jul./ago. 2006.

WEI, Y. M.; BUNICHIRO, T. **Effects of five additive materials on mechanical and dimensional properties of wood cement-bonded boards.** Tokyo: The Japan Wood Research Society, 2000. 444 p.

WOJCIECHOWSKI, M. F.; LAVIN, M.; SANDERSON, M. J. A phylogeny of legumes (Leguminosae) based on analysis of the plastid *matK* gene resolves many well-supported subclades within the family. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 91, n. 11, p. 1846-1862, Nov. 2004.

WU, Q. In-plane dimensional stability of oriented strand panel: effect of processing variables. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 31, n. 1, p. 28-40, 1999.

YOUNGQUIST, J. A. **Wood-based composites and panel products: forest products laboratory.** Madison: U. S. Department of Agriculture, 1999. 463 p.

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

ZHANG, M. et al. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Japan Wood Science**, Tokyo, n. 44, p. 191-197, 1998.

ZHOW, D. A study of orient structural board made from hybrid poplar: effects of some factors of mechanical forming installation for orientation effectiveness. **Holz Als Roh-und Workstoff**, Berlin, v. 47, n. 10, p. 405-407, Oct. 1990.

**SEGUNDA PARTE - ARTIGOS**

**ARTIGO 1**

**PROPRIEDADES ANATÔMICA, QUÍMICA E DENSIDADE BÁSICA DE  
TRÊS ESPÉCIES FLORESTAIS AMAZÔNICAS**

## RESUMO

As espécies de *Cordia goeldiana*, *Brosimum parinarioides* e *Parkia gigantocarpa* são plantas arbóreas com ampla distribuição na floresta amazônica. São madeiras pouco conhecidas quanto ao uso tecnológico e anatômico. No presente trabalho foram estudadas as características anatômicas, físicas e químicas das espécies. Para a caracterização macroscópica, seguiram-se as recomendações do Instituto Brasileiro do Meio ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA e a descrição microscópica foi realizada de acordo com o estabelecido pelo International Association of Wood Anatomists (IAWA) Committee. As mensurações e as fotomicrografias foram obtidas em microscópio ótico, com auxílio de um software de análises de imagem Win Cell-Pro. Para a análise anatômica foram mensurados o comprimento de vasos, o diâmetro dos vasos, a frequência de poros, o comprimento e a espessura da fibra, a frequência, a altura e a espessura dos raios e o diâmetro das pontuações. Na caracterização macroscópica foi observada a presença de tilos obstruindo os vasos das espécies *Cordia goeldiana* e *Brosimum parinarioides*. As espécies apresentaram, em sua composição química, valores relativamente altos, porém, dentro da faixa descrita na literatura. Quanto à densidade básica, as espécies são consideradas de leve à média, portanto, podem ser indicadas para a produção de painéis. O conhecimento mais aprofundado dessas espécies será de fundamental importância para determinar usos tecnológicos mais específicos.

Palavras-chave: madeiras Amazônicas, tilos, painéis.

## ABSTRACT

The *Cordia goeldiana*, *Brosimum parinarioides* and *Parkia gigantocarpa* species are tree plants which have wide distribution in Amazonian forest. There is a lack of knowledge about the anatomy and technological use of their wood. In the present work, anatomical, physical, and chemical characteristics of the species were studied. For macroscopic characterization the recommendations from “Instituto Brasileiro do Meio ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA” were followed and microscopic characterization was conducted in accordance to International Association of Wood Anatomists (IAWA) COMMITTEE. The measurements and photo micrographics were obtained in optical microscopy with the image analyses software Win Cell-Pro. For anatomical analyses, vessel length, vessel diameter, pore frequency, fiber length and thickness, ray frequency, height and thickness, and pit diameter were measured. Macroscopic characterization showed presence of tylos obstructing vessels in *Cordia goeldiana* and *Brosimum parinarioides* species. The species presented high values in chemical composition, but within the literature. For basic density, species presented high to mean values. Therefore, they may be indicated for panel production. Deeper knowledge about these species will be of fundamental importance in the determination of more specific technological uses.

Keywords: Amazonian woods, tylos, panels.

## 1 INTRODUÇÃO

Conhecer as propriedades tecnológicas da madeira é de fundamental importância para definir qualquer emprego industrial que se pretende destiná-la, pois o seu comportamento de colagem, secagem, trabalhabilidade e outros está intimamente associado à sua estrutura celular.

Um estudo detalhado da estrutura anatômica da madeira é fundamental para determinar possíveis aplicações de diferentes espécies e, assim, classificar e agrupar espécies direcionando-as para estudos tecnológicos específicos, podendo ser indicada por meio da análise da estrutura anatômica (PAULA; SILVA JÚNIOR; SILVA, 2000). Nesse sentido, o desafio para o uso da madeira está na variação de sua estrutura, possibilitando os mais variáveis e sofisticados usos (CORADIN; CAMARGO, 2002).

Os estudos anatômicos das espécies estudadas são fragmentários, inexistindo pesquisas mais aprofundadas. Na literatura apresenta-se, bem raro, pouca descrição macroscópica das madeiras, destacando-se os trabalhos de Loureiro et al. (1979) sobre essências madeireiras da Amazônia, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (2010) e de Jankowsky et al. (1990), sobre a parte tecnológica da madeira.

Pertencem à família Moraceae cerca de 50 gêneros e aproximadamente 1.500 espécies, distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, representadas, no Brasil, por 250 espécies reunidas em 27 gêneros, incluindo árvores, arbustos, ervas ou lianas, geralmente latexcentes (SOUZA; LORENZI, 2005) e produção de látex (MARCHIORI; MUÑIZ, 1997).

Algumas espécies de *Brosimum* têm potencial madeireiro, como o *B. rebescens* e o *Brosimum guianense*. Como ornamental, tem-se a espécie *Brosimum alicastrum*. As espécies de *Brosimum utile*, *Brosimum potabile* e *Brosimum alicastrum* produzem látex considerado potável. Já o látex das espécies

de *Brosimum parinarioides* e *Brosimum longifolium* é aplicado contra doenças pulmonares (BERG, 1980).

O gênero *Cordia* pertence à família Boraginaceae, incluindo cerca de 100 gêneros e 2.000 espécies distribuídas nos trópicos, nas regiões temperadas e árticas (FICARRA; FICARRA; TOMMASINI, 1995). No Brasil ocorre na região Amazônica, principalmente no estado do Pará (LORENZI, 1998).

Compreendendo cerca de 727 gêneros e 19.325 espécies, a família Leguminosae ou Fabaceae é a terceira maior família das angiospermas (LEWIS et al., 2005). A subfamília mimosoideae apresenta 77 gêneros e aproximadamente 3.000 espécies (DOYLE; LUCKOW, 2003).

Existem aproximadamente 17 espécies do gênero *Parkia*, subfamília Mimosoideae, que ocorrem em áreas de floresta de terra firme, várzea sazonal e floresta secundária (HOPKINS, 1986). Dentre essas espécies, *Parkia multijuga*, *Parkia ulei*, *Parkia nítida*, *Parkia paraensis* e *Parkia platycephala* são fornecedoras de madeiras comerciais na Amazônia (INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL - IBDF, 1987).

Apesar de algumas informações sobre essas espécies estarem disponíveis na literatura, como as propriedades físicas e anatômicas, ainda não existe um estudo mais aprofundado. Shimoyama (1990) relata que o ambiente, bem como a sua manipulação, pode afetar as características e a qualidade da madeira. Sendo assim, o trabalho foi realizado com o objetivo de determinar e avaliar as características anatômicas, físicas de densidade básica e químicas de três espécies florestais da Amazônia, visando conhecer seu potencial tecnológico para a produção de painéis.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Coleta do material

O material utilizado para as análises foram obtidos na área de manejo florestal da Fazenda Rio-Capim, que possui 140.658 hectares de área certificada, pertencente à Empresa Cikel Brasil Verde S.A., localizada no município de Paragominas, no estado do Pará.

Foram utilizadas três espécies arbóreas tropicais para os estudos tecnológicos: *Cordia goeldiana*, *Brosimum parinarioides* e *Parkia gigantocarpa*, sendo três indivíduos por espécie. De cada indivíduo foram coletados discos da base (0% da altura do caule) para a análise anatômica, nos quais foram obtidos corpos de prova com tamanho aproximado de 2 x 2 x 2 cm, na região intermediária entre casca e medula. Para as análises física e química, foram coletados, em cada árvore, discos a 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, ao longo do fuste comercial, em cunhas opostas.

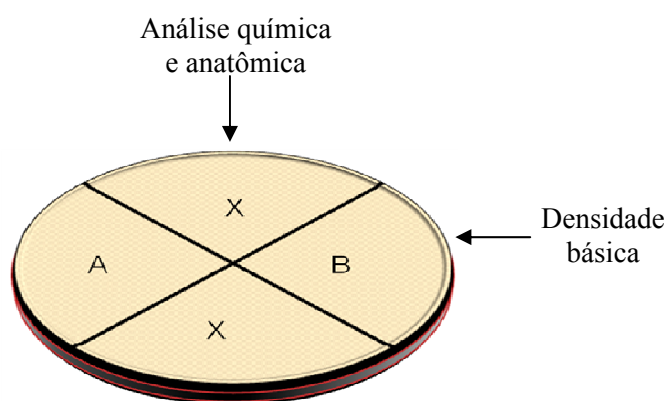


Figura 1 Esquema da retirada dos corpos de prova para análise química, anatômica e densidade básica da madeira



As espécies foram devidamente identificadas por comparação com material de referência existente no herbário e na xiloteca do Laboratório de Botânica da Embrapa Amazônia Oriental, no estado do Pará.

## 2.2 Caracterização anatômica

As análises anatômicas das madeiras foram realizadas no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A determinação das características anatômicas se deu em corpos de prova devidamente orientados nos planos transversal, tangencial e radial, de acordo com as recomendações da International Association of Wood Anatomists - IAWA (1989).

### a) Obtenção dos cortes histológicos

Foram obtidos cortes histológicos obedecendo às técnicas padronizadas para estudos em anatomia da madeira. A madeira de freijó, por apresentar maior dureza, foi submetida à fervura em autoclave com glicerina 100%, por 12 horas, para seu amolecimento. Já as madeiras de amapá e faveira, em função da menor dureza, foram amolecidas apenas com a saturação em água. Os cortes histológicos foram obtidos com o auxílio de um micrótomo de deslize *Richert* marca Leica, com espessura de 18  $\mu\text{m}$  no plano transversal e 22  $\mu\text{m}$  nos planos longitudinal tangencial e radial. Os cortes foram submetidos à lavagem em hipoclorito, em seguida colocados em álcool etílico a 20% e depois corados com safranina hidroalcolica para evidenciar a estrutura celular. Em seguida, foram desidratados em série etílica progressiva (50%, 70%, 80%, 100%, álcool/acetato 3:1; álcool/acetato 1:1; álcool/acetato 1:3, acetato puro). Posteriormente, os cortes foram montados entre lâmina e lamínula e colados com Entellan<sup>®</sup>.

#### b) Obtenção do material macerado

A preparação do macerado foi realizada de acordo com o método de Franklin (1945): lascas de madeira foram retiradas dos corpos de prova e colocadas em ácido acético e peróxido de hidrogênio, na proporção de 1:1, em frascos de 10 ml, sendo, em seguida, colocadas em estufa, a 60°C, por 24 horas, para dissociação dos elementos celulares.

#### c) Avaliação quantitativa dos elementos anatômicos

Foram realizadas 40 medições e contagens para cada parâmetro analisado, sendo vasos: frequência/mm<sup>2</sup>, diâmetro e comprimento dos elementos de vaso; fibras: comprimento e espessura da parede, e raios: frequência/mm linear, altura e largura em número de células. As análises foram realizadas em microscópio ótico associado a um computador com *software* de análise de imagem Win Cell-Pro, previamente calibrado. Ao final foram obtidos os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação para os parâmetros analisados.

#### d) Caracterização macro e microscópica

Para a caracterização macroscópica, seguiram-se as recomendações do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (1992) e, para descrição microscópica, seguiram-se as normas estabelecidas pela IAWA (1989).

#### e) Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para a análise de varredura, as amostras foram levadas ao Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME) da UFLA e preparados corpos de prova 1 x 1 x 1 cm nos planos transversal, tangencial e radial devidamente orientado. Os mesmos foram secos em estufa, a 70°C, por 24 horas. As amostras foram coladas sobre *stubs* com fita adesiva dupla face e

codificadas; em seguida, levadas ao Sputtering para o banho de ouro para melhor resistência e condutividade das mesmas e, depois, feita a varredura no microscópio de modelo LEO Evo 40.

### 2.3 Caracterização química

As amostras para a análise química foram transformadas em cavacos, depois moídas e posteriormente em serragem. Em seguida, foram peneiradas e classificadas através de peneiras sobrepostas de 40 e 60 mesh, utilizando a serragem retida na peneira de 60 mesh. Esse material foi acondicionado em ambiente climatizado, a  $20\pm 1^\circ\text{C}$ , de temperatura e  $60\pm 5\%$  de umidade relativa, até massa constante. As análises foram realizadas de acordo com as normas descritas na Tabela 2, que foram feitas em duplicata no Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFLA.

Tabela 1 Ensaios e normas utilizadas para análises químicas da madeira

Ensaios	Normas
Teor de extrativos totais	ABCP - M3/69
Teor de lignina (Klason)	ABCP - M10/71
Teor de cinzas	ABCP - M11/77
Teor de holocelulose	determinado por diferença

### 2.4 Caracterização física

#### 2.4.1 Densidade básica da madeira

A determinação da densidade básica foi realizada de acordo com a norma NBR 11942 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003), em que foram utilizadas amostras das cunhas de cada disco das seções das árvores, obtendo-se, assim, uma média para cada espécie.

A densidade básica foi obtida pela relação massa seca do material, em gramas, dividida pelo seu volume totalmente saturado de água, em  $\text{cm}^3$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização das espécies

##### 3.1.1 *Brosimum parinarioides* Ducke

Família: Moraceae

Nomes comuns: amapá, amapá-doce, amapá-roxo, mururé-rana, amapá-rana.

##### 3.1.2 Características gerais

Propriedades organolépticas

Cerne e alburno indistintos pela cor bege-amarelado levemente rosado; superfície pouco lustrosa; cheiro e gosto imperceptíveis; grã irregular a revessa e textura média.

Descrição anatômica

**Camadas de crescimento:** indistintas. **Vasos/poros** visíveis sob lente de 10 vezes, em observação macroscópica; difuso, arranjo com padrão indefinido, predominantemente solitários (90%), podendo ocorrer múltiplos de 3 a 7, com contorno circular; poucos a muito poucos, de 2 a 13 poros por mm<sup>2</sup> (média de 6); de muito poucos a poucos, com comprimento de 212,29-622,65µm média de 423,70µm; diâmetro tangencial dos elementos de vasos de 91,98-260,19 µm com valores médios de 173,60µm; placas de perfuração simples; pontuações intervasculares alternas com comprimento de 5,56-9,33 (média 7,25 µm); pontuações raio-vasculares com aréolas distintas; semelhantes às intervasculares em tamanho e forma, no raio da célula. **Fibras** não septadas, de muito curtas a curtas, com comprimento de 870,41-1.792,24 µm com valores

médios de 1.347,93  $\mu\text{m}$ ; finas com espessura da parede das fibras de 1,74-4,71  $\mu\text{m}$  com valores médios de 3,20 $\mu\text{m}$ . **Parênquima axial** visível somente sob lente de 10 vezes no nível macro; paratraqueal aliforme de extensão linear, ocorrendo também aliforme confluyente, com 2-4 células por série. **Raios** visíveis sob lente de 10 vezes em seção transversal observado ao nível macroscópico, na face radial são poucos contrastados, multisseriados, heterogêneos, largura de 2-6 células, altura em número de células 12-45 (média 25), não estratificados, corpo do raio constituído por células procumbentes com uma fila de células marginais quadradas e/ou eretas; muito poucos a poucos com raios por mm linear de 1-9. **Elementos secretores** canais radiais presentes com frequência, cristais prismáticos presentes nas células dos raios.

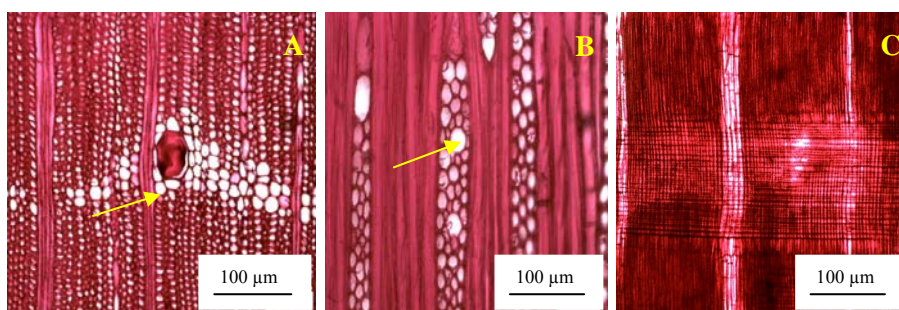


Figura 1 Aspecto microscópico de *Brosimum parinarioides*. A. Seção transversal mostrando detalhe de tilos; B. Seção tangencial - detalhe para os canais radiais; C. Seção radial

Tabela 1 Valores máximos, mínimos, médios, desvio padrão e coeficiente de variação das características da madeira de *Brosimum parinarioides*

Características	Máximo	Mínimo	Média	D. Padrão	CV (%)
FP (mm <sup>2</sup> )	11,67	1,67	6	1,94	37,22
DV (µm)	260,19	91,97	173,6	38,15	21,89
CV (µm)	622,65	212,29	423,70	109,52	25,8
CF (µm)	1792,24	870,41	1347,93	175,32	13,24
EF (µm)	4,7	1,73	3,2	0,65	20,77
FR (mm linear)	7,33	2,67	5,06	1,11	23,6
AR (n° células/mm <sup>2</sup> )	45	12	24,56	8,35	34,33
Espessura dos raios	4,7	2	3,55	0,66	17,82
DP (µm)	9,32	5,56	7,24	0,82	11,37

FP = frequência de poros; DV = diâmetro dos vasos; CV = comprimento dos vasos; CF = comprimento de fibras; EF = espessura da parede da fibra; FR = frequência de raios; AR = altura dos raios; DP = diâmetro das pontuações intervasculares

### 3.2 *Parkia gigantocarpa* Ducke

Família: Leguminosae-Mimosoideae

Nomes comuns: faveira, japacanim, visgueiro

#### 3.2.1 Características gerais

Propriedades organolépticas

Cerne e alburno indistintos pela cor, cerne branco-palha a castanho-claro, cheiro e gosto imperceptíveis, grã direita a revessa de textura grossa.

Descrição anatômica

**Camadas de crescimento:** indistintas. **Vasos/poros** visíveis a olho nu em seção transversal, observado macroscopicamente; difusos em arranjo tangencial, predominantemente solitários acima de 90%, podendo ocorrer múltiplos de 2-4 desobstruídos, raramente ocorrendo múltiplos de 7; muito poucos a poucos, com frequência de poros por mm<sup>2</sup> de 1-15, com valores médios de 8; comprimento dos elementos de vasos de 213,84-547,81 µm com

valores médios de 352,83  $\mu\text{m}$ , pequenos a médios com diâmetro tangencial dos vasos de 72,87-274,74  $\mu\text{m}$ , com valores médios de 189,44  $\mu\text{m}$ ; pontuações intervasculares de 6-8  $\mu\text{m}$  de diâmetro, com valores médios de 7  $\mu\text{m}$ ; placa de perfuração simples, pontuações intervasculares alternas de 5,83-8,64  $\mu\text{m}$  de comprimento (média 7,06  $\mu\text{m}$ ), pontuações raio-vasculares com aréolas distintas; semelhantes às intervasculares em tamanho e forma. **Fibras** não septadas, de muito curtas a curtas, de 863,32-1.913,48  $\mu\text{m}$  de comprimento, valores médios de 1.359,54  $\mu\text{m}$ ; espessura da parede fina de 2,12-5,46  $\mu\text{m}$ , em média de 3,46  $\mu\text{m}$  e espessura do lume 105,62-319,00  $\mu\text{m}$  (média 216,65  $\mu\text{m}$ ).

**Parênquima axial** visível a olho nu, observado macroscopicamente, paratraqueal aliforme losangular, com 2-4 células por série, ocorrendo ocasionalmente aliforme confluyente. **Raios** visíveis sob lente de 10 vezes no plano transversal e tangencial ao nível macroscópico, não estratificados com dois tamanhos distintos e linhas vasculares retilíneas, pouco contrastados, heterogêneos, corpo do raio constituído por células procumbentes com uma fila de células marginais quadradas e/ou eretas; multisseriados, raios numerosos, ocorrendo por milímetro linear de 5-18 (12 média); altura dos raios quanto ao número de células de 9-29, com média de 18 células; largura dos raios em número de células de 1-6, com média de 4 células de largura.



**Elementos secretores** presença de cristais prismáticos nas células das fibras.

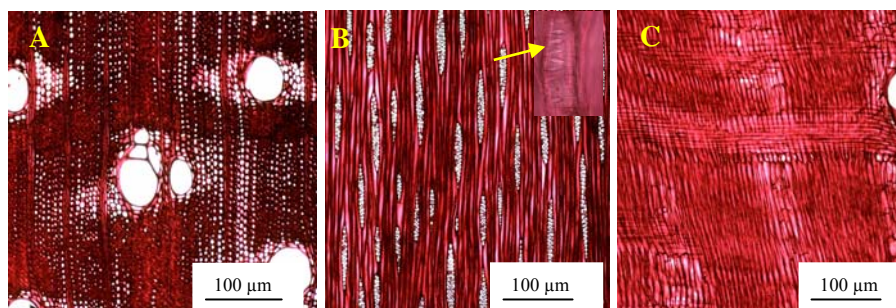


Figura 2 Aspecto microscópico de *Parkia gigantocarpa*. A. Seção transversal; B. Seção tangencial, detalhe de cristais prismáticos presente nas fibras; C. Seção radial

Tabela 2 Valores máximos, mínimos, médios, desvio padrão e coeficiente de variação das características da madeira de *Parkia gigantocarpa*

Características	Máximo	Mínimo	Média	D. Padrão	CV (%)
F. de poros (mm <sup>2</sup> )	12,5	1,5	5,9	2,45	2,45
D. dos vasos (µm)	289,49	83,78	198,51	42,95	21,92
C. de vasos (µm)	541,84	209,79	354,81	78,79	22,21
C. de fibras (µm)	1830,79	838,23	1352,48	224,91	16,69
E. parede fibra (µm)	5,46	2,12	3,46	0,73	21,11
FR (mm linear)	15	5,67	9,96	2	20,15
AR (n° células / mm <sup>2</sup> )	29,33	9	17,44	4,38	24,54
ER (µm)	5	1,7	3,31	0,9	24,54
D. Pont. Int. (µm)	8,63	5,82	7,06	0,76	10,78

FP = frequência de poros; DV = diâmetro dos vasos; CV = comprimento dos vasos; CF = comprimento de fibras; EF= espessura da parede da fibra; FR = frequência dos raios; AR = altura dos raios; ER = espessura dos raios; DP = diâmetro das pontuações intervasculares

### 3.3 *Cordia goeldiana* Huber

Família: Boraginaceae

Nome comum: freijó, frei-jorge, *cordia wood*, *jennie wood*, *brazilian wainut*, *south american wainut*.

### 3.3.1 Características gerais

#### Propriedades organolépticas

Cerne e albarno distintos pela cor, cerne castanho-claro-amarelado, cheiro e gosto imperceptíveis, grã direita, textura média e superfície lustrosa.

#### Descrição anatômica

**Camadas de crescimento:** distintas, individualizadas por zonas fibrosas mais escuras. **Vasos/poros** visíveis a olho nu em seção transversal em observação macroscópica; difusos em arranjo indefinido, predominantemente solitários (90%), vasos obstruídos por tilos (Figura 4), podendo ocorrer múltiplos em cachos, pouco de 2-16 com média de 8 poros por  $\text{mm}^2$ ; comprimento dos elementos de vasos de 168,13-449,49  $\mu\text{m}$ , com valores médios de 292,75  $\mu\text{m}$ ; pequenos a grandes com diâmetro tangencial dos vasos de 76,24-218,27  $\mu\text{m}$ , com valores médios de 176,58  $\mu\text{m}$ ; contorno circular, placas de perfuração simples; pontuações intervasculares alternas de 6,54-10,35  $\mu\text{m}$  de comprimento (média 8,83  $\mu\text{m}$ ), pontuações raio-vasculares com aréolas distintas; semelhantes às intervasculares em tamanho e forma. **Fibras** não septadas, de curtas a longas, com comprimento de 909,55-1.996,83  $\mu\text{m}$ , com valores médios de 1.550,29  $\mu\text{m}$ ; espessas com espessura da parede das fibras de 2,57-7,18  $\mu\text{m}$  valores médios de 4,39  $\mu\text{m}$ . **Parênquima axial** visível sob lente de 10 vezes, em observação macroscópica, paratraqueal aliforme vasicêntrico ocorrendo vasicêntrico confluyente, com 4 a 9 células por série. **Raios** visíveis a olho nu em observação macroscópica, não estratificados, multisseriados, heterogêneos, 2-8 células de largura (média 5), numerosos com células envolventes; raios de dois tamanhos distintos, quanto à altura em número de células de 15-82 (média 39); os raios são grandes podendo ter mais de 30 células; de muito poucos a poucos

raios por mm linear de 1-9 (média 5); corpo do raio constituído por células procumbentes com uma fileira de células marginais quadradas e/ou eretas.

**Elementos secretores** cristais prismáticos presentes no interior das células radiais.

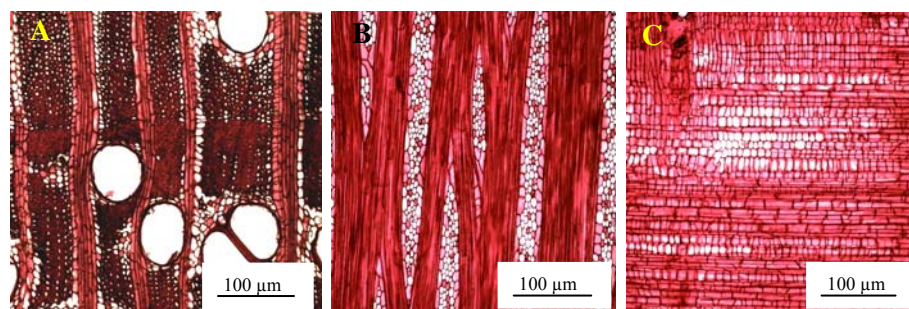


Figura 3 Aspecto microscópico de *Cordia goeldiana*. A. Seção transversal; B. Seção tangencial; C. Seção radial

Tabela 3 Valores máximos, mínimos, médios, desvio padrão e coeficiente de variação das características da madeira de *Cordia goeldiana*

Características	Máximo	Mínimo	Média	D. Padrão	CV (%)
FP (mm <sup>2</sup> )	15,67	1,67	8,18	2,87	37,67
DV (µm)	281,27	76,23	176,58	42,39	24,06
CV (µm)	449,49	168,12	292,75	62,66	21,48
CF (µm)	1996,83	909,55	1550,29	255,09	16,5
EF (µm)	7,18	2,56	4,39	1,07	24,38
FR (mm linear)	6,67	1,67	3,81	1,23	31,8
AR (n° células/mm <sup>2</sup> )	81,67	15,33	39,01	15,83	39,87
ER (µm)	6,33	2,67	4,18	1,03	27,73
DP (µm)	9,92	7,01	7,252	1,89	7,8

FP = frequência de poros; DV = diâmetro dos vasos; CV = comprimento dos vasos; CF = comprimento de fibras; EF= espessura da parede da fibra; FR = frequência dos raios; AR = altura dos raios; ER = espessura raio; DP = diâmetro das pontuações intervasculares

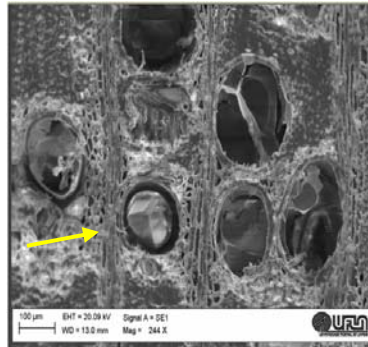


Figura 4 Aspecto em microscopia eletrônica de varredura do corte transversal evidenciando vaso obstruído por tilo

### 3.4 Análise tecnológica das madeiras

As características tecnológicas apresentadas pelas espécies estudadas foram similares para as espécies *Brosimum parinarioides* e *Cordia goeldiana* e baixas para as propriedades mecânicas da espécie *Parkia gigantocarpa*, conforme informações referenciadas em literatura. Com suas propriedades físicas de retratibilidade baixa e mecânicas médias (LOUREIRO et al., 1979), essas espécies apresentam qualidades para a produção de painéis de madeira.

#### 3.4.1 Análise da estrutura anatômica

As espécies estudadas apresentaram, em suas características macroscópicas, certas similaridades, como poros visíveis a olho nu, porosidade difusa, solitários, parênquima paratraqueal, raios não estratificados e linhas vasculares retilíneas. Somente o amapá apresentou linhas vasculares irregulares e condizentes com o relatado por Loureiro et al. (1979).

As espécies estudadas não foram possíveis de comparação como um todo, pois algumas de suas estruturas microscópicas são desconhecidas. Porém,

algumas características foram comparadas com outras espécies de mesma família ou afins.

Para a espécie *Brosimum parinarioides*, comparada com os resultados encontrados por Weiers e Melo Júnior (2009) para *Ficus organensis*, da mesma família, as mesmas características foram encontradas, como vasos com porosidade difusa e predominantemente solitários, placas de perfuração simples e pontuações intervasculares alternas e cristais prismáticos presentes, indicando que esses resultados podem ser uma característica dessa família.

Em estudos de cinco espécies de Moraceae, Quintanar e Castrejón (2004) encontraram características distintas para essa família, como a ocorrência de raios com altura e largura variáveis e não estratificados, os mesmos observados para a espécie *Brosimum parinarioides* neste trabalho e condizentes com os relatos de Roth e Cova (1969) que ainda descrevem, em seu trabalho com a anatomia de algumas espécies da família Moraceae, a ocorrência de fibras de parede fina e presença de tubos laticíferos.

Mainieri e Chimelo (1989) obtiveram resultados de 9 poros por  $\text{mm}^2$ , diâmetro dos vasos de 200  $\mu\text{m}$ , comprimento de fibra de 1.160  $\mu\text{m}$ , os quais, neste estudo, foram menores que (6 por  $\text{mm}^2$  e 173,6  $\mu\text{m}$ , respectivamente) e, para o comprimento de fibra, foi de 1.347,93  $\mu\text{m}$ , portanto acima dos encontrados pelos autores citados.

Baraúna (2010), estudando a influência anatômica na permeabilidade da madeira da espécie *Brosimum parinarioides*, encontrou médias para as seguintes características: frequência de vasos de 7,0/ $\text{mm}^2$  e espessura da parede da fibra de 4,7  $\mu\text{m}$ , as quais, nesta pesquisa, tiveram médias mais baixas, de 5,25/ $\text{mm}^3$  e 3,2  $\mu\text{m}$ . Já para o diâmetro dos vasos o autor obteve médias de 161,0  $\mu\text{m}$  e comprimento das fibras de 1.269  $\mu\text{m}$ , tendo os desta pesquisa sido superiores, 173,6  $\mu\text{m}$  e 1.347,93  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Placas de perfuração simples, pontuações intervasculares alternas e parênquima paratraqueal e não estratificação dos raios são caracteres anatômicos que têm ocorrência generalizada na família Leguminosae e atestam alto grau de especialização filogenética (METCALFE; CHALK, 1983). Essas características estão presentes na madeira de *Parkia gigantocarpa*. A heterogeneidade do tecido radial apresentado na espécie é um caráter que não ocorre na subfamília Mimosoideae, pois, segundo Barreta-Kuipers (1981), a homogeneidade dos raios é uma característica notável nas madeiras desta subfamília. Contudo, essa ocorrência já foi observada em outras espécies do gênero, como em *Mimosa scabrella* (MARCHIORI, 1995), *Mimosa eriocarpa* (CARNIELETO; MARCHIORI, 1993) e *Mimosa pululifera* (MARCHIORI; MUÑIZ, 1997).

A ocorrência de poros solitários observada nas espécies em estudo também foi verificada em espécies de mesma família, como *Mimosa daleoides*, encontrada por Marchiori (1982) e para *Mimosa eriocarpa*, descrita por Carnielletto e Marchiori (1993).

Marques (2008) encontrou diâmetro tangencial dos poros de 195,2  $\mu\text{m}$ , frequência dos poros de 3,4 por  $\text{mm}^2$  e espessura da parede das fibras de 2,40  $\mu\text{m}$ , estudando o agrupamento de 41 espécies amazônicas. Os valores obtidos pela autora estão próximos os desta pesquisa, de 195,2  $\mu\text{m}$ , 5,9 por  $\text{mm}^2$  e 3,46  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Détiene e Jacquet (1983) obtiveram médias de 2 poros por  $\text{mm}^2$  e diâmetro dos vasos de 200  $\mu\text{m}$ ; para os poros, essa média está abaixo do observado no estudo e para o diâmetro dos vasos os valores são próximos. Para o comprimento de fibras, Loureiro et al. (1979) obtiveram média de 1.600  $\mu\text{m}$ , superior à desta pesquisa, de 1.352,48  $\mu\text{m}$ .

Baraúna (2010) encontrou médias para frequência de vasos de 5,7/ $\text{mm}^2$ . O resultado encontrado na pesquisa foi similar ao deste autor, 5,9/ $\text{mm}^2$  e, para o diâmetro dos vasos, ele obteve médias de 217,4  $\mu\text{m}$ , portanto superior à desta pesquisa, que foi de 198,51  $\mu\text{m}$ . Para o comprimento das fibras, o mesmo autor

encontrou médias de 1.396  $\mu\text{m}$  e espessura da parede da fibra de 3,1, tendo a desta pesquisa ficado próxima a isso: de 1.352,48  $\mu\text{m}$  e 3,46  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Esta espécie apresentou paredes de fibras finas, o que confere baixa rigidez à fibra, o que pode interferir na ligação na formação do papel, pois quanto mais fina a parede, maior é o grau de colapso, em razão da maior flacidez (PAULA; ALVES, 1997).

As principais características presentes na madeira de *Cordia goeldiana*, tanto nesta pesquisa como o apresentado por León (2003), para o gênero *Cordia*, na maior parte das espécies estudadas, são: presença de porosidade difusa, solitários e múltiplos; placas de perfuração simples; pontuações intervasculares alternas e pontuações radiovasculares similares as intervasculares; fibras não septadas de parede espessas; parênquima paratraqueal vasicêntrico e vasicêntrico confluyente; raios heterogêneos com células envolventes, corpo do raio com células procumbentes e fileira de células marginais; estratificação ausente e presença de cristais prismáticos, os quais conferem as características observadas nesta pesquisa.

Moreira e Nobre (2010) obtiveram valores médios para altura dos raios de 25,57/mm, tendo, nesta pesquisa, sido em números de células de 24,56/mm. A frequência de raios obtida pelos autores foi de 1,97/mm e os desta pesquisa foram superiores, com médias de 5,06  $\mu\text{m}$ . Para o comprimento de fibras, encontraram médias de 1.167,20  $\mu\text{m}$ , sendo o desta pesquisa superior, com médias de 1.347,93  $\mu\text{m}$ . Para a espessura da parede da fibra, obtiveram médias de 7,16  $\mu\text{m}$ , porém, na pesquisa encontraram-se médias menores, de 3,2  $\mu\text{m}$ . Para o diâmetro dos vasos, os autores observaram médias de 190,25  $\mu\text{m}$ , tendo as desta pesquisa sido próximas, com médias de 173,6  $\mu\text{m}$ . A frequência de poros encontrada pelos autores foi, em média, de 3,4/mm<sup>2</sup>, enquanto o da pesquisa foi maior, com médias de 5,25/ mm<sup>2</sup> e, para o diâmetro das pontuações,

os autores encontraram médias de 6,32  $\mu\text{m}$ , sendo o valor médio da pesquisa de 7,24  $\mu\text{m}$ .

Segundo León (2003), apesar da grande diversidade da família Boraginaceae, os estudos sobre a estrutura anatômica são muito limitados, devido à pouca quantidade de trabalhos realizados e ao fato de um terço da família ser de plantas lenhosas, consideradas pouco valiosas, do ponto de vista econômico.

### 3.5 Caracterização química

A composição química das madeiras estudadas está descrita na Tabela 4, em que são apresentados seus valores.

Tabela 4 Valores médios e coeficiente de variação (%) dos principais componentes das espécies analisadas

		Composição química (%)			
Espécie		Extrativo	Lignina	Cinza	Holocelulose
Amapá	Média	5,31	30,51	0,88	63,30
	CV%	16,67	1,12	14,66	1,57
Faveira	Média	3,52	25,08	0,98	70,42
	CV%	9,39	9,57	16,27	3,77
Freijó	Média	5,12	29,64	0,54	64,69
	CV%	46,57	8,39	3,39	7,06

Pode-se observar que o teor de extrativos de faveira foi menor que os valores das espécies de amapá e freijó. Porém, essa porcentagem de 3,52 está dentro dos valores que as folhosas apresentam, em torno de  $3 \pm 2\%$  de extrativos (MORAIS; NASCIMENTO; MELO, 2005). Jankowsky e Galvão (1979) citam que espécies com alto teor de extrativos apresentam maior estabilidade dimensional, menor umidade no ponto de saturação das fibras e umidades de equilíbrio mais baixas do que espécies que possuem pequenas quantidades de extrativos em sua composição química.



Klitzke et al. (2008), estudando o agrupamento de *Himenaea* sp. para fins de secagem convencional, obtiveram resultados médios de 8,77%, valor superior aos do estudo, talvez pelo fato de a espécie de *Himenaea* ser de alta densidade. Portanto, madeiras com grandes teores de extrativos tendem a ser mais densas, o que confere com as espécies de amapá e freijó do estudo.

Baraúna (2010), trabalhando com as espécies de amapá e faveira, com o objetivo de determinar a composição química das mesmas no estudo da permeabilidade, encontrou valores médios de 5,31% e 3,52%, respectivamente. Esses resultados foram condizentes com os da pesquisa e já esperado, pois as análises foram realizadas nas mesmas amostras.

Os teores de lignina presentes nas três espécies foram condizentes com a faixa de composição de Tsoumis (1991), para as madeiras tropicais, em torno de 14,0-34,6. Moutino (2008) encontrou valores próximos, variando de 22,13% a 32,33%, em estudos em folhosas de Lecythidaceae. Estudando a composição química de *Swietenia macrophylla*, Caixeta e Pastore (2007) encontraram 30,52% de lignina insolúvel. Mori et al. (2003) também encontraram 24,97% a 35,50%, em estudo de espécies de *Eucalyptus dunii* e *Eucalyptus resinifera*, respectivamente. Conforme Moutinho (2008), valores altos de lignina e densidade estão correlacionados estatisticamente com melhores propriedades químicas (maiores teores de carbono fixo e menores teores de substâncias voláteis e cinzas) e maior rendimento volumétrico do carvão, o que confere as espécies estudadas.

Baraúna (2010) também encontrou médias iguais ao da pesquisa de 30,51%, para a espécie de amapá e 25,08%, para a faveira.

Para o teor de cinzas, a madeira de faveira apresentou a maior média, de 0,98%, em relação às demais espécies.

Os valores das espécies estudadas estão dentro do intervalo de variação em que Tsoumis (1991) relata que o conteúdo de cinzas raramente é menor que

0,2% ou maior que 1% do peso seco das madeiras. Contudo, podem alcançar até 5% em madeiras de climas tropicais (FENGEL; WEGENER, 1989). O mesmo autor ainda menciona que o teor de componentes minerais na madeira depende das condições ambientais sob as quais a árvore se desenvolve e da localização do mineral na planta.

Seye et al. (2008), caracterizando a biomassa florestal da Amazônia para fins energéticos, encontraram teores de cinza para algumas espécies variando de 0,44% a 0,98%. Portanto, os resultados da pesquisa estão dentro da faixa encontrada pelos autores.

Baraúna (2010) encontrou médias de 0,88% para amapá e de 0,98% para a faveira, condizentes com o desta pesquisa.

O maior teor de holocelulose observado foi para a madeira de faveira, com média de 70,42%, enquanto o amapá e o freijó tiveram médias similares.

Os resultados obtidos na pesquisa apresentaram valores similares aos encontrados na literatura. Severo, Calonego e Sansígolo (2006) encontraram valores variando de 68,96% a 71,0% para lenho juvenil e de 69,48% a 74,45% para lenho adulto em *Eucalyptus citriodora*. Estudando várias espécies de eucaliptos, Shimoyama (1990) encontrou valores variando entre 62,85% e 71,80%, os quais são similares aos encontrados para as espécies estudadas. O alto teor de holocelulose apresentado pela madeira de faveira pode estar relacionada com sua higroscopicidade, pois, quanto maior o teor de holocelulose, maior a higroscopicidade da madeira, uma vez que a celulose e a hemicelulose são maiores responsáveis por essa propriedade (SKKAR, 1972).

Baraúna encontrou médias de 63,30%, para a madeira de amapá e de 70,42%, também iguais ao da pesquisa.

### 3.6 Caracterização física

#### 3.6.1 Densidade básica

Os resultados obtidos para as propriedades físicas das espécies estudadas estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 Valores médios e coeficiente de variação da densidade básica das espécies analisadas

Espécie	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)
Amapá	0,42	5,72
Faveira	0,28	9,86
Freijó	0,50	3,06

Os valores de densidade básica obtidos neste trabalho foram próximos aos existentes na literatura, sendo, para a espécie amapá, de 0,42 g/cm<sup>3</sup>, abaixo dos encontrados pelo banco de dados de madeiras brasileiras e pelo IPT (2010) de 0,57 g/cm<sup>3</sup> e 0,59 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Para a faveira, foi encontrado valor de 0,28 g/cm<sup>3</sup>, próximo aos relatados por Marques (2008), que foi de 0,26 g/cm<sup>3</sup>, em estudo de agrupamento de 41 espécies amazônicas para secagem e confirmada no banco de dados do Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA (2010). A espécie freijó apresentou valor próximo aos encontrados por IBAMA (2010) e IPT (2010), de 0,48 g/cm<sup>3</sup>.

Os valores obtidos neste trabalho para as espécies estudadas podem ser classificadas como de leve e baixa densidade (MELO; CORADIN; MENDES, 1990), sendo adequados para a produção de painéis.

A massa específica é um parâmetro importante que determina a espécie para um determinado produto (KEINERT JUNIOR, 1980).

Portanto, os resultados obtidos neste estudo e entre os encontrados na literatura podem ser justificados pelas condições de diferentes idades, de crescimento, sítios e também por métodos de ensaio.

#### 4 CONCLUSÕES

- a) as espécies em estudo apresentaram similaridades em suas características anatômicas básicas;
- b) as espécies *Brosimum parinarioides* e *Cordia goeldiana* apresentaram tilos obstruindo seus vasos;
- c) a heterogeneidade dos raios apresentado pela madeira de *Parkia gigantocarpa* não é uma peculiaridade da subfamília Mimosoideae;
- d) para análise química, as espécies apresentaram valores dentro da faixa estabelecida pela literatura para madeiras tropicais;
- e) a análise física demonstrou que os valores encontrados foram similares ao existente em literatura para produção de painéis;
- f) as espécies podem ser classificadas como de leve e de média densidade;
- g) a variabilidade de valores obtidos nas espécies pode ser influenciada pelas condições de crescimento, sítio, idade e variedades.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11942:** determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- BARAÚNA, E. E. P. **Permeabilidade das madeiras de Amapá (*Brosimum parinarioides* Ducke) e Faveira (*Parkia gigantocarpa* Ducke)**. 2010. 69 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- BERG, M. E. van den. Contribuição à flora medicinal do Estado de Mato Grosso. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 33, p. 163-170, 1980. Suplemento.
- CAIXETA, M. L. L.; PASTORE, T. C. M. Composição química da madeira de mogno (*Swietenia macrophylla* King). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 30., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Sociedade Brasileira de Química, 2007. p. 93.
- CARNIELETTO, C.; MARCHIORI, J. N. C. Anatomia da madeira de *Mimosa eriocarpa* Benth. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 107-120, jan./fev. 1993.
- CORADIN, V. T. R.; CAMARGO, J. A. A. **A estrutura anatômica da madeira e princípios para sua identificação**. Brasília: LPF, 2002. 28 p.
- DÉTIENNE, P.; JACQUET, P. **Atlas d'identification des bois de l'amazonie et des régions voisines**. Paris: Centre Technique Forestier Tropical, 1983. 640 p.
- DOYLE, J. J.; LUCKOW, M. S. The rest of the iceberg: legume diversity and evolution in a phylogenetic context. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 131, n. 4, p. 900-910, 2003.
- FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood chemistry, ultrastructure reactions**. Berlin: Gruyter, 1989. 612 p.
- FICARRA, R.; FICARRA, P.; TOMMASINI, S. Leaf extracts of some *Cordia* species analgesic and antiinflammatory activities as well as their chromatographic analysis. **Fármaco**, Paris, v. 50, n. 4, p. 245-256, 1995.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resin and wood: resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, n. 3924, p. 5-6, 1945.

HOPKINS, H. C. F. **Flora neotropica**. New York: The New York Botanical Garden, 1986. 44 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Padronização da nomenclatura comercial brasileira das madeiras tropicais amazônicas**. Brasília, 1987. 85 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Madeiras brasileiras**. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 15 out. 2010.

\_\_\_\_\_. **Normas para procedimentos em estudos de anatomia de madeira:** I., angiospermae, II., gimnospermae. Brasília: LPF, 1992. 19 p. (Série Técnica, 15).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Informações sobre madeiras**. Disponível em: <<http://www.ipt.br/informações-madeiras>>. Acesso em: 9 set. 2010.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

JANKOWSKY, I. P. et al. **Madeiras brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 171 p.

JANKOWSKY, I. P.; GALVÃO, A. P. M. Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. **Boletim do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 18, p. 1-33, jun. 1979.

KEINERT JUNIOR, S. **Laboratory evaluation of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus robusta* for the manufacture of composition board**. 1980. 184 f. Thesis (Ph.D. in Phylosophy) - Michigan State University, East Lansing, 1980.

KLITZKE, R. J. et al. Caracterização dos lenhos de cerne, albúrnio e transição de jatobá (*Himenaea* sp.) visando ao agrupamento para fins de secagem convencional. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 279-284, dez. 2008.

LEÓN, H. W. J. Anatomía de la madera de 9 especies del género *Cordia* L. (Boraginaceae-Cordioideae) que crecen en Venezuela. **Revista Florestal Venezoelana**, Caracas, v. 47, n. 2, p. 83-94, 2003.

LEWIS, G. P. et al. **Legumes of the world**. London: Royal Botanic Gardens, 2005. 577 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. ed. São Paulo: Plantarum, 1998. v. 1, 388 p.

LOUREIRO, A. A. et al. **Essências madeireiras da Amazona**. Manaus: INPA, 1979. v. 2, 187 p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. 420 p.

MARCHIORI, J. N. C. Anatomia da madeira e casca da bracatinga, *Mimosa scabrella* Benth. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 1, n. 5, p. 115-132, 1995.

\_\_\_\_\_. Estrutura do xilema secundário de *Mimosa daleoides* Benth. (Leguminosae Mimosoideae). **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 107-113, 1982.

MARCHIORI, J. N. C.; MUÑIZ, G. I. B. de. Anatomia do xilema secundário de *Mimosa pilulifera* Benth. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 65-75, jan./fev. 1997.

MARQUES, M. H. B. **Agrupamento de 41 espécies de madeiras da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas**. 2008. 125 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MELO, J. E.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, FLORESTAS E MEIO AMBIENTE: CONSERVAÇÃO E PRODUÇÃO, PATRIMÔNIO SOCIAL, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBF, 1990. p. 695-699.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**. Oxford: Clarendon, 1983. v. 2, 308 p.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa*: parte II, caracterização estrutural da lignina de madeira moída. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 471-478, maio/jun. 2005.

MOREIRA, C. C. X.; NOBRE, J. R. C. **Estudo de três espécies madeiras conhecidas como Freijó (*Cordia spp.*) na Amazônia**. 2010. 61 p. Monografia (Tecnólogo em Madeira) - Universidade do Estado do Pará, Belém, 2010.

MORI, F. A. et al. Utilização de eucaliptos e madeiras nativas na armazenagem da aguardente de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 396-400, set./dez. 2003.

MOUTINHO, V. H. P. **Caracterização das madeiras conhecidas na Amazônia brasileira como matá-matá (*Lecythidaceae* fam. A. Rich.)**. 2008. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

PAULA, J. E. de; ALVES, J. L. de H. **Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, produção e uso**. Brasília: MOA, 1997. 543 p.

PAULA, J. E. de; SILVA JÚNIOR, F. G. da; SILVA, A. P. P. Caracterização anatômica de madeiras nativas de matas ciliares do centro-oeste brasileiro. **Boletim do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 58, p. 73-89, set. 2000.

QUINTANAR, A.; CASTREJÓN, J. L. Z. Anatomia e histoquímica de la corteza de cinco espécies de Morceae. **Polibotánica**, Ciudad del México, v. 17, n. 1, p. 15-38, 2004.

ROTH, I.; COVA, M. Estructura anatômica de la corteza de algunas espécies de Moaráceas venezolanas. **Acta Biologica Venezuelana**, Caracas, v. 6, n. 3/4, p. 60-77, 1969.

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; SANSÍGOLO, C. A. Composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direções estruturais. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 14, n. 1, p. 113-126, 2006.



SEYE, O. et al. Caracterização de biomassa florestal do Estado do Amazonas para fins energéticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 48., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABQ, 2008. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2008/trabalhos/3/3-199-4062.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2010.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* sp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1990.

SKAAR, C. **Water in wood.** New York: Syracuse University, 1972. 218 p.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática:** guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. São Paulo: Instituto Plantarum, 2005. 640 p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood:** structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

WEIERS, M. S.; MELO JÚNIOR, J. C. F. de. Respostas estruturais do xilema de *Ficus organensis* MIQ (Moraceae) sob diferentes condições edáficas de duas várzeas brejosas costeiras do Brasil Meridional. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA CESUMAR, 6., 2009, Maringá. **Anais...** Maringá: EPCC, 2009. Disponível em: <<http://www.cesumar.br>>. Acesso em: 20 ago. 2010.

**ARTIGO 2**

**PAINÉIS *LAMINATED VENEER LUMBER* (LVL) PRODUZIDOS COM  
MADEIRAS DE ESPÉCIES ALTERNATIVAS DA AMAZÔNIA**

## RESUMO

A utilização de novas espécies arbóreas para produção de painéis de madeira seria de fundamental importância para conhecer seu potencial tecnológico, haja vista a grande variedade de madeiras existentes na floresta Amazônica. Assim, este trabalho foi realizado com o objetivo de determinar as propriedades físico-mecânicas e avaliar a qualidade dos painéis LVL produzidos com três espécies madeireiras da Amazônia. Os painéis foram constituídos por três composições: (i) painéis puros, (ii) com mistura das três espécies e (iii) mistura com o *Pinus* sp. no miolo. Avaliou-se também a velocidade de propagação acústica, correlacionando-o o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) com o módulo de elasticidade estático (MOE) do painel. De forma geral, os painéis produzidos com espécies da Amazônia apresentaram bons resultados em relação aos painéis puro de *Pinus* sp. O *stress wave* poderia ser utilizado para predição a partir do MOE dinâmico.

Palavras-chave: madeiras Amazônicas, LVL, painéis.

## ABSTRACT

The use of new tree species in the production of wood panels would be fundamental to know their technological potential considering a great variety of woods that exist in Amazonian forest. Therefore, this work aimed to determine physical-mechanical properties and evaluate the quality of LVL panels made from three Amazonian woody species. The panels were made with three compositions: (i) pure panels, (ii) mixture of the three species and (iii) mixture with *Pinus* sp. in the core. The acoustic propagation speed was also evaluated in order to correlate dynamic modulus of elasticity (MOEd) with static modulus of elasticity (MOE) of the panel. In general, panels made from Amazonian species presented good results in relation to pure panels of *Pinus* sp. Stress wave could be used for prediction of dynamic MOE.

Keywords: Amazonian species, LVL, panels.

## 1 INTRODUÇÃO

A infinidade de aplicações que a madeira gera, do ponto de vista tecnológico, compreende uma grande variedade de produtos e vem sendo valorizada por diversos setores da economia mundial.

Essa variedade, hoje em dia, é chamada de produtos “engenheirados à base de madeira”. Esses produtos passaram por processos industriais, sendo modificados a pequenas frações ou dimensões maiores e convertidos para posterior reconstituição mais favorável.

Segundo a Associação de Madeira Engenheirada dos Estados Unidos, esses produtos são divididos em quatro categorias:

- a) painéis estruturais, que incluem os compensados e painéis de partículas orientadas - OSB;
- b) madeira laminada colada (MLC, glulam);
- c) madeira composta estrutural: painéis de lâminas paralelas (PLP) ou *laminated veneer lumber* (LVL);
- d) vigas com perfil “I” (ENGINEERED WOOD ASSOCIATION, 2010).

O uso de estruturas de madeira já é comum nos Estados Unidos e no Canadá e está se aprimorando cada vez mais. O LVL é um desses compostos estruturais mais utilizados, porém, no Brasil, não são produzidos comercialmente. É um produto projetado para competir com a madeira serrada, principalmente de grandes dimensões (MCKEEVER, 1997).

O LVL é um produto que foi introduzido no mercado internacional como alternativo à madeira para uso estrutural e que possibilitou o desenvolvimento de vigas com formato em “I” (“I-joist”). Tem como principais

vantagens a economia no consumo de madeira e maior relação peso/resistência das peças (PEDROSA, 2003).

Alguns autores definem os LVLs como um produto à base de lâminas de madeira coladas com resina fenólica. Sua resistência supera até mesmo a da madeira sólida e são empregadas para vigas laminadas coladas (“glulam beams”), vigas, armaduras, andaimes, guias não estruturais e carpintaria em geral (RENZO, 2008).

Outros citam que são manufaturados com lâminas orientadas na mesma direção, podendo ser superior a 20 lâminas e a espessura pode variar entre 2,5 mm a 12,7 mm, e as dimensões podem ser maiores que 70 mm de espessura e com comprimento de mais de 20 m para uso estrutural (CARVALHO; LAHR; BOTOLETTO JÚNIOR, 2004).

Quando comparados com a madeira sólida, os painéis LVLs apresentam algumas vantagens, como:

- a) maior resistência - a estrutura laminada dos painéis torna-os mais resistentes e estáveis;
- b) flexibilidade dimensional - podem ser produzidos em qualquer largura e comprimento especificado, sem limitações da linha de produção;
- c) utilização de grandes variedades de espécies e tamanhos das toras (MATOS, 1997).

Uma das principais características dos painéis LVL é sua grande versatilidade de dimensões, atendendo às necessidades desejada, tanto para uso estrutural como não-estrutural.

O uso dos desses painéis em móveis não é recente. Eckelman (1993) cita que esses produtos vem sendo utilizados como elementos laminados curvos, elementos de suporte interno e componentes planos (tampos, laterais, etc.). A

vantagem de utilização do LVL na indústria de móveis deve-se, principalmente, às suas características estéticas e a razões econômicas, pois apresenta grande semelhança, em aparência e acabamento superficial, com a madeira sólida.

Tendo sido desenvolvido originalmente nos Estados Unidos principalmente para a construção civil, o LVL, hoje, tem mais de 50% de volume produzido sendo utilizado na produção de vigas tipo “I”. Atualmente, a expansão do LVL se estendeu a alguns países com tradição na construção de casas de madeira, tais como Finlândia, Nova Zelândia, Japão, Austrália e Indonésia. Os países com grande desenvolvimento desses painéis hoje são Finlândia e Austrália. Os países asiáticos produzem LVL de preferência para usos não-estruturais, diferentemente dos Estados Unidos e de países da Europa (PLY VISIONS, 2005).

Diante da demanda de madeiras de coníferas provenientes de reflorestamentos na indústria madeireira, as estimativas são de que, do volume de madeira serrada produzida no país, mas de 35% seja de madeira de pinus, tanto para usos nobres como para produto de menor valor agregado. Esta participação corresponde a 70% da produção de compensados, tratando-se de uma espécie importante para o fornecimento de matéria-prima, principalmente nas regiões sul e sudeste (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI, 2010). Apesar dessa demanda, poucas são as pesquisas por outras espécies alternativas que venham suprir a falta dessa madeira no futuro na produção de outros materiais à base de madeira com maior valor agregado.

A variabilidade de madeiras que a floresta nativa da Amazônia possui atende a um número maior de usos e, se a disponibilidade dessa potencialidade for explorada, seria de grande utilidade, principalmente para o conhecimento tecnológico das espécies.

Diante disso, a utilização das espécies *Parkia gigantocarpa*, *Cordia goeldiana* e *Brosimum parinarioides*, para o aproveitamento de sua matéria-prima como uso múltiplo, é indispensável. São madeiras pouco conhecidas e de baixo valor econômico que podem ser inseridas no mercado, agregando valor, além de serem espécies disponíveis na região Amazônica.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o desempenho físico-mecânico de painéis de lâminas paralelas – LVL -, utilizando espécies tropicais a partir da combinação com a madeira de pinus na sua composição.



## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Material**

Foram empregadas nesta pesquisa três espécies tropicais da Amazônia: *Cordia goeldiana* Huber. (freijó), *Parkia gigantocarpa* Ducke (faveira) e *Brosimum parinarioides* Ducke (amapá-doce), procedentes da área de manejo florestal da Fazenda Rio-Capim, no município de Paragominas, PA. Como parâmetro de comparação utilizou-se a madeira de *Pinus* sp., procedente do campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG.

### **2.2 Coleta das toras**

As árvores foram coletadas aleatoriamente e abatidos três indivíduos por espécie. De cada árvore foi retirada uma tora da base para laminação, com dimensões do torno laminador da Empresa Cikel Brasil Verde S.A., onde as toras foram laminadas.

### **2.3 Densidade básica da madeira**

A densidade básica da madeira foi determinada pelo método de imersão, segundo a norma analítica NBR 11942 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1997b).

### **2.4 Processo de laminação**

As espécies amazônicas foram laminadas na própria empresa. As toras foram previamente aquecidas em tanques, a 96°C, durante 24 horas, pelo

processo de cozimento a vapor, com exceção da madeira de faveira, que foi laminada sem tratamento térmico em função de sua baixa densidade. Após laminação, as lâminas foram guilhotinadas nas dimensões finais de 110 mm x 120 mm, para transporte até a Universidade Federal de Lavras (UFLA).

As toras de *Pinus* sp. foram laminadas após cozimento em tanques com água, a 70°C, durante 24 horas em laboratório.

Ambos os tornos laminadores foram ajustados para a obtenção de lâminas com espessura nominal de 2 mm. As lâminas foram guilhotinadas para as dimensões nominais de 500 x 500 mm e secas ao ar livre, até 12% de umidade de equilíbrio da madeira.

## 2.5 Manufatura dos painéis LVL

Os painéis foram manufaturados na Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeiras (UEPAM) da UFLA. As lâminas passaram, ainda, pelo processo de guilhotina para redução das suas dimensões, em função da prensa do laboratório, tendo dimensões de 500 x 500 mm.

Iniciou-se a manufatura dos painéis com as dimensões definidas para cada painel de 480 x 480 x 18 mm, sendo produzidos 36 painéis de 9 lâminas. Na Tabela 1 são apresentadas as composições dos tratamentos. As melhores lâminas foram dispostas na superfície do painel e as lâminas inferiores dispostas no interior.

Tabela 1 Composição dos painéis

Tratamento	Composição
Fr	Lâminas de freijó
Ap	Lâminas de amapá
Fa	Lâminas de faveira
Pi	Lâminas de <i>Pinus</i> sp.
M <sub>1</sub>	Mistura das espécies amazônicas
M <sub>2</sub>	Mistura intercalando com o <i>Pinus</i>

Os esquemas de posicionamento das lâminas utilizado para as misturas estão apresentados na Figura 1.

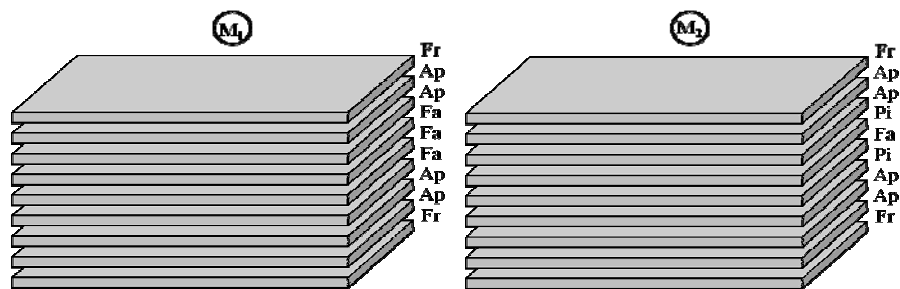


Figura 1 Esquema de posicionamento das lâminas nos painéis dos tratamentos  $M_1$  e  $M_2$

Foi utilizado o adesivo resorcinol-formaldeído, na gramatura de 160 g/m<sup>2</sup>, em linha simples. A aplicação do adesivo foi manual, com auxílio de uma espátula para espalhamento.

Os painéis foram prensados em temperatura ambiente, com pressão de 12 kgf/cm<sup>2</sup>, durante 7 horas. Após a confecção dos painéis, os mesmos foram climatizados à umidade de 65±3% e temperatura de 20±1°C.

## 2.6 Confeção e ensaios destrutivos dos corpos-de-prova

Os corpos de prova foram confeccionados segundo as recomendações da norma ABNT 31:000.05-001 (ABNT, 2004), sendo para a flexão estática e compressão paralela às fibras adaptados.

Os ensaios físicos e mecânicos foram os seguintes:

- a) teor de umidade;
- b) absorção de água;
- c) densidade aparente: utilizaram-se os corpos de prova do ensaio de flexão estática;

- d) flexão estática;
- e) compressão paralela as fibras;
- f) resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento.

Os ensaios físicos e mecânicos seguiram os procedimentos da norma ABNT 31:000.05-001 (ABNT, 2004). Os ensaios físicos foram realizados no Laboratório de Adesão e Adesivo da Unidade Experimental de Produção de Painéis (UEPAM), no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os testes mecânicos de flexão estática e compressão foram realizados na máquina de ensaio universal EMIC DL-30000, no Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira e o ensaio de cisalhamento na máquina pneumática específica para testes de avaliação de linha de cola na UEPAM.

## **2.7 Obtenção do MOEd dos painéis com *stress wave timer***

Anteriormente ao ensaio destrutivo de flexão estática, realizaram-se as medições de propagação de onda com o uso do *stress wave timer* da marca Metriguard, nos mesmos corpos de prova. Foram realizadas medições paralelas e perpendiculares às fibras da capa do painel, com dez medições em cada uma das direções.

O módulo de elasticidade dinâmico foi calculado em função da velocidade de propagação da onda, da massa específica da lâmina e da aceleração da gravidade, segundo a equação 1:

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

em que

MOEd = módulo de elasticidade dinâmico (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\delta$  = massa específica da lâmina ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = aceleração da gravidade ( $9,804 \text{ m/s}^2$ )

$V$  = velocidade da onda longitudinal ( $\text{cm/s}$ )

A velocidade é obtida pela Equação:

$$V = d/t \quad (2)$$

em que

$V$  = velocidade ( $\text{cm/s}$ )

$d$  = distância entre os transdutores ( $\text{cm}$ )

$t$  = tempo de propagação ( $\text{s}$ )

O objetivo é verificar a velocidade de propagação acústica e correlacionar o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) com o módulo de elasticidade estático (MOE), por um modelo estatístico linear.

## **2.8 Delineamento experimental e análise estatística**

Foi considerado um delineamento inteiramente casualizado, com 6 tratamentos e 6 repetições, num total de 36 painéis.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Densidade básica da madeira

Na Tabela 2 são apresentados os resultados de média e coeficiente de variação da densidade básica.

Tabela 2 Valores médios e coeficiente de variação da densidade básica das espécies analisadas

Espécie	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)
Amapá	0,417	5,72
Faveira	0,281	9,86
Freijó	0,504	3,06
<i>Pinus</i> sp.	0,460	10,81

As espécies apresentaram valores variando de 0,28 a 0,50 g/cm<sup>3</sup> e a faveira teve uma densidade mais baixa, sendo considerada uma madeira leve. Para esta espécie, foram encontrados valores de 0,281 g/cm<sup>3</sup>, condizente com os encontrados por Marques (2008) em estudo de agrupamento de 41 espécies amazônicas para secagem e confirmada no banco de dados do Laboratório de Produtos Florestais do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (2010).

Para Walker (1993), espécies adequadas para a laminação e, por consequência, para a geração de partículas, devem apresentar massa específica básica entre 0,38 e 0,70 g/cm<sup>3</sup>, com preferência para aquelas com 0,50 g/cm<sup>3</sup>. Dessa forma, as madeiras de amapá, freijó e *Pinus* sp. apresentaram valores de densidade básica dentro da faixa sugerida pelo autor, o que não ocorreu para faveira. No entanto, essa faixa sugerida pelo autor pode ser um parâmetro mais apropriado para inferir sobre a facilidade em laminar uma determinada espécie do que servir como indicativo da qualidade das lâminas geradas, não se

traduzindo como uma restrição pré-determinada às madeiras que apresentam densidade fora da faixa (BORTOLETTO JÚNIOR, 2003).

Moreira (1999) determinou a densidade básica de 23 espécies tropicais, encontrando valores de 0,38 a 0,79 g/cm<sup>3</sup>, sendo consideradas de média densidade de 0,38 a 0,58 g/cm<sup>3</sup>. Esses resultados são similares aos encontrados para madeira de freijó e de amapá.

### 3.2 Propriedades físicas dos painéis LVL

A umidade dos corpos de prova das espécies estudadas variou de 10,56% a 12,64%. Na Tabela 3 são apresentados os resultados de densidade aparente e absorção de água total dos painéis.

Tabela 3 Valores médios das propriedades físicas dos painéis LVL

Tratamento	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Absorção de água total (%)
(T1) Fr	0,669 a	36,2 d
(T2) Ap	0,684 a	54,2 c
(T3) Fa	0,465 d	69,4 b
(T4) Pi	0,663 a	85,6 a
(T5) M <sub>1</sub>	0,631 b	56,8 c
(T6) M <sub>2</sub>	0,586 c	72,5 b
F calculado	78,252*	45,099*
<b>CV (%)</b>	3,58	10,03

e\*: valores de F significativos, a 5% de significância

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade

Fr - freijó; Ap- amapá; Fa- faveira; Pi- *Pinus*; M<sub>1</sub>- mistura (T1+T2+T3); M<sub>2</sub>-mistura intercalando com o *Pinus*

As médias de densidade aparente variaram de 0,465 a 0,684 g/cm<sup>3</sup>, tendo os painéis de freijó, amapá e *Pinus* apresentado valores estatisticamente iguais e superiores em relação aos demais tratamentos. Os painéis compostos por madeira de faveira obtiveram menores valores, devido à baixa densidade básica dessa espécie.

Valores próximos foram obtidos por Almeida, Bortoletto Júnior e Jankowaky (2004), que encontraram média inferior, de 0,63 g/cm<sup>3</sup>, para painéis LVL produzidos com clones do híbrido de *Eucalyptus urophylla* e Benites (2006) encontrou médias de densidade aparente de 0,68 g/cm<sup>3</sup>, produzindo painéis LVL com lâminas de *Eucalyptus*.

Para a absorção de água, os resultados obtidos variaram de 36,2% a 85,6%, sendo observado o menor valor para os painéis de freijó e amapá. Os resultados obtidos foram superiores aos valores apresentados por Bortoletto Júnior (2003), Guimãres Júnior (2008) e Iwakiri (1998), que encontraram valores de 23% a 36% para espécies de eucaliptos.

De acordo com Tsoumis (1991), quanto maior a massa específica menor é o teor de água que a madeira poderá conter na saturação. Dessa forma, observa-se que os tratamentos com maior densidade tendem a apresentar valores baixos de absorção de água, com exceção dos painéis de *Pinus* sp., que apresentaram maiores valores para esta propriedade.

Na análise anatômica da madeira de freijó e amapá, foi observada a ocorrência de tilos nesse material, o que, certamente, influenciou para que os painéis LVL produzidos com essas espécies apresentassem menor absorção de água, mesmo com densidade aparente estatisticamente igual à dos painéis de *Pinus* sp. A madeira de *Pinus* sp., apesar de ter proporcionado a produção de painéis LVL com densidade aparente similar em relação às madeiras de freijó e amapá, resultou na maior absorção de água, dentre todos os painéis produzidos nesse estudo. De forma geral, esses resultados sugerem que outras propriedades, além da densidade aparente, podem influenciar significativamente a qualidade dos painéis.

Os painéis LVL de madeira de faveira, apesar da menor densidade aparente, não apresentaram a maior absorção de água total, a qual foi estatisticamente igual à absorção dos painéis produzidos com as quatro espécies



de estudo. Considerando os painéis produzidos com *Pinus* sp. e a sua mistura com as espécies amazônicas, houve maior absorção de água total, pois a inclusão da madeira de *Pinus* sp. causou aumento dessa propriedade.

Conforme expectativa prévia, para os painéis produzidos com as três espécies amazônicas, absorção de água intermediária foi encontrada e o posicionamento de madeira de freijó na capa provavelmente influenciou positivamente esse resultado. O valor foi estatisticamente igual ao apresentado pelos painéis de amapá, apesar da densidade aparente inferior.

### 3.3 Propriedades mecânicas dos painéis LVL

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios obtidos nos ensaios destrutivos de compressão e flexão estática e não destrutivo do módulo de elasticidade dinâmico das amostras dos painéis.

Tabela 4 Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis LVL

Tratamento	Compressão (MPa)	Flexão estática		MOEd (MPa)
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	
(T1) Fr	56,96 a	96,11 a	5.473,85 a	5.056,66 a
(T2) Ap	55,90 a	81,09 b	5.145,30 a	5.342,58 a
(T3) Fa	33,70 c	65,80 b	3.206,61 c	3.598,55 b
(T4) Pi	48,17 b	74,49 b	5.338,95 a	4.995,50 a
(T5) M <sub>1</sub>	46,20 b	94,12 a	5.382,35 a	4.663,10 a
(T6) M <sub>2</sub>	43,63 b	80,77 b	4.739,88 b	4.288,86 b
F calculado	25,213*	3,314*	23,607*	6,608*
CV (%)	8,2	18,9	8,8	12,9

e\*: valor de F significativo, a 5% de significância

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade

Os resultados de tensão máxima em compressão variaram de 33,70 a 56,96 MPa, tendo os painéis dos tratamentos 1 e 2 se destacado em relação aos demais. Os valores de 56,96 e 55,90 MPa foram similares à menor média

encontrada por Renzo (2008), estudando porcentagem de resorcinólica e procedências da espécie de eucalipto em diferentes porcentagens, de 53,6 MPa.

Os valores encontrados neste estudo foram confrontados com os referenciais teóricos da norma NBR 7190 (ABNT, 1997a) para madeira sólida devido à dificuldade de se encontrar trabalhos semelhantes na literatura. A norma apresenta valores para esta propriedade de 38,48 MPa. Dessa maneira, os valores referenciados na Tabela 4 são superiores ao reportado pela norma citada, o que atesta o bom desempenho mecânico dos painéis, com exceção daqueles produzidos com madeira de faveira. Guzmán e Hernández (2007) encontraram valores de 32,45 MPa para *Pinus radiata*, os quais foram inferiores aos desta pesquisa.

Para o MOR, os valores variaram de 65,80 a 96,11 MPa e, para o MOE, variaram de 3.206,61 a 5.473,85 MPa, tendo sido observados os maiores valores médios para os painéis de freijó e mistura das três espécies, para ambas as propriedades.

Pedrosa (2004) encontrou valores para MOE de 13,10 MPa e 89,72 MPa produzidos com lâminas de *Eucalyptus dunnii*, os quais foram superiores para o MOE e dentro da faixa encontrada para o MOR desta pesquisa.

Os maiores valores de MOE e MOR dos tratamentos T1 e T5 podem ter sido influenciados pela maior densidade da espécie da madeira de freijó, a qual compõe totalmente os painéis do tratamento T1 e as faces dos painéis do tratamento T5. Assim, pode-se dizer que há uma interação entre a densidade da madeira e suas propriedades elásticas e de resistência em flexão estática. Conforme mencionado por Iwakiri et al. (2008), as camadas externas do painel são as partes submetidas a maiores tensões de tração e compressão em flexão estática.

Contudo, os painéis do tratamento T6 também são compostos por freijó na capa e não apresentaram valores iguais aos de T1 e T5. A inclusão de lâminas

de *Pinus* sp. no miolo do painel pode ter influenciado este resultado. Madeiras de reflorestamento, normalmente, são utilizadas quando ainda possuem madeira juvenil, a qual pode afetar o módulo de elasticidade, a tração paralela e perpendicular às fibras e a resistência à compressão paralela e normal de painéis laminados (KRETSCHMANN, 2008). Os resultados similares encontrados para a compressão e MOR dos painéis puros de *Pinus* sp. podem confirmar essa possibilidade. No entanto, o MOE dos painéis puros foi superior.

A variabilidade da maior parte das propriedades mecânicas e elásticas da madeira, segundo Panshin e Zeeuw (1980), pode ser estimada com base na variação da densidade. Os autores mencionam, ainda, que as relações entre densidade e propriedades mecânicas podem ser mascarada pela presença de extrativos que se adicionam à massa lenhosa, aumentando, principalmente, a resistência à compressão axial da madeira. Ainda existem poucos estudos que relacionam características anatômicas com as propriedades de resistência mecânica.

Os painéis LVL dos demais tratamentos apresentaram MOR estatisticamente igual, enquanto para MOE foram observados menores resultados para painéis de faveira e para mistura de espécies com inclusão de *Pinus*.

Na Figura 1 é mostrada graficamente a correlação do MOE estático e dinâmico, podendo ser observada a dispersão dos valores encontrados em cada um dos tratamentos.

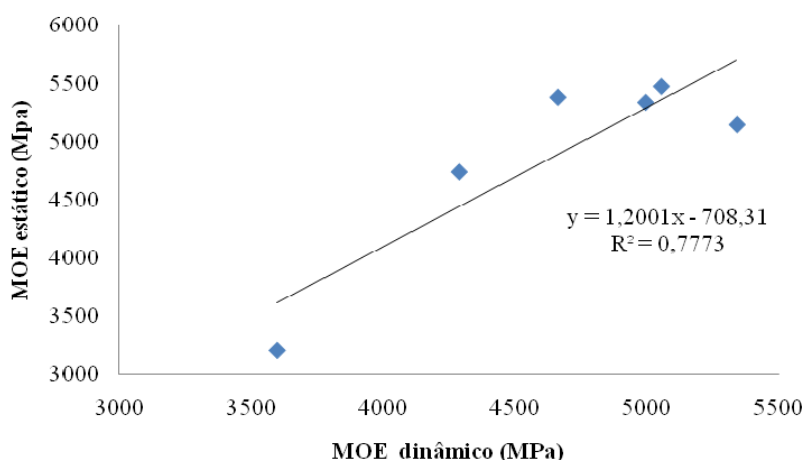


Figura 1 Gráfico de correlação entre o MOE estático e o MOE dinâmico

A correlação entre o módulo de elasticidade estático e o módulo de elasticidade dinâmico obtidos seguiu uma tendência linear, da qual foi gerado um modelo de regressão linear que apresentou significância satisfatória. Para esta relação, foi obtido o coeficiente de determinação  $R^2 = 0,77$ , sendo a análise de regressão significativa, a 5% de significância. Portanto, verifica-se que a variação do MOE dinâmico explica em 77,0% a variação do MOE estático e, possivelmente, os outros 33,0% são explicados por variáveis como matéria-prima e condições de manufatura dos painéis, entre outras.

Analisando seis espécies florestais amazônicas, Del-Menezzi et al. (2008) estimaram o  $E_M$  para *Balfourodendron riedelianum*, *Cedrela fissilis*, *Cordia goeldiana*, *Bowdichia virgilioides*, *Dipteryx odorata* e *Tabebuia* sp. pelo método de ondas de tensão e por flexão estática. Os autores relatam que os modelos obtidos apresentaram alta significância, com valores de coeficiente de determinação igual a 0,90 para espécies como um todo, ou seja, superior ao deste trabalho. Avaliando painéis LVLs produzidos com *Pinus Kesiya* para flanges de vigas em “I”, Santos (2008) observou que a relação existente entre o  $E_{md}$  e o  $E_m$  (estático) apresentou um coeficiente de determinação da regressão de

51,97% ( $R^2 = 0,5197$ ), significativo a 5%, sendo, portanto, inferior ao valor de 77,0%. Gabriel (2007) verificou as relações existentes entre  $E_{md}$  e  $E_m$  em painéis de *Pinus caribaea* (var. *caribaea*, *bahamensis* e *hondurensis*) e *Pinus oocarpa* com 25 lâminas pré-classificadas com resina fenol-formaldeído, observando altos coeficientes de determinação. Foram observados coeficientes de determinação da regressão de 69,6% na predição do  $E_m$  em função do  $E_{md}$ .

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios de cisalhamento das amostras dos painéis.

Tabela 5 Valores médios de cisalhamento seco, úmido e pós-fervido

Tratamento	Cisalhamento (MPa)		
	Seco	Úmido	Pós-fervura
(T1) Fr	5,15 a	3,75 a	3,47 a
(T2) Ap	5,17 a	3,45 a	3,54 a
(T3) Fa	4,04 a	3,16 a	3,24 a
(T4) Pi	4,71 a	2,67 a	3,04 a
(T5) M <sub>1</sub>	4,54 a	3,34 a	3,35 a
(T6) M <sub>2</sub>	4,70 a	3,57 a	3,23 a
F calculado	1,226 <sup>ns</sup>	1,456 <sup>ns</sup>	0,384 <sup>ns</sup>
CV (%)	19,72	22,95	21,78

e<sup>ns</sup>: valor de F não significativo, a 5% de significância

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade

Os resultados apresentados na Tabela 5 revelam que não houve efeito significativo da composição dos painéis sobre o cisalhamento nas condições seco, úmido e pós-fervura. A inclusão da madeira de *Pinus* na composição dos painéis do tratamento 6 não influenciou negativamente essa propriedade, como ocorreu para outras propriedades físicas e mecânicas.

Iwakiri et al. (2008) avaliaram espécies de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunii* para painéis laminados unidirecionais e encontraram valores de cisalhamento variando de 2,71 a 6,83 MPa para a condição seco. Para a condição

pós-fervura, foram de 1,61 a 4,54 MPa. Os valores obtidos neste estudo são intermediários a estes. No entanto, os autores utilizaram resina fenol-formaldeído. Guzmán e Hernández (2007) encontraram valores próximos aos da pesquisa de 5,09 MPa, para ensaio seco com *Pinus radiata*.

No geral, variações significativas entre as propriedades e as características da madeira eram esperadas, fato que ocorreu com frequência neste estudo.

#### 4 CONCLUSÕES

- a) os painéis LVL produzidos com espécies amazônicas apresentaram menores valores de propriedades físicas em relação aos painéis produzidos com a espécie comercial *Pinus* sp.;
- b) para as propriedades mecânicas, os painéis contendo freijó apresentaram bons resultados;
- c) o *stress wave* pode ser utilizado para predição do MOE estático a partir do MOE dinâmico;
- d) para resistência à colagem, não houve diferença significativa entre os painéis.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de compensados a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta & Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 1, p. 14-24, ago./dez. 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Consumo de painéis**. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 15 nov. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **CB-31, projeto de normas 31.000.05.001**: chapas de madeira compensada. Rio de Janeiro, 2004. 56 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997a. 107 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 11942**: determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 1997b. 6 p.
- BENITES, L. **Características de madeira de chapas laminadas (LVL) de plantaciones de rápido crecimiento del Uruguay**. Montividéu: Laboratório Tecnológico Del Uruguay, 2006. 66 p. (Nota Técnica, 3).
- BORTOLETTO JÚNIOR, 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.
- 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, Nov. 2004.
- DEL-MENEZZI, C. H. S. et al. Evaluation of stress wave and colorimetric variables to predict flexural properties of Brazilian tropical woods. In: WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING, 10., 2008, Miyazaki. **Proceedings...** Miyazaki: EWPA, 2008. p. 1-7.
- ECKELMAN, C. A. Potential uses of laminated veneer lumber in furniture. **Forest Products Journal**, Madison, v. 43, n. 4, p. 19-24, Apr. 1993.



ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Engineered wood systems:** understanding engineered wood products. Disponível em: <[http://www.apawood.org/woodu/secure/101/unit one/1unit1sotry.cfm](http://www.apawood.org/woodu/secure/101/unit%20one/1unit1sotry.cfm)>. Acesso em: 12 out. 2010.

GABRIEL, M. S. C. **Desempenho físico-mecânico de painéis LVLs de Pinus tropicais da região de São Paulo**. 2007. 125 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. **Painéis de madeira de eucalipto:** estudo de caso de espécies e procedências. 2008. 95 p. Mestrado (Dissertação em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

GUZMÁN, F. M.; HERNÁNDEZ, C. G. Propiedades físicas y mecánicas. In: \_\_\_\_\_. **LVL vigas de chapas laminadas confeccionadas com *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens***. Concepción: INFOR, 2007. p. 12-32. (Informe Técnico, 172).

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Madeiras brasileiras**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/caracteristicas>>. Acesso em: 10 set. 2010.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF, 1998. 128 p. (Série Didática, 1/98).

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis laminados unidirecional: LVL com madeiras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 15, n. 2, p. 1-7, 2008.

KRETSCHMANN, D. E. The influence of juvenile wood content on shear parallel, compression, and tension perpendicular to grain strength and mode fracture toughness of loblolly pine at various ring orientation. **Forest Products Journal**, Madison, v. 58, n. 7/8, p. 89-96, 2008.

MARQUES, M. H. B. **Agrupamento de 41 espécies de madeiras da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas**. 2008. 125 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

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

MCKEEVER, D. B. **Engineered wood products:** a response to the changing timber resource. Madison: Forest Products Laboratory, 1997. 15 p. (Pacific Rim Wood Market Report, 123).

MOREIRA, W. S. da. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira.** 1999. 107 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** New York: McGraw-Hill, 1980. 722 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.*** 2003. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

PLY VISIONS. **Hannover:** raute. Woodinville, 2005. 20 p.

RENZO, R. **Painel estrutural de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado do óleo de mamona.** 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SANTOS, A. M. L. de. **Avaliação teórica e experimental de vigas em “I” pré-fabricadas de madeira com flange de painéis de laminas paralelas (LVL) e alma de painéis de partículas orientadas (OSB) e compensado.** 2008. 79 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood:** structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

WALKER, J. C. F. **Primary wood processing:** principles and practice. London: Chapman & Hall, 1993. 416 p.

**ARTIGO 3**

**PAINÉIS COMPENSADOS PRODUZIDOS COM MADEIRAS DE  
ESPÉCIES ALTERNATIVAS DA AMAZÔNIA**

## RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar e avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos com três espécies amazônicas e sua mistura com o *Pinus* sp. O adesivo utilizado foi o fenol-formaldeído com duas gramaturas, 280 e 320 g/cm<sup>2</sup>. Os painéis compostos somente de amapá e freijó apresentaram maiores valores para as propriedades mecânicas e boa qualidade em relação aos painéis comerciais de *Pinus* sp. As gramaturas não influenciaram nas propriedades dos painéis, sendo recomendada a menor gramatura de 280 g/m<sup>2</sup>. Portanto, os painéis produzidos com espécies amazônicas apresentam potencial para a produção de painéis compensados, pois apresentaram bons resultados de propriedades físicas e mecânicas.

Palavras-chave: madeiras amazônicas, compensado, composição de lâminas.

## ABSTRACT

The present work was developed with aim of determining and evaluating physical and mechanical properties of panels made from three Amazonian species and their mixture with *Pinus* sp. The adhesive used was phenol-formaldehyde with two amounts, 280 and 320 g/cm<sup>2</sup>. Panels made only from amapá and freijó presented higher values for mechanical properties and good quality in relation to *Pinus* sp., which is a commercial species. The amounts did not influence the properties of the panels, hence 280 g/m<sup>2</sup> is recommended. Therefore, panels made from Amazonian species had great potential for plywood production since they presented good results for physical and mechanical properties.

Keywords: Amazonian woods, plywood, veneer composition.

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar da grande diversidade madeireira da floresta amazônica, ainda são poucas as espécies conhecidas, fazendo com que estas sejam exploradas exaustivamente. Esse desconhecimento é causado pela falta de estudos que busquem o conhecimento tecnológico e potencial econômico dessas espécies e seja uma alternativa para suprir as madeiras mais exploradas.

Barbosa et al. (2001) citam que, dentre as centenas de espécies madeireiras que ocorrem na região, mas que ainda são desconhecidas ou pouco conhecidas, certamente existem várias com propriedades similares àquelas já tradicionais e de grande aceitação para o mercado.

Diante do baixo aproveitamento de espécies, o setor industrial madeireiro força a procura de outras espécies capazes de ingressar e suprir a demanda em via de escassez no mercado, resultando em produtos de qualidade tal qual aos atualmente produzidos. Este é o caso das espécies avaliadas de *Cordia goeldiana*, *Brosimum parinarióide* e *Parkia gigantocarpa* que estão sendo introduzidas no mercado, com poucos conhecimentos quanto às suas características tecnológicas e usos.

Com a demanda de madeira crescendo a cada dia, as espécies amazônicas estudadas apresentam potencial para suprir esta demanda em função das boas características da sua madeira e de sua disponibilidade na região. Essas espécies já estão sendo introduzidas no mercado e utilizadas na manufatura de painéis compensados, serrados e faqueados, como é o caso do freijó, porém, são necessários maiores estudos.

Os painéis de madeira compensada são formados por lâminas, unidas sob pressão por um agente de ligação, podendo ser feito de madeira macia (*softwood*) e madeira dura (*hardwood*) e constituído por número ímpar de camada com sentido da grã adjacente perpendicularmente à outra. Suas camadas

podem ser constituídas de uma única lâmina ou de duas ou mais lâminas, desde que suas grãs estejam paralelas. As lâminas podem variar no número, na espessura, na espécie e na classe de madeira. A alternância no sentido da grã nas camadas adjacentes confere ao painel estabilidade dimensional em sua largura (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Classificado como de uso exterior, o compensado estrutural, por se tratar de um painel multilaminado, é colado com resinas à prova d'água (normalmente fenol-formaldeído), para uso em condições cíclicas de alta e baixa umidade relativa, eventualmente em ação direta com a água. São empregados, principalmente, no setor da construção civil e para embalagens (BALDWIN, 1995).

O emprego da resina fenol-formaldeído nos painéis compensados confere alta resistência à ação da umidade e água, em função da sua composição química. A alta temperatura no momento da prensagem requer alguns cuidados especiais, como controle do teor de umidade das lâminas do miolo, que deve estar a baixo de 8% para evitar a formação de “bolhas” e delaminações no painel, em função da alta pressão interna de vapor gerada entre as linhas de colagem das lâminas (MARRA, 1992).

No processo de colagem, Vick (1999) cita que é importante observar a formulação do adesivo e a quantidade de adesivo a ser aplicado em função da espécie, da espessura da lâmina e da área superficial específica das partículas de madeira e que as varáveis do ciclo de prensagem, em relação à temperatura, pressão e tempo de prensagem, também influenciarão a qualidade de colagem.

A espécie de madeira utilizada na produção de painel compensado, segundo Iwakiri et al. (2009), responderá pelas características e propriedades tecnológicas do produto final, interferindo nas propriedades de colagem, estabilidade dimensional e resistência mecânica.

A densidade da madeira é uma propriedade física importante nos derivados de madeira, dependente da quantidade de adesivo e da pressão utilizada, pois a densidade do compensado é geralmente maior que a da madeira maciça (DIAS, 2008).

Outras propriedades importantes para uso de compensado estrutural são as obtidas no ensaio de flexão estática; a diferença dos valores de módulo de ruptura e o módulo de elasticidade entre as direções dos compensados devem-se ao fato de a madeira apresentar resistência muito superior quando solicitada à tração paralela às fibras em relação à tração perpendicular, pois é muito baixa. Se a lâmina externa for posicionada com as fibras paralela ao vão, o corpo de prova apresentará maior resistência. Quanto maior o número de lâminas internas com fibras paralelas às lâminas externas, mais uniformes serão a resistência e a rigidez do compensado, nas duas direções (DIAS, 2008).

A utilização de diferentes espécies de madeira na produção de painéis compensados multilaminados é influenciada por dois fatores principais: o primeiro se refere às características anatômicas, físicas e químicas da madeira que, por sua vez, influenciam as propriedades de colagem das lâminas; o segundo fator está relacionado com a influência da ligação adesiva e as propriedades da madeira utilizada sobre a resistência mecânica dos painéis produzidos (MARRA, 1992).

Neste contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo geral de avaliar a influência de diferentes composições de lâminas produzidas com madeiras de três espécies amazônicas, tendo como parâmetro de comparação o *Pinus* sp., na manufatura de painéis compensados estruturais por meio dos ensaios físicos mecânicos.



## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Coleta do material

As espécies amazônicas utilizadas eram provenientes da área de manejo florestal da Indústria da Fazenda Rio-Capim, com 140.658 hectares de área certificada, pertencente à Empresa Cikel Brasil Verde S.A., localizada no município de Paragominas, PA.

Foram utilizadas três espécies florestais amazônicas: *Cordia goeldiana* Huber (freijó), *Brosimum parinarioides* Ducke (amapá-doce), *Parkia gigantocarpa* Ducke e o *Pinus* sp., proveniente do campus da Universidade Federal de Lavras, MG, tendo sido utilizadas três árvores por espécie. As lâminas foram produzidas da primeira tora de cada árvore por apresentarem mais retilíneas e sem defeitos. Após o abate, as toras foram desenroladas na própria empresa, seguindo as dimensões padrões do torno laminador da empresa. Todos os procedimentos, desde o abate da árvore até a secagem das lâminas, também foram feitos na própria empresa. Em seguida, as lâminas foram embaladas e transportadas para a Universidade Federal de Lavras (UFLA).

### 2.2 Produção dos painéis

Os painéis compensados foram produzidos na Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM) da UFLA, com as dimensões finais de 480 x 480 mm, utilizando-se cinco lâminas de 2,0 mm de espessura.

O adesivo utilizado na colagem foi fenol-formaldeído, com gramaturas de 280 e 320 g/m<sup>2</sup>, aplicado manualmente com auxílio de uma espátula em linha dupla com teor de sólido de 67,0%, pH de 12,56%, viscosidade de 671Cp e Gel Time de 471 (s).

Os painéis foram prensados à temperatura de 150°C e pressão específica de 15 kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de 8 minutos.

Foram produzidos painéis de mesma espécie, com a mistura entre as espécies tropicais que foram compostas conforme o gradiente de densidade das espécies e com o *Pinus* sp. intercalando entre as espécies, conforme delineamento descrito na Tabela 1.

Tabela 1 Tratamentos com diferentes composições

Tratamento	Composição das lâminas
T1	Freijó (fr)
T2	Amapá (ap)
T3	Faveira (fv)
T4	Mistura (fr+ap+fv+ap+fr)
T5	Fr+P+Fr+P+Fr
T6	P+Fr+P+Fr+P
T7	Ap+P+Ap+P+Ap
T8	P+Ap+P+Ap+P
T9	Fv+P+Fv+P+Fv
T0	P+Fv+P+Fv+P
T11	Pinus (P)

### 2.3 Ensaio dos corpos de prova

Após o ciclo de prensagem, os painéis foram aclimatados e, posteriormente, esquadrejados para a retirada dos corpos de prova, de acordo com a norma da ABNT 31:000.05-001/2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003). Em seguida, os corpos de prova foram acondicionados à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65%. Depois de estabilizados, realizaram-se os ensaios físico-mecânicos, de acordo com as recomendações da norma ABNT 31:000.05-001/3.

Os ensaios físicos e mecânicos foram os seguintes:

- a) absorção de água após 2 e 24 horas de imersão;
- b) massa específica aparente;

- c) flexão estática paralela e perpendicular – MOE e MOR;
- d) resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento.

#### **2.4 Análise estatística**

Foi considerado um delineamento inteiramente casualizado disposto em esquema fatorial 11 x 2, com 6 repetições, num total de 22 tratamentos, em que as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Propriedades físicas dos painéis

A umidade dos painéis foi conferida e verificadas sua homogeneidade e adequabilidade, que variou entre 8% a 11%. Na Tabela 2 são apresentados os valores de F calculados para as propriedades densidade aparente e absorção de água total dos painéis estudados.

Tabela 2 Resultados das análises de variância das propriedades físicas

Fator de variação	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Absorção de água (%)
Composição	63,153*	36,334*
Gramatura	6,370*	0,331 <sup>ns</sup>
Composição X gramatura	1,243 <sup>ns</sup>	5,844*
CV (%)	4,92	9,84

e\*: valor de F significativo, a 5% de significância; <sup>ns</sup>: valor não significativo pelo teste de F, a 5% de significância

Pela análise de variância, observou-se que houve efeito dos fatores composição e da gramatura dos painéis sobre a densidade aparente. No entanto, não houve interação entre os fatores para essa propriedade. Já para absorção de água, observa-se interação significativa entre os fatores.

Na Tabela 3 apresentam-se os valores médios de densidade aparente para as composições e o desdobramento das composições dentro das gramaturas, para a propriedade de absorção de água.

Tabela 3 Desdobramento de composições dentro de cada gramatura para absorção de água total

Composição	Densidade aparente(g/cm <sup>3</sup> )	Absorção de água (%)	
		280g	320g
1 (fr)	0,657 a	41 f	45 d
2 (ap)	0,680 a	64 d	67 c
3 (fv)	0,442 d	89 a	91 a
4 (mt)	0,621b	56 e	60 c
5 (fr+p)	0,631 b	69 d	65 c
6 (p+fr)	0,624 b	74 c	74 b
7 (ap+p)	0,664 a	72 c	70 b
8 (p+ap)	0,671a	73 c	64 c
9 (fv+p)	0,567 c	78 b	71 b
10 (p+fv)	0,552 c	90 a	70 b
11 (p)	0,640 b	75 c	91 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade

Os resultados obtidos pelo teste de comparação de média para a densidade aparente dos painéis apresentaram valores diferentes, revelando a não homogeneidade dessa propriedade. Esse resultado já era esperado devido à heterogeneidade das espécies.

Os painéis compostos de freijó, amapá, amapá com *Pinus* e *Pinus* com amapá apresentaram maiores valores dessa propriedade, de 0,680, 0,664 e 0,671 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Já os painéis puros de faveira apresentaram a menor densidade aparente, devido à baixa densidade básica dessa espécie. Valores intermediários foram encontrados para os demais compensados. Kollmann, Kuenzi e Stamm (1975) relatam que a massa específica do compensado depende da espécie de madeira, da umidade das lâminas, da temperatura e da pressão de prensagem utilizadas na manufatura.

Observa-se que os painéis produzidos somente com faveira, faveira com *Pinus* e *Pinus* com faveira (T3, T9 e T10), tanto para a gramatura de 280 g/m<sup>2</sup>, como para 320 g/m<sup>2</sup>, obtiveram valores significativamente maiores de absorção de água devido à baixa densidade básica da espécie de faveira (0,28 g/cm<sup>3</sup>). A

maior absorção ocorre devido ao maior volume de espaços vazios que a espécie apresenta em sua estrutura, possibilitando a entrada de água livre. Painéis constituídos por madeiras de maior densidade normalmente apresentam percentual de absorção de água menor. Tsoumis (1991) afirma que quanto maior a massa específica menor é o teor de umidade que a madeira poderá conter na saturação.

Os painéis compostos somente de freijó apresentaram a menor absorção de água para as gramaturas de 280 e 320 g/m<sup>2</sup>, de 41% e 45%, respectivamente. A ocorrência de tilos nessa espécie foi, provavelmente, uma das causas desse resultado. No entanto, a madeira de amapá também apresenta a ocorrência de tilos e, mesmo assim, sua absorção de água foi alta. Isso demonstra que, além da densidade, outros fatores influenciaram na alta absorção de água desses painéis, como algum tipo de extrativo ou a presença de resina branca que ocorre nesta espécie.

De forma geral, a inclusão da madeira de *Pinus* na composição dos painéis resultou em aumentos de absorção de água. Visto que essa espécie é proveniente de reflorestamento, a presença de madeira juvenil e sua composição química podem ter influenciado na qualidade dos painéis.

Os resultados obtidos variaram de 41% a 90%, para gramatura de 280 g/m<sup>2</sup> e de 45% a 91%, para gramatura de 320 g/m<sup>2</sup>. Esses resultados foram superiores aos encontrados em literatura para outras espécies. Guimarães Júnior (2008) encontrou absorção de água para *Eucalyptus cloeziana* variando entre 23,17% e 24,99%, 26,68% a 41,73%, para *Eucalyptus grandis* e de 24,09% a 30,33%, para *Eucalyptus saligna*. Bortoletto Júnior (2003), estudando 11 espécies de eucaliptos, encontrou valores variando entre 17,51% a 36,79%. Porém, Almeida (2009) encontrou valor de 63,46% para madeira de *Schizolobium amazonicum*, o qual está dentro da faixa apresentado neste estudo.

## 3.2 Propriedades mecânicas

### 3.2.1 Flexão estática

A análise de variância mostrou que, tanto para o módulo de elasticidade paralelo e perpendicular quanto para o módulo de ruptura paralelo, a interação entre os fatores composição e gramatura foi significativa, indicando dependência entre eles. Observa-se, ainda, que a interação dos fatores não foi significativa para a variável resposta módulo de ruptura perpendicular, sendo, portanto, avaliados separadamente.

Para as propriedades de flexão estática, na Tabela 4 são apresentados os valores médios de F calculado do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura obtidos nos ensaios de flexão estática paralela e perpendicular.

Tabela 4 Resultados das análises de variância das propriedades de flexão estática

Fator de variação	MOEpar	MORpar	MOEper	MORper
	(MPa)			
Composição	19,294*	19,701*	19,726*	19,681*
Gramatura	3,832*	8,970*	5,488*	11,132*
Composição X Gramatura	3,058*	13,172*	2,980*	1,805 <sup>ns</sup>
CV (%)	15,89	14,81	14,34	13,87

Na Tabela 5 é apresentado o desdobramento das composições dentro das gramaturas para as propriedades de módulo de elasticidade paralelo e perpendicular e módulo de ruptura paralelo.

Tabela 5 Desdobramento de composições dentro das gramaturas para MOE e MOR paralelo e MOE perpendicular

Composição	MOEpar (MPa)		MORpar (MPa)		MOEper (MPa)	
	280g	320g	280g	320g	280g	320g
1 (fr)	15199,83a	13653,66b	95,66a	77,16a	4405,50a	4353,83a
2 (ap)	13559,83a	12791,33b	84,50b	68,66a	4877,66a	4114,83a
3 (fv)	8609,66c	7797,00c	53,16c	47,00b	2786,50b	2140,83c
4 (mt)	14326,83a	15352,33a	84,33b	69,83a	4592,16a	4589,33a
5 (fr+p)	9906,00c	13162,33b	44,66d	85,00a	4346,66a	4704,50a
6 (p+fr)	8250,67c	10137,66c	37,50d	57,66b	4789,16a	4204,83a
7 (AP+p)	8667,16c	12346,66b	43,33d	78,33a	4789,66a	3321,16b
8 (p+ ap)	13803,00a	11896,66b	81,66b	76,83a	4525,66a	4537,33a
9 (fv+p)	9063,66c	9371,50c	60,00c	56,16b	5027,16a	4704,50a
10 (p+fv)	8706,00c	9555,16c	54,83c	62,33b	2812,00b	2948,16b
11 (p)	11706,83b	12512,66b	57,66c	74,33a	4129,33a	4787,16a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade

Na Tabela 6 estão apresentados os valores de MOR perpendicular para as diferentes composições e gramaturas.

Tabela 6 Valores médios de MOR perpendicular

Fatores de variação		MORperp (MPa)
Composição		
1 (fr)		46,06 a
2 (ap)		46,99 a
3(fv)		24,28 c
4 (mt)		44,20 a
5 (fr+p)		43,37 a
6 (p+fr)		41,91 a
7 (ap+p)		40,19 a
8 (p+ap)		46,87 a
9 (fv+p)		45,88 a
10 (p+fv)		30,37 b
11 (p)		44,06 a
Gramatura (g/cm <sup>2</sup> )		
280		42,95 a
320		39,63 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade



Para a gramatura 280 g/m<sup>2</sup>, os valores de MOE paralelo variaram de 8.250,67 a 15.199,83 MPa e o MOR paralelo variou de 37,50 a 95,66 MPa. Para ambas as gramaturas, os tratamentos 1, 2, 4 e 8 apresentaram valores de MOE e MOR maiores em relação ao tratamento controle de *Pinus* sp. Os tratamentos correspondentes à mistura das espécies e madeira de freijó se destacaram. Contudo, os tratamentos 3, 9 e 10, compostos de faveira e *Pinus*, apresentaram menor densidade, bem como menor resistência mecânica. Isso pode ser explicado pela forte relação entre a densidade do painel e suas propriedades mecânicas.

Iwakiri et al. (2007) encontraram valores de MOE para *Eucalyptus grandis* variando de 10.844 a 12.605 MPa e, para *Eucalyptus dunnii*, de 12.449 a 13.127 MPa. Para o MOR, os mesmos autores obtiveram valores variando de 74,72 a 82,08 MPa, para *Eucalyptus grandis* e variando de 72,47 a 76,00 MPa. Os resultados obtidos no estudo estão dentro da faixa encontrada pelos autores.

A norma NBR 31.000.05-001/2 (ABNT, 2003) descreve valores mínimos para MOE no sentido paralelo para compensados tipo forma de concreto com cinco lâminas na sua composição de 5.001,31 MPa. Portanto, os valores obtidos no estudo para as duas gramaturas estão acima do valor mínimo estabelecidos pela norma. Para o MOR, a mesma norma exige valor mínimo de 45,01 MPa. Todos os tratamentos para a gramatura 320 g/m<sup>2</sup> foram superiores ao valor mínimo descrito pela norma. Para a gramatura de 280 g/m<sup>2</sup>, somente os tratamentos 5, 6 e 7 não atingiram o valor mínimo exigido pela norma.

Para o MOE perpendicular na gramatura de 280 g/m<sup>2</sup>, os menores valores foram obtidos para os tratamentos 3 e 10, sendo o T3 de valor inferior aos demais tratamentos, indicando menor resistência desses painéis. Para a gramatura de 320 g/m<sup>2</sup>, além dos painéis compostos por faveira e *Pinus*, os painéis confeccionados com amapá na capa e *Pinus* no miolo também apresentaram valor de MOE perpendicular inferior aos demais tratamentos.

Iwakiri, Nielsen e Alberti (2000) encontraram 7.745 MPa para painéis com *Pinus elliottii* na capa e *Eucalyptus saligna* no miolo, o qual foi superior ao da pesquisa, e de 3.455 MPa com *Eucalyptus saligna* na capa e *Pinus elliottii* no miolo, sendo este valor similar ao desta pesquisa.

Entretanto, os resultados obtidos estão acima dos valores referenciados pela norma que estabelece o mínimo de 2.499 MPa, exceto o T3 com gramatura 320 g/m<sup>2</sup>, que apresentou valor próximo (2140 MPa).

As variações de valores de propriedades mecânicas observadas para os painéis de diferentes composições podem ter ocorrido devido a influências fisiológicas, bem como de fatores do ambiente (solo, calor, precipitação e ventos), pois elas afetam a estrutura da madeira e, por conseguinte, sua densidade. Isso também pode ser atribuído às diferenças na estrutura anatômica (diferentes espessuras da parede celular, das dimensões das células e das inter-relações entre esses dois fatores) e à presença de extrativos (PANSHIN; ZEEUW, 1980).

Portanto, de forma geral, nos resultados obtidos no ensaio de flexão estática confrontando com os requisitos da norma, verifica-se que todos os painéis avaliados apresentam boas características de resistência e rigidez, podendo ser indicados para a produção de painéis compensados.

Os painéis produzidos com os tratamentos 3 e 10 apresentaram valores estatisticamente diferentes e inferiores aos demais para o MOR perpendicular. Contudo, os demais tratamentos apresentaram valores superiores ao mínimo estabelecido na norma NBR 31:000.05-001/2 (ABNT, 2003) de 306 kgf/cm<sup>2</sup> ou 30,0 MPa. Os menores valores possivelmente ocorreram devido à menor massa específica aparente dos painéis, a qual exerce influência sobre a resistência à flexão estática das chapas.

Para as propriedades MOE paralelo, MOR paralelo e MOE perpendicular, a gramatura de 280 g/m<sup>2</sup> resultou em aumento dos valores das

propriedades quando comparada com a gramatura de 320 g/m<sup>2</sup> para a maioria das composições. A gramatura de 280 g/m<sup>2</sup> resultou em MOR paralelo estatisticamente superior ao MOR dos painéis produzidos com gramatura de 320 g/m<sup>2</sup>.

### 3.2.2 Resistência ao cisalhamento

Para as propriedades de resistência ao esforço de cisalhamento na linha de cola, somente a condição fervido não apresentou significância na interação composição e gramatura, indicando independência entre os fatores para as demais propriedades. Somente o fator gramatura não foi afetado pelas três condições de ensaio seco, úmido e fervido, como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 Resultados das análises de variância das propriedades de resistência ao cisalhamento

Fator de variação	Cis seco	Cis úmido	Cis fervido
Composição	4,766*	10,519*	5,413*
Gramatura	0,029 <sup>ns</sup>	1,870 <sup>ns</sup>	0,635 <sup>ns</sup>
Composição X gramatura	2,229*	2,794*	1,333 <sup>ns</sup>
CV (%)	18,8	20,0	21,8

Os resultados obtidos para o ensaio de resistência a tração na linha de cola em condições seco e úmido são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 Desdobramento de composições dentro das gramaturas para cisalhamento seco e úmido

Composição	Cis seco (MPa)		Cis úmido (MPa)	
	280 (g/cm <sup>2</sup> )	320 (g/cm <sup>2</sup> )	280 (g/cm <sup>2</sup> )	320 (g/cm <sup>2</sup> )
1 (fr)	3,05 a	3,03 b	2,83 a	2,50 a
2 (ap)	3,41 a	2,88 b	3,17 a	2,50 a
3 (fv)	2,33 b	2,07 d	2,00 b	2,00 b
4 (mt)	2,83 a	2,83 b	2,83 a	2,83 a
5 (fr+p)	2,81 a	2,62 c	2,17 b	2,17 b
6 (p+fr)	2,34 b	2,23 d	1,83 b	1,33 c
7 (ap+p)	2,80 a	3,58 a	2,33 b	2,83 a
8 (p+ap)	2,97 a	2,87 b	2,63 b	2,00 b
9 (fv+p)	2,42 b	2,54 c	2,00 b	2,00 b
10 (p+fv)	2,35 b	2,73 c	1,67 b	2,00 b
11 (p)	2,85 a	2,51 c	2,17 b	1,67 c

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade

Verifica-se que, no teste seco, as composições dos painéis, tanto na gramatura de 280 g/m<sup>2</sup> como na gramatura de 320 g/m<sup>2</sup>, apresentaram significância entre os tratamentos, para as três condições de ensaios.

De forma geral, os painéis compostos por freijó, amapá, mistura das três espécies e amapá com pinus apresentaram melhores resultados. Iwakiri (2005) cita que o desempenho da linha de cola é uma consequência da composição do adesivo, conciliado pela madeira, em ambas as faces da linha de cola.

Os painéis compostos por faveira apresentaram menores valores de resistência ao cisalhamento na linha de cola na condição seca. A densidade da madeira influencia a sua porosidade e permeabilidade, o que influencia a mobilidade do adesivo no lenho e, conseqüentemente, a formação da linha de cola e o processo de ancoragem entre as lâminas adjacentes (NOCK; RICHTER, 1978). Dessa forma, a baixa densidade da madeira de faveira pode ter resultado em absorção excessiva do adesivo, ocasionando formação de linha de cola faminta.

No entanto, painéis compostos por *Pinus* no miolo também tiveram valores baixos de resistência ao cisalhamento na linha de cola. Na literatura são citados outros fatores que podem influenciar a resistência da linha de cola em painéis laminados. O pH e os extrativos presentes na madeira, por exemplo, variam de acordo com as espécies e podem influenciar negativamente na cura das resinas (IWAKIRI et al., 2001).

Para o teste úmido, os painéis do tratamento T1, T2 e T4 produzidos com gramatura 280 g/m<sup>2</sup> apresentaram valor médio de resistência ao cisalhamento superior em relação aos demais painéis. Esse resultado indica que esses painéis estão mais aptos a serem utilizados em condições ambientais de alta umidade. Para a gramatura 320 g/m<sup>2</sup>, o T6 obteve menor valor médio, porém, estatisticamente igual à testemunha (T11).

Avaliando clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e utilizando gramatura de 320 e 360 g/m<sup>2</sup>, Almeida (2002) obteve valores na condição seca variando entre 1,64 a 2,03 MPa e, no teste úmido, de 1,18 a 1,55 MPa. Observa-se que os valores encontrados neste estudo foram superiores tanto para o ensaio seco quanto para o úmido.

Trabalhando com diferentes espécies de eucalipto e gramatura de 360 g/m<sup>2</sup>, Bortoletto Júnior (2003) encontrou valores entre 2,2 a 2,7 MPa para ensaio seco, os quais são inferiores ao deste trabalho e de 2,0 a 2,9 MPa para úmido, em que se observa, na grande maioria, valores maiores desta pesquisa.

Lima, Pio e Silveira (2007) encontraram valores variando de 2,73 a 2,97 MPa para condição seca, avaliando espécies de *Copaifera duckei* com gramatura de 270 g/m<sup>2</sup> e, para a espécie *Eperua oleifera*, de 2,80 a 2,87 MPa. A autora também obteve valores para as mesmas espécies utilizando gramatura de 330 g/m<sup>2</sup>, variando de 2,96 a 3,88 MPa e 3,10 a 3,12 MPa, respectivamente, com resina fenol-formaldeído. Nota-se que esses valores estão dentro da faixa dos obtidos por este estudo.

De modo geral, os dados obtidos na Tabela 8 apresentaram valores de tensão acima de 1,0 MPa, valor mínimo exigido pela norma europeia EN 314-2 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - EN, 1993), que não exige que o teste de falha na madeira seja realizado quando o valor mínimo é alcançado.

Portanto, confrontando-se os resultados com as exigências da norma, verifica-se que os painéis atendem aos critérios estabelecidos, podendo apresentar potencial para uso interior e exterior.

Na Tabela 9 são mostrados os resultados obtidos para o teste de esforço de cisalhamento na condição fervido dos painéis.

Tabela 9 Valores médios de cisalhamento na condição fervido

Fatores de variação	Cis_fervido (MPa)
Composição	
1 (fr)	2,33 a
2 (ap)	2,58 a
3(fv)	1,92 b
4 (mt)	2,33 a
5 (fr+p)	2,00 b
6 (p+fr)	1,67 b
7 (ap+p)	2,00 b
8 (p+ap)	1,83 b
9 (fv+p)	1,83 b
10 (p+fv)	1,75 b
11 (p)	1,75 b
Gramatura (g/cm <sup>2</sup> )	
280	2,03 a
320	1,97 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade

No teste de cisalhamento fervido, os tratamentos 1, 2 e 4 obtiveram maiores valores médios em relação aos demais tratamentos. Entretanto, todos os valores estão acima do mínimo permitido pela norma EN 314-2 (EN, 1993), mesmo após submetidos a condições de alta umidade e temperatura.

De forma geral, o aumento da gramatura de 280 para 320 g/m<sup>2</sup> não ocasionou aumento das propriedades de flexão estática e colagem. Dessa forma, a gramatura de 280 g/m<sup>2</sup> é recomendada visando melhoria das propriedades mecânicas e diminuição da quantidade de cola no painel, componente do painel compensado de maior custo relativo.

#### 4 CONCLUSÕES

- a) de forma geral, os painéis compensados puros de faveira e os painéis com *Pinus* sp. na capa e faveira no miolo apresentaram maiores valores de propriedades físicas e menores valores de propriedades mecânicas;
- b) dentre as composições de painéis compensados avaliadas, os painéis puros de freijó apresentaram melhor qualidade;
- c) os painéis de amapá, amapá com *Pinus* e produzido com a mistura de três espécies apresentaram altos valores para as propriedades mecânicas;
- d) a utilização da gramatura de 280 g/m<sup>2</sup> resultou em melhores propriedades de painéis compensados em comparação com a gramatura de 320 g/m<sup>2</sup>.



## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. R. **Potencial da madeira de clones do híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados.** 2002. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de pinus e paricá.** 2009. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto 31:000.05-001.** Rio de Janeiro, 2003. 56 p.

BALDWIN, R. F. **Plywood and veneer-based products: manufacturing practices.** San Francisco: M. Freeman, 1995. 38 p.

BARBOSA, A. P. et al. Considerações sobre o perfil tecnológico do setor madeireiro na Amazônia Central. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 12, n. 421, p. 42-61, set. 2001.

BORTOLETTO JÚNIOR, 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.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada.** São Carlos: SET-EESC-USP, 2008. 161 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European standard EM-314-2 plywood: bonding quality: part 2, requirements.** Bruxelas, 1993. 4 p.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood as an engineering material: wood-based composites and panel.** Madison, 1999. 463 p.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. **Painéis de madeira de eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências.** 2008. 95 p. Mestrado (Dissertação em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: UFPR, 2005. 254 p.

IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de pinus tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, mar./abr. 2001.

\_\_\_\_\_. Produção de painéis compensados de pinus tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 669-673, jul./set. 2009.

\_\_\_\_\_. Produção de painel compensado estrutural de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 363-367, set./dez. 2007.

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

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology II: wood based materials**. New York: Spring; Berlin: Verlag, 1975. 703 p.

LIMA, N. N.; PIO, N.; SILVEIRA, N. da. Avaliação da gramatura de cola na propriedade de flexão estática em painéis compensados de *Copaifera duckei* Dwyer e *Eperua oleifera* Ducke. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 3, p. 347-352, 2007.

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

NOCK, H. P.; RICHTER, N. G. **Apostila de adesão e adesivo**. Curitiba: UFPR, 1978. 93 p.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1980. 722 p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

VICK, C. B. **Adhesive bonding of wood materials: wood as an engineering material**. Madison: U. S. Department of Agriculture, 1999. 463 p.

**ARTIGO 4**

**PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM MADEIRA DE  
ESPÉCIES ALTERNATIVAS DA AMAZÔNIA**

## RESUMO

A utilização de espécies alternativas na produção de painéis particulados é uma forma de ampliar a oferta de matéria-prima em relação às madeiras de reflorestamento como *Pinus* e *Eucalyptus*, podendo, ainda, agregar valor com mistura de diferentes espécies. Dessa forma, este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a qualidade dos painéis aglomerados produzidos com três espécies amazônicas e sua mistura com o *Pinus* sp. nas proporções de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, com densidade nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup>. Para as propriedades físicas, a inclusão das madeiras amazônicas à madeira de *Pinus* sp. não apresentaram bons resultados. Já para as propriedades mecânicas os resultados indicam que as espécies são viáveis para a produção de painéis aglomerados, exceto a ligação interna.

Palavras-chave: madeiras amazônicas, aglomerado, proporções de misturas

## ABSTRACT

The use of alternative species in the production of particleboards is a way to increase raw material offer in relation to reforestation woods such as *Pinus* and *Eucalyptus*. It may also increase value by mixture of different species. Therefore, this study aimed to evaluate the quality of particleboards made from three Amazonian species and their mixture with *Pinus* sp. at the proportions of 0, 25, 50, 75 and 100%, with target density of 0,70 g/cm<sup>3</sup>. For physical properties, the inclusion of Amazonian species to *Pinus* sp. wood did not present good results. However, for mechanical properties, the results indicate that the species are viable for particleboard production, except internal bond.

Keywords: Amazonian species, particleboard, mixture proportions.

## 1 INTRODUÇÃO

Com a atual demanda por madeiras de *Pinus*, o setor florestal industrial busca introduzir novas espécies que possam suprir a escassez dessa espécie.

Em princípio, pode ser empregada qualquer espécie de madeira para a manufatura de painéis reconstituídos. O uso de painéis de madeira aglomerada vem aumentando significativamente no mundo e, assim, as madeiras tropicais da Amazônia representam uma opção para a produção de particulados, desde que essas espécies sejam exploradas adequadamente, pois são mais utilizadas como serrados.

Maloney (1996) define painéis aglomerados como produtos de partículas de materiais lignocelulósicos, normalmente madeira, combinados com adesivo sintético ou outro aglomerante adequado para realizar as ligações interpartículas, sendo os componentes unidos por calor e pressão em uma prensa com aquecimento.

Normalmente, os painéis aglomerados são produzidos com densidade entre 0,60 a 0,70 g/cm<sup>3</sup>, a qual apresenta significativa relação com as propriedades dos painéis (IWAKIRI, 2005).

Uma das variáveis mais importantes no processo de produção de aglomerados é a espécie. A relação entre a densidade da madeira e a densidade do painel é denominada de razão de compactação e indica o grau de densificação das partículas de madeira na estrutura do painel, a qual afetará as propriedades e qualidades deste (MALONEY, 1993).

Kelly (1977) cita que maior massa específica proporciona aos painéis maior resistência mecânica; em contrapartida, painéis mais densificados demonstram, geralmente, menor estabilidade dimensional, o que pode estar relacionado às liberações das tensões de compressão.

A massa específica do painel não depende apenas da quantidade de partículas no colchão. No processo produtivo, inúmeras variáveis interagem influenciando as propriedades do produto final. As principais variáveis de influência e controle são massa específica da madeira, densidade do painel, geometria das partículas, teor de umidade, tipo e teor do adesivo, método de formação do colchão e parâmetros de prensagem (MALONEY, 1993).

Segundo Vignote e Jiménez (1996), a variação entre a massa específica da camada interna e externa pode ser superior a 100%, razão que pode influenciar significativamente as propriedades dos painéis, principalmente a resistência a flexão e a tração perpendicular à superfície do painel.

Em proporções variáveis, as madeiras de maior densidade podem ser misturadas com as de menor densidade, conforme a magnitude da diferença em densidade entre as espécies (MALONEY, 1993).

El-Osta (1994 citado por IWAKIRI et al., 2000), avaliando a influência de diferentes proporções de mistura de madeira das espécies *Causuarina glauca* e *Salix safsaf*, constatou que, com a proporção de 1:1, as propriedades de flexão estática, ligação interna, inchamento em espessura e absorção de água melhoraram em comparação aos painéis produzidos com espécies individualmente.

Avaliando a mistura entre as espécies de *Pinus elliottii* Engelm e *Mimosa scrabella* Benth, Iwakiri et al. (1995) concluíram que a mistura em proporção de 50% cada resulta em melhores propriedades físico-mecânicas.

Iwakiri et al. (2010), avaliando o potencial das madeiras de *Schizolobium amazonicum* e *Cecropia hololeuca* para aglomerados em diferentes porcentagens 25%, 50%, 75% e 100%, concluíram que os resultados de ligação interna, módulo de elasticidade e módulo de ruptura dos painéis obtiveram valores superiores em relação ao painel testemunha produzido com madeira de *Pinus*.

Neste contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo geral de avaliar a viabilidade de utilização das espécies *Cordia goeldiana*, *Brosimum parinarioides* e *Parkia gigantocarpa* na produção de painel aglomerado e sua mistura com a madeira de *Pinus* sp.



## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Material**

As três espécies, *Cordia goeldiana* (freijó), *Brosimum parinarioides* (amapá-doce) e *Parkia gigantocarpa* (faveira), utilizadas neste estudo eram oriundas da Fazenda Rio-Capim da Empresa Cikel Brasil Verde S.A., de área florestal nativa certificada, localizada no município de Paragominas, estado do Pará. O *Pinus* sp. foi coletado na área do campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), como base referencial para a comparação de resultados.

### **2.2 Determinação da densidade básica**

A densidade básica das três espécies de madeira foi determinada pelo método de imersão, segundo a norma analítica NBR 11942 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003).

### **2.3 Manufatura dos painéis**

As partículas utilizadas na confecção dos painéis foram obtidas do processo de laminação das toras (lâminas) para a confecção de painéis compensados de outro estudo. As lâminas foram trituradas em moinho martelo e transformadas em partículas do tipo “sliver”. Em seguida, foram classificadas em peneiras para a retirada de finos e, posteriormente, secas à umidade de 3%, com base na massa seca.

Na Tabela 1 apresenta-se o delineamento experimental dos tratamentos realizados.

Tabela 1 Plano experimental

Tratamento	Espécie	Proporção de mistura (%)
T1	Freijó	100
T2	Freijó + pinus	75 + 25
T3	Freijó + pinus	50 + 50
T4	Freijó + pinus	25 + 75
T5	Amapá	100
T6	Amapá + pinus	75 + 25
T7	Amapá + pinus	50 + 50
T8	Amapá + pinus	25 + 75
T9	Faveira	100
T10	Faveira + pinus	75 + 25
T11	Faveira + pinus	50 + 50
T12	Faveira + pinus	25 + 75
T13	Pinus	100

A resina e a parafina foram aspergidas sobre as partículas em quantidade de 8% de resina e 1% de emulsão de parafina com base no peso seco das partículas. A resina utilizada foi a ureia-formaldeído com teor de sólidos de 62,25%, viscosidade de 432,74 cP e pH de 8,06.

O colchão de partículas foi formado em uma caixa formadora vazada, com dimensões laterais de 48,5 x 48,5 cm. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e dimensões finais de 485 x 485 x 15 mm. O ciclo de prensagem dos painéis foi com temperatura de 160°C, pressão específica de 40 kgf/cm<sup>2</sup> e tempo de 8 minutos. Foram produzidos 6 painéis por tratamento, num total de 78 painéis.

O processo de produção dos painéis aglomerados está ilustrado na Figura 1.



Figura 1 Processo produtivo dos painéis aglomerados em laboratório

Foram retirados corpos de prova de cada painel para avaliação das propriedades físicas de absorção de água (AA), inchamento em espessura (IE) e densidade do painel e propriedades mecânicas de flexão estática – MOE e MOR, e ligação interna (LI) e compressão paralela (CP). A razão de compactação foi obtida da relação entre a densidade do painel sobre a densidade da madeira. Todos os ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos descritos na norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006).

## **2.4 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância, a 5% de significância. As médias de densidade aparente e razão de compactação foram comparadas entre si, pelo teste Scott Knott, quando necessário. Os dados das propriedades físicas e mecânicas que apresentaram análises de variância significativas foram avaliados por análises de regressão. Os modelos foram selecionados entre os apresentados na Tabela 2 de acordo com sua significância, com a significância de seus coeficientes, com os valores de  $R^2$  e com a simplicidade de interpretação do modelo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Densidade básica da madeira

Os valores médios de densidade básica obtida para cada espécie foram: 0,50 g/cm<sup>3</sup> para freijó, 0,42 g/cm<sup>3</sup> para amapá, 0,28 g/cm<sup>3</sup> para faveira e 0,46 g/cm<sup>3</sup> para o *Pinus* sp.

#### 3.2. Painéis de madeira de Freijó e *Pinus* sp.

##### 3.2.1. Propriedades físicas

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios das propriedades físicas e os resultados das análises de variância para os painéis aglomerados compostos por freijó e *Pinus* sp.

Tabela 3 Valores médios de propriedades físicas dos painéis aglomerados com inclusão de freijó

Freijó (%)	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	RC	AA_2h (%)	AA_24h (%)	IE_2h (%)	IE_24h (%)
0	0,665	1,4 b	49,5	60,6	21,2	27,2
25	0,686	1,5 b	41,6	55,4	16,4	25,2
50	0,705	1,5 b	35,3	57,5	15,9	28,9
75	0,695	1,4 b	33,7	56,5	11,7	25,2
100	0,632	1,3 a	36,5	54,0	10,9	20,4
F calculado	3,150 <sup>ns</sup>	5,232*	7,780*	1,614 <sup>ns</sup>	33,087*	8,765*
CV (%)	4,85	5,84	11,68	6,86	9,47	8,45

e\*: valor de F calculado significativo; e<sup>ns</sup>: valor de F calculado não significativo

RC = razão de compactação; AA= absorção de água; IE= inchamento em espessura

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade

Os painéis de diferentes composições não apresentaram diferenças estatísticas significativas para densidade aparente real. No entanto, os painéis de todos os tratamentos, com exceção do que apresenta porcentagem de 50% de freijó, apresentaram valores médios abaixo da densidade nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup>. Este resultado pode ter ocorrido devido às condições laboratoriais, como perda de partículas durante o processo de formação do colchão.

Os painéis compostos por 100% de freijó apresentaram razão de compactação estatisticamente inferior, devido à maior densidade dessa madeira. A faixa ideal de razão de compactação proposta por Maloney (1993) é de 1,3 a 1,6, portanto, os painéis de todos os tratamentos apresentaram valores adequados para essa propriedade, indicando que houve densificação suficiente durante a produção dos painéis.

Houve diferença estatística significativa entre as absorções após 2 horas de imersão em água dos painéis de diferentes composições, sendo o maior valor apresentado pelos painéis produzidos com 100% de madeira de *Pinus* sp. No entanto, após 24 horas, a inclusão de maiores porcentagens de madeira de freijó na composição dos painéis aglomerados não ocasionou efeito significativo sobre essa propriedade.

Melo e Del-Menezzi (2010) encontraram valores variando entre 13,56% e 14,57%, e 36,57 e 44,63% para absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, respectivamente, estudando *Eucalyptus grandis*. Portanto, os resultados da pesquisa foram semelhantes aos valores para 2 horas e superiores para 24 horas de imersão. Guler, Copur e Tascioglu (2007) produziram painéis de *Pinus nigra* e obtiveram valores de absorção de água, após 2 e 24 horas, de 53,60% e 61,77%, respectivamente, os quais foram similares aos valores médios obtidos neste trabalho.

As propriedades inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão apresentaram diferença estatística significativa entre tratamentos. Os menores

valores, para ambas as propriedades, foram observados para os painéis compostos por 100% de feijó.

Valores obtidos por Iwakiri et al. (2000) para inchamento em espessura variaram de 12,38% a 30,60% e de 23,51% a 38,81%, para 2 e 24 horas, respectivamente, em painéis aglomerados produzidos com espécies de eucalipto, sendo próximos aos valores encontrados nesta pesquisa.

A norma EN 312 (EUROPEAN STANDARDS - EN, 1997) estabelece valores máximos de inchamento, após 2 horas, de 6% e, para 24 horas de imersão, de 15% para painéis com adesivos ureicos. Portanto, os tratamentos avaliados apresentaram alguns valores inferiores aos citados na literatura e superiores à norma para 2 e 24 horas de imersão. Contudo, a norma de comercialização ANSI 208.1 (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI, 1993) aceita até 35% para 24 horas, o qual para esta absorção as porcentagens avaliadas foram atendidas.

Os parâmetros das análises de regressão selecionadas para as propriedades físicas dos painéis que sofreram influência da composição estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para as propriedades físicas dos painéis aglomerados com inclusão de feijó

Coefficientes	AA 2h	IE 2h (%)	IE 24h (%)
$\beta_0$	49,806500**	20,302000 **	28,134000**
$\beta_1$	-0,432400**	-0,101360**	-0,054360**
$\beta_2$	0,002968**	-	-
F calculado	49,806*	123,492*	20,302*
R <sup>2</sup> (%)	99,35	93,31	45,72

e\*: valor de F calculado significativo; e\*\*: coeficiente significativo, pelo teste de t; e<sup>nst</sup>: coeficiente não significativo, pelo teste de t

Todas as análises de regressão selecionadas foram significativas, bem como seus coeficientes. Na Figura 1 observa-se a variação das propriedades físicas dos painéis aglomerados em função da variação da porcentagem de madeira de freijó

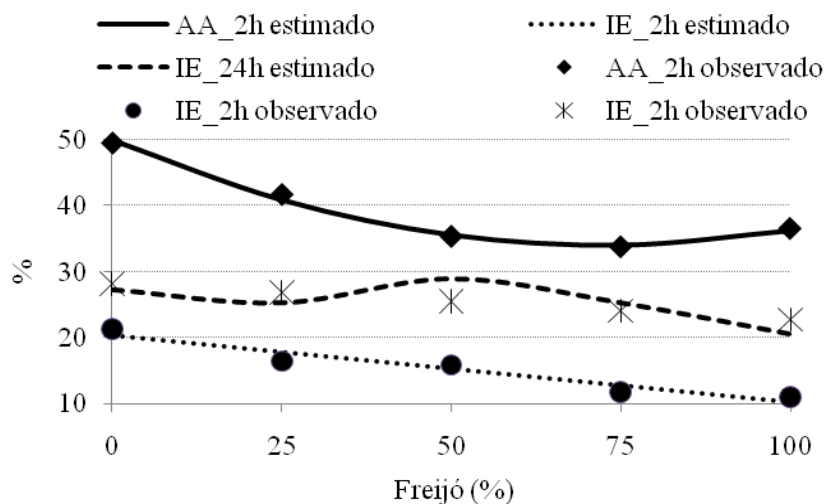


Figura 1 Variação das propriedades físicas em função da proporção de freijó no painel

De forma geral, a utilização de maiores proporções de madeira de freijó ocasionou diminuição da absorção de água. Maiores razões de compactação dos painéis aglomerados resultam em valores maiores de absorção de água, em função da maior área de contato de madeira disponível para ligação com água contida nos painéis de maior razão de compactação. No entanto, a menor absorção após 2 horas foi observada para 75% de madeira de freijó e não para 100%, ponto de menor razão de compactação.

As propriedades inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão em água, decresceram com a inclusão de maiores proporções de freijó e foram mínimas para os painéis compostos por 100% dessa espécie. Painéis de menor



razão de compactação podem apresentar menores inchamentos em espessura, devido à liberação menos intensa das forças de compressão geradas durante o processo de prensagem (VITAL; LEHMANN; BOONE, 1974).

De forma geral, a inclusão de maiores proporções de madeira de freijó à madeira de *Pinus* sp. foi vantajosa para melhorar as propriedades físicas dos painéis.

### 3.2.2 Propriedades mecânicas

Na Tabela 5 estão apresentados os valores médios das propriedades mecânicas e os resultados das análises de variância para os painéis aglomerados compostos por *Pinus* sp. e freijó.

Tabela 5 Valores médios de propriedades mecânicas dos painéis aglomerados com inclusão de freijó

Freijó (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Compressão (MPa)	LI (MPa)
0	1003,24	5,04	3,93	0,93
25	1241,07	7,25	6,91	0,93
50	1877,94	11,90	5,66	0,89
75	1762,72	10,38	4,89	0,91
100	2311,53	13,19	6,69	0,74
Fc	8,913*	10,749*	1,450 <sup>ns</sup>	3,435*
CV (%)	21,30	21,44	36,75	9,76

e\*: valor de F calculado significativo; e<sup>ns</sup>: valor de F calculado não significativo

A compressão não sofreu influência significativa da composição dos painéis aglomerados, tendo variado entre 3,93 e 6,91 MPa.

Cabral et al. (2007), trabalhando com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp. e *Pinus elliottii*, encontraram valores variando de 5,56 a 7,80 MPa. Guimarães Júnior (2008) obteve médias de 6,11 MPa para *Eucalyptus cloeziana*; 5,18 MPa para *Eucalyptus grandis* e, para *Eucalyptus saligna*, de

5,39 MPa. Não há especificação de valor mínimo na norma para esta propriedade, porém, os resultados obtidos foram próximos dos citados pelos autores, com exceção dos painéis compostos por 100% de *Pinus* sp.

Para as propriedades de MOE e MOR, houve diferença significativa entre os painéis de diferentes composições, tendo variado de 1.003,24 a 2.311,53 MPa e de 5,04 a 13,19 MPa, respectivamente. Brito et al. (2006), trabalhando com partículas de *Pinus elliottii* e maravalhas, obtiveram valores para MOE de 803,59 a 1.501,17 MPa e, para MOR, de 6,93 a 11,35 MPa. Estudando madeiras de folhosas, Brito e Silva (2002) encontraram resultados entre 8,25 e 13,75 MPa para o MOR. Pedrazzi et al. (2006) encontraram valores de MOE entre 994,67 e 1.448,81 MPa, trabalhando com resíduos de *Eucalyptus saligna*. Os resultados obtidos por esta pesquisa estão dentro da faixa encontrada pelos autores citados, tendo os painéis compostos por 100% de freijó se destacado para a propriedade de MOE.

Os painéis aglomerados com a inclusão de 50% ou mais de freijó em sua constituição apresentaram valores de MOE superiores ao exigido pela norma EN 312- 3 (EN, 1996) de 1.600 MPa, enquanto, para o MOR, somente o freijó 100% obteve valor igual ao estabelecido pela referida norma, de 13 MPa.

Para a propriedade de ligação interna, houve diferença significativa entre os painéis de diferentes composições, tendo variado de 0,74 a 0,93 MPa. Iwakiri et al. (2004), trabalhando com *Grevillea robusta*, obtiveram resultados variando de 0,22 a 0,70 MPa, os quais são inferiores aos valores encontrados neste trabalho. No entanto, Tostes et al. (2004) encontraram valores superiores, de 0,91 a 1,14 MPa, estudando *Eucalyptus pellita*.

Os resultados obtidos para todos os painéis estão acima do valor mínimo exigido pela norma EN 312- 3 (EN, 1996), que é de 0,35 MPa.

Os parâmetros das análises de regressão selecionadas para as propriedades mecânicas dos painéis que sofreram influência da composição estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para as propriedades mecânicas dos painéis aglomerados com inclusão de freijó

Coefficientes	MOE	MOR	LI
$\beta_0$	1011,654000**	5,666000**	0,963000**
$\beta_1$	12,55292**	0,077740**	-0,001640**
F calculado	32,296*	36,009*	9,901*
R <sup>2</sup> (%)	90,58	83,75	66,16

e\*: valor de F calculado significativo; e\*\*: coeficiente significativo pelo teste de t;

Todas as regressões selecionadas e seus parâmetros foram significativos. As representações gráficas dos modelos de variação do módulo de elasticidade e módulo de ruptura dos painéis aglomerados em função da variação da porcentagem de madeira de freijó estão apresentadas nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

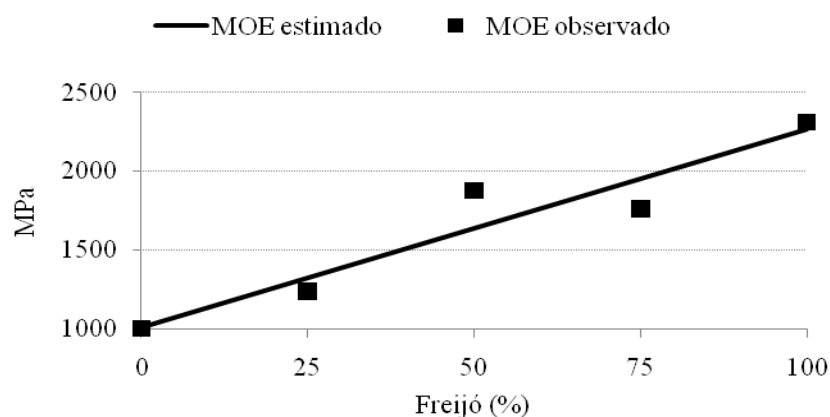


Figura 2 Variação do MOE em função da proporção de freijó no painel

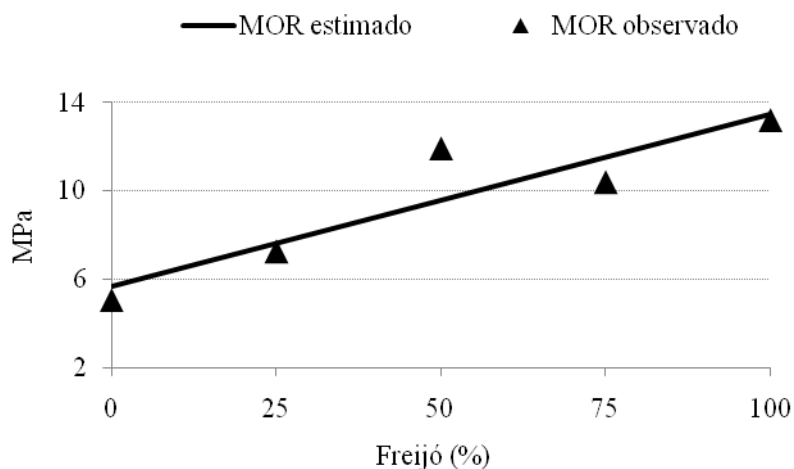


Figura 3 Variação do MOR em função da proporção de freijó no painel

A inclusão da madeira de freijó causou aumento das propriedades mecânicas módulo de ruptura e módulo de elasticidade, tendo os painéis de 100% de freijó alcançado os maiores valores para ambas as propriedades. Este resultado não era esperado, pois os mesmos apresentaram valores de compactação menores. Este fato pode ser atribuído à porosidade difusa e à parede de fibras espessas que a madeira de freijó apresenta. Chimelo (1980) observou, em seus estudos, que, em espécies com porosidade difusa, tanto no lenho inicial como no tardio, os raios, estando associados às fibras de paredes espessas, formam uma zona de maior resistência.

A representação gráfica do modelo de variação da ligação interna dos painéis aglomerados em função da variação da porcentagem de madeira de freijó encontra-se na Figura 4.

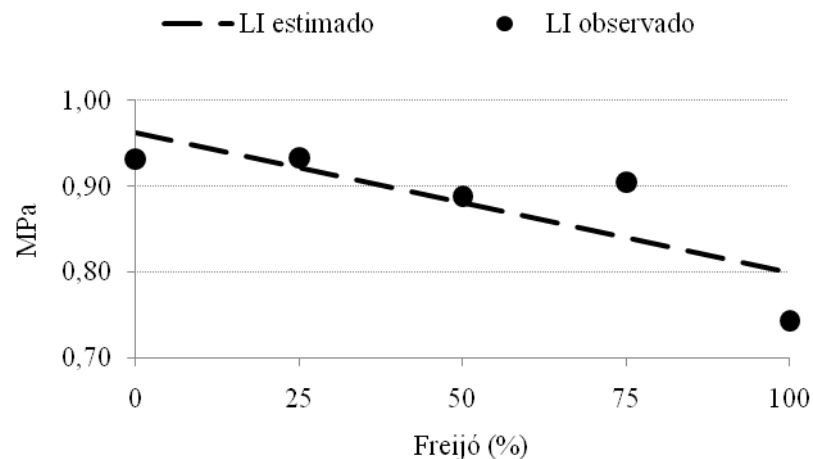


Figura 4 Variação da ligação interna em função da proporção de freijó no painel

Aumentos em ligação interna poderiam ser esperados com o aumento da proporção de freijó no painel, devido à maior disponibilidade de adesivo por partícula para os painéis de menor razão de compactação compostos por 100% de freijó. No entanto, em alguns casos, painéis de maior razão de compactação podem apresentar maiores valores de ligação interna devido à maior eficiência do uso do adesivo causada pelo contato mais íntimo entre partículas (VITAL; LEHMANN; BOONE, 1974), como pode ter ocorrido para a testemunha e para os painéis contendo 25% de freijó.

### 3.3. Painéis de madeira de amapá e *Pinus* sp.

#### 3.3.1. Propriedades físicas

Na Tabela 7 apresentam-se os valores médios das propriedades físicas e os resultados das análises de variância para os painéis aglomerados compostos por *Pinus* sp. e amapá.

Tabela 7 Propriedades físicas dos painéis aglomerados com inclusão de amapá

Amapá (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	RC	AA_2h (%)	AA_24h (%)	IE_2h (%)	IE_24h (%)
0	0,665	1,4 a	49,46	60,56	21,23	27,24
25	0,660	1,5 a	48,05	63,90	14,90	24,45
50	0,748	1,7 b	44,21	62,01	13,60	23,86
75	0,706	1,7 b	44,21	62,01	13,60	23,86
100	0,682	1,6 b	48,39	64,91	13,29	20,58
Fc	2,635 <sup>ns</sup>	5,797*	16,333*	30,898*	11,099*	4,739*
CV (%)	5,16	5,50	9,33	5,83	12,23	10,18

e\*: valor de F calculado significativo; e<sup>ns</sup>: valor de F calculado não significativo  
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade

Os valores de densidade aparente dos painéis foram estatisticamente iguais. Somente os painéis produzidos com 75% obtiveram a densidade média próxima à nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup>. O maior valor de 50% de amapá pode ser atribuído à possível distribuição ineficiente de prensagem que resultou em regiões com maior quantidade de madeira.

Os tratamentos compostos por 0% e 25% de amapá apresentaram razão de compactação estatisticamente igual e inferior às médias dos demais tratamentos. Entretanto, os resultados estão dentro da faixa de razão de compactação ideal de 1,3 a 1,6, citada por Maloney (1993), com exceção dos tratamentos de 50% e 75% de amapá.

Houve diferença estatística significativa entre os valores de absorção de água após 2 e 24 horas, os quais variaram de 44,21% a 64,91%, respectivamente. Buyuksari et al. (2010), trabalhando com *Pinus pinea*, encontraram 70,36%, após 24 horas de imersão em água, sendo superior ao valor máximo observado neste trabalho.

Para o inchamento em espessura, houve diferença estatística e os valores variaram de 13,29% a 21,23%, para 2 horas de imersão, enquanto, para 24 horas

de imersão, variaram de 20,58% a 27,24%. Iwakiri et al. (2000), trabalhando com resíduos de serraria de eucalipto, encontraram valores variando de 12,38% a 30,60% e de 23,51% a 38,81%, para 2 e 24 horas, respectivamente. Os resultados obtidos neste estudo estão na faixa encontrada pelos autores. No entanto, os valores são superiores ao máximo exigido pela norma EN 312 (EN, 1997), de 6% e de 15% para inchamento após 2 e 24 horas, respectivamente. Porém, a norma de comercialização ANSI 208.1 aceita até 35%, o que significa que, para este tempo, as porcentagens foram atendidas.

As propriedades absorção de água após 2 e 24 horas e inchamento em espessura após 2 e 24 horas sofreram influência da inclusão de madeira de amapá na composição do painel. Os parâmetros das análises de regressão selecionadas para as propriedades físicas dos painéis que sofreram influência da composição estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para as propriedades físicas dos painéis aglomerados com inclusão de amapá

Coefficientes	AA 2h	AA 24h	IE 2h	IE 24h
$\beta_0$	51,461286**	63,178071**	20,453071**	26,326500**
$\beta_1$	-0,530603**	-0,443216**	-0,163086**	0,055640**
$\beta_2$	0,005067**	0,004705**	0,000943**	-
F calculado	33,461*	41,434*	5,184*	13,473*
R <sup>2</sup> %	52,51	34,81	82,74	71,08

e\*: valor de F calculado significativo; e\*\*: coeficiente significativo pelo teste de t

As regressões selecionadas e seus parâmetros foram significativos. Na Figura 5 observa-se a variação das propriedades físicas dos painéis aglomerados em função da variação da porcentagem de madeira de amapá.

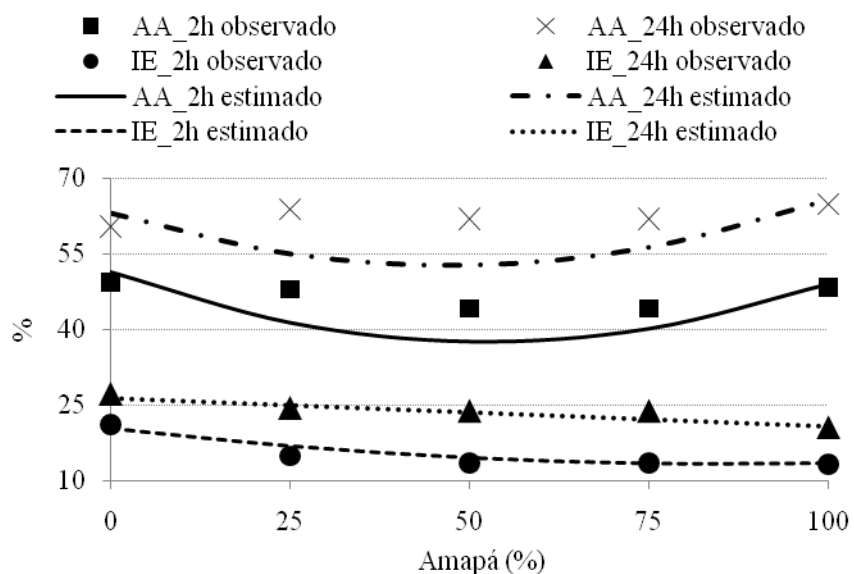


Figura 5 Variação das propriedades físicas em função da proporção de amapá no painel

As regressões para absorção de água, após 2 e 24 horas dos painéis aglomerados, indicam que essas propriedades são menores para painéis com 50% de *Pinus* sp. e 50% de amapá. É importante notar que os painéis aglomerados destes tratamentos apresentaram maiores razões de compactação (1,7). Dessa forma, esse resultado pode ser explicado pela barreira física à entrada de água para painéis com maior razão de compactação.

Para inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, foi verificado decréscimo com o aumento da proporção de madeira de amapá no painel, o que indica uma vantagem da utilização dessa espécie. Aumentos em inchamento podem ser esperados com aumento na razão de compactação devido à liberação mais intensa de forças de compressão durante o processo de prensagem. No entanto, a razão de compactação é uma medida de compactação das partículas individuais na chapa e seu aumento resulta no aumento na eficiência do uso do adesivo devido à adição e melhora das colagens adesivas, o



que pode resultar em uma diminuição dos inchamentos em espessura (GATCHEL; HEEBINK; HEFTY, 1966).

Nota-se que o melhor desempenho em estabilidade dimensional foi apresentado pela porcentagem de amapá (100%) igual às porcentagens de 50% e 75%, para imersão após 2 horas. Para imersão após 24 horas, também foi observada a mesma tendência, tendo a porcentagem de 100% de amapá atingido o menor índice de inchamento e igual às porcentagens de 50% e 75% da madeira de amapá.

### 3.3.2. Propriedades mecânicas

Na Tabela 6 estão apresentados os valores médios das propriedades mecânicas e os resultados das análises de variância para os painéis aglomerados compostos por *Pinus* sp. e amapá.

Tabela 6 Propriedades mecânicas dos painéis aglomerados com inclusão de amapá

Amapá (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Compressão (MPa)	LI (Mpa)
0	1003,24	5,04	3,93	0,93
25	1195,00	6,48	5,38	0,63
50	1786,15	10,52	5,57	0,75
75	1786,15	10,52	5,57	0,75
100	1937,21	11,85	8,84	0,83
Fc	6,958*	9,364*	9,550*	7,404*
CV (%)	20,01	21,49	19,63	11,36

e\*: valor de F calculado significativo

Todas as propriedades mecânicas sofreram influência estatística significativa da inclusão de amapá na composição do painel. As propriedades de MOE e MOR para o amapá 100% apresentaram valores médios superiores aos demais.

O bom desempenho apresentado pelo amapá puro pode ser justificado pela boa razão de compactação que a mesma apresentou durante a consolidação do painel, juntamente com as porcentagens de 50% e 75% para MOE e MOR.

De acordo com a norma EN 312 (EN, 2003), os painéis produzidos com 0% de *Pinus* sp. e 25% de amapá não atingiram o valor exigido de 1.600 MPa para MOE. Já para MOR, todas as porcentagens apresentaram resultados inferiores ao valor mínimo de 13 MPa.

Os baixos valores de MOR possivelmente ocorreram devido ao alto teor de extrativos solúveis em álcool-tuleno que a espécie apresentou. Estes se caracterizam como ceras, óleos e gorduras que se apresentam em sua estrutura com uma resina branca (leite de amapá) que pode ter interagido com o adesivo, afetando as reações de polimerização. Marra (1992) relata que esse comportamento compromete a qualidade dos painéis.

Na compressão, os painéis de amapá puro apresentaram maior valor médio, 8,84 MPa. O menor valor foi de 3,93 MPa, obtido para os painéis puros de *Pinus* sp. Os resultados obtidos estão dentro da faixa encontrada por Barros Filho (2009), variando de 3,43 a 6,84 MPa.

Para a ligação interna, a porcentagem de 0% de *Pinus* sp. apresentou maior valor, enquanto o menor valor foi para 25% de amapá. Iwakiri et al. (2000) encontraram valores variando de 0,23 a 0,71 MPa. Os resultados obtidos no estudo foram superiores aos dos autores e aos requeridos pela norma EN 312 (EN, 2003), que estabelece o mínimo de 0,35 MPa.

Os parâmetros das análises de regressão selecionadas para as propriedades mecânicas dos painéis que sofreram influência da composição estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para as propriedades mecânicas dos painéis aglomerados com inclusão de amapá

Coefficientes	MOE	MOR	Compressão	LI
$\beta_0$	989,499000**	4,984000**	3,918000**	0,925964**
$\beta_1$	9,836350**	0,070590**	0,040000**	0,018682**
$\beta_2$	-	-	-	0,000357**
$\beta_3$	-	-	-	0,000002**
F calculado	27,533*	37,226*	29,651*	6,010*
R <sup>2</sup> %	98,92	99,38	77,62	94,67

e\*: valor de F calculado significativo; e\*\*: coeficiente significativo pelo teste de t

Todas as análises de regressão e seus coeficientes foram significativos. As representações gráficas dos modelos de variação das propriedades mecânicas dos painéis aglomerados em função da variação da porcentagem de madeira de amapá estão apresentadas nas Figuras, 6, 7 e 8.

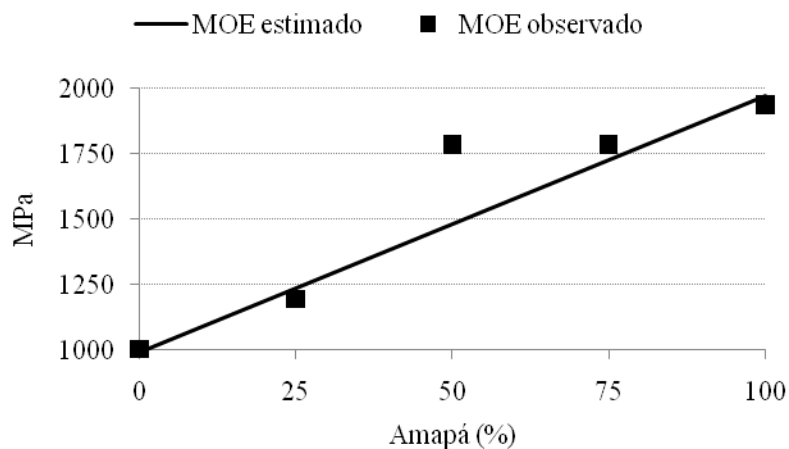


Figura 6 Variação do MOE em função da proporção de amapá no painel

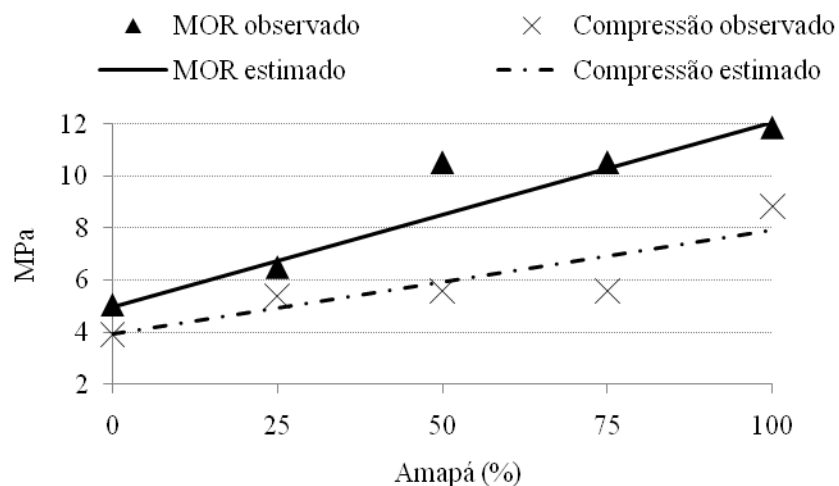


Figura 7 Variação do MOR e da compressão em função da proporção de amapá no painel

O módulo de ruptura e o módulo de elasticidade e compressão apresentaram aumento linear de seus valores com o aumento da proporção de madeira de amapá no painel, tendo os painéis de 100% de amapá alcançado os maiores valores para essas propriedades. Essa tendência foi compatível com a razão de compactação dos painéis, pois os painéis de maior razão de compactação têm maior volume de madeira no colchão, tendo as partículas apresentado mais pontos de contato entre si, fator que contribui para o aumento da resistência mecânica (KELLY, 1977; VITAL; LEHMANN; BOONE, 1974; VITAL; WILSON, 1980).

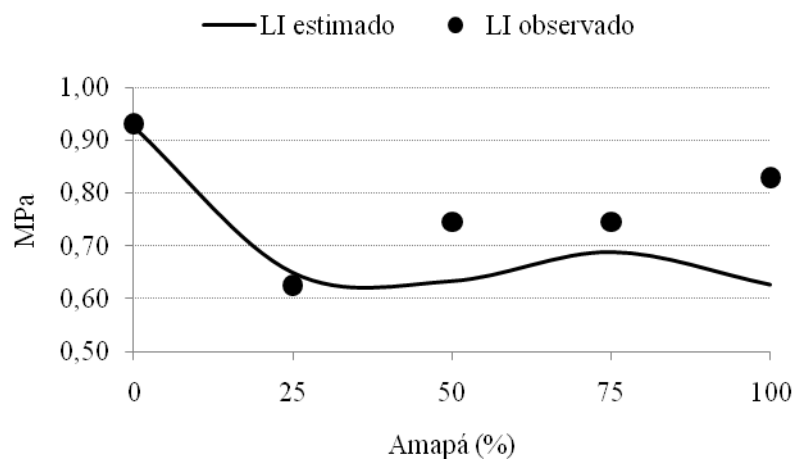


Figura 8 Variação da ligação interna em função da proporção de amapá no painel

A curva indica valores de ligação interna inferiores para painéis com menor proporção de amapá em sua composição. Este resultado é compatível com a menor razão de compactação apresentada por painéis com menor teor de amapá, havendo maior disponibilidade de adesivo por partícula do colchão. No entanto, o valor observado para o painel composto por 100% de amapá foi superior aos painéis compostos pela mistura das duas espécies. Essas diferenças, provavelmente, devem-se às diferentes características entre espécies, assim como à diferença de massa específica e ao menor grau de adesão entre as partículas com o adesivo.

### 3.4. Painéis de madeira de Faveira e *Pinus* sp.

#### 3.4.1. Propriedades físicas

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios das propriedades físicas e os resultados das análises de variância para os painéis aglomerados compostos por *Pinus* sp. e faveira.

Tabela 7 Propriedades físicas dos painéis aglomerados com inclusão de faveira

Faveira (%)	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	RC	AA_2h (%)	AA_24h (%)	IE_2h (%)	IE_24h (%)
0	0,665	1,4 a	49,46	60,56	21,23	27,24
25	0,653	1,6 a	47,68	56,54	15,35	21,46
50	0,643	1,7 b	47,19	64,47	10,93	22,53
75	0,655	2,0 c	37,60	58,70	14,26	22,37
100	0,631	2,3 d	27,15	51,27	7,82	13,91
F calculado	0,617 <sup>ns</sup>	64,500*	13,893*	1,865 <sup>ns</sup>	10,310*	23,439*
CV (%)	4,96	4,54	12,08	12,29	22,59	9,24

e\*: valor de F calculado significativo; e<sup>ns</sup>: valor de F calculado não significativo  
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade

Os resultados obtidos para a densidade aparente dos painéis não apresentaram diferença estatística significativa. A densidade real não alcançou o valor pré-determinado de 0,70 g/cm<sup>3</sup>, o que pode ser explicado pelas mesmas razões anteriormente descritas para a madeira de freijó e amapá.

Para a razão de compactação, observa-se que houve efeito significativo para as porcentagens nos painéis. Apenas os painéis compostos por 0% e 25% de faveira apresentaram razão de compactação dentro da faixa proposta por Maloney (1993), de 1,3 a 1,6. Os painéis das demais porcentagens apresentaram razão de compactação superior. Iwakiri et al. (2010) encontraram valores variando entre 1,609 a 2,533, para painéis aglomerados produzidos com

madeiras de *Pinus* sp. e misturas de madeiras de paricá e embaúba com densidades de 0,42, 0,32 e 0,27 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

Os resultados mostram que houve diferença significativa entre os tratamentos para a absorção de água após 2 horas, enquanto, para 24 horas de imersão, não houve diferença estatística, indicando que as porcentagens de faveira não influenciaram essa propriedade. Os valores médios variaram de 27,15% a 49,46%, para imersão após 2 horas, em que a porcentagem de 100% de *Pinus* sp. absorveu mais água e a menor absorção foi pela faveira a 100%. Quanto à absorção após 24 horas, os valores variaram de 51,27% a 64,47%.

Iwakiri et al. (1995), em estudo com espécies de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*, encontraram valores médios variando entre 42,09% a 71,75% e de 73,12% a 80,05% para absorção após 2 e 24 horas de imersão, respectivamente. Os valores obtidos neste estudo são similares aos obtidos pelos autores para absorção após 2 horas, exceto as porcentagens de 75% e 100% de faveira que foram inferiores. Já para a absorção após 24 horas, todos os valores foram inferiores.

Para o inchamento em espessura nos dois tempos de imersão, houve diferença estatística significativa das proporções de madeira nos painéis. Os valores obtidos variaram de 7,82% a 21,23% e de 13,91% a 27,24%, para 2 e 24 horas de imersão, respectivamente.

Trabalhando com partículas de eucalipto oriundas de serraria, Iwakiri et al. (2000) obtiveram valores de inchamento em espessura variando de 12,38% a 30,60%, para 2 horas e de 23,50% a 38,81%, para 24 horas de imersão. Nota-se que, para inchamento após 2 horas, alguns valores estão similares ao limite inferior encontrado pelo autor, enquanto para inchamento após 24 horas somente 100% de faveira está próximo ao resultado inferior encontrado pelo autor.

A norma EN 312 (EN, 1997) estabelece o máximo de inchamento de 6% para imersão após 2 horas e de 15% para 24 horas. Portanto, os resultados

obtidos para 2 horas estão acima e, para 24 horas, somente a faveira 100% atendeu à referida norma.

Os parâmetros das análises de regressão selecionadas para as propriedades físicas dos painéis que sofreram influência da composição estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para as propriedades físicas dos painéis aglomerados com inclusão de faveira

Coefficientes	AA_2h	IE_2h	IE_24h
$\beta_0$	52,755000**	21,577429**	27,230714**
$\beta_1$	-0,218800**	-0,509981**	-0,462607**
$\beta_2$	-	0,009755**	0,011381**
$\beta_3$	-	-0,000060**	-0,000081**
F calculado	46,889*	5,118*	23,327
R <sup>2</sup> %	84,38	92,06	99,98

e\*: valor de F calculado significativo; e\*\*: coeficiente significativo pelo teste de t

As regressões selecionadas e seus parâmetros são significativos. Na Figura 9 está representada a variação das propriedades físicas dos painéis aglomerados em função da variação da porcentagem de madeira de faveira.



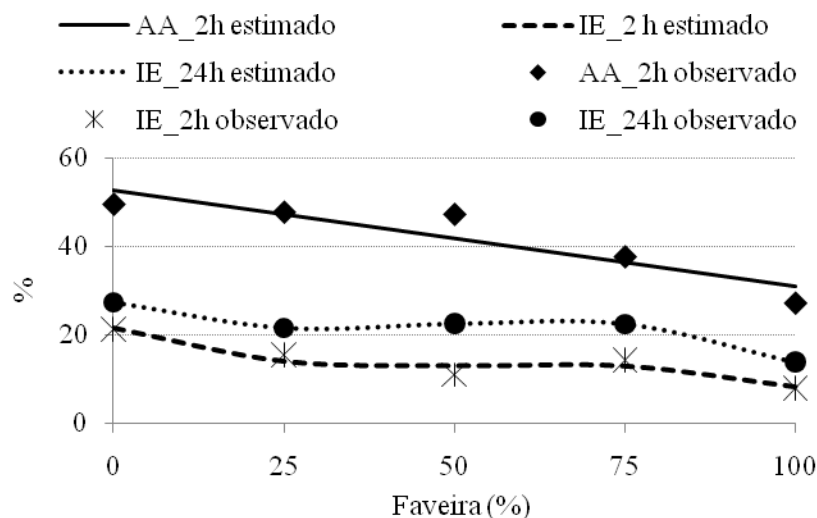


Figura 9 Variação das propriedades físicas em função da proporção de faveira no painel

Nota-se que as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura decrescem quando há um aumento na proporção de faveira. É importante notar que os painéis aglomerados com maiores proporções de madeira de faveira (50% ou mais) apresentaram razão de compactação estatisticamente superior (1,7 a 2,3). Dessa forma, esse resultado pode ser explicado pela barreira física à entrada de água para painéis com alta razão de compactação.

De forma geral, maiores proporções de faveira na constituição do painel resultaram em menor inchamento em espessura. Aumentos em inchamento podem ser esperados com aumento na razão de compactação devido à liberação mais intensa de forças de compressão geradas durante o processo de prensagem. No entanto, a razão de compactação é uma medida de compactação das partículas individuais na chapa e seu aumento resulta no aumento na eficiência do uso do adesivo devido à adição e melhora das colagens adesivas, o que pode

resultar em uma diminuição dos inchamentos em espessura (GATCHEL; HEEBINK; HEFTY, 1966).

### 3.4.2. Propriedades mecânicas

Na Tabela 9 estão apresentados os valores médios das propriedades mecânicas e os resultados das análises de variância para os painéis aglomerados compostos por *Pinus* sp. e faveira.

Tabela 9 Propriedades mecânicas dos painéis aglomerados com inclusão de faveira

Faveira (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Compressão (MPa)	LI (MPa)
0	1003,24	5,04	3,93	0,93
25	1788,88	13,18	7,47	1,16
50	1729,77	11,11	7,25	1,02
75	2061,18	12,64	8,83	1,06
100	2128,05	13,73	7,47	0,88
F calculado	41,593*	20,885*	6,406*	3,797*
CV (%)	7,96	13,93	20,56	10,95

e\*: valor de F calculado significativo

Os resultados encontrados para o MOE demonstram que houve diferenças significativas entre as médias, tendo os valores variado de 1.003,24 a 2.128,05 MPa. Iwakiri et al. (2010) encontraram valores de MOE de 1.982,98 MPa para painéis produzidos com espécie de paricá e de 2.148,50 MPa para painéis produzidos com espécie de embaúba, as quais apresentam densidade básica de 0,320 e 0,270 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente e são similares à do presente estudo, de 0,280 g/cm<sup>3</sup>. Os valores de MOE obtidos neste estudo foram próximos aos dos autores citados.

Para o MOR, observa-se também que a porcentagem 100% faveira foi superior às demais e que a 0% de faveira, tendo os valores variado de 5,04 a

13,73 MPa. Os valores obtidos para MOR foram inferiores aos encontrados por Iwakiri et al. (2010), de 15,59 e 16,65 MPa.

De acordo com a norma EN 312 (EN, 2003), os painéis produzidos com 0% de faveira não atingiram o valor exigido de 1.600 MPa para o MOE. Já para o MOR, apenas as porcentagens de 25% e 100% de faveira se adequaram ao valor mínimo exigido, de 13 MPa.

A resistência à compressão paralela foi significativa entre as médias obtidas, indicando que foi afetada pelo aumento de porcentagem de faveira no painel. Os valores variaram de 3,93 a 8,83 MPa. Cabral et al. (2007) encontraram valores médios para painéis com a mistura de *Eucalyptus urophylla* e *Pinus elliottii* de 6,61MPa e de *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii* de 7,99 MPa. Os valores do presente trabalho estão próximos aos encontrados pelos autores, com exceção de 0% de faveira, que apresentou valor muito inferior.

Quanto à ligação interna, verifica-se que a resistência à tração foi significativa entre as diferentes porcentagens. O maior valor obtido foi para a porcentagem de 25% de faveira e o menor valor foi observado para 100% de faveira.

Hillig, Haselein e Santini (2002) encontraram valores variando entre 0,18 e 0,28 MPa, para chapas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. Os valores encontrados na pesquisa foram superiores aos dos autores e da norma EN 312 (EN, 2003), que requer valores mínimos de 0,35 MPa.

Os parâmetros das análises de regressão selecionadas para as propriedades mecânicas dos painéis que sofreram influência da composição estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para as propriedades mecânicas dos painéis aglomerados com inclusão de faveira

Coefficientes	MOE	MOR	Compressão	LI
$\beta_0$	1088,265357**	5,297464**	4,163000**	0,961786**
$\beta_1$	22,053471**	0,466751**	0,124940**	0,006477**
$\beta_2$	-0,119658**	-0,008997**	-0,000912**	0,000073**
$\beta_3$	-	0,000052**	-	-
F calculado	16,304*	15,782*	8,811*	9,352*
R <sup>2</sup> %	89,40	90,95	88,18	69,71

e\*: valor de F calculado significativo; e\*\*: coeficiente significativo pelo teste de t

Os modelos selecionados e seus parâmetros foram significativos. As representações gráficas dos modelos de variação das propriedades mecânicas dos painéis aglomerados em função da variação da porcentagem de madeira de faveira estão apresentadas nas Figuras, 10, 11 e 12.

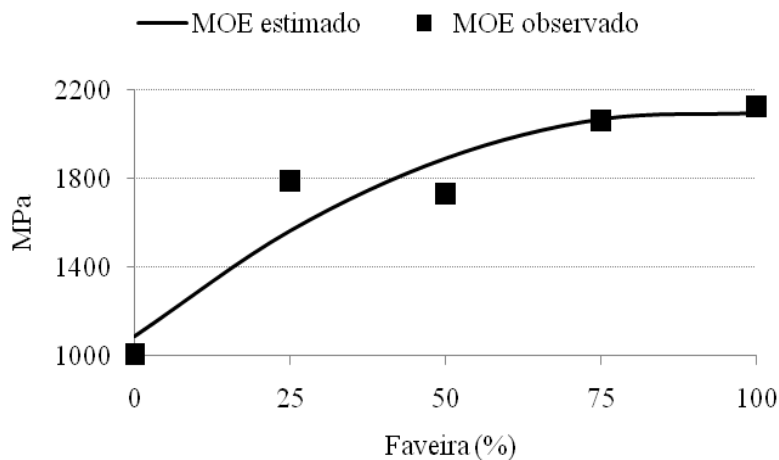


Figura 10 Variação do MOE, em função da proporção de faveira no painel

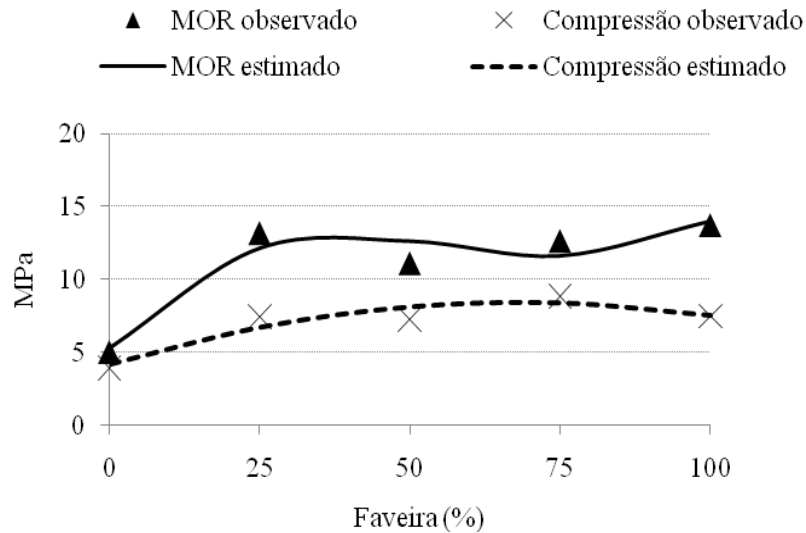


Figura 11 Variação do MOR e da compressão, em função da proporção de faveira no painel

De forma geral, módulo de elasticidade, módulo de ruptura e compressão apresentaram aumento linear de seus valores, com o aumento da proporção de madeira de faveira no painel, tendo os painéis de 100% de faveira alcançado os maiores valores para MOE e MOR. Essa tendência foi compatível com a razão de compactação dos painéis, pois os painéis de maior razão de compactação têm maior volume de madeira no colchão, tendo as partículas apresentado mais pontos de contato entre si, fator que contribui para o aumento da resistência mecânica (KELLY, 1977; VITAL; LEHMANN; BOONE, 1974; VITAL; WILSON, 1980).

No entanto, a maior compressão foi observada pelos painéis compostos por 75% de faveira. A razão de compactação menor pode indicar uma maior disponibilidade de adesivo por partículas, resultando em maior ligação entre partículas e maior compressão. A correlação entre o teor de adesivo com a

adesão das partículas é afirmada por Labosky Junior et al. (1993) e Maloney (1989).

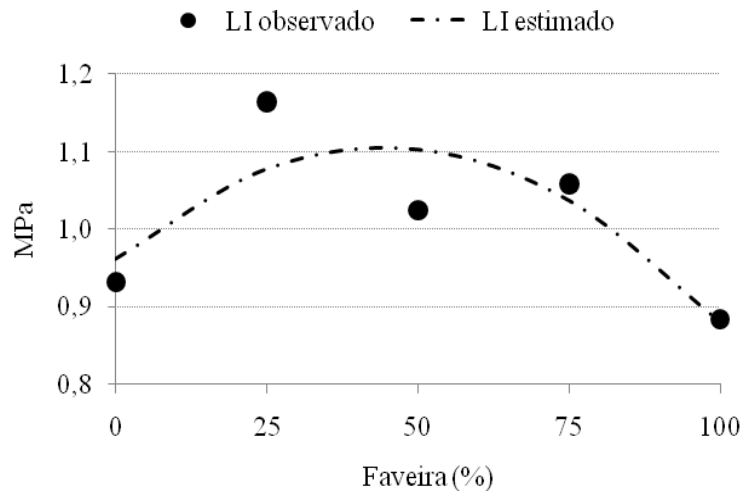


Figura 12 Variação da ligação interna, em função da proporção de faveira no painel

Nota-se que, para ligação interna, os maiores valores são observados para as proporções intermediárias de faveira. Em painéis com menor razão de compactação, como os compostos por 100% de *Pinus* sp., ocorrem menos pontos de contato entre as partículas, o que pode diminuir a ligação interna. No entanto, há uma razão de compactação muito alta, como observado nos painéis 100% de faveira e a quantidade de adesivo disponível por partículas é muito menor, também resultando em decréscimo da ligação interna. Dessa forma, nos painéis com proporções intermediárias de faveira pode ter ocorrido razão de compactação e disponibilidade de adesivo nas regiões intermediárias, que resultaram em maior ligação interna.

#### 4 CONCLUSÕES

- a) a inclusão de madeiras amazônicas à madeira de *Pinus* sp. apresentou bons resultados para a produção de painéis aglomerados, pois foi observado aumento das propriedades mecânicas e decréscimo das propriedades físicas;
- b) apenas para ligação interna a inclusão das espécies amazônicas não resultou em melhoras dos painéis aglomerados.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI-A-208.1**: mat-formed wood particleboard. Gaithersburg: National Particleboards Association, 1993. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11942**: determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 14810-3**: chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro, 2006. 51 p.

BARROS FILHO, R. M. de. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído**. 2009. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

BRITO, E. O. et al. Chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 72, p. 17-21, set. 2006.

BRITO, E. O.; SILVA, G. C. Propriedades de chapas de partículas produzidas a partir de *Gmelina arborea* Linn. Roxb. e *Samanea saman* (Jacq.) Merr. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 127-134, 2002.

BUYUKSARI, U. et al. Evaluation of the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard manufactured from waste stone pine (*Pinus pinea* L.) cones. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 101, n. 1, p. 255-259, Jan. 2010.

CABRAL, C. P. et al. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 897-905, set./out. 2007.

CHIMELO, J. P. **Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction for selected tropical hardwoods**. 1980. 206 f. Thesis (Ph.D. in Forest Science) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 1980.

EUROPEAN STANDARDS. **EN 312**: particleboards specifications. Brussels, 1996. 16 p.



\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Brussels, 2003. 18 p.

\_\_\_\_\_. **EN 312:** particleboards specifications: requirements for boards for interior fitments (including furniture) for use in dry conditions. Brussels, 1997. 18 p.

GATCHELL, G. J.; HEEBINK, B. G.; HEFTY, F. V. Influence of component variables on the properties of particleboards for exterior use. **Forest Products Journal**, Madison, v. 21, n. 1, p. 45-59, Feb. 1996.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. **Painéis de madeira de eucalipto:** estudo de caso de espécie e procedências. 2008. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

GULER, C.; COPUR, Y.; TASCIOGLU, C. The manufacture of particleboards using mixture of peanuthull (*Arachis hypogaeae* L.) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 8, p. 2893-2897, May 2008.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia-negra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-70, jan./fev. 2002.

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

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 303-308, 2010.

\_\_\_\_\_. Produção de chapas de partículas de madeira de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*. **Agrárias**, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 34-41, 1995.

\_\_\_\_\_. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 883-887, nov./dez. 2004.

\_\_\_\_\_. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 1, n. 1/2, p. 23-28, 2000.

KELLY, M. R. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: USDA/FS, 1977. 10 p. (General Technical Report, 10).

LABOSKI JUNIOR, P. et al. Effect of steam pressure refining and resin levels on the properties of UF-bonded red maple MDF. **Forest Products Journal**, Madison, v. 43, n. 11/12, p. 82-88, Nov./Dec. 1993.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1989. 672 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. San Francisco: M. Freeman, 1996. 681 p.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles and practice**. New York: V. N. Reinhold, 1992. 453 p.

MELO, R. R. de; DEL-MENEZZI, C. H. S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 18, n. 1, p. 59-73, 2010.

PEDRAZZI, C. et al. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 201-212, mar./abr. 2006.

TOSTES, A. S. de et al. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréiaformaldeído (UF) modificado com tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 2, p. 14-19, ago./dez. 2004.

VIGNOTE, P. S.; JIMÉNEZ, P. F. J. **Tecnología de la madera**. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1996. 602 p.

VITAL, B. R.; LEHMANN, W. F.; BOONE, R. S. How species and board density affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 24, p. 37-45, 1974.

VITAL, B. R.; WILSON, J. B. Efeito da forma geométrica dos flocos e partículas, da densidade das chapas e do tipo de adesivo nas propriedades mecânicas de chapas de madeira aglomerada. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, n. 4, n. 2, p. 179-187, abr./jun. 1980.

**ARTIGO 5**

**PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA PRODUZIDOS COM MADEIRAS DE  
ESPÉCIES ALTERNATIVAS DA AMAZÔNIA**

## RESUMO

Atualmente, a procura por novos produtos economicamente acessíveis na produção de vários tipos de painéis de madeira tem sido estudado, visando ao melhor aproveitamento da madeira com outros materiais, como o compósito cimento-madeira. Diante do exposto, nesta pesquisa foram analisadas as propriedades físicas e mecânicas dos painéis cimento-madeira produzidos com duas espécies tropicais amazônicas com a inclusão do *Pinus* sp. nas proporções de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% e densidade nominal de 1,25 g/cm<sup>3</sup>. Os resultados indicaram que as proporções 25%, 50% e 100% da madeira de amapá obtiveram bons resultados para as propriedades mecânicas e físicas, exceto para o inchamento em espessura, após 24 horas de imersão.

Palavra chave: madeiras amazônicas, cimento-madeira, mistura de espécies.

## ABSTRACT

Currently, the search for new economically accessible products in the production of several types of wood panels has been studied with the aim to better use wood with other materials such as cement-wood composites. Therefore, in this research, physical and mechanical properties of cement-wood panels made from two tropical Amazonian species with *Pinus* sp. included in the proportions of 0, 25, 50, 75 and 100% and target density of 1,25 g/cm<sup>3</sup> were evaluated. The results indicated that 25, 50 and 100% proportions of amapá wood had good results for mechanical and physical results, except for thickness swelling after 24 hours immersion.

Keywords: Amazonian woods, cement-wood, species mixture.

## 1 INTRODUÇÃO

A grande matéria-prima utilizada na fabricação de painéis de madeira reconstituída são as espécies do gênero *Pinus*, seguidas do *Eucalyptus*. Atualmente, a demanda por madeiras vem crescendo significativamente e isso força o setor madeireiro a procurar outras espécies como alternativas para suprir essa demanda.

A floresta amazônica, com sua variabilidade de madeiras, pode ser essa alternativa, pois atende a um número maior de usos, bem como é mais conhecida, principalmente as espécies de baixo valor econômico podendo agregar valor com outras espécies, ampliando a oferta de matéria-prima e, assim, deixar o preconceito de que a floresta amazônica é intocável.

No final dos anos de 1990, os painéis reconstituídos, principalmente os particulados, se destacaram no mercado nacional, apresentando evolução em inovações tecnológicas, com novos produtos, como o MDF e OSB, forma alternativa para os setores moveleiros e de construção civil, respectivamente (SALDANHA, 2004).

O desenvolvimento das chapas de madeira reconstituídas ganhou força nos últimos quarenta anos, com o surgimento de chapas de grandes dimensões, maior estabilidade dimensional, mais homogêneas e sem defeitos, com ganhos de melhorias em relação às propriedades físicas e mecânicas e resistência à biodeteriorização, adequadas à indústria moveleira e à construção civil. Porém, elas só foram possíveis de serem fabricados a partir do desenvolvimento de resinas sintéticas (CASTRO, 2000).

Vários tipos de painéis vêm ganhando espaço no mercado, devido à melhor relação custo/benefício, podendo ser atribuído à otimização em minimizar os desperdícios. Dentre os particulados está o painel cimento-

madeira, o qual é muito utilizado na Europa e no Japão por suas boas características tecnológicas.

No final dos anos 70 do século XX, na Europa, surgiu o painel de cimento-madeira como elemento construtivo. Esses painéis têm tido boa aceitação no mundo, pois se busca, por meio dessa mistura, reunir propriedades desejáveis da madeira e do cimento (COATES, 1994).

Como matéria-prima, o cimento pode ser considerado material com propriedades adesivas e coesivas capaz de unir fragmentos de minerais entre si e como um todo formar compacto (BLEZARD, 2001).

A norma NBR 5733 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1991) descreve que o Cimento Portland V- ARI é um aglomerante hidráulico que atende às exigências iniciais, obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído, em sua maior parte, de silicatos de cálcio hidráulicos, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. A nomenclatura ARI representa o mínimo de resistência à compressão aos 7 dias de idade, o que equivale a 34,0 MPa. A resistência atingida nesse intervalo de tempo é bem superior à do cimento comum, que só atinge essa resistência aos 28 dias de idade.

O painel cimento-madeira é composto, basicamente, de partículas de madeira e cimento, em proporção de 1:3 (base peso seco). Aditivos químicos têm sido empregados com o propósito de reduzir o tempo de cura do cimento, acelerando o desenvolvimento da resistência (LATORRACA, 2000).

A utilização da espécie é um determinante para a produção de painéis de madeira reconstituída, principalmente na confecção de painéis cimento-madeira, devido à sua compatibilidade com o cimento.

Na escolha da espécie devem ser levados em consideração alguns parâmetros importantes, como densidade, extrativos e pH da madeira (MALONEY, 1993). A densidade influencia diretamente a razão de

compactação, pois o mesmo autor cita que a razão de compactação é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira, o qual esta relação deve ser no mínimo 1,3, para que ocorra uma densificação suficiente para a formação do painel. A massa específica da madeira, segundo Simatupang, Schwarz e Brockerf (1978), deve estar, aproximadamente, entre 0,3 e 0,8 g/cm<sup>3</sup>, pois, se for muito leve, as partículas não apresentarão a resistência adequada.

No que diz respeito à compatibilidade química entre a madeira e o cimento, não se deve apenas considerar a quantidade de extrativos, mas também o tipo de extrativos (ácidos graxos, taninos, carboidratos e outros). Substâncias solúveis em água apresentam um efeito mais pronunciado sobre a inibição da pega do cimento (CARVALHO, 2000).

As folhosas apresentam alto teor em hemiceluloses, por isso, em geral, são bem mais inibidoras do que as coníferas (SIMATUPANG; SCHWARZ; BROCKERF, 1978) e seu máximo teor em açúcares tolerado pelo cimento situa-se entre 0,4% a 0,5% para coníferas e de 0,2% a 0,25% para as folhosas (SCHWARZ; SIMATUPANG, 1984).

Tratamentos de partículas de madeira têm sido empregados para melhorar a qualidade do produto. Entre eles, inclui-se a extração das substâncias químicas inibidoras, por meio da imersão das partículas em água fria ou quente e da adição de produtos químicos aceleradores de cura do cimento. Os principais tipos de aceleradores de cura empregados são cloreto de cálcio, silicato de sódio e hidróxido de sódio, em quantidades que podem variar de 3% a 5% em relação ao peso do cimento (LATORRACA, 2000).

A união do cimento com a madeira independe do comportamento de que cada espécie vegetal ofereça. Essa compatibilidade química leva a uma escolha adequada ao tipo de espécie vegetal a ser misturada à pasta de cimento, pois nem todas as espécies combinam com o cimento.



Estudos têm sido realizados com espécies de folhosas, como o eucalipto. Dessa forma, outros tipos de folhosas, como as madeiras da Amazônia, como é o caso das espécies *Cordia goeldiana* e *Brosimum parinarioides* desta pesquisa, que também podem ser estudadas no sentido de ampliar a oferta de matéria-prima nas indústrias

Este trabalho foi realizado com o objetivo geral de determinar a viabilidade de utilização das espécies *Cordia goeldiana* e *Brosimum parinarioides* e sua combinação com o *Pinus* sp. no emprego de painéis cimento-madeira.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Coleta do material**

Foram coletadas três árvores por espécies de *Cordia goeldiana* (Freijó) e *Brosimum parinarioides* (amapá-doce) provenientes da Fazenda Rio-Capim, pertencente à Empresa Cikel Brasil Verde S.A., localizada no município de Paragominas, PA e *Pinus* sp., oriunda do campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG.

### **2.2 Determinação da densidade básica da madeira**

Após o abate das árvores, foram extraídos discos para a determinação da densidade básica da madeira. Foram coletadas amostras a 0%, 25%, 75% e 100% da altura total do tronco. A determinação do volume das amostras foi pelo método da balança hidrostática.

### **2.3 Obtenção das partículas**

As partículas foram obtidas do desenrolamento de lâminas para confecções de painéis compensados para outros estudos. Após esse processo de laminação, as lâminas foram embaladas e transportadas para a UFLA.

No laboratório da Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM) da UFLA, as lâminas foram processadas em moinho martelo e transformadas em partículas do tipo “sliver”.

### 2.3.1 Tratamento das partículas

As partículas receberam tratamento por imersão em água fria, por 24 horas, para a retirada dos componentes secundários (extrativos) inibidores da cura do cimento, agitando-se periodicamente. Após a lavagem das partículas em água corrente, as mesmas foram secas ao ar livre, até atingir umidade média de 12%. Em seguida, foram peneiradas para a retirada de finos.

### 2.4 Produção dos painéis

Para a produção dos painéis cimento-madeira, utilizaram-se as porcentagens de madeira descritas na Tabela 1. Foram produzidos três painéis por tratamento.

Tabela 1 Delineamento experimental dos tratamentos com diferentes porcentagens de partículas

Tratamento	Espécie	% mistura
T1	Freijó	100
T2	Freijó + pinus	75 + 25
T3	Freijó + pinus	50 + 50
T4	Freijó + pinus	25 + 75
T5	Amapá	100
T6	Amapá + pinus	75 + 25
T7	Amapá + pinus	50 + 50
T8	Amapá + pinus	25 + 75
T9	Pinus	100

Os parâmetros utilizados para os cálculos dos componentes de todos os painéis foram selecionados de acordo com a metodologia citada por Souza (1994), que considerou: densidade nominal do painel de 1,25 g/cm<sup>3</sup>; dimensões do painel de 480 x 480 x 15 mm; relação madeira:cimento de 1:2,75; taxa de água de hidratação:cimento de 0,25; relação água:cimento de 1:2,5; quantidade

de aditivo ( $\text{CaCl}_2$ ) de 4% em relação à massa do cimento, com porcentagem de perdas de 10%.

De posse dos cálculos, fez-se a pesagem das partículas, da água, do cimento Portland CP5-ARI/Plus e do aditivo cloreto de cálcio para uma quantidade equivalente a três painéis por tratamento.

Os materiais foram misturados em uma betoneira de eixo inclinado, conforme metodologia descrita por Moslemi e Pfister (1987). Inicialmente, a madeira foi homogeneizada com a água contendo aditivo dissolvido durante, aproximadamente, 15 minutos. O cimento foi adicionado aos poucos e misturado aos demais componentes. Em seguida, os componentes foram misturados na betoneira, durante 10 minutos. Após a retirada da mistura da betoneira, a massa total de cada painel foi pesada e distribuída aleatoriamente sobre uma chapa de alumínio untada com óleo diesel para facilitar a retirada após a prensagem. Foram prensados três painéis de uma só vez. Para o controle da espessura dos painéis, utilizaram-se barras de ferro de 15 mm.

Os colchões já formados, juntamente com o aparato para grampeamento, foram levados à prensa à temperatura ambiente e pressão específica de 40  $\text{kgf/cm}^2$  por um tempo de 8 minutos até que os colchões atingissem a espessura dos separadores. Após esse tempo, efetuou-se o grampeamento e a prensa foi liberada, ficando grampeados por 24 horas, para que ocorressem as reações. Logo após esse período, os grampos foram liberados e os painéis foram identificados e acondicionados em sala climatizada à temperatura de 20°C e umidade relativa de 60% e separados por tabiques até a cura final (maturação), durante 28 dias.

Os corpos de prova foram obtidos em serra circular conforme a norma ABNT-NBR 14810-3 (ABNT, 2006), bem como para a avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis. As propriedades avaliadas foram:

- a) densidade aparente;
- b) absorção de água após 2 e 24 horas de imersão;
- c) inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão;
- d) flexão estática – MOE e MOR;
- e) compressão paralela;
- f) ligação interna.

## **2.5 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância, a 5% de significância. Os dados referentes à densidade aparente dos painéis foram submetidos ao teste de comparação múltipla Scott-Knott e as demais variáveis foram avaliadas por análises de regressão.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Densidade básica das madeiras pesquisadas**

Os valores obtidos de densidade básica para cada espécie foram: 0,50 g/cm<sup>3</sup> para freijó, 0,42 g/cm<sup>3</sup> para amapá e 0,46 para o *Pinus* sp.

Walker (1993) cita que a densidade da madeira adequada para a produção de partículas situa-se entre 0,38 e 0,70 g/cm<sup>3</sup>, com preferência para aquelas com densidade de 0,50 g/cm<sup>3</sup>. Assim, pode-se dizer que as espécies citadas estão dentro desta faixa, com exceção da madeira de faveira que apresentou densidade leve de 0,28 g/cm<sup>3</sup>. Silva et al. (2005) afirmam que, além da composição do painel, a densidade apresenta alta influência na resistência de compósitos cimento-madeira.

#### **3.2 Painéis de madeira de freijó e *Pinus* sp.**

##### **3.2.1 Propriedades físicas**

Na Tabela 3 estão apresentadss os valores médios de densidade aparente dos painéis cimento madeira compostos por *Pinus* sp. e freijó.

Tabela 3 Densidade aparente dos painéis cimento-madeira com inclusão de freijó

Freijó (%)	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )
0	2,010 b
25	1,146 a
50	1,184 a
75	1,197 a
100	1,167 a
F calculado	76,724*
CV (%)	5,53

e\*: valor de F calculado significativo

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 95% de probabilidade

Apesar de todos os painéis cimento-madeira terem sido confeccionados com densidade aparente nominal de 1,25 g/cm<sup>3</sup>, os painéis compostos por 100% de madeira de *Pinus* sp. apresentaram densidade aparente real superior aos painéis dos demais tratamentos. Essa diferença deve ser considerada na avaliação dos resultados das demais propriedades.

Na Tabela 4 estão apresentadas as médias das propriedades físicas dos painéis cimento-madeira com inclusão de freijó e os resultados das análises de variância.

Tabela 4 Propriedades físicas dos painéis cimento-madeira com inclusão de freijó

Freijó (%)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
0	11,57	14,95	0,92	3,04
25	12,77	17,31	0,75	1,40
50	14,40	16,90	0,68	0,90
75	12,77	15,91	0,95	1,65
100	14,97	16,69	0,76	1,49
Fc	12,078*	1,764 <sup>ns</sup>	2,117 <sup>ns</sup>	12,347*
CV (%)	5,15	7,46	16,17	21,59

e\*: valor de F calculado significativo; e<sup>ns</sup>: valor de F calculado não significativo

AA- absorção de água; IE- inchamento em espessura

Os tratamentos não apresentaram diferença estatística significativa para as propriedades absorção de água após 24 horas e inchamento em espessura após 2 horas, indicando que a inclusão de madeira de freijó à madeira de *Pinus* sp. na composição dos painéis cimento-madeira não causou efeito sobre essas propriedades.

A absorção de água após 2 horas e o inchamento em espessura após 24 horas sofreram influência da composição dos painéis e os parâmetros das análises de regressão selecionadas estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para as propriedades físicas dos painéis com inclusão de freijó

Coeficientes	AA 2h	IE 24h
$\beta_0$	11,417962**	3.069238**
$\beta_1$	0,138648**	-0.118319**
$\beta_2$	-0,002856**	0.002122**
$\beta_3$	0,000018**	-0.000011**
F calculado	0,022*	8,037*
R <sup>2</sup> %	78,01	97,12

e\*: valor de F calculado significativo; e\*\*: coeficiente significativo pelo teste de t

Os modelos selecionados foram significativos, bem como todos os seus coeficientes. Para a absorção de água após 2 horas e inchamento em espessura após 24 horas, a variação na porcentagem de freijó na composição dos painéis explica 78,01% e 97,12% da variação dessas propriedades, respectivamente.

Para a absorção de água de 2 horas como a de 24 horas, todas as porcentagens de madeira foram superiores ao tratamento com *Pinus* sp.

O gráfico da variação da absorção de água após 2 horas de imersão em água dos painéis cimento madeira em função da variação da porcentagem de madeira de freijó está exposto na Figura 1.



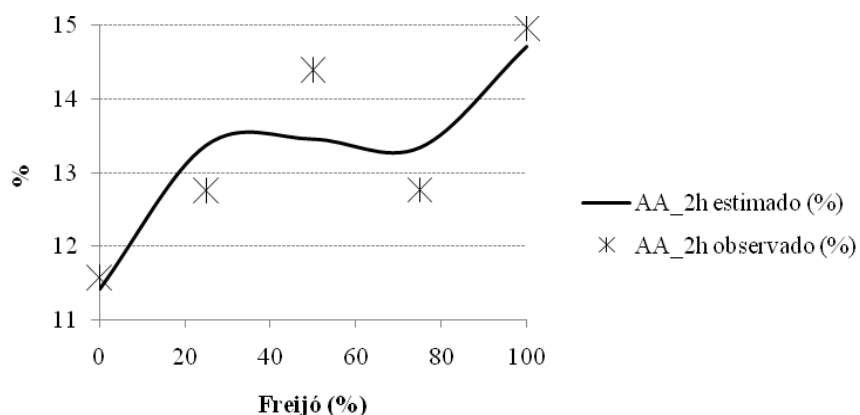


Figura 1 Variação da absorção de água após 2 horas, em função da proporção de freijó no painel

De forma geral, foi possível observar que a inclusão de madeira de freijó causou aumento da absorção de água após 2 horas. A composição química da madeira de freijó, possivelmente, dificultou a cobertura das partículas pela matriz cimento. Entre 20% e 80% de madeira de freijó na composição do painel, ocorre uma variação menor dos valores de absorção de água, após 2 horas de imersão e a maior absorção foi observada para os painéis compostos por 100% de freijó. Esses resultados indicam uma qualidade superior dos painéis compostos por 100% de *Pinus* sp. em relação aos painéis com inclusão de freijó.

Latorraca (2000) encontrou valores médios de absorção de água para 2 horas e 24 horas de imersão, em quatro tipos de eucaliptos: *Eucalyptus pellita*, de 15,86% e 20,27%; *Eucalyptus urophylla*, de 12,90% e 16,21%; *Eucalyptus citriodora*, de 14,13% e *Eucalyptus robusta*, de 18,74 e 22,22%. Os valores obtidos nesta pesquisa são próximos aos encontrados por aquele autor.

O gráfico da variação do inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água dos painéis cimento madeira, em função da variação da porcentagem de madeira de freijó, está exposto na Figura 2.

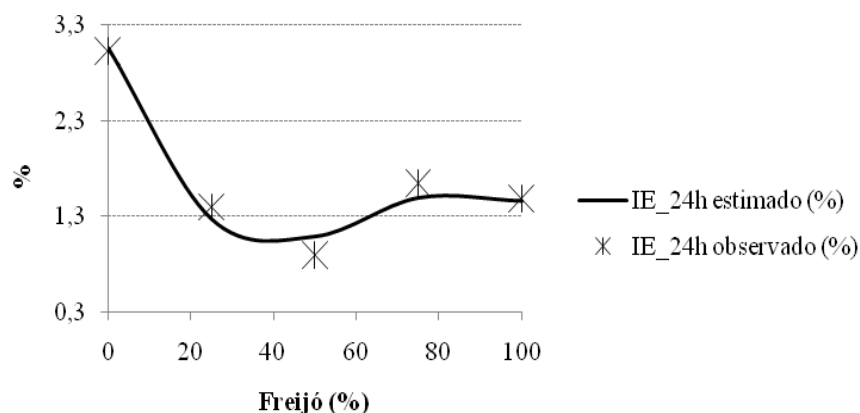


Figura 2 Variação do inchamento em espessura, após 24 horas, em função da proporção de freijó no painel

A testemunha, ou seja, os painéis puros de *Pinus* sp. apresentaram maior inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, o que indica uma vantagem da inclusão da madeira de freijó nos painéis para esta propriedade. A menor densidade da madeira de pinus em relação à madeira de freijó resulta em painéis com maior volume de partículas dispersas na matriz. Dessa forma, para esses painéis, pode ocorrer maior liberação das tensões produzidas durante o processo de prensagem. Além disso, esses painéis apresentaram maior densidade aparente, o que pode ter contribuído para aumentar ainda mais o inchamento em espessura. Na faixa correspondente à inclusão de 20% a 100% de madeira de freijó, a variação no inchamento em espessura foi baixa, sendo mínima na proporção de aproximadamente 40% de madeira de freijó.

Para os valores de inchamento em espessura após 2 horas de imersão, somente os tratamentos a 0% e 75% de madeira de freijó estão acima do valor máximo estipulado pelo processo Bison Wood-Cemente Board (1978), que é de 0,80%. Já para o inchamento após 24 horas, somente a porcentagem de 50% não apresentou valor superior ao exigido pelo processo Bison Wood-Cemente Board

(1978), que vai de 1,2% a 1,8%. Sendo assim, a regressão indica que os painéis ficam mais aptos à utilização em locais de alta umidade, com a inclusão de 50% madeira de freijó.

Matoski e Iwakiri (2007), estudando *Pinus* spp. para painéis cimento-madeira com granulometrias diferentes, encontraram valores variando de 0,72% a 0,85% para inchamento após 2 horas e de 1,19% a 1,28%, após 24 horas de imersão. As médias encontradas nesta pesquisa, tanto para 2 horas como 24 horas, estão próximas às encontradas pelos autores, exceto para o tratamento com 50% de freijó, que apresentou melhor desempenho.

### 3.2.2 Propriedades mecânicas

Na Tabela 6 estão apresentadas as médias das propriedades mecânicas dos painéis cimento madeira com inclusão de freijó e o resultado das análises de variância.

Tabela 6 Propriedades mecânicas dos painéis cimento-madeira com inclusão de freijó

Freijó (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Compressão (MPa)	LI (MPa)
0	2890,52	3,28	5,49	0,82
25	2523,80	3,32	5,01	0,82
50	1837,86	2,61	3,53	0,62
75	2225,53	5,25	5,41	0,82
100	1895,30	4,53	5,05	0,71
F calculado	5,147*	9,644*	1,059 <sup>ns</sup>	2,674 <sup>ns</sup>
CV (%)	15,88	15,68	27,28	12,83

e\*: valor de F calculado significativo; e<sup>ns</sup>: valor de F calculado não significativo  
MOE- módulo de elasticidade; MOR- módulo de ruptura; LI- ligação interna

Os tratamentos não apresentaram diferença estatística significativa para as propriedades compressão paralela e ligação interna, indicando que a inclusão de madeira de freijó à madeira de *Pinus* sp. na composição dos painéis cimento-madeira não causou efeito significativo sobre essas propriedades. Os valores de

ligação interna de todos os tratamentos estão acima do mínimo exigido pelo processo Bison Wood-Cemento Board (1978), que é de 0,4 MPa. Assim, a madeira de freijó pode ser incluída à madeira de *Pinus* sp. na composição de painéis cimento-madeira sem causar efeitos negativos sobre a ligação interna.

O módulo de elasticidade e o módulo de ruptura sofreram influência da composição dos painéis e os parâmetros das análises de regressão selecionadas estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para as propriedades mecânicas dos painéis com inclusão de freijó

Coeficientes	MOE (MPa)	MOR (MPa)
$\beta_0$	2792,868200**	3,431462**
$\beta_1$	-9,961817**	-0,078144**
$\beta_2$	-	0,002305**
$\beta_3$	-	-0,000014* *
F calculado	14,019*	14,124*
R <sup>2</sup>	68,09	63,39

e\*: valor de F calculado significativo; e\*\*\*: coeficiente significativo pelo teste de t

Os modelos selecionados foram significativos, bem como todos os seus coeficientes. Para o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura, a variação na porcentagem de freijó na composição dos painéis explica 68,09% e 63,39% da variação dessas propriedades, respectivamente.

O gráfico da variação do módulo de elasticidade dos painéis cimento-madeira em função da variação da porcentagem de madeira de freijó pode ser observado na Figura 3.

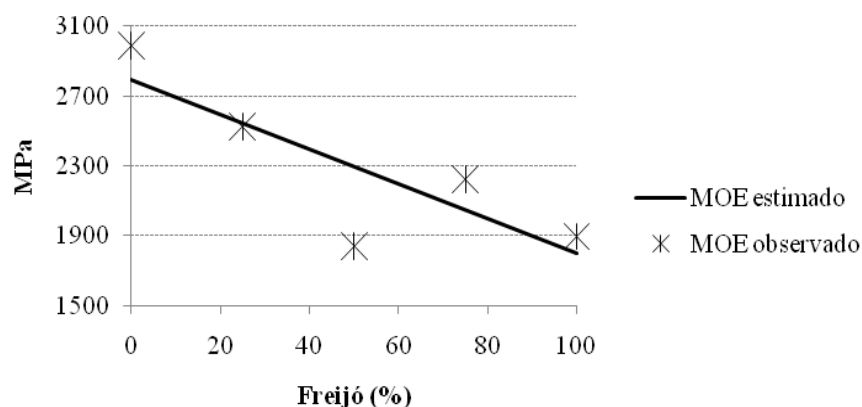


Figura 3 Variação do módulo de elasticidade em função da proporção de freijó no painel

Ocorreu diminuição linear do módulo de elasticidade com o aumento da proporção da madeira de freijó no painel cimento-madeira. Esse resultado indica um efeito negativo da inclusão da madeira de freijó. A solidificação do cimento, na presença da madeira, pode ser determinada pela composição química da mesma, podendo ser o principal fator de impedimento da viabilização da manufatura desses painéis (IWAKIRI, 2005).

O valor superior de módulo de elasticidade apresentado pelos painéis puros de *Pinus* sp. pode ter sido ocasionado pela maior densidade desses painéis, pois há uma tendência de crescimento de valores das propriedades mecânicas com o aumento da densidade. Possivelmente, a madeira de freijó apresenta algum tipo de extrativo que pode ter interferido na cura do cimento e, conseqüentemente, nessa propriedade mecânica.

Uma vez que a madeira de freijó apresenta uma densidade maior do que a madeira de pinus, isso ocasionou menor volume de partículas da mesma em todas as proporções, fazendo com que a matriz cimento envolvesse a menor área específica de partículas e houvesse menor quantidade de partículas de reforço dispersas no cimento.

O resultado médio de MOE encontrado para *Pinus radiata* foi de 2,850 MPa em painéis cimento-madeira no estudo realizado por Semple, Cunningham e Evans (2002). Matoski e Iwakiri (2007) também encontraram valores variando entre 2.288,3 a 2.858,5 MPa, para *Pinus* spp. Todos os resultados encontrados na literatura e os obtidos no estudo foram inferiores ao estabelecido pelo processo Bison Wood-Cemente Board (1978), de 3.000 MPa.

O gráfico da variação do módulo de ruptura dos painéis cimento madeira em função da variação da porcentagem de madeira de freijó está exposto na Figura 4.

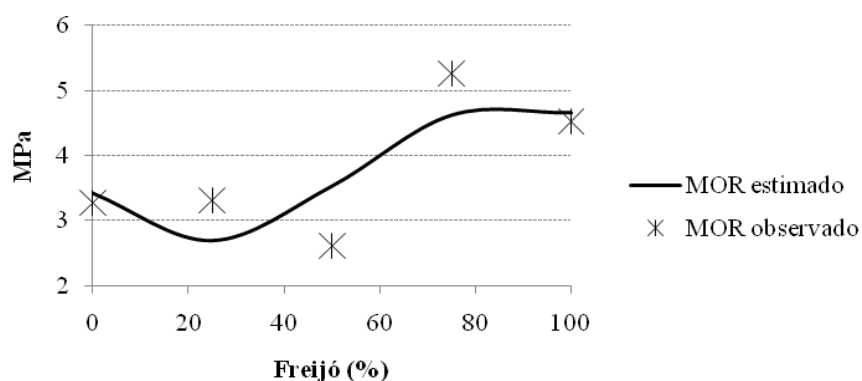


Figura 4 Variação do módulo de ruptura, em função da proporção de freijó no painel

O aumento da proporção da madeira de freijó até aproximadamente 50% na composição dos painéis cimento-madeira ocasionou diminuição do módulo de ruptura. No entanto, na faixa entre 80% e 100% de madeira de freijó, os valores de MOR variaram pouco. Apesar de o maior valor observado de módulo de ruptura ter sido encontrado para os painéis com 75% de madeira de freijó em sua composição, todos os pontos do gráfico estão abaixo de 9 MPa, que é o valor mínimo de MOR exigido pelo processo Bison Wood-Cement Board (1978).

Para painéis produzidos com espécies de pinus dos EUA, Santos (2008) cita que encontrou valor para MOR de 3,91 MPa. Já Latorraca (2000) obteve valores de 3,53 MPa e 6,82 MPa com espécies de eucalipto em diferentes granulometrias, sendo o primeiro valor similar aos encontrados neste trabalho. No entanto, valor superior médio de 6,39 MPa foi encontrado por Okino et al. (2004), estudando *Eucalyptus grandis* associado a clones de *Hevea brasiliensis* em painéis cimento-madeira para o MOR.

### 3.3 Painéis de madeira de amapá e *Pinus* sp.

#### 3.3.1 Propriedades físicas

Na Tabela 8 estão apresentados os valores médios de densidade aparente dos painéis cimento-madeira compostos por *Pinus* sp. e amapá. Os resultados mostram que houve efeito significativo.

Tabela 8 Densidade aparente dos painéis cimento-madeira com inclusão de amapá

Amapá (%)	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )
0	2,010 b
25	1,120 a
50	1,136 a
75	1,162 a
100	1,195 a
F calculado	86,050*
CV (%)	5,42

e\*: valor de F calculado significativo

Os painéis produzidos somente com *Pinus* sp. apresentaram valor significativamente superior em relação às demais porcentagens. Essa diferença provavelmente ocorreu devido a algum problema no processo de produção dos painéis.

Na Tabela 9 estão apresentadas as médias das propriedades físicas dos painéis cimento madeira com inclusão da madeira de amapá e os resultados das análises de variância.

Tabela 9 Propriedades físicas dos painéis cimento-madeira com inclusão de amapá

Amapá (%)	AA 2h (%)	AA 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
0	11,57	14,95	0,92	3,04
25	14,08	15,31	0,64	1,41
50	13,33	14,53	0,91	1,60
75	13,65	18,21	1,10	1,98
100	12,42	15,76	0,75	1,52
F calculado	1,088 <sup>ns</sup>	1,988 <sup>ns</sup>	1,501 <sup>ns</sup>	7,367*
CV (%)	11,84	11,30	29,17	22,24

e\*: valor de F calculado significativo; e<sup>ns</sup>: valor de F calculado não significativo

Os tratamentos não apresentaram diferença estatística significativa para as propriedades absorção de água após 2 e 24 horas de imersão e inchamento em espessura após 2 h de imersão, indicando que a inclusão de madeira de amapá à madeira de *Pinus* sp. na composição dos painéis cimento-madeira não causou aumento dessas propriedades.

Somente para as proporções de 25% e 100% de madeira de amapá os valores de inchamento em espessura após 2 horas de imersão estão abaixo do valor máximo estipulado pelo processo Bison Wood-Cemente Board (1978), que é de 0,80%.

O inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água sofreu influência da composição dos painéis e os parâmetros da análise de regressão selecionada estão apresentados na Tabela 10.



Tabela 10 Parâmetros estatísticos do modelo selecionado para o inchamento em espessura, após 24 horas, dos painéis com inclusão de amapá

Coefficientes	IE_24 horas
$\beta_0$	3,028381**
$\beta_1$	-0,114679**
$\beta_2$	0,002410**
$\beta_3$	-0,000014**
F calculado	11,709*
R <sup>2</sup> %	99,73

e\*: valor de F calculado significativo; e\*\*: coeficiente significativo pelo teste de t

O modelo selecionado foi significativo, bem como todos os seus coeficientes. A variação na porcentagem de amapá na composição dos painéis explica 99,73% da variação do inchamento em espessura, após 24 horas.

O gráfico da variação do inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água dos painéis cimento-madeira, em função da variação da porcentagem de madeira de amapá, está exposto na Figura 5.

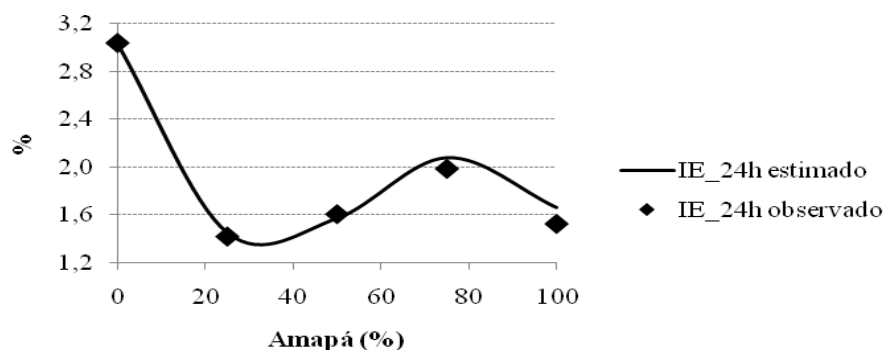


Figura 5 Variação do inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, em função da proporção de madeira de amapá no painel

O inchamento em espessura após 24 horas decresceu abruptamente com a inclusão de 20% de madeira de amapá no painel, em relação aos painéis compostos por 100% de *Pinus* sp., em que o inchamento foi máximo. A maior densidade do painel composto por 100% de *Pinus* sp. resulta em painéis com

maior volume de partículas dispersas na matriz. Dessa forma, para esses painéis, pode ocorrer maior liberação das tensões produzidas durante o processo de prensagem.

O menor inchamento em espessura pode ser observado na faixa entre 20% e 40% de amapá no painel. No ponto correspondente a 80% de madeira de amapá foi possível observar um aumento no inchamento em espessura.

Somente os valores de 0% e 75% para inchamento em espessura após 24 horas de imersão estão acima do valor estipulado pelo processo Bison Wood-Cemente Board (1978), que é entre 1,2% a 1,8%.

### 3.3.2 Propriedades mecânicas

Na Tabela 11 estão apresentadas as médias das propriedades mecânicas dos painéis cimento-madeira com inclusão de amapá e os resultados das análises de variância.

Tabela 11 Propriedades mecânicas dos painéis cimento-madeira com inclusão de amapá

Amapá (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Compressão (MPa)	LI (MPa)
0	2890,52	3,28	5,49	0,82
25	1947,70	2,66	4,54	0,79
50	2331,21	3,24	5,56	0,79
75	2450,09	3,81	5,48	0,86
100	2565,53	3,88	5,61	0,93
F calculado	2,757 <sup>ns</sup>	2,724 <sup>ns</sup>	0,386 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>
CV (%)	16,06	15,54	23,27	11,84

e<sup>ns</sup>: valor de F calculado não significativo

Os tratamentos não apresentaram diferença estatística significativa para nenhuma das propriedades mecânicas estudadas, indicando que a inclusão de madeira de amapá à madeira de *Pinus* sp. na composição dos painéis cimento-madeira não causou diminuição dessas propriedades.

Os valores de ligação interna de todos os tratamentos estão acima do mínimo exigido pelo processo Bison Wood-Cemente Board (1978), que é de 0,4

MPa. Assim, a madeira de freijó pode ser incluída à madeira de *Pinus* sp. na composição de painéis cimento-madeira sem causar diminuição da ligação interna. No entanto, os valores mínimos de MOE e MOR exigidos pelo processo Bison Wood-Cemente Board (1978) são de 3.000 e 9 MPa, respectivamente, não tendo os painéis apresentado valores satisfatórios para estas propriedades.

Trabalhando com *Eucalyptus dunnii*, Latorraca e Iwakiri (2000) obtiveram valores de MOE para painéis com densidade nominal de 1,2 g/cm<sup>3</sup>, variando entre 1.488,2 e 4.315,3 MPa. Os valores encontrados neste trabalho estão dentro da faixa apresentada pelos autores. Estudando diferentes espécies de eucalipto, Latorraca (2000) obteve valores para MOR variando de 3,53 a 6,82 MPa. Os valores obtidos neste trabalho são similares ao limite inferior apresentado pelo autor.

## 4 CONCLUSÕES

### a) Madeira de freijó

A influência da inclusão de maiores proporções de madeira de freijó na composição dos painéis cimento-madeira ocasionou melhoras nas propriedades inchamento em espessura e MOR. No entanto, foi observado aumento da absorção de água e diminuição do MOE.

### b) Madeira de amapá

A variação do teor de madeira de amapá não afetou as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, com exceção para o IE, após 24 horas, em que somente as porcentagens de 25%, 50% e 100% obtiveram valores satisfatórios.

## **CONCLUSÕES GERAIS**

Dentre as características anatômicas avaliadas, destaque pode ser dado aos tilos encontrados para as espécies amapá e freijó, que contribuíram para o bom desempenho das propriedades físicas de painéis laminados.

Para as espécies amapá e freijó, foi observado potencial para a produção de painéis aglomerados, LVL e compensados, desde que ajustes nas variáveis de processamento sejam realizados para melhorar as propriedades físicas. No entanto, para a produção de painéis cimento madeira, a utilização dessa espécie não resultou em painéis com alta resistência mecânica.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733:** cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 14810-3:** chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro, 2006. 51 p.

BISON WOOD-CEMENT BOARD. **Bison-report**. Berlin, 1978. 10 p.

BLEZARD, R. G. **The history of calcareous cement:** lea's chemistry of cement and rete. London: Butterworth Heinemann, 2001. 22 p.

CARVALHO, J. V. **Aproveitamento de resíduos particulados da madeira de Eucalypto grandis na fabricação de compósitos à base de cimento Portland.** 2000. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

CASTRO, E. M. de. Processos de fabricação de chapas. In: GONÇALVES, M. T. T. (Ed.). **Processamento da madeira**. Bauru: USC, 2000. p. 233-236.

COATES, G. R. Product application of wood-cement particleboards including applied finishes. In: INTERNATIONAL INORGANIC-BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS CONFERENCE, 4., 1994, Washington. **Proceedings...** Madison: Forest Products Society, 1994. v. 1, p. 189-192.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: UFPR, 2005. 254 p.

LATORRACA, J. V. F. **Eucalyptus spp. na produção de painéis de cimento-madeira.** 2000. 191 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LATORRACA, J. V. F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (maid), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de chapas de madeira-cimento. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 68-76, jan./jun. 2000.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MATOSKI, A.; IWAKIRI, S. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis de cimento-madeira utilizando farinha de madeira com granulometria controlada. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 149-158, maio/ago. 2007.

MOSLEMI, A. A.; PFISTER, S. C. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 19, n. 2, p. 165-175, Apr. 1987.

OKINO, E. Y. A. et al. Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* müll. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 451-457, maio 2004.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas "OSB"**. 2004. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SANTOS, R. C. dos. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas**. 2008. 159 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SCHWARZ, H. G.; SIMATUPANG, M. H. Eignung des buchenholzes zur herstellung zementgebundener holzwerkstoffe. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 42, n. 2, p. 265-270, 1984.

SEMPLE, K. E.; CUNNINGHAM, R. B.; EVANS, P. D. The suitability of live Western Australian, mallee eucalypt species for wood-cement composites. **Industrial Crops and Products**, New York, v. 16, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 12 jan. 2011.

SILVA, G. C. et al. Produção de compósito madeira e casca de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e cimento Portland. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 59-67, ago. 2005.

SIMATUPANG, M. H.; SCHWARZ, G. H.; BRÖKER, F. W. Small plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In: **WORLD FORESTRY CONGRESS**, 8., 1978, Jakarta. **Proceedings...** Jakarta: World Forestry, 1978. p. 21.

SOUZA, M. R. **Durability of cement-bonded particleboard made conventionally and carbon dioxide injection.** 1994. 123 f. Thesis (Ph.D. in Philosophy) - University of Idaho, Idaho, 1994.

WALKER, J. C. F. **Primary wood processing:** principles and practice. London: Chapman & Hall, 1993. 416 p.