

**UFRRJ  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**Colagem de painéis OSB com adesivos à base de taninos da  
casca de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl.**

**Michel Cardoso Vieira**

**2010**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**Colagem de painéis OSB com adesivos à base de taninos  
da casca de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl.**

**Michel Cardoso Vieira**

*Sob a orientação do Professor*  
**Dr. Roberto Carlos Costa Lelis**

*e Co-orientação do Professor*  
**Dr. Edvã Oliveira Brito**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ  
Março de 2010

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**

**INSTITUTO DE FLORESTAS**

**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

MICHEL CARDOSO VIEIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 12/03/2010.

---

Roberto Carlos Costa Lelis. Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

José Tarcísio da Silva Oliveira. Prof. Dr. UFES

---

Alexandre Miguel do Nascimento. Prof. Dr. UFRRJ

**A Deus.**

**Aos meus estimados pais Roney Vieira de Sousa e Creusa Cardoso da Silva de Sousa.**

**Ao meu querido irmão Bruno Cardoso Vieira**

**A minha noiva Gisely de Lima Oliveira**

**DEDICO**

**AGRADECIMENTOS**

**À Deus, pela luz divina que ilumina os meus caminhos e me ajuda a vencer com sabedoria mais essa etapa da vida.**

**À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade.**

**A empresa Duratex pela doação das cascas de Pinus utilizada neste trabalho.**

**Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.**

**Ao Prof. Dr. Roberto Carlos Costa Lelis, que como orientador, colaborou em todos os aspectos para a realização deste trabalho, demonstrando paciência, interesse e amizade na tarefa de orientação.**

**Ao Prof. Edvã Oliveira Brito, que concedeu o Laboratório de Painéis de Madeira.**

**Ao Prof. Heber dos Santos Abreu pela cessão do Laboratório de Química da Madeira.**

**Ao Professor José Tarcísio da Silva Oliveira (UFES) pelo grande apoio, que foi decisivo para a finalização deste trabalho.**

**Ao amigo José Carlos Ferreira Batista pela valiosa colaboração que foi de fundamental importância para o processo de desenvolvimento deste trabalho.**

**Ao amigo Fabrício Gomes Gonçalves pela ajuda e experiência nesta reta final do trabalho.**

**Aos alunos de graduação Bruno, Nayara, Priscila, que colaboraram na realização deste trabalho.**

**Ao meu querido irmão pelo carinho, companheirismo, amizade e colaboração.**

**Aos meus queridos pais, minha eterna gratidão pela vida, amor, carinho e apoio moral.**

**A minha querida noiva e amiga Gisely de Lima Oliveira, que soube compreender minha ausência em algumas etapas de nossas vidas e pelo carinho.**

## RESUMO

VIEIRA, Michel Cardoso. **Colagem de painéis OSB com adesivos à base de taninos da casca de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl.** 2010. 53p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

Esse trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade de utilização dos taninos da casca de *Pinus oocarpa* como adesivo para produção de painéis OSB. Para a casca de *Pinus oocarpa* foram testadas oito formas de extração dos taninos. Após a avaliação das propriedades químicas dos extratos tânicos optou-se por empregar a extração com água destilada sob adição de 5 % de sulfito de sódio para confecção do adesivo tanino-formaldeído. Adesivo Fenol-Formaldeído e Uréia-Formaldeído foram modificados com 10% de tanino de *Pinus oocarpa* e o efeito desta adição sobre a qualidade do adesivo foi avaliado. Foram fabricados painéis OSB com adesivos de tanino de *Pinus oocarpa* (TF), de Uréia-Formaldeído (UF), Fenol-Formaldeído (FF), de UF modificado com tanino de pinus e FF modificado com tanino de pinus, utilizando dois tempos de prensagem. Os painéis foram avaliados quanto à resistência a flexão estática (MOR e MOE), resistência à tração perpendicular, (ligação interna-LI), densidade e estabilidade dimensional (inchamento em espessura – IE e absorção em água – AA). O valor médio da densidade dos painéis foi de 0,47 g/cm<sup>3</sup>. A adição de extrato tânico da casca de *Pinus oocarpa* mostrou-se adequada para a fabricação de painéis OSB tendo-se em vista os resultados obtidos para as propriedades físico-mecânicas. Os resultados mostraram também que é possível fabricar painéis com adesivo puro à base de tanino de *Pinus oocarpa*; entretanto, os painéis apresentaram baixa resistência mecânica e baixa estabilidade dimensional.

Palavras chave: polifenóis, chapas, adesão

## ABSTRACT

VIEIRA, Michel Cardoso. **Bonding of OSB with tannins adhesives from the bark of *Pinus oocarpa* Schiede ex Schtdl.**. 2010. 53p. Dissertation (Master Science in Environmental and Forestry Science). Instituto de Florestas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, RJ, 2010.

This work aimed to study the feasibility of using tannins from the bark of *Pinus oocarpa* as tannin-formaldehyde adhesive to produce OSB. For the pine-bark oocarpa were tested eight forms of extraction of tannins. After evaluation of the chemical properties of tannic extracts was decided to employ the extraction with distilled water / 5% sodium sulfite to prepare for the tannin-formaldehyde adhesive. Adhesive phenol formaldehyde and urea-formaldehyde were modified with 10% tannin *Pinus oocarpa* and the effect of this addition on the quality of the adhesive was evaluated. OSB panels were manufactured with tannin adhesives from *Pinus oocarpa* (TF), Urea-Formaldehyde (UF), Phenol-Formaldehyde (PF) of UF modified with tannin and pine tannin FF modified with pine, using two times pressing . The analysis were based on the tests of static bending, tensile strength perpendicular to surface, thickness swelling and water absorption. The average density of the panels was 0.47 g/cm<sup>3</sup>. The addition of tannic extract from the bark of *Pinus oocarpa* proved adequate for the manufacture of OSB having in view the results for the physical and mechanical properties. The results also showed that it is possible to manufacture panels with adhesive based on pure tannin of *Pinus oocarpa*, however, the panels showed low strength and low dimensional stability.

Key words: polyphenol, particleboards, adhesion

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| <b>Tabela 1.</b>  | Exemplos de algumas fontes de tanino e seus respectivos rendimentos em taninos  | 06 |
| <b>Tabela 2.</b>  | Descrição dos tratamentos para confecção dos painéis OSB.   | 22 |
| <b>Tabela 3.</b>  | Valores médios e comparação das médias para os teores de extrativos, teores de polifenóis (NS), % de taninos; de não taninos e reatividade nos diferentes tratamentos com a casca.  | 26 |
| <b>Tabela 4.</b>  | Valores médios para teor de sólidos (TS), viscosidade (VISC), tempo de formação de gel (TFG) e pH. do extrato tânico da casca de <i>Pinus oocarpa</i> , das resinas sintéticas e de suas Modificações.  | 28 |
| <b>Tabela 5.</b>  | Comparação dos valores médios da massa específica aparente dos painéis OSB fabricadas.  | 29 |
| <b>Tabela 6.</b>  | Valores médios do Inchamento em Espessura (IE) dos painéis OSB fabricados com adesivo FF, TF e FF modificado com tanino de pinus, após 2h e 24 h de imersão em água para os diferentes tratamentos.   | 30 |
| <b>Tabela 7.</b>  | Valores médios de Absorção em Água (AA) dos painéis OSB fabricados com adesivo FF, TF e FF modificado com tanino de pinus, após 2h e 24 h de imersão em água para os diferentes tratamentos.  | 31 |
| <b>Tabela 8.</b>  | Comparação dos valores médios para o Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) de corpos-de-prova dos painéis OSB fabricados com adesivos à base de taninos de <i>Pinus oocarpa</i> (TF), de Fenol-Formaldeído (FF) e Fenol-Fomaldeído modificado com tanino de pinus (FF + Tan), ensaiados à flexão estática na direção paralela e perpendicular às fibras. | 32 |
| <b>Tabela 9.</b>  | Valores médios de Ligação interna (LI) dos painéis OSB fabricados com adesivo Tanino-Formaldeído de <i>Pinus oocarpa</i> , Fenol-Formaldeído (FF) e adesivo FF modificado com tanino de pinus, para os diferentes tratamentos.  | 33 |
| <b>Tabela 10.</b> | Valores médios do Inchamento em Espessura (IE) dos painéis OSB, após 2h e 24 h de imersão em água para os diferentes tratamentos.   | 34 |
| <b>Tabela 11.</b> | Valores médios de Absorção em Água (AA) dos painéis OSB, após 2h e 24 h de imersão em água para os diferentes tratamentos.  | 34 |
| <b>Tabela 12.</b> | Comparação dos valores médios para o Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) dos painéis OSB fabricados com adesivos à base de taninos de <i>Pinus oocarpa</i> (TF), Uréia-Formaldeído (UF) e Uréia-Formaldeído modificada com tanino de pinus (TUF) ensaiados à flexão estática na direção paralela e perpendicular às fibras.                            | 36 |
| <b>Tabela 13.</b> | Valores médios de ligação interna (LI) dos painéis OSB fabricados com adesivo à base de taninos de <i>Pinus oocarpa</i> (TF), Uréia-Formaldeído (UF) e Uréia-Formaldeído modificada com tanino de pinus (TUF), para os diferentes tratamentos   | 37 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>Figura 1.</b> | Estrutura do flavonóide de tanino  | 05 |
| <b>Figura 2.</b> | Processo de geração das partículas “strands” (segundo PEREIRA, 2003)   | 20 |
| <b>Figura 3.</b> | Esquema da formação do colchão de OSB (MENDES, 2001)   | 21 |
| <b>Figura 4.</b> | Disposição dos corpos-de-prova nos painéis; MA = Massa específica aparente (50 x 50 mm); FE = Flexão Estática (250 x 50 mm); AA e IE = Absorção de Água e Inchamento em Espessura (100 x 100 mm); LI = Ligação Interna (50 x 50 mm). | 23 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....   | 1  |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....  | 2  |
| 2.1. Madeira de <i>Pinus</i> spp .....   | 2  |
| 2.1.1 <i>Pinus oocarpa</i> .....   | 3  |
| 2.2 Taninos .....  | 4  |
| 2.3 Taninos como fonte de adesivo .....  | 6  |
| 2.4 Painéis OSB .....  | 8  |
| 2.4.1 Variáveis que afetam as propriedades de painéis OSB .....  | 9  |
| 2.4.2 Dimensão e geometria das partículas .....  | 9  |
| 2.4.3 Espécies .....   | 10 |
| 2.4.4 Relação face/miolo .....   | 11 |
| 2.4.5 Densidade dos painéis .....  | 12 |
| 2.4.6 Tempo de prensagem .....   | 12 |
| 2.4.7 Quantidade de adesivo .....  | 13 |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....   | 14 |
| 3.1 Obtenção do material .....   | 14 |
| 3.2 Extração dos Taninos .....   | 14 |
| 3.3 Determinação das propriedades dos extratos .....   | 15 |
| 3.3.1 Determinação dos teores de extrativos .....  | 15 |
| 3.3.2 Caracterização química dos polifenóis (taninos) .....  | 15 |
| 3.3.2.1 Determinação dos polifenóis através da reação de Stiasny .....   | 15 |
| 3.3.2.2 Determinação da reatividade .....  | 15 |
| 3.3.3 Determinação dos teores de taninos e não-taninos .....   | 16 |
| 3.3.4 Determinação do valor pH .....   | 16 |
| 3.4 Extração em autoclave .....  | 16 |
| 3.5 Propriedades dos Extratos Tânicos da casca de <i>Pinus oocarpa</i> .....   | 16 |
| 3.5.1 Determinação da viscosidade .....  | 16 |
| 3.5.2 Determinação do teor de sólidos .....  | 17 |
| 3.5.3 Determinação do tempo de formação de gel .....   | 17 |
| 3.5.4 Determinação do pH .....   | 17 |
| 3.6 Determinação das Propriedades dos adesivos Uréia-Formaldeído (UF), Fenol-Formaldeído (FF) e de suas Modificações com Extrato Tânico da Casca de <i>Pinus oocarpa</i> ..... | 17 |
| 3.7 Fabricação dos painéis OSB .....   | 18 |
| 3.7.1 Material .....   | 18 |
| 3.7.2 Avaliação da Massa Específica Básica das árvores de <i>Pinus caribaea</i> .....  | 18 |
| 3.7.3 Geração de partículas “strands” .....  | 19 |
| 3.7.4 Secagem das partículas .....   | 20 |
| 3.7.5 Aplicação de adesivo .....   | 20 |
| 3.7.6 Preparação do colchão de partículas .....  | 21 |
| 3.7.7 Prensagem, acondicionamento e confecção de corpos-de-prova .....   | 22 |
| 3.7.8 Delineamento experimental .....  | 22 |
| 3.7.9 Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas dos Painéis .....   | 23 |
| 3.7.9.1 Avaliação da densidade aparente dos painéis .....  | 23 |
| 3.7.9.2 Ensaio de Inchamento em Espessura – IE (NBR 14810-3, 2002) .....   | 24 |
| 3.7.9.3 Ensaio de Absorção de Água – AA (NBR 14810-3, 2002) .....  | 24 |
| 3.7.9.4 Ensaio de Flexão Estática – MOE e MOR (NBR 14810-3, 2002) .....  | 25 |
| 3.7.9.5 Ensaio de Tração Perpendicular (Ligação Interna) (NBR 14810-3, 2002) .....   | 25 |
| 3.7.10 Análise estatística .....   | 26 |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....  | 26 |
| 4.1. Avaliação dos teores de extrativos, das propriedades químicas, dos teores de taninos e de não-taninos da madeira de <i>Pinus oocarpa</i> .....                            | 26 |
| 4.2. Avaliação das Propriedades dos extratos tânicos da casca de <i>Pinus oocarpa</i> , dos adesivos sintéticos e de suas modificações .....                                   | 27 |
| 4.3 Massa Específica básica da madeira de <i>Pinus</i> .....   | 29 |
| 4.4 Avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB .....   | 29 |
| 4.4.1 Avaliação da Massa Específica Aparente dos Painéis .....   | 29 |
| 4.4.2 Painéis fabricados com adesivo Fenol-Formaldeído (FF), Tanino-Formaldeído de <i>Pinus oocarpa</i> e adesivo FF modificado com tanino de pinus .....                      | 30 |
| 4.4.2.1 Avaliação do Inchamento em Espessura (IE) e Absorção de Água (AA) .....  | 30 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.4.2.2 Avaliação da flexão estática (MOR e MOE) e tração perpendicular ao plano dos painéis (Ligação Interna – LI) fabricados com adesivo Fenol-Formaldeído (FF), Tanino-Formaldeído de <i>Pinus oocarpa</i> e adesivo FF modificado com tanino de pinus.....  | 32        |
| 4.4.3 Painéis fabricados com adesivo Uréia-Formaldeído (UF), Tanino-Formaldeído de <i>Pinus oocarpa</i> e adesivo UF modificado com tanino de pinus .....   | 34        |
| 4.4.3.1 Avaliação do Inchamento em Espessura (IE) e Absorção de Água (AA).....  | 34        |
| 4.4.3.2 Avaliação da flexão estática (MOR e MOE) e tração perpendicular ao plano dos painéis (Ligação Interna – LI) fabricados com adesivo Uréia-Formaldeído (UF), Tanino-Formaldeído de <i>Pinus oocarpa</i> e adesivo UF modificado com tanino de pinus ..... | 35        |
| <b>5. CONCLUSÕES .....</b>  | <b>37</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>38</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>47</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Na indústria de painéis de madeira são empregados principalmente os adesivos sintéticos Uréia-Formaldeído (UF) e Fenol-Formaldeído (FF). Os adesivos à base Uréia-Formaldeído (UF) são ainda hoje os mais utilizados na indústria madeireira, porém, apresentam resistência à umidade muito limitada (ROFFAEL, 1982).

Com o crescente emprego de painéis de madeira em áreas exteriores, tornou-se necessário utilizar novos adesivos, que suportassem condições climáticas extremas. Para esse fim, os adesivos à base de Fenol-Formaldeído apresentaram bons resultados. Apesar dos painéis produzidos com adesivos fenólicos serem resistentes à umidade, o alto custo do fenol após a crise do petróleo motivou novas pesquisas, a fim de se encontrar matérias-primas alternativas para a produção de adesivos resistentes à umidade. Dentre os novos materiais surgiram os isocianatos e os adesivos de tanino (SAMLAIK, 1983; DEPPE & ERNST, 1971).

Nos países em desenvolvimento, o custo do adesivo é muito alto em relação ao custo total das chapas, uma vez que quase todas as matérias-primas para fabricação de adesivos são oriundas de derivados do petróleo. Segundo Deppe & Ernst (1991) um fabricante de aglomerados no Brasil tem que pagar duas ou três vezes mais pela resina sólida fenol do que um fabricante da Europa ocidental. Nesse esforço estão em primeiro plano as resinas obtidas de matérias-primas naturais. Pesquisas que visam substituir em parte ou totalmente os atuais adesivos sintéticos são fundamentais para que se possa produzir a um custo menor.

Dentre os materiais pesquisados para substituição das resinas sintéticas na fabricação de painéis de madeira, destaca-se o tanino, polifenol obtido de várias fontes renováveis, como por exemplo, da casca de acácia negra (*Acacia mearnsii*), *Pinus radiata* e da madeira do cerne de quebracho (*Schinopsis sp*). O tanino é substância amplamente distribuída entre as plantas; na casca de algumas espécies a concentração pode atingir até 40%, permitindo assim a sua exploração comercial (Pastore Junior, 1977). Os taninos são utilizados para curtir couro desde a Antigüidade; contudo, sua utilização para fabricação de adesivos é recente. Porém, em alguns países, tais como Austrália e África do sul, os taninos são utilizados como adesivos em escala comercial (Pizzi, 1983).

O interesse no emprego de polifenóis naturais (taninos) como adesivos em chapas de madeira aglomerada e compensados vem crescendo efetivamente desde a década de oitenta. Isso se dá, entre outras coisas, em razão da grande rapidez com que os polifenóis se ligam ao formaldeído, possibilitando, assim, a sua utilização na indústria de chapas de madeira aglomerada e compensados sob condições normais de colagem e prensagem (Prasetya & Roffael, 1991).

O tanino vem sendo utilizado industrialmente em vários países da Europa como Alemanha e Finlândia (ROFFAEL & DIX, 1989). As colas de Tanino-Formaldeído são também amplamente utilizadas na África do sul e Austrália na fabricação de chapas de madeira aglomerada (PIZZI & STEPHANOU, 1994; AYLA & WEISSMANN, 1982).

No Brasil, trabalhos envolvendo taninos como adesivo para madeira foram iniciados no final da década de setenta e início de oitenta (COPPENS, 1979; COPPENS et al., 1980; SANTANA et al., 1979, 1981). Entretanto, somente recentemente esse tema obteve destaque novamente (GONÇALVES, 2000; TOSTES, 2003; MORI et al., 1999, 2000).

Dentre as espécies botânicas, o gênero *Pinus* possui grande potencial para exploração de taninos, uma vez que é muito difundido nos reflorestamentos pelo Brasil. Segundo a SBS (2007), estima-se que aproximadamente 3 mil empresas no Brasil utilizam madeira de pinus em seus processos produtivos, concentrando-se nos seguintes produtos: indústria de madeira serrada, celulose e papel e painéis (compensados, MDF e OSB). A casca de pinus é um resíduo para a maioria das indústrias madeireiras, trazendo problemas de descarte de ordem

ambiental e econômica. Várias toneladas de resíduo de casca são produzidas anualmente pelas indústrias que consomem madeira de reflorestamentos (BORGES et al., 1993).

Um possível uso alternativo para essas cascas seria a extração de taninos para produção de adesivos de madeira, sendo que o resíduo obtido depois da extração poderia ser queimado para geração de energia.

No Brasil, trabalhos envolvendo taninos de pinus ainda são incipientes. Possivelmente, o primeiro trabalho que abordou taninos de pinus no Brasil foi o de FERREIRA (2004) que trabalhou com oito espécies de Pinus plantados no Brasil. A autora mostrou que *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* apresentaram potencial para fornecimento de taninos para colagem de madeira.

O Setor de painéis de madeira reconstituída vem atravessando uma fase de amplo crescimento. Dentre os painéis de madeira reconstituída, encontram-se os painéis OSB (Oriented Strand Board). Os painéis OSB são produzidos de partículas de madeira do tipo “strand” (tiras), orientadas numa direção durante o processo de deposição e consolidadas através de prensagem à quente (MENDES et al., 2000). No Brasil, esses painéis estão em fase de consolidação de mercado, com perspectivas animadoras, tendo em vista sua aplicação nas indústrias de construção civil, de embalagens e na indústria moveleira (IWAKIRI et al., 2003; OKINO et al., 2009). Segundo dados da SBS (2008), a produção de OSB em 2007 no Brasil foi de 350.000 m<sup>3</sup>, número relativamente baixo quando comparado com a produção de aglomerados (2.600.000 m<sup>3</sup>) e MDF (1.850.000 m<sup>3</sup>). Esses números colocam o Brasil como líder na América Latina em termos de produção. A produção de OSB está concentrada nos Estados Unidos e Canadá, sendo que o consumo mundial em 2006 foi de 30 milhões de m<sup>3</sup>. (INGEMPRO, 2010)

O objetivo geral desse trabalho foi desenvolver adesivo à base de tanino de *Pinus oocarpa* para ser utilizado na colagem de painéis OSB. Os objetivos específicos foram:

- Verificar, através de otimização das condições de extração com bisulfito de sódio e sulfato de sódio, a melhor forma de extração dos taninos da casca;
- Avaliar as propriedades de colagem dos taninos obtidos;
- Avaliar a viabilidade de misturas de adesivos Uréia-Formaldeído (UF) e Fenol-Formaldeído (FF) com taninos da casca nas proporções 90:10; 80:20 e 70:30;
- Avaliar as propriedades de painéis OSB fabricados com adesivos UF e UF modificado com tanino de *Pinus oocarpa* - TUF (Tanino-Uréia-Formaldeído);
- Avaliar as propriedades de painéis OSB fabricados com adesivos FF e FF modificado com tanino de *Pinus oocarpa* - TFF (Tanino-Fenol-Formaldeído);
- Avaliar as propriedades de painéis OSB fabricados com adesivo puro de tanino de *Pinus oocarpa* (TF).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Madeira de *Pinus spp*

As plantas do gênero *Pinus* pertencem à família Pinaceae da ordem Pinales. A família Pinaceae compreende árvores resinosas ou raramente arbustos, com nove gêneros e 225 espécies encontradas em grande parte, em regiões temperadas do hemisfério norte (MBG, 2009). As primeiras espécies que se destacaram no Brasil foram *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, importadas dos Estados Unidos e plantadas no Sul do país. A partir dos anos sessenta, teve início as experimentações com espécies tropicais como *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa*, *Pinus patula*, entre outras, possibilitando a expansão da cultura no país através da utilização de espécies mais adequadas para cada região (SHIMIZU, 2005).

Hoje, no país, existe grande área reflorestada com pinus e o desenvolvimento de

tecnologias de utilização da sua madeira, juntamente com ampliação de alternativas de uso, contribuiu pelo aumento da procura de sua madeira (MEDRADO, 2005, citado por ARRUDA, 2009). Segundo SILVA (2003), existem no país 4,6 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 1,7 milhões do gênero *Pinus*.

A madeira de pinus é de cor clara, variando de branca a amarelada, com coeficiente de anisotropia entre médio e baixo (1,6 a 2,0) e sua madeira é utilizada na confecção de embalagens, tábuas, ripas, caibros, estacas, sarrafos, móveis, batentes etc (SINCOL, 2008), mas também na indústria de celulose e papel, de painéis de madeira reconstituída. Hoje, no Brasil, para se produzir os painéis OSB são utilizados 100% de pinus reflorestados (SBS, 2008).

Os pinus de origem tropical vêm sendo utilizados na fabricação de painéis de madeira aglomerada e de OSB devido às boas propriedades mecânicas obtidas (IWAKIRI et al., 2001). Em razão de sua baixa massa específica, consegue-se uma maior taxa de compactação, o que melhora as propriedades mecânicas (MOSLEMI, 1974).

Segundo a SBS (2008), a produção de madeira serrada de pinus foi de 9,3 milhões de m<sup>3</sup> em 2007 e a de madeira tropical foi de 17,9 milhões de m<sup>3</sup>. Porém, nos últimos anos, a produção de madeira serrada tropical cresceu somente 0,8 %, ao contrário da madeira serrada de pinus, que cresceu 6,2 % ao ano, no mesmo período.

### **2.1.1 *Pinus oocarpa***

Pinheiro nativo do México e América Central, *Pinus oocarpa* está inserido entre os denominados pinheiros tropicais. Também conhecido como "ocote pine" nos Estados Unidos e "pino ocote" nas regiões de origem, *P. oocarpa* compartilha mais de 45 % das florestas naturais da região de Chiapas no México, 50 % das florestas da Guatemala, 66 % das de Honduras e 90 % das da Nicarágua e de El Salvador. É um pinheiro considerado bastante adaptável a diferentes condições climáticas visto que o seu habitat natural varia desde clima temperado-seco, com precipitação entre 500 mm e 1.000 mm até subtropical úmido, com precipitação em torno de 3.000 mm anuais. Sua grande abrangência, ou seja, a dispersão natural da espécie ocorre em uma região muito extensa. Pode ser encontrado em distintas altitudes, de 300 a 2500 m, e se desenvolve em diferentes tipos de solo (LORENZI & SOUZA, 2005).

O *P. oocarpa* tem melhor crescimento em solos argilo-arenosos bem drenados e moderadamente ácidos (pH entre 4,0 e 6,5). A sua madeira é moderadamente dura e resistente, de alta qualidade para produção de peças serradas para construções e confecção de chapas. Além de madeira, *P. oocarpa*, também, produz resina em quantidade viável para extração comercial. Esta espécie produz muitas sementes, o que facilita a expansão dos seus plantios. Em locais de baixa altitude ou na planície costeira, esta espécie apresenta crescimento lento, com má forma de fuste, além de se tornar suscetível a várias doenças. Morfologicamente, essa espécie de pinheiro pode ser identificada através das coroas irregulares, casca grossa, cinza e plana. Seus cones possuem forma ovóide e apresentam pedúnculos grandes e espessos, geralmente em grupos de cinco. As árvores de *P. oocarpa* apresentam porte médio-grande em sua região de origem, podendo chegar a 35 metros de altura. A taxa anual de desenvolvimento sob estas condições naturais varia de 3-4 m<sup>3</sup>/ha. Em locais mais secos e com solos mais pobres o desenvolvimento e a altura das árvores diminui drasticamente. Apresenta cerne marrom-avermelhado, distinto do alburno amarelo-pálido

marrom. O cerne é classificado como muito durável de resistência ao ataque de fungos de podridão branca e moderadamente durável quando exposta a uma podridão parda. A madeira não resiste bem sem a proteção de pintura ou outros revestimentos. A madeira é fácil de trabalhar com a mão e ferramentas sendo utilizada na área de construção. É utilizada como piso, caixa de engradado de madeira e postes, dormentes (quando tratada). Pode ser utilizada na serraria, principalmente para a produção de caixas. Também tem utilidade para a extração de resina. É uma das espécies de pinheiro tropical mais plantadas nas zonas quentes do Brasil, tendo produtividade de 15-25 m<sup>3</sup>/ha.ano e densidade básica variando entre 0,38 a 0,45 g/cm<sup>3</sup> conforme a idade da colheita da floresta e do tipo de manejo (CWAR, 2010).

São poucos os trabalhos que tratam da utilização da madeira na fabricação de painéis. IWAKIRI et al (2001) testaram a madeira de *Pinus oocarpa*, com 10 anos, como matéria-prima para fabricação de aglomerados, obtendo resultados muito bons nas propriedades dos painéis. MENDES et al (2002) avaliaram diferentes espécies de pinus plantadas no sul do Brasil, entre elas, *Pinus oocarpa*, para fabricação de OSB. Os autores produziram painéis de excelente qualidade, que atenderam a todas as especificações mínimas na norma canadense CSA 0437.0

## 2.2 Taninos

Taninos são compostos polifenólicos de alto peso molecular, utilizados para diferentes finalidades, como por exemplo, para curtimento de couro e produção de adesivos (MORI et al., 2000). Segundo GNAMM (1933), os taninos compreendem um grupo de substâncias que ocorrem em diversas plantas superiores, em diferentes quantidades e que têm o poder de transformar pele animal em couro. O processo é devido à associação dos grupos hidroxilas dos taninos com as ligações peptídicas dos aminoácidos presentes na proteína animal chamado colágeno (HASLAM, 1966). Além da ação tanante, as soluções de tanino possuem outras finalidades, como por exemplo, fabricação de azulejos e pisos; facilitar perfurações de poços petrolíferos; ter ação dispersante e desfloculante; entre outras (POSER & GOSMAN, 1990).

De acordo com KHAN & ZAMAN (1961), a utilização de taninos em artefatos de couros remonta à antiguidade, considerando que os arqueólogos encontraram artigos em couro datados de 10.000 AC, mostrando traços de taninos. Segundo POURRAT (1980), somente a partir do final do século XVII que os taninos tiveram uma atuação especial para esta finalidade.

Segundo PIZZI (1983), o termo “tanino” tem sido usado freqüentemente para definir duas classes diferentes de compostos químicos de natureza fenólica, ou seja, os taninos hidrolisáveis e os taninos condensáveis. Para METCHE (1980), os taninos hidrolisáveis podem ser considerados como poliésteres da glucose, podendo ser classificados em duas categorias: (a) os galotaninos, que por hidrólise ácida liberam o ácido gálico e seus derivados; (b) os elagitaninos, que por hidrólise liberam o ácido elágico, ácido valônico, sendo o ácido elágico o mais importante. Numa linguagem genérica, PIZZI (1983), afirma que os taninos condensados consistem de unidades de flavonóides, denominados de flavan-3-ols (catechin) e flavan 3-4 diols (leucoantocyanidins). Apresentam diferentes graus de condensação (dependem do tipo e da origem do tanino), não sofrem hidrólise e se precipitam com formaldeído e ácido clorídrico, segundo a reação de Stiasny (WISSING, 1955).

De acordo com HEMINGWAY (1978), as plantas apresentam uma habilidade natural de defesa contra os seus inimigos naturais e esta capacidade de defesa estaria ligada a presença dos taninos. Os taninos hidrolisáveis seriam responsáveis pela defesa das plantas

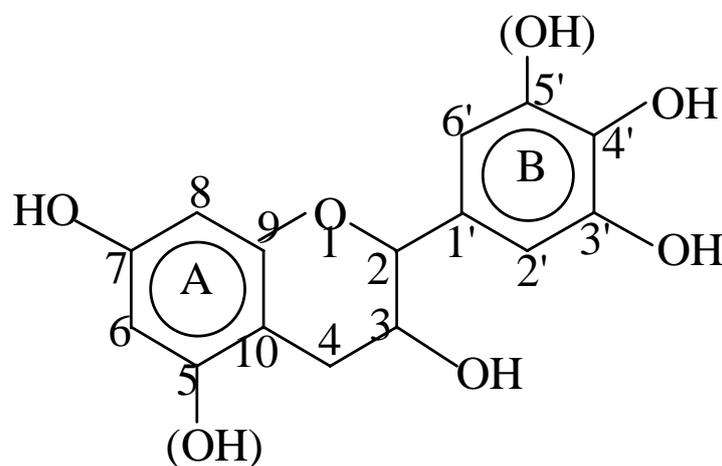
contra os herbívoros e os taninos condensáveis iriam assegurar a defesa contra microorganismos patogênicos (ZUCKER, 1983). Quanto à ação dos taninos hidrolisáveis sobre os herbívoros, METCHE (1980) relatou que estes compostos estariam implicados no processo digestivo destes animais, dificultando-o em decorrência da complexação dos taninos com certas proteínas ligadas a produção de enzimas digestivas.

Os taninos são substâncias polifenólicas que aparecem em quase todas as plantas superiores em diferentes quantidades. Os taninos são obtidos geralmente da madeira e da casca de certas folhosas, já que as coníferas, com exceção de suas cascas, apresentam pequena quantidade de tanino. Na casca de *Picea abies* pode-se encontrar até 15% de tanino. Em algumas espécies provenientes de manguezais, o teor pode chegar a 35% e no caso de madeira de quebracho (*Schinopsis balance* Engl.), o teor de tanino varia de 30% a 35% (ROFFAEL & DIX, 1994). WEISMANN & AYLA (1980), trabalhando com cascas de coníferas extraídas com água quente, encontraram teores de extrativos de 25% a 30%, sendo que esses extratos apresentaram também altos teores de tanino.

Em algumas espécies de pinus, os polifenóis podem aparecer na forma de flobafenos, forma esta altamente condensada e insolúvel em água. Na literatura há informações de que a casca pode conter também grande quantidade de componentes não fenólicos (DIX & MARUTZKY, 1982). Segundo ROUX et al.(1975), na extração da casca com soluções alcalinas fracas ou na presença de sulfito e bisulfito, os anéis piranos dos polifenóis são em parte separados através da formação e deposição de grupos carboxílicos e ácidos sulfônicos. Com isso, a solubilidade dos flobafenos é aumentada consideravelmente.

Dentre os dois tipos de taninos, os mais importantes são os condensados, que geralmente se apresentam como polímeros, tendo um grau de condensação médio variando de 4 a 12 unidades flavonóides.

A Figura 1 mostra a estrutura flavonóide que constitui o principal monômero dos taninos condensados (PIZZI & MITTAL, 1994).



**Figura 1.** Estrutura do flavonóide de tanino

O anel A da Figura 1 pode ser resorcinólico ou floroglucinólico. É resorcinólico quando apresenta uma hidroxila no C<sub>7</sub> e é floroglucinólico quando apresenta duas hidroxilas, uma no C<sub>5</sub> e outra no C<sub>7</sub> (KEINERT & WOLF, 1984). O anel B é do tipo catecol quando possui duas hidroxilas ligadas, respectivamente, aos carbonos 3' e 4', e o anel B é pirogallol quando possui hidroxilas ligadas aos carbonos 3', 4' e 5'. Em alguns taninos pode ocorrer o anel B fenólico, que possui apenas uma hidroxila ligada ao carbono 3'.

Os taninos condensados são utilizados como substitutos de resinas sintéticas devido a

sua característica de condensar-se com formaldeído, formando assim um polímero (GONÇALVES & LELIS, 2000). Os extrativos da casca de acácia negra e da madeira do quebracho são os mais importantes taninos condensados produzidos industrialmente. Os taninos condensados constituem mais de 90 % da produção mundial de taninos comerciais ultrapassando a marca de 350.000 t/ano (GUANGCHENG et al.,1991).

Na Tabela 1 são mostradas algumas fontes de taninos e seus respectivos rendimentos em taninos em percentagem.

**Tabela 1.** Exemplos de algumas fontes de tanino e seus respectivos rendimentos em taninos

| Família        | Espécie                                  | Rendimento (%) |
|----------------|--|----------------|
| Myrtaceae      | <i>Eucalyptus astringens</i> (casca)     | 40 – 50        |
|                | <i>Eucalyptus wandoo</i> (casca e cerne) | 12-15          |
| Leguminosae    | <i>Acacia catechu</i> (cerne)            | 15             |
|                | <i>Acacia mearnsii</i> (casca)           | 35 – 40        |
| Anacardiaceae  | <i>Schinopsis balansae</i> (cerne)       | 20 – 25        |
|                | <i>Schinopsis lorentzii</i> (cerne)      | 16 – 17        |
| Rhizophoraceae | <i>Rhizophora candelaria</i> (casca)     | 25 –30         |
|                | <i>Rhizophora mangle</i> (casca)         | 20 – 30        |
| Pinaceae       | <i>Picea abies</i> (casca)               | 5 – 20         |
|                | <i>Pinus sylvestris</i> (casca)          | 16             |
|                | <i>Larix decidua</i> (casca)             | 5 – 20         |

Fonte: HASLAM (1966).

### 2.3 Taninos como fonte de adesivo

Desde a década de oitenta o interesse no emprego de polifenóis naturais (taninos) como adesivos em chapas de madeira aglomerada e compensados vem crescendo efetivamente. Isso ocorre em razão da grande rapidez com que os polifenóis se ligam ao formaldeído, possibilitando, assim, a sua utilização na indústria de painéis de madeira sob condições normais de colagem e prensagem (PRASETYA & ROFFAEL, 1991). A reação do tanino com o formaldeído se apresenta como fundamento para o seu emprego como adesivo, já que assim surgem policondensados de alto peso molecular. Com as resinas à base de Tanino-Formaldeído (TF) podem ser fabricadas chapas de madeira aglomerada com boas propriedades tecnológicas (ROFFAEL & DIX, 1994) e pode-se conseguir uma colagem resistente à umidade. Dessa forma, é possível o emprego do painel fabricado com tanino em áreas exteriores.

De modo geral, os taninos hidrolisáveis não apresentam importância na fabricação de adesivos, ao contrário dos taninos condensados. Mais de 90% dos taninos obtidos industrialmente são taninos condensados. As unidades de flavonóides que compõem os taninos condensados são de diferentes estruturas e graus de condensação. Os taninos se apresentam em geral como polímeros e o grau de condensação médio varia de 4 a 12 unidades flavonóides. Entretanto, o grau de condensação depende do tipo e da origem do tanino e tem uma grande influência na viscosidade da solução de extrativos e no entrelaçamento das unidades de tanino (DIX & MARUTZKY, 1982).

Uma pressuposição importante para o emprego de extrativos vegetais como adesivo para painéis de madeira é seu teor de componentes fenólicos reativos. Na determinação do teor de polifenóis emprega-se a reação de Stiasny, isto é, a precipitação dos taninos do tipo flavanol através de condensação com formaldeído em meio ácido.

A utilização dos extratos como adesivo só é possível se houver uma reação dos mesmos com um produto ligante (formaldeído, por exemplo), já que eles próprios não apresentam nenhuma capacidade de ligação. O formaldeído prende-se aos átomos de carbono do anel A sob a formação de grupos metilol. Esses grupos metilol são capazes de reagir promovendo a ligação entre as moléculas de tanino através da formação de grupos metilênicos (DIX & MARUTZKY, 1987).

Para obtenção de composições adesivas, os taninos condensados são normalmente misturados com paraformaldeído, formaldeído ou hexametilenotetramina. Até o momento da colagem, os taninos são estocados sob a forma de pó ou suspensões aquosas concentradas, permanecendo não reativos até que seja feita a mistura com o agente ligante ou endurecedor.

Além da reatividade, o grau de condensação dos taninos apresenta uma grande importância na fabricação de adesivos, já que influencia a viscosidade da solução e a ligação (entrelaçamento) das moléculas de tanino. O grau de condensação varia para as diferentes espécies sendo também influenciado pela idade e local de crescimento das árvores.

A qualidade da colagem com taninos é influenciada pelos componentes químicos não fenólicos presentes nos extrativos como açúcares, aminoácidos, pectinas, etc. (WEISSMANN, 1985; HILLIS, 1981). Esta qualidade também é influenciada pelos produtos químicos utilizados na extração (GONÇALVES, 2000).

Os componentes não fenólicos, principalmente as gomas, podem influenciar a viscosidade da resina de tanino-formaldeído e as propriedades ligantes do adesivo (HILLIS, 1981). De acordo com HEMINGWAY (1978), o processo de colagem piora com o aumento do teor de carboidratos no extrativo da casca.

A caracterização de adesivos de bases sintéticas ou naturais se dá pela determinação da viscosidade e do tempo de formação de gel. Normalmente, a viscosidade de soluções de tanino é bem maior do que a viscosidade de resinas fenólicas de mesma concentração. O tempo de formação de gel é uma medida que expressa a velocidade de cura da resina, ou seja, a velocidade de formação de ligações tridimensionais que tornam a estrutura polimérica rígida. Sendo assim, é uma medida importante para se conhecer a vida útil da mistura de adesivos.

Abaixo, estão relacionadas algumas vantagens da utilização de resinas à base de Tanino-Formaldeído:

- Algumas resinas à base de Tanino-Formaldeído, como por exemplo, Tanino-Quebracho-Formaldeído, podem endurecer mais rápido do que a resina alcalina Fenol-Formaldeído. Dessa forma a capacidade de produção na fabricação de painéis é aumentada;
- As resinas Tanino-Formaldeído endurecem em meio levemente alcalino. Assim, os materiais de madeira colados com a resina não contêm quase nenhum álcali;
- Na fabricação de chapas de madeira aglomerada, as partículas não precisam estar totalmente secas. Elas podem apresentar um teor de umidade entre 7 a 8% e isso significa economia de energia na secagem;
- Os taninos são produtos naturais existentes em grande quantidade.

## 2.4 Painéis OSB

OSB (Oriented Strand Board) é um painel de madeira colado com adesivos sintéticos, fabricado em três camadas com partículas de madeira “strands” (partículas longas, largas e finas). Nas camadas externas, as partículas estão dispostas longitudinalmente em relação ao comprimento da placa, enquanto que na camada interna estão dispostas perpendicularmente às camadas externas.

O OSB é um material que permite a sua utilização em um sistema de construção utilizado no mundo todo, tanto para residências de alto padrão quanto para casas populares. A engenharia de OSB foi concebida para oferecer resistência mecânica superior, grande durabilidade e excelente trabalhabilidade. Abaixo, são apresentadas algumas vantagens que o OSB oferece: - sem espaços vazios em seu interior, - sem problemas de nó solto como na madeira, - sem problemas de laminação, - resistente ao impacto, - excelente propriedade isolante, - espessura calibrada, - atrativo para arquitetos e decoradores e preço competitivo (OSB, 2010).

De acordo com CLOUTIER (1998), o painel OSB evoluiu a partir de um painel também estrutural, conhecido como Waferboard que foi introduzido no mercado por volta de 1962. Os painéis de OSB diferem dos waferboard principalmente em relação ao tamanho das partículas, sendo estes constituídos de partículas mais longas e mais estreitas que os waferboards. Outra diferença é o processo de formação do colchão, onde os waferboards são formados através da deposição aleatória das partículas, enquanto que em OSB as partículas são alinhadas transversalmente em várias camadas, de modo que estas sejam perpendiculares entre si.

A produção comercial de OSB iniciou-se no Canadá, especificamente na região dos Grandes Lagos, conhecida pela abundância de aspen (*Populus spp*). Entretanto, a indústria se expandiu pelos Estados Unidos, ganhando notoriedade mundial (WANG & WINISTORFER, 2000).

O OSB é fabricado com madeira de reflorestamento, seguindo tendência de outros tipos de painéis, como MDF (Medium Density Fiberboard), contribuindo para diminuição da pressão sobre remanescentes de florestas nativas (GOUVEIA et al., 2000). Além disso, podem ser obtidos a partir de madeiras provenientes de desbastes, de troncos finos e defeituosos, bem como de espécies de menor valor comercial, ao contrário dos compensados que requerem toras de alta qualidade para a sua manufatura (WALKER, 1993).

Segundo a norma EN 300, os painéis OSB são classificados da seguinte forma:

- OSB/1: Painéis para usos gerais e para componentes interiores (incluindo mobiliário) utilizados em ambiente seco;
- OSB/2: Painéis para fins estruturais utilizados em ambiente seco;
- OSB/3: Painéis para fins estruturais utilizados em ambientes úmidos;
- OSB/4: Painéis para fins estruturais especiais utilizados em ambientes úmidos

No final da década de noventa, a produção de OSB estava concentrada basicamente nos EUA e Canadá, sendo estes países responsáveis por cerca de 95 % da produção mundial (TOMASELLI, 1998). No Brasil, a produção de OSB iniciou-se somente em 2002, com capacidade estimada em 200.000 m<sup>3</sup>/ano (JUVENAL & MATTOS, 2002). Segundo dados da SBS (2008), a produção brasileira atual está em torno de 350.000 m<sup>3</sup>.

### 2.4.1 Variáveis que afetam as propriedades de painéis OSB

Por ser formado em camadas, vários parâmetros podem ser controlados no processo de manufatura do OSB. Os mais importantes são: densidade do painel; geometria de partículas e sua orientação; proporção da orientação de partícula em camadas face - miolo; conteúdo de umidade do colchão; quantidade de resina e parafina e tempo de prensagem. Mesmo com as variações destes parâmetros, o aumento da resistência do painel provém da orientação paralela das partículas. Abaixo, são apresentadas algumas variáveis que afetam as propriedades de painéis OSB.

### 2.4.2 Dimensão e geometria das partículas

A geometria das partículas apresenta interação direta com a área de contato entre as partículas e o consumo relativo de adesivo. As variações nas dimensões das partículas possibilitam a produção de diferentes tipos de painéis com propriedades adequadas para aplicações específicas (IWAKIRI, 2005).

MALONEY (1993) cita que a geometria de partículas é a mais importante variável de processamento que afeta as propriedades de painéis OSB. A razão de esbeltez influencia diretamente no aumento de resistência à flexão estática do painel OSB. Porém, o aumento na espessura das partículas, mantendo-se o comprimento constante, favorece o aumento de disponibilidade de adesivo por unidade de área superficial para um mesmo teor de adesivo, resultando em maiores valores de Ligação Interna (LI).

IWAKIRI et al. (2009) avaliaram a influência da espessura de partículas (0,4; 0,7 e 1,0 mm) e reforço laminar nas propriedades de painéis OSB de *Pinus taeda* L. Os autores verificaram que o aumento da espessura das partículas contribuiu para incremento dos valores de LI dos painéis e diminuição nos valores de MOR e MOE.

OKINO et al. (2008) citam que a razão de esbeltez para painéis estruturais de três camadas pode variar de 120 a 200 para partículas de camadas externas e de 60 para partículas de camada interna do painel. Esse índice influencia significativamente a qualidade dos painéis em termos das propriedades mecânicas e dimensionais, qualidade de acabamento e usinabilidade.

As dimensões e o formato das partículas de madeira contribuem significativamente para as determinadas propriedades de alguns painéis. O formato das partículas tornou-se altamente importante por maximizar as propriedades dos produtos e minimizar os custos - partículas finas geram boas propriedades estruturais (WALKER, 2006).

Segundo MOSLEMI (1974), partículas mais longas e mais finas, todas iguais, produzem um painel com resistência à flexão e estabilidade dimensional elevadas, enquanto que partículas mais curtas e mais espessas produzem um painel com resistência à flexão e estabilidade dimensional mais baixas. CLOUTIER (1998) afirma que a geração de partículas “strand” (longas e estreitas) no processo de produção de OSB é uma das fases mais importantes, uma vez que a geometria destas partículas é determinada.

As dimensões e a geometria das partículas são fatores que determinam o grau de orientação, este afetando fortemente o Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR). Além desses dois fatores interagirem na orientação das partículas dos painéis, o grau de alinhamento das partículas depende da esbeltez (razão comprimento/espessura) (SOBRAL FILHO, 1981).

GEIMER (1976) relata que o comprimento e a largura das partículas são os mais

importantes parâmetros no controle do grau de orientação. A altura de queda das partículas e a distância entre os pratos ou lâminas do orientador, também são fatores que afetam significativamente a orientação das partículas.

As indústrias canadenses utilizam geometrias diferentes na face e no miolo, sendo a face composta por partículas com 25 mm de largura, 120 a 150 mm de comprimento e 0,5 mm de espessura, enquanto que no miolo as partículas apresentam 19 a 25 mm de largura, 100 a 120 mm de comprimento e 0,5 a 0,8 mm de espessura (CLOUTIER, 1998).

MENDES (2001) trabalhando com três larguras de partículas (15, 20 e 25 mm), observou que as diferentes larguras não influenciaram os Módulos de Elasticidade e Ruptura em flexão estática, na direção perpendicular das fibras, sendo que no sentido paralelo ocorreu uma tendência de aumento do MOE e MOR com a diminuição da largura das partículas. O autor concluiu que esta faixa de largura das partículas não influencia as propriedades de flexão.

MENDES et al. (2000) produzindo painéis OSB de *Pinus taeda* interagindo com três diferentes larguras e dois tipos de painéis (homogêneos e heterogêneos), concluíram que os painéis de três camadas, os heterogêneos, apresentaram valores estatisticamente maiores de Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) em relação aos painéis homogêneos. Os autores atribuíram este resultado à orientação das partículas na face dos painéis heterogêneos.

### 2.4.3 Espécies

De todas as variáveis presentes no processo de produção de painéis, a espécie a ser utilizada é uma das mais importantes. Esta variável interage com todas as outras no processo de produção, determinando o quanto o painel pode ser reduzido em massa específica (MENDES et al., 2002). A espécie é refletida no tipo de matéria-prima disponível, controlando também o tipo de partícula que pode ser produzida economicamente. Entretanto, algumas espécies já requerem um controle da umidade matriz mais preciso nas partículas, em decorrência de estouro, ou separação de camadas durante a prensagem final do painel. Na produção de painéis de partículas em camadas, algumas espécies fornecem partículas mais adequadas para se obter uma superfície final bem lisa (MALONEY, 1993).

As espécies florestais utilizadas também exercem influência sobre o tempo de prensagem. Suas características anatômicas particulares estão presentes nas partículas que são submetidas à condição de compressão, o que influi na resistência oferecida à compactação sob condições de pressão e temperatura (MATOS, 1988).

Desde o início das indústrias de painéis de partículas orientadas (OSB), somente algumas espécies de madeira têm sido utilizadas em grandes quantidades para a produção comercial. O impacto fundamental da utilização de espécies no processo do material (excluindo a química da superfície da madeira e os efeitos de ligação) é que a densidade das espécies afeta a pressão, ou seja, a força do colchão durante a prensagem à quente, resultando em mudanças na distribuição da densidade vertical e tendo assim um considerável impacto na confecção do painel (WANG & WINISTORFER, 2000).

Espécies com baixo teores de extrativos são mais adequadas para a produção de OSB. Em geral, espécies com altos teores de extrativos são propensas a estouros no final do ciclo de prensagem. Os extrativos podem interferir na cura da resina, e resultar numa linha de cola de baixa resistência entre as partículas (CLOUTIER, 1998).

WANG & WINISTORFER (2000) trabalhando com painéis OSB produzidos com madeira de pinus e de aspen (*Populus spp*), observaram que os painéis produzidos com madeira de aspen apresentaram maiores valores de IE. Essa diferença nos valores de IE entre as duas espécies foi atribuída à menor densidade da madeira de aspen em relação à de pinus,

resultando em uma maior razão de compactação dos painéis. Os autores concluíram também que os dois gêneros podem ser misturados ou alterados em face/miolo sem prejuízo na qualidade dos painéis.

IWAKIRI et al. (2004) utilizaram seis espécies de *Eucalyptus* para fabricação de painéis OSB com 6 % de adesivo FF e encontraram altos valores para as propriedades mecânicas. Por exemplo, para painéis fabricados com *Eucalyptus grandis*, os valores médios de LI, MOR e MOE foram de 0,57 Mpa, 5594MPa e 40,6 MPa, respectivamente.

GOUVEIA et al. (2003) avaliaram as propriedades de painéis OSB a partir de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* e observaram que painéis OSB da madeira de *Eucalyptus* apresentaram menores valores de Inchamento em Espessura (IE) em relação aos painéis produzidos com *Pinus elliottii*. Os autores atribuíram esta diferença à menor densidade dos painéis obtidos com madeira de *Eucalyptus* em relação aos de pinus, resultando em uma maior razão de compactação dos painéis de pinus. Também foi mostrado neste trabalho que os dois gêneros podem ser misturados ou alternados em face/miolo, na manufatura de painéis OSB, sem prejuízo na qualidade.

CLOUTIER et al. (2004) estudaram a influência da madeira juvenil de *Pinus radiata* nas propriedades mecânicas dos painéis OSB e chegaram a conclusão de que a madeira juvenil condiciona as propriedades físicas e mecânicas de painéis OSB. Principalmente a Ligação interna (LI) foi afetada pela madeira juvenil refletindo em menores valores de LI. Nesse trabalho, os autores encontraram valores de LI de 0,46 MPa para painéis fabricados com madeira juvenil e 0,70 para painéis fabricados com madeira adulta. Por outro lado, os autores concluíram também que os valores de MOR foram independentes do tipo de madeira (juvenil ou adulta).

NASCIMENTO et al. (2006) trabalhando com a madeira de Catanduva, espécie da caatinga brasileira, encontraram valores de MOR e MOE que atendiam a norma européia EN 300.

TEODORO (2008) trabalhando com painéis OSB fabricados com madeira de *Pinus caribaea* Var. *caribaea*, mostrou ser possível a utilização dessa madeira, pois os painéis fabricados com adesivo Tanino-Formaldeído (TF) puro de acácia negra, bem como de misturas de acácia negra e *E. pellita*, apresentaram excelentes propriedades de resistência mecânica (MOR e LI). Os valores encontrados atenderam as normas canadenses CSA 0437-0 e européia EN 300;

#### **2.4.4 Relação face/miolo**

CLOUTIER (1998) afirma que a proporção face/miolo ideal da composição dos painéis OSB situa-se na faixa de 40:60 a 60:40, baseado na percentagem do peso seco do material encolado.

AVRAMIDIS & SMITH (1989) utilizando duas diferentes proporções de face/miolo (50/50 e 60/40) observaram uma melhora significativa nas propriedades de Módulo de Elasticidade (MOE), Módulo de Ruptura (MOR) e Expansão Linear dos painéis OSB, quando a proporção face/miolo passou de 50/50 para 60/40. Esta tendência foi observada no sentido paralelo à orientação das partículas. Inchamento em Espessura (IE) e Absorção em Água (AA), não foram claramente afetadas pelas diferentes proporções face/miolo. O aumento da proporção face/miolo resultou na redução das propriedades MOE, MOR e Expansão Linear quando testadas no sentido perpendicular das partículas na face. Os autores concluíram também que com o aumento da relação face/miolo houve uma diminuição da Ligação Interna (LI) nos painéis OSB.

### 2.4.5 Densidade dos painéis

A densidade de painéis de madeira é dependente da massa específica da madeira processada. Além disso, depende também do tipo de partícula, grau de compressão e do teor e quantidade de substâncias adicionais. A densidade dos painéis está relacionada com as propriedades dos mesmos (HRÁZSKY & KRÁL, 2009). O aumento da densidade dos painéis afeta economicamente a produção. O ideal é ter a menor densidade possível sem afetar as propriedades de resistência dos painéis (DEPPE & ERNST, 1991).

MENDES (2001) relata que o aumento da densidade dos painéis OSB de 0,65 para 0,80 g/cm<sup>3</sup> causou um aumento no MOE de 18% e 9% e no MOR 27% e 15%, respectivamente, na direção perpendicular e paralela.

SOBRAL FILHO (1981) concluiu que pequenos aumentos da densidade dos painéis resultaram numa diminuição do Módulo de Elasticidade (MOE) e do Módulo de Ruptura (MOR), em ambos os sentidos da orientação das partículas, causado pela adição de partículas menores (pulp chip strands).

MENDES (2001) observou que o aumento da densidade dos painéis não afetou o Inchamento em Espessura após 2 horas de imersão; no entanto, houve um aumento de 10% no Inchamento em Espessura após 24 horas de imersão em água, quando a densidade dos painéis aumentou de 0,65 para 0,80 g/cm<sup>3</sup>.

SANCHES et al. (2005) utilizaram madeira de *Eucalyptus nitens* na fabricação de painéis OSB, variando a idade (8 e 10 anos), tempos de prensagem (3 min e 6min), temperatura (190°C e 200°C) e teor de adesivo (5 % e 10 %). Na fabricação dos painéis, as variáveis que apresentaram maiores efeitos no processo de fabricação foram o tempo de prensagem e teor de adesivo. A densidade dos painéis OSB aumentou com o incremento da idade, assim como com maiores quantidades de adesivos e tempos de prensagem.

### 2.4.6. Tempo de prensagem

Segundo MATOS (1988), o tempo de prensagem refere-se ao intervalo de tempo decorrido desde o momento em que os espaçadores são atingidos pelos pratos da prensa até o momento em que a prensa é reaberta.

Na indústria de painéis de partículas o termo ciclo de prensagem é usado para definir o conjunto de condições sob as quais as partículas são prensadas e consolidadas em um painel, tais como: temperatura, pressão e tempo de prensagem. É considerada uma das etapas mais importantes no processo de fabricação de chapas de madeira aglomerada. É nesta fase do processo que ocorre a consolidação do material e na qual são definidas, em grande parte, as propriedades finais do produto. Também sob o aspecto econômico pode-se atribuir maior importância a esta fase (MATOS, 1988).

Segundo IWAKIRI (1989), citado por ALBUQUERQUE (2002), o tempo de prensagem, depende principalmente da eficiência da transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura de prensagem, como também da distribuição da umidade no colchão de partículas. As indústrias do Canadá utilizam temperatura de prensagem de 200°C a 220°C e tempo de prensagem de 3 a 6 minutos, dependendo da espessura do painel (CLOUTIER, 1998).

MATOS (1988) relata que elevados teores de umidade requerem tempos mais longos de prensagem até que uma quantidade suficiente de vapor seja liberada e permita a adesão entre partículas de camadas interiores. O mesmo autor comparando os valores médios de variação em espessura para painéis com 5% de umidade nas partículas, prensados em tempo

de 8 e 15 minutos, constatou que o inchamento em espessura foi maior para painéis prensados em tempos mais reduzidos (8 min.). O autor concluiu que a eficiência na cura da resina nas camadas mais interiores das chapas é alcançada em períodos mais longos de prensagem, quando a temperatura nestas regiões é suficiente para maior consolidação do painel.

A redução do tempo de consolidação dos painéis é mais desejável, pois implica em uma maior produção por unidade de tempo, reduzindo assim o consumo de energia. Testes industriais mostram que não é tão fácil diminuir o tempo de prensagem. Em laboratório é fácil a liberação do vapor em razão do tamanho dos painéis. Na indústria, é inevitável a liberação do vapor. Dessa forma, a pressão de vapor alcança valores altos em função do tamanho dos painéis e tem que ser bem controlada. A pressão de vapor e a velocidade da saída de gases são sempre fatores limitantes no tempo de prensagem (PICHELIN et al., 2002). O principal efeito do decréscimo no tempo de prensagem é a redução nas propriedades de resistência (MATOS, 1988).

Uma vez que a madeira é um material viscoelástico, a tensão imposta durante a densificação pode ser liberada como consequência do processo de prensagem do painel. Maiores tempos de prensagem podem trazer melhorias nos valores das propriedades dos painéis. Entretanto, podem acarretar também a liberação de tensão de prensagem (stress relaxation) (PICHELIN et al., 2002).

SOUSA (2006) avaliou painéis OSB fabricados com madeira de pinus, em dois tempos de prensagem (6 min e 9 min), utilizando adesivo à base de tanino de acácia negra e adesivo Fenol-Formaldeído (FF) modificado com tanino de acácia. Os resultados mostraram que para os painéis OSB fabricados com tanino de acácia, o tempo de prensagem de 6 min foi suficiente para obtenção de boas propriedades mecânicas, não sendo necessário maiores tempos de prensagem. Não houve diferença nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis fabricados com adesivos FF e suas modificações com tanino entre os dois tempos de prensagem.

#### **2.4.7. Quantidade de adesivo**

O adesivo é a matéria prima mais custosa do processo de fabricação de painéis OSB; portanto, a quantidade utilizada deve ser otimizada em função das propriedades requeridas para a aplicação de cada produto (IWAKIRI, 2005).

A maior quantidade de adesivo favorece uma melhor adesão entre as camadas, pois ocorre um aumento da disponibilidade de adesivo por área superficial de partículas, aumentando consequentemente a resistência da linha de cola, e por sua vez levando a maiores valores médios de MOE (módulo de elasticidade) (MENDES, 2001).

SALDANHA et al. (2002) utilizando três diferentes teores de adesivo (3%, 4,5% e 6%) concluíram que os teores de 4,5 e 6% são os mais adequados para a produção de painéis OSB para a espécie *Eucalyptus grandis*.

AVRAMIDIS & SMITH (1989) testando diferentes teores de adesivo em painéis OSB, produzidas em laboratório, observaram que as propriedades MOE, MOR, Ligação Interna, Inchamento em Espessura e Expansão Linear foram influenciadas quando o teor de adesivo foi aumentado de 4 para 6%.

MENDES (2001) utilizando dois teores de adesivo na fabricação de painéis OSB, concluiu que o aumento do teor de adesivo de 4 para 6% provocou aumento de MOE e MOR, sendo que apenas na direção perpendicular dos painéis houve um ganho estatisticamente significativo. O mesmo autor observou uma diminuição nas propriedades de Absorção em Água (AA) e Inchamento em Espessura (IE) dos painéis OSB, quando a quantidade de adesivo aplicado foi aumentada.

GOUVEIA (2001) avaliou as propriedades de painéis OSB produzidos com misturas

de madeiras de *E. grandis* e *P. elliottii* em diferentes teores de adesivos (4 %, 6 % e 8 %) e obteve melhores resultados nos painéis produzidos com 6 % e 8 % de adesivos.

GOUVEIA et al. (2003) utilizando três teores de adesivos na fabricação de painéis OSB, observou que a redução no teor de adesivos ocasionou diminuição dos valores de MOE e MOR, ligação interna e arranque de parafuso.

A resistência à tração ao plano perpendicular dos painéis (LI) é uma importante propriedade em termos de uso dos painéis para fins construtivos. Geralmente, esse valor é afetado pelo teor de adesivo. Altos níveis de aplicação de adesivo resultam em acréscimo nos valores de LI. Com aumento da densidade dos painéis, os valores de LI e de resistência à flexão também aumentam (STEFKA, citado por HRÁZSKY & KRÁL, 2009). HRÁZSKY & KRÁL (2009) avaliando as propriedades de painéis OSB mostraram que, mantendo-se constante a densidade dos painéis e diminuindo o teor de adesivo, todas as propriedades mecânicas dos painéis foram reduzidas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Obtenção do material

As cascas foram coletadas em povoamentos de *Pinus oocarpa*, na Fazenda Monte Alegre, localizada em Agudos, São Paulo da empresa Duratex. Foram escolhidas aleatoriamente, cinco árvores, em dois talhões, com diâmetro à altura do peito (DAP) variando de 15 a 40 centímetros. A seguir, as árvores foram marcadas e suas cascas removidas com auxílio de um facão, tendo como padrão à retirada das cascas do DAP até a base das árvores em pé. O material foi encaminhado ao Laboratório de Química da Madeira, Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas, para ser fragmentado em moinho de martelo, peneirado e armazenado. Esse material foi utilizado nas extrações para obtenção dos taninos.

#### 3.2 Extração dos Taninos

A casca foi extraída com água sob adição de bisulfito de sódio ( $\text{NaHSO}_3$ ) e sulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) em diferentes concentrações originando 8 tratamentos. O material foi extraído em balão sob refluxo por 2 horas utilizando-se uma relação licor/casca igual a 15:1. Após a extração, o material foi filtrado a vácuo utilizando-se cadinho de vidro sinterizado. Para cada tratamento, foram realizadas cinco repetições. Os tratamentos estão esquematizados a seguir:

- T1= Extração com água
- T2= Extração com água + 1%  $\text{NaHSO}_3$
- T3= Extração com água + 5%  $\text{NaHSO}_3$
- T4= Extração com água + 8%  $\text{NaHSO}_3$
- T5= Extração com água + 10%  $\text{NaHSO}_3$
- T6= Extração com água + 1%  $\text{Na}_2\text{SO}_3$
- T7= Extração com água + 3%  $\text{Na}_2\text{SO}_3$
- T8 = Extração com água + 5 %  $\text{Na}_2\text{SO}_3$

A percentagem de produto químico adicionada foi calculada em com base no peso seco de cascas.

### **3.3 Determinação das propriedades dos extratos**

Para cada tratamento foram determinados os teores de extrativos e suas propriedades, a saber: teor de polifenóis condensados pelo método de Stiasny (Número de Stiasny – NS) e pelo método UV (ROFFAEL, 1983), teor de taninos, teor de não-taninos e valor pH.

Os resultados foram analisados por meio de análise de variância. Havendo diferença significativa, foi utilizado o teste de Scott-Knott, a 5% de significância, para comparação entre médias.

#### **3.3.1 Determinação dos teores de extrativos**

Após cada extração, foi separada uma alíquota de 25 ml do filtrado para determinação da massa de extrativos totais. Esta alíquota foi colocada em uma placa de petri, previamente tarada, em estufa a  $103^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , até peso constante. Da diferença entre a massa da placa de petri antes e depois de ser levada à estufa com a alíquota, obteve-se a quantidade de extrativos (g) em 25 ml de solução e considerando-se a quantidade de partículas (base seca) e o volume inicial empregados na extração, calculou-se o teor de extrativos em percentagem.

#### **3.3.2 Caracterização química dos polifenóis (taninos)**

Para os extratos dos diferentes tratamentos foram determinados os teores de polifenóis através da reação de Stiasny (WISSING, 1955; LELIS, 1995) e a reatividade dos mesmos através do método Ultra-Violeta (UV) (ROFFAEL, 1976).

##### **3.3.2.1 Determinação dos polifenóis através da reação de Stiasny**

Após cada extração, foi separada uma alíquota do filtrado (50 ml) que foi colocada em um balão redondo de 250 mL. À alíquota foram adicionados 5 mL de ácido clorídrico e 10 mL de formaldeído. Esse material foi então colocado em refluxo por 30 minutos, sendo a seguir filtrado e lavado com água destilada quente em cadinho filtrante de peso previamente conhecido. O resíduo (tanino) foi colocado em estufa a  $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$  até estabilização da massa. O percentual de tanino condensado contido nos extratos (Número de Stiasny - NS) foi determinado pela razão entre a massa de tanino e a massa dos extrativos totais extrapolada para 50 mL e o resultado convertido em porcentagem:

$$\text{NS (\%)} = \frac{\text{massa de tanino}}{\text{massa de extr. totais}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

##### **3.3.2.2 Determinação da reatividade**

O método UV baseia-se na reação de Stiasny, utilizando-se uma alíquota do filtrado antes e após reação com ácido clorídrico e formaldeído (ROFFAEL, 1976). Para cada amostra, após as diluições necessárias, foi feita a leitura da absorvância em espectrofotômetro, antes e após a reação, para verificar a reatividade. As leituras foram feitas no comprimento de onda de 280 nm. Com os resultados de absorvância antes e após a reação, calculou-se a reatividade dos taninos, conforme a Equação 2.

$$\text{Reatividade (UV)} = \frac{(\text{Abs. Antes x Dil.}) - (\text{Abs. Depois x Dil.})}{\text{Abs. Antes x Dil.}} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

UV = Ultravioleta

Abs. = Absorbância

Dil. = Diluição

### ***3.3.3 Determinação dos teores de taninos e não-taninos***

Para a obtenção do percentual de tanino na casca multiplicou-se o número de Stiasny pelo teor de extrativos total determinado e converteu-se o resultado em percentagem. A diferença entre teor de extrativo e tanino forneceu a percentagem de não-taninos.

### ***3.3.4 Determinação do valor pH***

O pH das soluções foi determinado através de pH-metro digital, da marca QUIMIS aparelhos científicos LTDA, à temperatura ambiente, sendo o valor registrado após quatro minutos de contato do eletrodo com a solução.

### ***3.4 Extração em autoclave***

O tratamento que apresentou melhor rendimento em taninos e menor em não-taninos foi utilizado para extração de grandes quantidades em autoclave.

A casca foi extraída em autoclave, com capacidade volumétrica de 15 litros e tampa dotada de manômetro e termômetro, no Laboratório de Tecnologia da Madeira (DPF/IF/UFRRJ), por um período de 2 horas, numa relação licor: casca igual a 15:1 Após cada extração, o material foi filtrado em cadinho de vidro sinterizado, colocado em bandejas de vidro e posto em estufa a  $103^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por 8 horas, para uma secagem prévia do extrato. Posteriormente, o material foi removido para uma estufa a  $60^{\circ}\text{C}$  até secagem completa, quando então o material foi moído, obtendo-se o extrato na forma de pó.

### ***3.5 Propriedades dos Extratos Tânicos da casca de Pinus oocarpa***

Na determinação das propriedades dos extratos foi confeccionada uma solução de extrato tânico a 45%. As seguintes propriedades foram avaliadas: viscosidade, teor de sólidos, tempo de formação de gel e pH. Para cada análise, foram realizadas cinco repetições, procedendo-se posteriormente a análise de variância e aplicação do teste de Scott-knott, quando necessário.

#### ***3.5.1 Determinação da viscosidade***

Após preparo e homogeneização da solução de tanino a 45 %, a viscosidade foi determinada utilizando-se copo Ford (ASTM D-1200, 1994). Aproximadamente 130 mL de

solução de tanino foram colocadas no copo e o tempo necessário para o escoamento da solução pelo copo foi registrado. O valor da viscosidade foi obtido de acordo com a seguinte fórmula:

$$V = (3,82 \times t - 17,28) \times d, \text{ onde:} \quad (\text{Equação 3})$$

V= viscosidade expressa em cp;  
t = tempo de escoamento (em segundos)  
d= densidade da solução tânica em g/cm<sup>3</sup>.

### **3.5.2 Determinação do teor de sólidos**

O teor de sólidos foi determinado da seguinte forma: Após a homogeneização da solução, pesou-se uma pequena amostra determinando seu peso úmido. Após a secagem por aproximadamente 15 horas em estufa a 103° ± 2°C determinou-se seu peso seco.

A determinação do teor de sólidos foi feita de acordo com a seguinte fórmula:

$$TS = \frac{PS}{PU} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

sendo:

- TS = teor de sólidos (%);
- PS = peso seco do resíduo (g);
- PU = peso úmido da solução (g).

### **3.5.3 Determinação do tempo de formação de gel**

Uma quantidade de 10 g da solução de extrato tânico a 45% foi colocada em um tubo de ensaio. Em seguida, adicionou-se uma solução de formaldeído a 37% (catalisador) na proporção de 20% sobre o teor de sólidos contidos na solução do extrato. A mistura foi homogeneizada com bastão de vidro em banho-maria à temperatura de 90°C até o ponto de endurecimento. O tempo necessário para que a mistura alcançasse à fase gel expressou o tempo de formação de gel.

### **3.5.4 Determinação do pH**

O pH da solução de extrato tânico a 45% foi determinado através de pH-metro digital, da marca QUIMIS Aparelhos Científicos LTDA, à temperatura ambiente. O valor do pH foi registrado após um tempo aproximado de 4 minutos de contato do eletrodo com a solução.

## **3.6 Determinação das Propriedades dos adesivos Uréia-Formaldeído (UF), Fenol-Formaldeído (FF) e de suas Modificações com Extrato Tânico da Casca de Pinus oocarpa**

As propriedades dos adesivos sintéticos MDP 9020 (UF) e HL 7090 (FF) e dos

adesivos modificados com tanino da casca de *Pinus oocarpa* foram avaliadas. As modificações dos adesivos sintéticos foram feitas pela substituição de parte dos adesivos UF e FF por uma solução de extrato tânico a 45% na razão de 90:10, 80:20 e 70:30. Para cada adesivo, foram determinadas as seguintes propriedades: viscosidade, teor de sólidos, tempo de formação de gel e pH. As determinações foram feitas utilizando-se cinco repetições, seguindo-se as metodologias descritas nos itens 3.5.1, 3.5.2 e 3.5.4

O tempo de formação de gel foi determinado seguindo a metodologia apresentada no item 3.5.3, com as seguintes alterações: Para o adesivo UF e de suas modificações foi utilizado como catalisador uma solução de sulfato de amônia a 24% na razão de 2% sobre a massa total de sólidos. No caso do adesivo FF e de suas modificações, foi utilizado como catalisador uma solução de carbonato de potássio a 60% na razão de 6% sobre a massa total de sólidos.

### **3.7 Fabricação dos painéis OSB**

Os painéis foram produzidos utilizando-se adesivo à base de tanino de *Pinus oocarpa* (TF), de Uréia-Formaldeído (UF), Fenol-Formaldeído (FF), de UF modificado com tanino de pinus (TUF) e FF modificado com tanino de pinus (TFF).

#### **3.7.1 Material**

Os painéis OSB foram produzidos utilizando-se partículas de *Pinus caribaea* Var. *caribaea*, provenientes de povoamento localizado no campus da UFRRJ, no município de Seropédica, RJ. Foram utilizadas seis árvores com idade aproximada de 15 anos e DAP variando de 15 a 25 centímetros.

As árvores foram abatidas sendo retirados discos com 2,5 centímetros de espessura a partir da base da árvore, a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial para a determinação da Massa Específica Básica. Em seguida, os troncos das árvores foram subdivididos em toras de 1 m de comprimento e foram transportados para o setor de marcenaria do Departamento de Produtos Florestais da UFRRJ para geração de partículas.

#### **3.7.2 Avaliação da Massa Específica Básica das árvores de *Pinus caribaea***

Na determinação da massa específica básica média, os discos de cada seção das árvores foram fracionados no sentido radial, obtendo-se cunhas, que foram imersas em água. Após a saturação das cunhas, foram determinados os volumes através do método de variação do peso do líquido em balança analítica (VITAL, 1984). As frações foram colocadas em estufa a  $105 \pm 3^{\circ}$  C até estabilizarem a massa, com variação mínima de 0,05%, obtendo-se assim a massa seca.

A massa específica básica por fração de cada disco foi determinada seguindo-se a expressão abaixo:

$$ME = \frac{MS}{VS} \quad (\text{Equação 5})$$

Sendo:

- ME = massa específica básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );
- MS = massa absolutamente seca (g);

- VS = volume saturado da amostra (cm<sup>3</sup>).

O volume das seções da cada árvore foi determinado através da seguinte fórmula:  
sendo:

$$V_s = 0,00007854 \times \frac{D^2 + d^2}{2} \times L$$

- Vs = volume da seção (m<sup>3</sup>) (Equação 6)
- D = diâmetro sem casca na base da seção (cm)
- d = diâmetro sem casca na topo da seção (cm)
- L = comprimento da seção (m).

O volume total da árvore foi determinado através da seguinte fórmula:

$$V_t = \sum V_{s_i} \quad \text{(Equação 7)}$$

sendo:

- Vt = volume total da árvore (m<sup>3</sup>)
- $\sum V_{s_i}$  = somatório do volume das seções.

A massa específica básica média das árvores foi calculada através da seguinte fórmula:

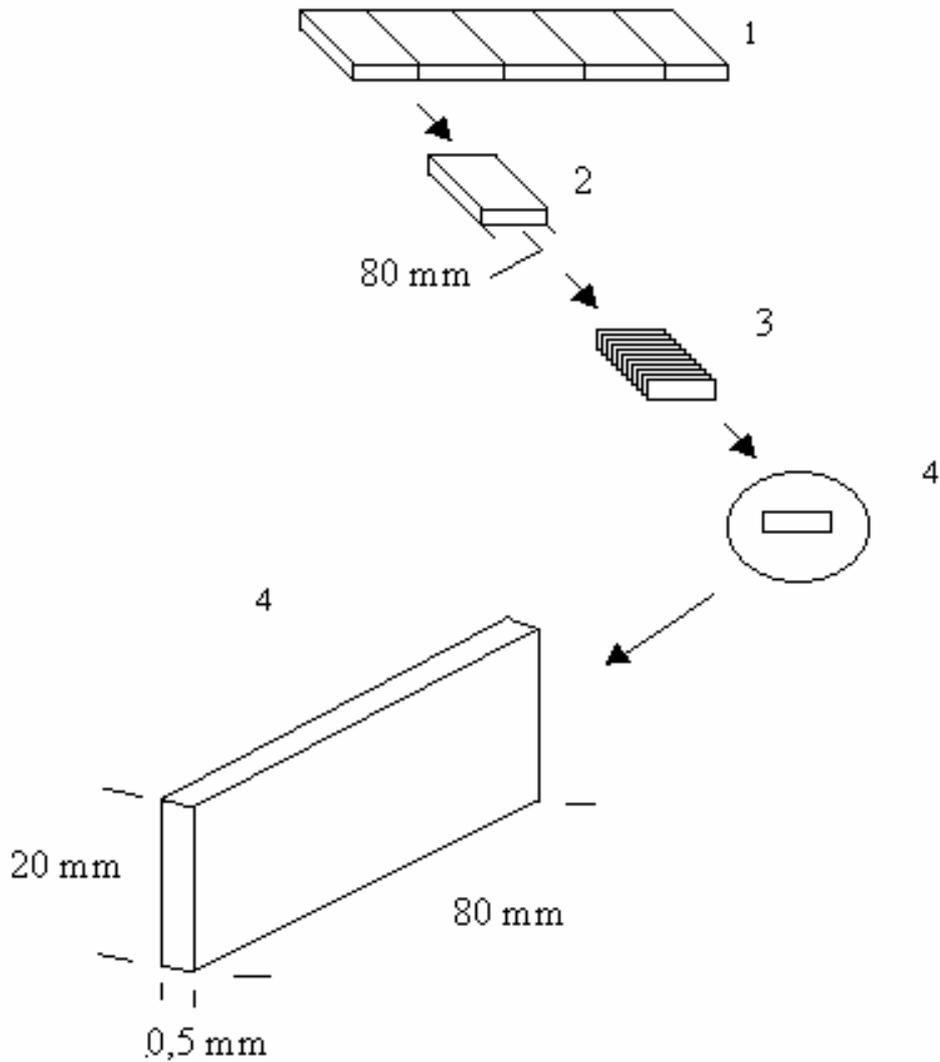
$$ME_m = \frac{\sum_{i=1}^N V_{s(i)} \times \overline{ME(i)}}{V_T} \quad \text{(Equação 8)}$$

sendo:

- $\overline{ME_m}$  = massa específica básica média da árvore (g/cm<sup>3</sup>);
- $\overline{ME(i)}$  = massa específica básica média da seção i (g/cm<sup>3</sup>);
- VT = volume total da árvore (m<sup>3</sup>);
- Vs(i) = volume da seção i (m<sup>3</sup>).

### 3.7.3 Geração de partículas “strands”

As toras retiradas das seis árvores de pinus foram desdobradas em tábuas de 20 mm de espessura, definindo a largura da partícula. Estas foram seccionadas em peças de 80 mm de largura, definindo o comprimento das partículas. As partículas foram obtidas através de um gerador de partículas, sendo as facas ajustadas para a geração de partículas com espessura de 0,5 mm. A Figura 2 apresenta o processo de geração das partículas “strands”.



1 – Tábua; 2 - 2 – Bloco; 3 – Partículas geradas no picador; 4 – Dimensões finais das partículas.

**Figura 2.** Processo de geração das partículas “strands” (segundo PEREIRA, 2003)

### 3.7.4 Secagem das partículas

As partículas foram secas em estufa com temperatura de 70 graus até atingirem teor de umidade de 4 %. O controle da secagem é de grande importância, pois uma grande variação de umidade de partículas poderá levar à ocorrência de “estouros”, ou seja a delaminação dos painéis durante a prensagem.

### 3.7.5 Aplicação de adesivo

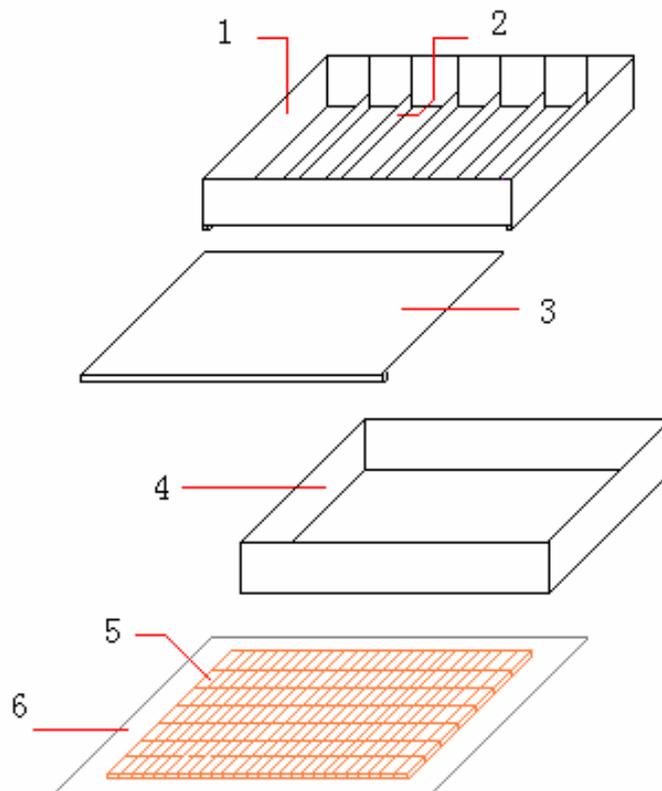
Após a pesagem das partículas nas quantidades adequadas, foi feita a aplicação do adesivo por meio de aspersão, com auxílio de uma pistola à base de ar comprimido, em um aplicador do tipo tambor rotativo obtendo-se uma distribuição uniforme do adesivo sobre as

superfícies de todas as partículas.

### 3.7.6 Preparação do colchão de partículas

Na formação do colchão de partículas orientadas, foi empregada uma peça de madeira (orientador de partículas), utilizando tábuas de madeira, com dimensões de 48 x 48 x 20 cm, subdividida em doze partes iguais de 4 cm por lâminas de ferro. Essa estrutura é fixada sobre a caixa formadora de iguais dimensões, possibilitando a formação do colchão com as partículas orientadas.

O colchão de partículas foi feito em três camadas, de tal forma que as partículas das camadas externas (superfície) ficassem com o mesmo sentido, ou seja, paralelas e as partículas do centro com sentido transversal àquelas da superfície (ver Figura 3). Realizou-se uma pré-prensagem manual para evitar a perda de partículas nas bordas do colchão no momento do transporte para a prensa e facilitar o fechamento da mesma. Em seguida, o colchão foi levado para a prensa hidráulica.



**Figura 3.** Esquema da formação do colchão de OSB (MENDES, 2001)

- 1 – Caixa de madeira;
- 2 – Orientadores de ferro;
- 3 – Tampa de descarga;
- 4 – Forma de madeira;
- 5 – Colchão de OSB;
- 6 – Lâmina de alumínio.

### 3.7.7 Prensagem, acondicionamento e confecção de corpos-de-prova

A prensagem foi feita em uma prensa de pratos planos e horizontais, com aquecimento elétrico. Depois de prensados, os painéis foram esquadrejados e deixados em uma sala de climatização com umidade relativa de  $65 \pm 5\%$  e temperatura de  $20 \pm 3$  °C, até atingirem o equilíbrio. Após o acondicionamento dos painéis, foram efetuados os cortes para retirada dos corpos-de-prova segundo a Norma NBR 14810-3 (2002).

### 3.7.8 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso. Os painéis foram confeccionados em três camadas utilizando-se adesivo à base de tanino de *Pinus oocarpa* (TF), de Fenol-Formaldeído (FF), de Fenol-Formaldeído modificado com tanino de *P. oocarpa* (90:10) e de Uréia-Formaldeído, de Uréia-Formaldeído modificado com tanino de *P. oocarpa* (90:10). Dois tempos de prensagem (9 e 12 minutos) foram avaliados para cada formulação de adesivo, compondo-se, desta forma, 10 tratamentos, que podem ser melhor visualizados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos para confecção dos painéis OSB.

| TRATAMENTO | ADESIVO  | T.P.<br>(min) | N.P. |
|------------|--|---------------|------|
| T1         | Tanino-Formaldeído (TF) de <i>Pinus oocarpa</i> a 45 % | 9             | 03   |
| T2         | Tanino-Formaldeído (TF) de <i>Pinus oocarpa</i> a 45 % | 12            | 03   |
| T 3        | Fenol-Formaldeído (FF)                                 | 9             | 05   |
| T 4        | Fenol-Formaldeído (FF)                                 | 12            | 05   |
| T 5        | FF + Pinus a 45% (90:10)                               | 9             | 04   |
| T 6        | FF + Pinus a 45% (90:10)                               | 12            | 04   |
| T 7        | Uréia-Formaldeído (UF)                                 | 9             | 05   |
| T 8        | Uréia-Formaldeído (UF)                                 | 12            | 05   |
| T 9        | UF + Pinus a 45% (90:10)                               | 9             | 04   |
| T 10       | UF + Pinus a 45% (90:10)                               | 12            | 04   |

TP = Tempo de prensagem em minutos; NP = Número de painéis; o número de painéis foi diferente nos tratamentos em razão de limitações na quantidade de extrato tânico de Pinus.

Os parâmetros do processo foram:

Pressão:  $35 \text{ kg/cm}^2$

Umidade das partículas: 5%

Densidade do painel:  $0,60 \text{ g/cm}^3$

Relação face:miolo:face: 30:40:30

Tempo de prensagem: 9 min e 12 mim

Teor de adesivo: 10%

Dimensão dos painéis: 48 x 48 x 1,27 cm

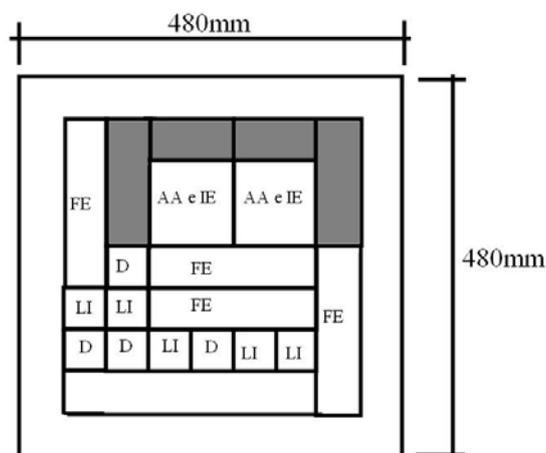
Temperatura: 190 °C

Endurecedor: Para fenólicas e suas modificações: 6% de solução de carbonato de potássio a 60% (base teor de sólidos); Para taninos de pinus: 20% solução de formaldeído a 37%; Para

UF e suas modificações com taninos de pinus: 2 % de solução de sulfato de amônio a 24 % (base teor de sólidos).

### 3.7.9 Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas dos Painéis

Os ensaios físicos e mecânicos realizados neste trabalho foram os seguintes: Densidade Aparente, Inchamento em Espessura (IE) e Absorção de Água (AA) após imersão em água por 2 h e 24 h, resistência à flexão estática (Módulo de Ruptura – MOR e Módulo de Elasticidade – MOE paralelo e perpendicular à direção longitudinal) e Resistência à Tração perpendicular ao plano dos painéis (Ligação Interna – LI). A Figura 4 ilustra a disposição dos corpos-de-prova nos painéis OSB.



**Figura 4.** Disposição dos corpos-de-prova nos painéis; MA = Massa específica aparente (50 x 50 mm); FE = Flexão Estática (250 x 50 mm); AA e IE = Absorção de Água e Inchamento em Espessura (100 x 100 mm); LI = Ligação Interna (50 x 50 mm).

#### 3.7.9.1 Avaliação da densidade aparente dos painéis

Após obtenção da umidade de equilíbrio em sala de climatização (temperatura de  $20 \pm 1$  °C e umidade relativa de  $65 \pm 3$  %), foi determinado o volume e a massa dos corpos-de-prova. O cálculo da densidade aparente foi feito com base na relação da massa pelo volume.

### 3.7.9.2 Ensaios de Inchamento em Espessura – IE (NBR 14810-3, 2002)

Para a determinação do Inchamento em Espessura (IE), cada corpo-de-prova foi marcado no centro e a espessura nesse ponto medida com micrômetro. Em seguida, os corpos-de-prova foram imersos em água por um período de 2 horas e medidos novamente. Após a medição, os corpos-de-prova foram novamente imersos em água até 24 horas, procedendo-se novas medições. O Inchamento em Espessura após 2 e 24 horas foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$IE = \frac{E_F - E_I}{E_I} \times 100 \quad (\text{Equação 9})$$

sendo:

IE = Inchamento em espessura (%)

$E_F$  = Espessura final (cm)

$E_I$  = Espessura inicial (cm)

### 3.7.9.3 Ensaios de Absorção de Água – AA (NBR 14810-3, 2002)

Para a determinação da Absorção de Água (AA), os corpos-de-prova foram pesados, e imersos em água por 2 horas, sendo a seguir pesados novamente. Após a pesagem, os corpos-de-prova foram novamente imersos em água até 24 horas, procedendo-se a seguir nova pesagem. A absorção em água após 2 e 24 horas foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$A = \frac{M_F - M_I}{M_I} \times 100 \quad (\text{Equação 10})$$

Sendo:

AA = Absorção de água (%)

$M_F$  = Massa final (g)

$M_I$  = Massa inicial (g)

### 3.7.9.4 Ensaios de Flexão Estática – MOE e MOR (NBR 14810-3, 2002)

Os ensaios foram efetuados em máquina universal de ensaio, modelo EMIC-DL10.000, no Laboratório de Tecnologia da Madeira, da UFES em Jerônimo Monteiro-ES. Os valores de espessura, largura e distância dos apoios foram digitados diretamente no programa da máquina, sendo os resultados de MOE e MOR obtidos diretamente, sem necessidade de cálculos através das fórmulas apresentadas abaixo. Foram utilizados 4 corpos-de-prova para cada tratamento (dois na direção paralela e dois na direção perpendicular). As fórmulas de MOR e MOE podem ser visualizadas abaixo:

$$\text{MOR} = \frac{3 F_{\text{máx}} L}{2 l e^2} \quad (\text{Equação 11})$$

Sendo:

MOR = Módulo de ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>);

F<sub>máx</sub> = Carga máxima (kgf);

L = Comprimento do vão (cm);

l = Largura real da amostra (cm);

e = Espessura real da amostra (cm).

$$\text{MOE} = \frac{F_{\text{LP}} L^3}{4 l e^3 dlp} \quad (\text{Equação 12})$$

Sendo:

MOE = Módulo de elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>);

F<sub>LP</sub> = Carga do limite de proporcionalidade (kgf/cm<sup>2</sup>);

L = Comprimento do vão (cm);

l = Largura real da amostra (cm);

e = Espessura real da amostra (cm);

dlp = deformação no limite de proporcionalidade (cm).

### 3.7.9.5 Ensaios de Tração Perpendicular (Ligação Interna) (NBR 14810-3, 2002)

Os ensaios de tração foram também efetuados em máquina universal de ensaio hidráulica, modelo EMIC-DL10.000 no Laboratório de Tecnologia da Madeira, da UFES em Jerônimo Monteiro-ES, sendo as informações obtidas através da leitura direta na máquina, sendo 5 amostras para cada painel fabricado. A resistência da ligação interna (LI) pode ser obtida pela seguinte fórmula:

$$\text{LI} = \frac{F_{\text{máx}}}{A} \quad (\text{Equação 13})$$

LI = Ligação interna (kgf/cm<sup>2</sup>);

F<sub>máx</sub> = Carga máxima (kgf);

A = Área real da amostra (cm<sup>2</sup>).

### 3.7.10 Análise estatística

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado. Os dados referentes a cada ensaio avaliado foram submetidos à análise de variância. Havendo rejeição da hipótese da nulidade, foi aplicado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância para comparação entre as médias.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Avaliação dos teores de extrativos, das propriedades químicas, dos teores de taninos e de não-taninos da madeira de *Pinus oocarpa*.

Na Tabela 3 são mostrados os valores médios das propriedades químicas, dos teores de taninos e de não-taninos da casca de *Pinus oocarpa*.

**Tabela 3.** Valores médios e comparação das médias para os teores de extrativos, teores de polifenóis (NS), % de taninos; de não taninos, pH e reatividade nos diferentes tratamentos com a casca.

| Tratamento | % Extrativos | NS     | % Tanino | % Não tanino | pH     | Reatividade(UV ) |
|------------|--------------|--------|----------|--------------|--------|------------------|
| T1         | 24,8 c       | 65,5 c | 16,24 c  | 8,60 a       | 3,06 e | 85,32 b          |
| T2         | 19,8 d       | 88,6 a | 17,56 c  | 2,30 b       | 3,20 e | 98,09 a          |
| T3         | 26,7 b       | 72,3 b | 19,28 b  | 7,42 a       | 3,20 e | 99,21 a          |
| T4         | 26,5 b       | 74,6 b | 19,82 b  | 6,70 a       | 3,52 d | 99,50 a          |
| T5         | 25,2 c       | 84,0 a | 19,48 b  | 3,80 b       | 3,32 d | 98,29 a          |
| T6         | 16,8 d       | 88,8 a | 14,94 c  | 1,86 b       | 4,87 c | 99,42 a          |
| T7         | 25,4 c       | 87,8 a | 20,40 b  | 2,85 b       | 5,20 b | 99,50 a          |
| T8         | 30,1 a       | 89,9 a | 27,09 a  | 3,05 b       | 5,68 a | 99,53 a          |

Letras iguais, dentro de uma mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 95% de significância, pelo teste de Scott-Knott. T1= extração com água; T2 = água + 1% de NaHSO<sub>3</sub>; T3 =água + 5% NaHSO<sub>3</sub>; T4 = água + 8% NaHSO<sub>3</sub>; T5 = água + 10% NaHSO<sub>3</sub>; T6 = água + 1% de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>; T7 = água + 3%. Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>; T8 = água + 5% Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>.

O rendimento em extrativos é um parâmetro inicial na caracterização das substâncias encontradas na casca, pois, por meio deste pode-se definir qual tratamento terá maior produtividade e a forma mais efetiva de obtenção dos extrativos.

A adição dos diferentes sais acarretou diferentes valores de extrativos. Para bisulfito, a adição de 5 % e 8 % favoreceu para maiores valores de extrativos quando comparados com água pura. Para sulfito de sódio, somente a adição de 5 % de sulfito foi estatisticamente superior quando comparado com água pura.

FERREIRA (2004) encontrou teores de extrativos com a adição de 5% de sulfito de sódio de 32,49% da casca de *Pinus oocarpa*, sendo os valores próximos ao encontrado neste trabalho.

O Número de Stiasny (NS) representa a reatividade dos polifenóis (taninos condensados) existentes no extrato frente ao formaldeído em meio ácido (reação de stiasny). Os resultados obtidos para a casca de *Pinus oocarpa* mostraram que a adição de sais favoreceu a solubilização dos polifenóis, havendo diferença significativa entre todos os

tratamentos com o obtido somente com água.

TEODORO et al. (2003) encontraram Índice de Stiasny (NS) de 88% em *Pinus caribaea* var. *caribaea*, utilizando água + 2% de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> na extração e 75% utilizando apenas água. FERREIRA (2004) encontrou Índice de Stiasny (NS) de 97,32% com a adição de 5% de sulfito de sódio na casca de *Pinus oocarpa*, sendo o valor mais elevado aos encontrados neste trabalho.

Com relação à percentagem de taninos, nota-se que a adição de bisulfito de sódio ao processo de extração elevou o rendimento em taninos dos extratos quando comparados aos obtidos apenas com água destilada, sendo que houve diferença significativa nos tratamentos que utilizaram maiores concentrações de sais no processo de extração (T3, T4 e T5). A adição de 5 % de sulfito de sódio favoreceu para obtenção dos maiores valores de taninos.

FERREIRA (2004) encontrou valores de taninos na casca de *Pinus oocarpa* em extração com água destilada sob adição de 5% de sulfito de sódio de 31,63%, sendo os valores parecidos ao encontrado neste trabalho.

Os não-taninos correspondem à fração de açúcares, gomas e resinas existentes nos extrativos da casca de *Pinus oocarpa*, sendo de grande importância sua quantificação, pois através deles pode-se determinar a qualidade da resina a ser confeccionada. Houve diferença significativa entre os tratamentos utilizando apenas água destilada e sulfito de sódio. De modo geral, os menores valores de não taninos foram obtidos com adição de sulfito de sódio. Os valores encontrados para não taninos foram superiores aos encontrados por FERREIRA (2004) na casca de *Pinus oocarpa*, que em extração com água destilada e com adição de 5% de sulfito de sódio, encontrou de 2,10% e 0,86%, respectivamente.

O valor de pH é de grande importância na reatividade dos taninos, pois somente em uma faixa ácida de pH sucede-se a reação de condensação do tanino com o formaldeído ocorrendo a polimerização da resina. De modo geral, nota-se que a adição dos sais aumentou o valor pH dos extratos. Esse aumento foi significativo para todas as concentrações de sulfito de sódio. Os extratos obtidos no tratamento com água pura apresentaram os menores valores de pH, distinguindo-se o caráter ácido dos taninos em extratos aquosos.

FERREIRA (2004) encontrou valores de pH na casca de *Pinus oocarpa* em extração com água destilada e com a adição de 5% de sulfito de sódio de 3,35 e 5,28 respectivamente, sendo próximos dos resultados encontrados neste trabalho.

A quantificação dos polifenóis através da absorção ultravioleta (UV) é considerada mais eficaz que o método de Stiasny, pois considera também os polifenóis que reagem com o formaldeído sem conseguirem se precipitar. Através dessa metodologia pode-se observar que os valores médios encontrados para a reatividade foram elevados, evidenciando a grande reatividade dos polifenóis (taninos) da casca de *Pinus oocarpa*. Estatisticamente, houve diferença significativa apenas entre os resultados encontrados nas extrações com água destilada e as demais formas de extração.

TEODORO (2008) encontrou valores de reatividade na casca de *Eucalyptus pellita* em extração com 2% de Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> de 75,38%, sendo abaixo dos encontrados neste trabalho nas concentrações de 1%, 3 % e 5 %. FERREIRA (2004) encontrou valores de reatividade na casca de *Pinus oocarpa* em extração com a adição de 5% de sulfito de sódio de 99,07%, sendo próximos dos resultados encontrados neste trabalho.

#### **4.2. Avaliação das Propriedades dos extratos tânicos da casca de *Pinus oocarpa*, dos**

## adesivos sintéticos e de suas modificações

Inicialmente era previsto substituir até 30 % do adesivo UF e FF por tanino da casca de *Pinus oocarpa*, mas isso não foi possível. A modificação dos adesivos FF e UF nas proporções de 80:20 e 70:30 não foi possível, uma vez que nestas proporções foi impossível a determinação da viscosidade (houve grande aumento da viscosidade).

Na Tabela 4, são mostrados os valores médios para teor de sólidos (TS), viscosidade (VISC), tempo de formação de gel (TFG) e pH dos extratos tânicos da casca de *Pinus oocarpa*, dos adesivos sintético e de suas modificações.

**Tabela 4.** Valores médios para teor de sólidos (TS), viscosidade (VISC), tempo de formação de gel (TFG) e pH dos extratos tânicos da casca de *Pinus oocarpa*, dos adesivos UF e FF e suas modificações.

| <i>Tratamento</i>              | <i>VISC (cP)</i> | <i>TS (%)</i> | <i>TFG (min)</i> | <i>pH</i> |
|--------------------------------|------------------|---------------|------------------|-----------|
| <i>Tanino de Pinus oocarpa</i> | 1035,70 a        | 47,80 e       | 0,94 c           | 6,54 e    |
| Adesivo FF                     | 776,60 c         | 58,86 c       | 44,0 a           | 12,75 a   |
| Adesivo FF +10% Tanino         | 818,60 b         | 55,50 d       | 37,5 b           | 12,39 b   |
| Adesivo UF                     | 524,45 d         | 76,93 a       | 2,06 c           | 8,03 c    |
| Adesivo UF+10% Tanino          | 543,35 d         | 65,75 b       | 2,09 c           | 7,27 d    |

Médias seguidas pela mesma letra, dentro de uma mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Scott-knott.

A adição de extrato tânico da casca de *Pinus oocarpa* aos adesivos Uréia-Formaldeído (UF) e Fenol -Formaldeído (FF) acarretou aumento dos valores de viscosidade nos adesivos. Isso pode ser atribuído à ocorrência de competitividade entre os fenóis do tanino pelas moléculas de formaldeído livres nos adesivos UF e FF.

LELIS & GONÇALVES (1998), estudando tanino de acácia negra como elemento modificador da resina UF, encontraram resultados diferentes, pois a adição do extrato tânico reduziu o valor da viscosidade da substituição a 10%. GONÇALVES (2000) e TOSTES (2003), também observaram este mesmo comportamento na substituição a 10%.

A substituição de parte das resinas sintéticas pelo extrato tânico contribuiu para que o teor de sólidos diminuísse, uma vez que o teor de sólidos da solução de tanino era menor (próximo a 47 %).

Com relação ao tempo de formação de gel, não houve diferença significativa nos valores à medida que foi adicionado extrato tânico da casca de *Pinus oocarpa* ao adesivo UF. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por GONÇALVES (2000), estudando taninos de *Mimosa caesalpiniaefolia*, porém diferentes dos encontrados por LELIS & GONÇALVES (1998) e TOSTES (2003) em adesivos uréicos modificados com extratos tânicos de acácia-negra e eucalipto, respectivamente, onde os tempos de formação de gel observados foram diminuindo com a adição dos extratos tânicos.

Ao se adicionar solução de tanino de pinus ao adesivo fenólico, o tempo de formação de gel diminuiu consideravelmente havendo diferença significativa.

O extrato tânico da casca de *Pinus oocarpa* apresentou um caráter ácido (6,54). A adição de extrato aos adesivos UF e FF, promoveu a redução do pH, em função desse caráter ácido do extrato tânico. O pH interfere tanto na reatividade, quanto na viscosidade das reações de tanino, sendo importante o controle desta variável para impedir uma polimerização acelerada e conseqüente cura prematura do adesivo.

### 4.3 Massa Específica básica da madeira de Pinus

A massa específica básica das seis árvores utilizadas para produção de partículas foi de  $0,42 \text{ g/cm}^3$  sendo ideal para fabricação de “strands” para manufatura de OSB. De acordo com VITAL (1984), para proceder ao cálculo da densidade da madeira, torna-se indispensável especificar os teores de umidade nos quais são determinados a massa e o volume. Desta forma, como foi determinada à massa específica básica, fica subentendido que a massa foi obtida a 0% de umidade e o volume da amostra na forma saturada (acima do ponto de saturação das fibras). A massa específica básica da madeira ficou dentro da faixa considerada ideal, segundo MALONEY (1993), que é de  $0,3$  a  $0,5 \text{ g/cm}^3$ . A madeira pouco densa permite a sua compressão em painel de média densidade, garantindo contato entre as partículas, permitindo uma boa ligação.

### 4.4 Avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB

#### 4.4.1 Avaliação da Massa Específica Aparente dos Painéis

A comparação dos valores médios da massa específica aparente dos painéis OSB para os diferentes tratamentos está apresentada na Tabela 5.

**Tabela 5.** Comparação dos valores médios da massa específica aparente dos painéis OSB fabricadas.

| Tratamento    | Massa Específica Aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) |
|---------------|---|
| UF 9min       | 0,47 a  |
| UF 12 min     | 0,47 a  |
| FF 9 min      | 0,47 a  |
| FF 12 min     | 0,45 a  |
| UF+ Tan 9 min | 0,44 a  |
| UF+Tan 12 min | 0,51 a  |
| FF+ Tan 9 min | 0,45 a  |
| FF+Tan 12 min | 0,49 a  |
| TF 9 min      | 0,46 a  |
| TF 12 min     | 0,45 a  |
| Média         | 0,47 a  |

Letras iguais, para uma mesma avaliação, não diferem entre si ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

A análise da Tabela 5 sugere que o processo de confecção dos painéis foi bem elaborado (a formação do colchão foi homogênea), uma vez que não houve variação nos valores de massa específica aparente entre os tratamentos. A massa específica aparente delineada no plano experimental foi de  $0,60 \text{ g/cm}^3$  e a média observada para todos os painéis foi de  $0,47 \text{ g/cm}^3$ . Isso ocorreu em consequência da regulagem da espessura dos painéis, sendo que os mesmos ficaram com espessura acima da desejada, ocasionando menores valores de densidade. A massa específica é de grande importância para os aspectos avaliativos das

propriedades físicas e mecânicas dos painéis, podendo a mesma influir significativamente sobre estas propriedades. A taxa de compressão, obtida ao dividir a massa específica dos painéis pela massa específica da madeira, foi de 1,34, valor superior ao mínimo recomendado por MALONEY (1993) para fabricação de painéis com boa resistência mecânica.

#### 4.4.2 Painéis fabricados com adesivo Fenol-Formaldeído (FF), Tanino-Formaldeído de *Pinus oocarpa* e adesivo FF modificado com tanino de pinus

##### 4.4.2.1 Avaliação do Inchamento em Espessura (IE) e Absorção de Água (AA)

Na Tabela 6 são mostrados os valores médios do Inchamento em espessura (IE) dos painéis OSB fabricados com adesivo FF, TF e FF modificado com tanino de pinus, após 2h e 24 h de imersão em água.

**Tabela 6.** Valores médios do Inchamento em Espessura (IE) dos painéis OSB fabricados com adesivo FF, TF e FF modificado com tanino de pinus, após 2h e 24 h de imersão em água para os diferentes tratamentos.

| Tratamento    | Inchamento em espessura (IE) |              |
|---------------|------------------------------|--------------|
|               | 2 horas (%)                  | 24 horas (%) |
| TF 9 min      | 14,5 b                       | 19,5 b       |
| TF 12 min     | 26,2 a                       | 33,1 a       |
| FF 9 min      | 7,9 d                        | 9,2 d        |
| FF 12 min     | 1,9 e                        | 7,2 e        |
| FF+ Tan 9 min | 7,6 d                        | 9,9 d        |
| FF+Tan 12 min | 10,5 c                       | 12,1 c       |

Letras iguais, para uma mesma avaliação, não diferem entre si ao nível de 95% de significância, pelo teste de Scott-Knott.

Na Tabela 7 são mostrados os valores médios de Absorção em Água (AA) dos painéis OSB fabricados com adesivo FF, TF e FF modificado com tanino de pinus, após 2h e 24 h de imersão em água.

**Tabela 7.** Valores médios de Absorção em Água (AA) dos painéis OSB fabricados com adesivo FF, TF e FF modificado com tanino de pinus, após 2h e 24 h de imersão em água para os diferentes tratamentos.

| Tratamento | Absorção em Água (AA) |              |
|------------|-----------------------|--------------|
|            | 2 horas (%)           | 24 horas (%) |
| TF 9 min   | 98,4 b                | 108,3 b      |

|               |         |         |
|---------------|---------|---------|
| TF 12 min     | 117,2 a | 127,4 a |
| FF 9 min      | 118,6 a | 132,6 a |
| FF 12 min     | 117,7 a | 131,9 a |
| FF+ Tan 9 min | 90,9 c  | 107,9 b |
| FF+Tan 12 mim | 84,9 c  | 96,7 c  |

Letras iguais, para uma mesma avaliação, não diferem entre si ao nível de 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Os painéis fabricados com adesivo FF apresentaram os melhores resultados quanto à estabilidade dimensional, uma vez que, na média, os melhores resultados de IE foram encontrados para esses painéis. O tempo de prensagem foi importante para cada tipo de painel fabricado, refletindo em diferenças significativas nos valores de Inchamento em Espessura (IE). Deve-se ressaltar que na confecção dos painéis não foi adicionado nenhum produto para reduzir a higroscopicidade dos mesmos, o que refletiria nos valores de IE e AA.

Para os painéis produzidos com FF, maiores tempos de prensagem possibilitaram a obtenção de menores valores de IE, sendo a diferença significativa. Para os painéis produzidos com TF e FF modificado com tanino, a relação foi invertida. Maiores tempos de prensagem ocasionaram maiores valores de IE tanto para 2h quanto para 24h de imersão em água. À 9 minutos de prensagem, a adição de 10 % de tanino ao adesivo FF não ocasionou diferenças significativas nos valores de IE. A literatura relata que maiores tempos de prensagem em material com baixo teor de umidade podem ocasionar maiores valores de Inchamento em Espessura (IE) em razão da liberação da tensão de prensagem, ou seja, as partículas que estavam sob tensão de compressão em razão da prensagem, liberam a tensão após o longo período de prensagem, podendo acarretar maiores valores de IE (PICHELIN et al., 2001). Isso pode não ter acontecido nos painéis FF, em virtude da grande capacidade de resistência à água deste adesivo.

Após 24 h, os painéis mantiveram a mesma relação de IE observada no ensaio após 2h. Ressalva-se que com relação ao IE, porção relevante do Inchamento total dos painéis aconteceu nas duas primeiras horas de contato com a água. Para o adesivo FF + Tan, em média, 82% do inchamento decorrido em 24 horas já havia acontecido nas duas primeiras horas. Para o adesivo TF de *Pinus oocarpa*, esse valor foi, em média, de 77%.

Segundo a norma canadense CSA 0437-0, o valor máximo de Inchamento em Espessura após 2h de imersão em água para painéis com espessura abaixo de 1,27 mm é de 15 % tanto para a categoria O-1 quanto O-2. Dessa forma, somente o tratamento TF - 12 mim, não alcançou o requisito da norma.

Assim como a norma canadense, a norma europeia (EN) regulamenta também os valores máximos permitidos para o IE para os diferentes tipos de painéis OSB (OSB 2006). Para o IE após 24 h de imersão em água, o máximo é de 25% para painéis OSB classificadas como OSB/1 (painéis para usos gerais e para componentes interiores, incluindo mobiliário, utilizadas em ambiente seco). Dessa forma, para a categoria OSB/1 todos os painéis fabricados atenderam o requisito da categoria, com exceção do tratamento TF - 12 mim, que não alcançou o requisito da norma.

Somente o tratamento TF - 12 mim, não atendeu a norma EN 300 para painéis classificados como OSB/2 (painéis para fins estruturais em ambientes secos), cujo valor máximo de IE é de 20%. Os painéis fabricados com adesivos FF e FF + Tan (TFF) tiveram valores de IE abaixo do máximo permitido de Inchamento para painéis para fins estruturais e utilizados em ambientes úmidos (OSB/3) que é de 15%, e também na categoria OSB/4 (painéis para uso estrutural especial, em ambientes úmidos), alcançando valores abaixo do máximo permitido que é de 12%.

Com relação à Absorção de Água (AA) observou-se, também que após 2h, não ocorreu diferença significativa entre os valores de AA dos painéis FF, bem como dos painéis FF modificados com tanino de *Pinus oocarpa*. Após 24h de imersão em água, ocorreu a mesma tendência encontrada após 2h, somente entre os painéis FF.

DEL MENEZZI (2004) testou metodologias para melhoria da estabilidade de painéis OSB. Para isso, painéis OSB foram submetidos a tratamentos térmicos em duas temperaturas (190°C e 220°C) por diferentes tempos. Os resultados mostraram que houve melhoria na estabilidade dimensional, reduzindo o IE em até 50% e a AA em até 33%, em comparação com a testemunha.

MENDES et al. (2007), testando resinas alternativas na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus sp* encontraram valores médios de Absorção de Água (AA) de 7,48% e 25,98% em 2 e 24 horas respectivamente e Inchamento em Espessura (IE) de 2,41 % e 11,07% em 2 e 24 horas respectivamente, utilizando resina FF. O valor de inchamento em espessura após 24 horas foi maior do que os encontrados neste trabalho.

#### 4.4.2.2 Avaliação da flexão estática (MOR e MOE) e tração perpendicular ao plano dos painéis (Ligação Interna – LI) fabricados com adesivo Fenol-Formaldeído (FF), Tanino-Formaldeído de *Pinus oocarpa* e adesivo FF modificado com tanino de pinus

A comparação dos valores médios encontrados para o Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) dos painéis OSB produzidos está apresentada na Tabela 8.

**Tabela 8.** Comparação dos valores médios para o Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) de corpos-de-prova dos painéis OSB fabricados com adesivos à base de taninos de *Pinus oocarpa* (TF), de Fenol-Formaldeído (FF) e Fenol-Formaldeído modificado com tanino de pinus (FF + Tan), ensaiados à flexão estática na direção paralela e perpendicular às fibras.

| Tratamento    | Flexão Estática (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |           |                         |          |
|---------------|--|-----------|-------------------------|----------|
|               | Paralela às fibras                     |           | Perpendicular às fibras |          |
|               | MOR                                    | MOE       | MOR                     | MOE      |
| TF 9 min      | 82,5 d                                 | 10423,0 b | 58,6 b                  | 7303,0 a |
| TF 12 min     | 25,8 e                                 | 2830,8 c  | 16,3 d                  | 1576,3 c |
| FF 9 min      | 89,9 d                                 | 11508,2 b | 44,8 c                  | 4793,7 b |
| FF 12 min     | 122,9 b                                | 11294,4 b | 73,3 a                  | 7109,6 a |
| FF+ Tan 9 min | 106,3 c                                | 12834,0 b | 71,3 a                  | 7013,3 a |
| FF+Tan 12 min | 149,0 a                                | 21123,1 a | 62,1 b                  | 6172,7 a |

Letras iguais, para uma mesma avaliação, não diferem entre si ao nível de 95% de significância, pelo teste de Scott-Knott.

De modo geral, observa-se que os maiores valores de MOR e MOE foram encontrados na direção longitudinal dos painéis (direção paralela às fibras).

Na direção paralela às fibras, os maiores valores de MOR foram encontrados no tratamento FF+ Tan 12 min. Para um mesmo tipo de painel, o tempo de prensagem foi importante para os valores de MOR. Para os painéis fabricados com tanino puro (TF), maiores tempos de prensagem ocasionaram redução drástica, tanto nos valores de MOR quanto de MOE, independente da direção considerada (paralela ou perpendicular). Para os painéis produzidos com FF, o aumento do tempo de prensagem de 9 min para 12 min contribuiu para aumento dos valores de MOR paralelo e perpendicular e MOE perpendicular. A adição de 10 % de tanino ao adesivo FF contribuiu para

obtenção de maiores valores de MOR e MOE na direção paralela às fibras. Aqui também, maior tempo de prensagem ocasionou maiores valores de MOR e MOE paralelo às fibras, sendo a diferença significativa.

Os valores de MOR paralelo ficaram abaixo dos valores encontrados por PEREIRA (2003) para painéis OSB fabricados com madeira de *E. urophylla* e 10% de adesivo Fenol-Formaldeído (FF). Os valores máximos de MOR paralelo não chegaram a 300 kgf/cm<sup>2</sup>. Deve-se ressaltar que a densidade média desse painéis ficou em torno de 0,70 g/cm<sup>3</sup>.

GOUVEIA et al. (2003) trabalhando com misturas de partículas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* encontraram valores de MOR paralelo que variaram de 336,6 kgf/cm<sup>2</sup> a 422,9 kgf/cm<sup>2</sup>. Os painéis foram fabricados com densidade de 0,70g/cm<sup>3</sup>.

Na Tabela 9 são mostrados os valores médios de Ligação interna (LI) dos painéis OSB fabricados com adesivo Tanino-Formaldeído de *Pinus oocarpa*, Fenol-Formaldeído (FF) e adesivo FF modificado com tanino de pinus.

**Tabela 9.** Valores médios de Ligação interna (LI) dos painéis OSB fabricados com adesivo Tanino-Formaldeído de *Pinus oocarpa*, Fenol-Formaldeído (FF) e adesivo FF modificado com tanino de pinus, para os diferentes tratamentos.

| Tratamento    | LI (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------------|---------------------------|
| TF 9 min      | 0,78 d                    |
| TF 12 min     | 0,25 e                    |
| FF 9 min      | 1,63 c                    |
| FF 12 min     | 2,11 b                    |
| FF+ Tan 9 min | 0,75 d                    |
| FF+Tan 12 min | 2,81 a                    |

Letras iguais, para uma mesma avaliação, não diferem entre si ao nível de 95% de significância, pelo teste de Scott-Knott.

Os painéis fabricados com adesivo FF apresentaram valores médios de LI de 1,87 kgf/cm<sup>2</sup>. A substituição de 10% do adesivo FF por tanino de acácia negra (T2) alterou negativamente os valores de LI (1,78 kgf/cm<sup>2</sup>), sendo que houve diferença significativa entre FF+ Tan 9 min e FF+ Tan 12 min.

Os painéis fabricados com adesivo TF de *Pinus oocarpa* apresentaram valores médios de LI de 0,51 kgf/cm<sup>2</sup>, valores esses significativamente inferiores aos obtidos para o adesivo FF puro.

MENDES et al. (2007), testando resinas alternativas na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus sp* encontraram valores médios de Ligação Interna (LI) para resina FF de 4,02 kgf/cm<sup>2</sup>, sendo maiores que os encontrados neste trabalho.

O tempo de prensagem foi importante na obtenção dos valores de Ligação Interna (LI). Para os painéis OSB fabricados com tanino puro de pinus, o aumento do tempo de prensagem de 9 para 12 min foi prejudicial, pois acarretou menores valores de LI. Para os painéis fabricados com adesivo FF e FF modificado com tanino, o aumento do tempo de prensagem foi favorável, uma vez que maiores valores de LI foram obtidos.

#### 4.4.3 Painéis fabricados com adesivo Uréia-Formaldeído (UF), Tanino-Formaldeído de *Pinus oocarpa* e adesivo UF modificado com tanino de *pinus*

##### 4.4.3.1 Avaliação do Inchamento em Espessura (IE) e Absorção de Água (AA)

Na Tabela 10 são mostrados os valores médios do inchamento em espessura (IE) dos painéis OSB, após 2h e 24 h de imersão em água. Na Tabela 11 são mostrados os valores médios de Absorção em Água (AA) dos painéis OSB, após 2h e 24 h de imersão em água.

**Tabela 10.** Valores médios do Inchamento em Espessura (IE) dos painéis OSB, após 2h e 24 h de imersão em água para os diferentes tratamentos.

| Tratamento    | Inchamento em espessura (IE) |              |
|---------------|------------------------------|--------------|
|               | 2 horas (%)                  | 24 horas (%) |
| TF 9 min      | 14,5 b                       | 19,5 b       |
| TF 12 min     | 26,2 a                       | 33,1 a       |
| UF 9 min      | 6,6 e                        | 7,7 e        |
| UF 12 min     | 7,9 d                        | 10,2 d       |
| UF+ Tan 9 min | 5,5 e                        | 7,1 e        |
| UF+Tan 12 min | 11,2 c                       | 16,5 c       |

Letras iguais, para uma mesma avaliação, não diferem entre si ao nível de 95% de significância, pelo teste de Scott-Knott.

**Tabela 11.** Valores médios de Absorção em Água (AA) dos painéis OSB, após 2h e 24 h de imersão em água para os diferentes tratamentos.

| Tratamento    | Absorção em água (AA) |              |
|---------------|-----------------------|--------------|
|               | 2 horas (%)           | 24 horas (%) |
| TF 9 min      | 98,4 b                | 108,3 b      |
| TF 12 min     | 117,2 a               | 127,4 a      |
| UF 9 min      | 86,5 c                | 100,4 c      |
| UF 12 min     | 112,9 a               | 127,9 a      |
| UF+ Tan 9 min | 98,7 b                | 109,2 b      |
| UF+Tan 12 min | 80,6 d                | 91,7 d       |

Letras iguais, para uma mesma avaliação, não diferem entre si ao nível de 95% de significância, pelo teste de Scott-Knott.

Os painéis apresentaram valores de IE distintos. Os valores de IE após 24h seguiram a mesma tendência apresentada após 2h. Nota-se a grande diferença nos valores de IE entre os painéis OSB fabricados com TF e UF. Houve diferença significativa nos valores de IE para os diferentes painéis em função do tempo de prensagem. Deve-se ressaltar que na fabricação dos painéis não foi adicionado nenhum produto para reduzir a higroscopicidade dos mesmos, o que refletiria nos valores de IE e AA.

Os maiores valores de IE foram obtidos para painéis fabricados com adesivo puro de tanino de *Pinus oocarpa*. Em todos os painéis, maiores tempos de prensagem ocasionaram maiores valores de IE, tanto para 2h, quanto para 24h. A adição de tanino ao adesivo UF no tempo de prensagem de 9 min não alterou significativamente os valores de IE, ao contrário do

tempo de 12 min, onde o acréscimo ocasionou maiores valores de IE nos painéis.

OKINO et al. (2008), estudando propriedades de painéis OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*, encontraram valores de inchamento em espessura de 37,5 % e 59,8 % após 2h e 24 h, respectivamente, para painéis OSB de *Eucalyptus grandis* e 38,8 % e 51,1 % após 2h e 24 h, respectivamente, para painéis OSB de *Cupressus glauca* utilizando Uréia-formaldeído. Desta forma, os painéis fabricados tiveram valores muito inferiores aos encontrados pelos autores acima.

Segundo a norma canadense CSA 0437-0, o valor máximo de Inchamento em Espessura após 2h de imersão em água para painéis com espessura abaixo de 1,27 mm é de 15 % tanto para a categoria O-1 quanto O-2. Dessa forma, somente o tratamento TF - 12 mim, não alcançou o requisito da norma.

Assim como a norma canadense, a norma européia (EN) regulamenta também os valores máximos permitidos para o IE para os diferentes tipos de painéis OSB (OSB 2006b). Para o IE após 24 h de imersão em água, o máximo é de 25% para painéis OSB classificadas como OSB/1 (painéis para usos gerais e para componentes interiores, incluindo mobiliário, utilizados em ambiente seco). Dessa forma, para a categoria OSB/1 todos os painéis fabricados atenderam o requisito da categoria, menos o tratamento TF - 12 mim, que não alcançou o requisito da norma.

Somente o tratamento TF - 12 mim, não atendeu a norma EN 300 para painéis classificados como OSB/2 (painéis para fins estruturais em ambientes secos), cujo valor máximo de IE é de 20%. Os painéis fabricados com adesivos UF e o UF + Tan 9 mim tiveram valores de IE abaixo do máximo permitido de Inchamento para painéis para fins estruturais e utilizados em ambientes úmidos (OSB/3) que é de 15% e também na categoria OSB/4 (painéis para uso estrutural especial, em ambientes úmidos), alcançando valores abaixo do máximo permitido que é de 12%.

Com relação à Absorção de Água (AA) observou-se, também que após 2h, ocorreu diferença significativa entre os valores de AA entre os painéis. Após 24h de imersão em água, ocorreu a mesma tendência encontrada após 2h, ou seja, para cada tipo de painel, incluindo também os painéis TF, houve diferença significativa nos valores de Absorção em Água (AA).

OKINO et al. (2009) estudando o uso das madeiras de, pinus na fabricação de painéis OSB encontraram valores de Absorção em água após 2h e 24h de 109,9 % e 122,5 %, respectivamente, para painéis produzidos com Uréia-formaldeído, ficando os valores próximos dos encontrados neste trabalho.

#### **4.4.3.2 Avaliação da flexão estática (MOR e MOE) e tração perpendicular ao plano dos painéis (Ligação Interna – LI) fabricados com adesivo Uréia-Formaldeído (UF), Tanino-Formaldeído de *Pinus oocarpa* e adesivo UF modificado com tanino de pinus**

A compara o dos valores médios encontrados para o Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) dos painéis OSB produzidos está apresentada na Tabela 12.

**Tabela 12.** Compara o dos valores médios para o Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) dos painéis OSB fabricados com adesivos   base de taninos de *Pinus oocarpa* (TF), Uréia-Formaldeído (UF) e Uréia-Formaldeído modificada com tanino de pinus

(TUF) ensaiados à flexão estática na direção paralela e perpendicular às fibras.

| Tratamento    | Flexão Estática    |           |                         |          |
|---------------|--------------------|-----------|-------------------------|----------|
|               | Paralela às fibras |           | Perpendicular às fibras |          |
|               | MOR                | MOE       | MOR                     | MOE      |
| TF 9 min      | 82,5 e             | 10423,0 d | 58,6 b                  | 7303,0 a |
| TF 12 min     | 25,8 f             | 2830,8 e  | 16,3 d                  | 1576,3 e |
| UF 9 min      | 126,7 c            | 14327,6 c | 51,6 c                  | 4254,4 c |
| UF 12 min     | 101,7 d            | 13674,2 c | 76,1 a                  | 6587,3 b |
| UF+ Tan 9 min | 155,3 b            | 17353,8 b | 44,6 c                  | 3607,8 d |
| UF+Tan 12 min | 188,5 a            | 26148,7 a | 75,1 a                  | 7261,2 a |

Letras iguais, para uma mesma avaliação, não diferem entre si ao nível de 95% de significância, pelo teste de Scott-Knott.

De modo geral, observa-se que os maiores valores de MOR e MOE foram encontrados na direção longitudinal dos painéis (direção paralela às fibras). Na direção paralela às fibras, os maiores valores de MOR e MOE foram encontrados no tratamento UF+Tan 12 min. Houve diferença significativa nos valores de MOR entre todos os tratamentos. O tempo de prensagem foi importante para a flexão estática. Para os painéis TF e UF, maiores tempos de prensagem ocasionaram menores valores de MOR e MOE tanto na direção paralela quanto na direção perpendicular. Interessante é que a substituição de parte do adesivo UF por tanino promoveu a obtenção de maiores valores de MOR e MOE na direção paralela. O tempo de prensagem interferiu também positivamente para obtenção de maiores valores de MOR e MOE.

Os valores de MOR paralelo ficaram abaixo dos valores encontrados por OKINO et al. (2009) para painéis OSB fabricados com madeira de *Pinus taeda* e com 10% de adesivo Uréia-Formaldeído (UF). Os valores máximos de MOR paralelo chegaram a 215 kgf/cm<sup>2</sup> na direção paralela e 172 kgf/cm<sup>2</sup> na direção perpendicular.

Os valores de MOR e MOE na direção perpendicular ficaram abaixo dos valores médios encontrados por MENDES (2008), em painéis OSB fabricados com madeira de *Cunninghamia lanceolata*, que foram de 228,59 kgf/cm<sup>2</sup> e 13241,12 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Na Tabela 13 são mostrados os valores médios de Ligação interna (LI) dos painéis OSB fabricados com adesivos à base de taninos de *Pinus oocarpa* (TF), Uréia-Formaldeído (UF) e Uréia-Formaldeído modificada com tanino de pinus (TUF).

**Tabela 13.** Valores médios de ligação interna (LI) dos painéis OSB fabricados com adesivo à base de taninos de *Pinus oocarpa* (TF), Uréia-Formaldeído (UF) e Uréia-Formaldeído modificada com tanino de pinus (TUF), para os diferentes tratamentos.

| Tratamento    | LI (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------------|---------------------------|
| TF 9 min      | 0,78 e                    |
| TF 12 min     | 0,25 f                    |
| UF 9 min      | 2,55 c                    |
| UF 12 min     | 3,07 b                    |
| UF+ Tan 9 min | 1,66 d                    |
| UF+Tan 12 min | 4,97 a                    |

Letras iguais, para uma mesma avaliação, não diferem entre si ao nível de 95% de significância, pelo teste de Scott-Knott.

Os painéis fabricados com adesivo UF apresentaram valores médios de LI de 2,81 kgf/cm<sup>2</sup>. A substituição de 10% do adesivo UF por tanino de acácia negra (T2) alterou positivamente os valores de LI (3,31 kgf/cm<sup>2</sup>), sendo que houve diferença significativa entre UF+ Tan 9 mim e UF+ Tan 12 mim.

Os painéis fabricados com adesivo TF de *Pinus oocarpa* apresentaram valores médios de LI de 0,51 kgf/cm<sup>2</sup>, valores esses significativamente inferiores aos obtidos para o adesivo UF puro.

O tempo de prensagem interferiu também nos valores de LI. Com exceção dos painéis fabricados com TF, maiores tempos de prensagem favoreceram para obtenção de maiores valores de LI.

OKINO et al. (2009) avaliando madeira de, pinus na fabricação de painéis OSB encontraram valores de ligação interna entre 0,6 e 0,9 kgf/cm<sup>2</sup> para painéis de OSB , utilizando Uréia-formaldeído, mostrando-se abaixo dos valores encontrados neste estudo. No estudo de *Eucalyptus grandis*, OKINO (2008) encontrou valores de ligação interna entre 3,5 e 4,2 kgf/cm<sup>2</sup> para chapas de OSB utilizando Uréia-formaldeído, mostrando-se acima dos valores encontrados neste trabalho.

## 5. CONCLUSÕES

No processo de extração de taninos da casca de *Pinus oocarpa*, o tratamento com sulfito de sódio a 5 % proporcionou o maior rendimento em taninos condensados, evidenciando a importância da utilização deste sal no processo de extração.

Os extratos tânicos da casca de *Pinus oocarpa* apresentaram boas propriedades de colagem, possibilitando sua utilização na confecção de adesivos para painéis OSB.

A adição do extrato tânico da casca de *Pinus oocarpa* aos adesivos sintéticos contribuiu para aumento nos valores de viscosidade. Desta forma, a substituição de adesivos sintéticos por taninos da casca de *Pinus oocarpa* é possível somente até 10%.

Os painéis fabricados com adesivo de tanino de pinus (TF) apresentaram os maiores valores

de Inchamento em Espessura, evidenciando a baixa resistência à umidade dos mesmos.

Para painéis produzidos com adesivos UF e suas modificações com tanino de *Pinus oocarpa*, o tempo de prensagem foi uma variável importante para a estabilidade dimensional dos painéis. Dessa forma, deve-se utilizar tempo de prensagem de 9 min, acarretando assim menor consumo de energia.

É possível substituir o adesivo UF em até 10% por tanino de *Pinus oocarpa*, sem alterar negativamente os valores das propriedades de resistência à flexão dos painéis. Houve aumento nos valores de MOR nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras e MOE no sentido perpendicular.

Para a Ligação interna (LI), a adição 10% de extrato tânico aos adesivos UF e FF favoreceu para a obtenção de maiores valores no tempo de prensagem de 12 minutos.

De modo geral, a modificação do adesivo FF pelo extrato tânico na proporção de 10 % foi favorável, uma vez que maiores valores das propriedades mecânicas foram obtidas.

Os resultados mostraram que é possível fabricar painéis OSB com adesivos à base de taninos da casca de *Pinus oocarpa*. Entretanto, devem ser feitos painéis com maiores densidades, procurando-se adequar às normas vigentes.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba –PR.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: **Standart methods of evaluation of the properties of wood - base fiber and particle panel materials**. Annual book of ASTM Standarts, ASTM D1037. Philadelphia, 1982

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: **Standart specification for adhesives used in nonstructural glued lumber products**. ASTM D-3110. Annual book of ASTM Standarts, 1994

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: **Standart test for strenght**

**properties of adhesive bonds in shear by compression loading.** ASTM D-905. Annual book of ASTM Standards, 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: Test Method for Viscosity by Ford Viscosity. ASTM D-1200, 1994

ARRUDA, L.M. **Propriedades de painéis aglomerados: Resinas sintéticas x Bambu, Guadua magna e Pinus taeda L.** Brasília – DF, Arquivs, n. 08, 2009.

AVRAMIDIS, S; SMITH, L. A. The effect of resin content and face-to-core ratio on some properties of Oriented Strand Board. **Holzforschung**, Berlin, V. 43, n. 2, p.131-133, 1989

AYLA, C; WEISSMANN, G.: Neue Entwicklungen in der Verwendung von Tanninformaldehydharzen bei der Herstellung von Holzspanplatten. **Adhäsion** v:11p.26-31, 1982.

BORGES, A. S., CINIGLIO, G., BRITO, J. O. Considerações energéticas e econômicas sobre resíduos de madeira processada em serrarias. IN: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, Sociedade Brasileira de Engenheiros Florestais, 1993. **Anais...**, p. 603-605.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J.N. Propriedade de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, V. 28, n.4, p.563-570, 2004

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de Pinus elliottii Engelm. Var. elliottii plantado no sul do Brasil.** 1995, 123f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba - PR

CWAR - CENTER FOR WOOD ANATOMY RESEARCH. *Pinus oocarpa*, descrição e usos. Disponível em: <http://www2.fpl.fs.fed.us/Teechsheets/Chudnoff/TropAmerican/htmlfiles/pinuso1new.html>. Acesso em: 14/02/2010.

CLOUTIER, A. Oriented Strandboard (OSB): Raw Material, Manufacturing Process, Properties, and Uses. In: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA e I ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa – MG, SIF/UFV, 1998. p.173-185

CLOUTIER, A.; ANANIAS, R. A.; BALLERINI, A.; PECHO, R. Effect of pine juvenile wood on the physical and mechanical properties of oriented strandboard. **Holz als Roh- und Werkstoff**, V. 65, p. 157-162, 2007

COPPENS, H. **Adesivo à base de tanino resorcinol para laminados de pinheiro do Paraná para uso exterior.** Dpq – Série Técnica nº 3, IBDF, Brasília, p.17, 1979

COPPENS, H.; SANTANA, M.A.E. & PASTORE JUNIOR, F. Tannin-formaldehyde

adhesive for exterior-grade plywood and particleboard manufacture. **Forest Product Journal**, V. 30, n. 4, p.38-42, 1980.

DEL MENEZZI, C.H.S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas**. 2004. 238f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba - PR

DEPPE, H. J.; ERNST, K. Isocyanate als Spanplattenbindemittel. **Holz als Roh- und Werkstoff** 29: 45-50, 1971

DEPPE, H. J.; ERNST, K. **Taschenbuch der Spanplattentechnik**. 3. Überarbeitete und erweiterte Auflage. DRW-Verlag, Stuttgart. 467s, 1991.

DIX, B.; MARUTZKY, R. Untersuchungen zur Gewinnung von Polyphenole aus Nadelholzrinden. **Holz als Roh- und Werkstoff** 41: 45-50, 1982

DIX, B.; MARUTZKY, R. Tanninformaldehydharze aus den Rindenextrakten von Fichte (*Picea abies*) und Kiefer (*Pinus sylvestris*). **Holz als Roh- und Werkstoff** 45: 457-463, 1987.

FERREIRA, E.S. **Utilização dos Polifenóis da Casca de Pinus para Produção de Adesivos para Compensados**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ

GEIMER, R. L. **Flake alignment in particleboard as affected by machine variables and particle geometry**. USDA - Forest Service, Research Paper FPL 275. 1976

GNAMM, H. **Die Gerbstoffe und Gerbmittel**. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH. 2. Aufl. Stuttgart. 1933.

GONÇALVES, C. A. **Utilização do tanino da madeira de *Mimosa caesalpiniaefolia* Bentham (Sabiá) como matéria prima alternativa para a produção de adesivos**. Seropédica, 2000. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica-RJ.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C. Avaliação do teor de tanino condensáveis de cinco de leguminosas arbóreas. In: FOREST 2000. **Anais...** p. 393-394, 2000.

GOUVEIA, F. N.; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. R. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake na fabricação de chapas de partículas orientadas (OSB) e Não-orientadas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 24, n. 1, p.7-12, 2000

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B.R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, V. 27, n. 3, p.365-370, 2003.

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B.R.; SANTANA, M. A. E. Produção de Painéis de Partículas Orientadas – OSB a partir da mistura de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus*

*elliottii* Engelm. **Brasil Florestal**, V.77, p.21-27, 2003

GUANGCHENG, Z.; YUNLU, L.; YAZAKI, Y. Extractive yields, Stiasny values and polyflavonoid contents in barks from six acacia species in Australia. **Australian Forestry** V.54 ,P 154 -156, 1991.

HASLAM, E. **Chemistry of vegetable tannins**. London: Academic, 1966.177p.

HAYGREEN, J. G.; BOWER, J. L. **Forest Products and Wood Science: an introduction**. Drawings by Karen Lilley. 3 rd ed, 1996, 376 p.

HEMINGWAY, R.W. Adhesives from southern pine bark – a review of past and current approaches to resin formulation problems. **Forest Product Research Society**, Madison/Wisconsin, USA, p. 443-457, 1978

HERGERT, H. L. Condensed Tannins in adhesives: Introduction and historical perspectives. IN: HEMINGWAY, R. W., CONNER, A. H., BRANHAM, S.J. **Adhesives from renewable resources**. American Chemical Society, Washington, D.C., p. 155-171, 1989. (ACS Symposium).

HILLIS, W. E. **Natural Polyphenols (Tannins) as a Basis for Adhesives**. Second Weyerhaeuser science Symp.: Phenolic Resins. Chemistry and Application, 171-187. 1981.

HRÁZSKY, J.; KRÁL, P. Determination of relationships between density, amount of glue and mechanical properties of OSB. **Drvna industrija**, V. 60, n.1, p. 7-14, 2009

INGEMPRO. Inovação, gestão e produção. Modelo de estratégias competitivas de Porter: um estudo das potencialidades da produção de OBS. Disponível em: <http://www.ingempro.com.br>. Acesso em:18/01/2010.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas**. 1989, 130f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). UFPR, Curitiba – PR.

IWAKIRI, S.; SILVA, J.M.R.; MATOSKI, S.L.S.; LEONHADT, G.; CARON, J. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica v.8, n.1, p. 137-142, 2001.

IWAKIRI, S.; MENDES, L.M.; SALDANHA, L.K. Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria – RS, v.13, n.1, p.89-94, 2003.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K.; SANTOS, J. C. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas. **Cerne**, Lavras, v.10, n.1, p.46-52, 2004

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

IWAKIRI, S; SALDANHA, L. K; ALBUQUERQUE, C. E. C. de; MENDES, L. M.; Influência da espessura de partículas e reforço laminar nas propriedades dos painéis de

partículas orientadas OSB de *Pinus taeda* L. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 116-122, jan./mar. 2009.

KEINERT, J.; WOLF, F. **Alternativas de adesivos à base de taninos para madeira**. Curitiba: FUPEF, 1984. 25 p. Série Técnica.

KHAN, A.A.; ZAMAN, M.B. Studies on babul tannins. **The pakistan journal of Forestry**, Pakistan, v. 11, n.1, p. 354-356, 1961.

JUVENAL, T.L.; MATTOS, R.L.G. **Painéis de madeira reconstituída**. Rio de Janeiro: BNDES, 2002, 21 p.

LELIS, R.C.C. **Zur Bedeutung der Kerninhaltsstoffe obligatorisch verkernter Nadelbaumarten bei der Herstellung von feuchtbeständigen und biologisch resistenten Holzspanplatten, am Beispiel der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco)**. 1995. 260p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, Göttingen-Alemnha .

LELIS, R. C. C.; GONÇALVES, F. G. Avaliação da qualidade de duas resinas sintéticas após a adição de tanino de Acácia Negra (*Acácia mearnsii* De Wild). In: FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS AND EXHIBITION ON FOREST, FOREST 99. **Anais...**, CDROM, Bio2048, 1998.

LORENZI, H; SOUZA, H.M. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Instituto Plantarum, 382p, 2005.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. São Francisco: Miller Freeman Inc., 1993, 2 ed. 689 p.

MATOS, J.L.M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais "Waferboards"**. 1988. 164f. Dissertação, (Mestrado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba – PR

MENDES, L. M; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT Jr, S.; SALDANHA, L. K. Avaliação do sistema de orientação de partículas na produção de painéis OSB (Oriented Strand Board). **Revista Cerne**, Lavras - MG, V. 6, n.1, p.01-08, 2000

MENDES, L. M. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba – PR

MENDES, L. M; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT Jr, S.; SALDANHA, L. K. *Pinus spp* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). **Ciência Florestal**, Santa Maria - RS, V.12, n.2, p.135-145, 2002

MENDES,S.A; MENDES, L. M; CHAVES, M.D;MORI, F.A. Utilização de resinas alternativas na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus spp.* **Cerne**,Lavras, v.13

n.3, p.257-263, jul/set. 2007.

MENDES, R.F; JUNIOR, B. G; MENDES, L.M. Utilização de *Cunninghamia lanceolata* na confecção de painéis OSB. In: XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, **Anais...**, Londrina, julho 2008.

METCHE, M. **Tanins, nature et propriétés**, Groupe Polyphénols. Nancy. v.10, p. 11-32, 1980.

MBG – MISSOURI BOTANICAL GARDEN. Angiosperm Phylogeny Website. Disponível em: <http://www.mobot.org/Mobot/Research/APWeb/>. Acesso em: 10/12/2009.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard**. V.1. Southern Illinois University Press. Carbondale and Edwardsville, 1974

MORI, F.A.; VITAL, B.R.; LUCIA, R.M.; VALENTE, O.F.; PIMENTA, A.S. Utilização de resinas à base de taninos das cascas de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden na produção de painéis compensados. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, V. 23, p.455-461, 1999

MORI, C. L. S. O.; MORI, F. A.; PIMENTA, A. S.; MELO, V.M. Influência da temperatura, tipos e concentrações de sais inorgânicos no rendimento em taninos das cascas de *Eucalipytus*. In: VI CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS. Forest 2000. **Anais...**, p. 408, 2000

NASCIMENTO, M. F; MORALES, E. A M; LAHR, F. A R; CHRISTOFORO, A; CARVALHO, A de. Fabricação de chapas de OSB (oriented strand board) com madeiras nativas oriundas do NE do Brasil. In: 10º ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA-EBRAMEN, **Anais**. São Pedro –SP, 2006.

OKINO, E. Y. A; TEIXEIRA, D. E; SOUZA, M. R. de; SANTANA, M. A E.;SOUZA, M. E. de, Propriedades de chapas OSB de *Eucalipytus grandis* e de *Cupressus glauca*.**Scientia Forestalis.**, Piracicaba, v 36, n 78 p 123-131, 2008.

OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D.E.; SOUZA, M. R. de; SANTANA, M. A E.; SILVA,C.B.G. da; TOMAZ, R.B.; SOUZA, M. E. de. Uso das madeiras de seringueira, pinus e cipreste na fabricação de chapas OSB. **Floresta**, Curitiba, PR, v.39, n.2, p. 457-468, 2009.

OSB. O que é OSB? Disponível em: <http://www.compensadosboqueirao.com.br>. Acesso em: 25/01/2010.

PASTORE JUNIOR, F. **Produção de adesivos à base de tanino**. Comunicação técnica n°19, PRODEPEF, Brasília, BR, 1977.

PEREIRA, K.R.M. **Chapas de partículas OSB fabricadas com madeira de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes variáveis de processo**. 2003. 48p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Seropédica – RJ

PICHELIN, F.; PIZZI, A.; FRUHWALD, A.; TRIBOULOT, P. Exterior OSB preparation technology at high moisture content - Part 1: Transfer mechanisms and pressing parameters. **Holz als Roh- und Werkstoff**, V. 59, p. 256-265, 2001.

PICHELIN, F.; PIZZI, A.; FRUHWALD, A.; TRIBOULOT, P. Exterior OSB preparation technology at high moisture content - Part 2: Transfer mechanisms and pressing parameters. **Holz als Roh- und Werkstoff**, V. 60, p. 9-17, 2002.

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

PIZZI, A. Natural phenolic adhesives I: Tannin. IN: **Handbook of adhesive technology**. Marcel Dekker, New York, Basel, Hong Kong, 680p, 1994.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. Marcel Dekker, New York, 347-358, 1994.

PIZZI, A.; STEPHANOU, A. Fast vs. Slow-reacting non modified tanin extracts for exterior particleboard adhesives. **Holz als Roh-und Werkstoff** 52: 218-222, 1994.

POSER, G. L. von; GOSMANN, G. Acácia-Negra. **Ciência Hoje**, v.11, n.63, p.68-70, 1990.

POURRAT, H., 1980, Les drogues à tanins dans la pharmacologie moderne, Groupe Polyphénols. Nancy. v.10, p. 33-57, 1980.

PRASETYA, B.; ROFFAEL, E. Neuartige Charakterisierung von natürlichen Polyphenolen hinsichtlich ihrer Vernetzbarkeit. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v 49, p 481-484, 1991.

ROFFAEL, E. Über die Reaktivität von wäßrigen Rindenextrakten gegenüber Formaldehyd. **Adhäsion**, v. 20, n.11, p.306-311, 1976.

ROFFAEL, E. **Die Formaldehydabgabe von Spanplatten und anderen Holzwerkstoffen**. DRW-Verlag, Stuttgart, 1982, 154p.

ROFFAEL, E.; DIX B. Zur Verwertung von Rindenextraktstoffen unter besonderer Berücksichtigung der Rindenpolyphenole. **Holz-Zentralblatt** 115 (113):2084-2085, 1989.

ROFFAEL, E.; DIX B. Tannine als Bindemittel für Holzwerkstoffe. **Holz-Zentralblatt** 120(6): 90-93, 1994.

ROUX, D.G.; FERREIRA, D.; HUNDT, H.K.L.; MALAN, E. Structure, stereochemistry and reactivity of natural condensed tannins as basis for their extended industrial application. In: **Appl. Polymer Symp.** V.28, p. 335-353, 1975.

SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S.; MENDES, L. M. Avaliação da influência da quantidade de resina fenol – formaldeído e da parafina sobre as propriedades de chapas “OSB”. In: **II CONGRESSO IBERO – AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS**. Anais, Curitiba, p. 62. 2002.

SAMLAIC, J. Os atuais problemas e as possibilidades dos adesivos para a madeira. **Revista da Madeira**, fev./1983

SANCHES, A. S.; EDUARDO, P.; MERELLO, A.; EDUARDO, J. **Fabricacion de OSB y contrachapado a partir de *Eucalyptus nitens*: Analisis del comportamiento en proceso**. Memoria para optar al titulo de Ingeniero civil en industrias forestales, Universidad del Bio-Bio Concepción, Chile, 2005, 411p.

SANTANA, M. A. E.; COPPENS, H.; PASTORE JUNIOR, F. NAKAMURA, R. M. **Adesivo de tanino-formaldeído para fabricação de compensado e aglomerado para uso interior e exterior**. Dpq – Série técnica n°2 – IBDF, Brasília, p. 19, 1979.

SANTANA, M. A. E.; PASTORE JUNIOR, F. **Adesivos de tanino-formaldeído para aglomerados**. DE – Série técnica n°2 – IBDF, Brasília, p.12, 1981.

SBS. Fatos e números do Brasil florestal. Disponível em [http://www.sbs.org.br/Fatos\\_eNumerosdoBrasilflorestal.pdf](http://www.sbs.org.br/Fatos_eNumerosdoBrasilflorestal.pdf). Acesso em: 05.11.2009.

SHIMIZU, J.Y. **Espécies: *Pinus taeda***. In: Cultivo do Pinus. Embrapa Florestas, V. 5, 2005.

SILVA, J.C. Perspectivas do setor florestal. **Revista da Madeira**, Curitiba, Edição especial eucalipto, p.4-6, 2003.

SINCOL. **Uso do pinus em portas, batentes e guarnições**. Relatório técnico. Caçador – SC, 2008.

SOBRAL FILHO, M. Influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels. **Forest Products Journal**, v. 39, n. 9, p. 43-52, 1981.

TEODORO, Â. S.; LELIS, R. C. C; DIAS, L. A.; Efeito da adição de sulfito de sódio na extração de taninos da casca de *Pinus caribaea* var. *Caribaea*. In: 55ª REUNIÃO ANUAL DA SBPC. Recife – PE, 2003, **Anais...**, 1 CD – Rom, 2003.

TEODORO, Â. S.; **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB** 2008 91p Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, Seropédica – RJ

TOMASELLI, I. A indústria de painéis no Brasil e no mundo: tendências de mudanças do perfil de produção e usos: In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA, 1998. Belo Horizonte. **Anais...**, Viçosa – MG, SIF/UFV, 1998, p.55-64

TOSTES, A.S. **Tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell como fonte de adesivos para produção de chapas de madeira aglomerada**. 2003. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, Seropédica – RJ

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood:structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991, p.309-339

VITAL, B. R; LEHMANN, W. F.; BOONE, R. S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, v. 24, n.12, p. 37-45, 1974.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Boletim Técnico n° 15, UFV, Viçosa – MG, 1984, 15 p.

WALKER, J.C.F. **Primary wood processing: principles and practice**. London:Chapman & Hall, 1993, p.377-416

WALKER, J.C.F. **Primary wood processing. Principles and practice**. 2 Edition, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. 596p. 2006.

WANG, S.; WINISTORFER, P. M. The effect of species and species distribution on the layer characteristics of OSB. **Forest Products Journal**, V.50, n. 4, p.37-48, 2000.

WEISSMANN, G.; AYLA, C. Die Verwendung von natürlichen Polyphenolen zur Herstellung von Holzleimen. **Holz als Roh- und Werkstoff** 38: 254-249, 1980.

WEISSMANN, G. Untersuchung der Rindenextrakt von Lärchen. **Holzforschung und Holzverwertung** v37, n.4, p 67-71, 1985.

WISSING, A. The utilization of bark II: Investigation of the Stiasny-reaction for the precipitation of polyphenols in Pine bark extractives. **Svensk Papperstidning** v58 n 20, p 745-750, 1955.

ZUCKER, W.V. 1983, Tannins: does structure determine function? An ecological perspective, **The American Naturalist**, Lancaster, v. 121 n. 3, p. 335-365, 1983.

## ANEXOS

**Avaliação das propriedades químicas para os diferentes tratamentos da casca de *Pinus oocarpa*.**

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância para o Número de Stiasny – NS.

| <b>FONTES<br/>VARIAÇÃO</b> | <b>DE</b> | <b>G.L.</b> | <b>SQ</b> | <b>QM</b> | <b>F</b> | <b>Significância</b> |
|----------------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|----------|----------------------|
| <b>TRATAMENTO</b>          |           | 7           | 3042,529  | 434,6469  | 15,301   | 0,00000              |
| <b>RESÍDUO</b>             |           | 32          | 909,0307  | 28,40721  |          |                      |
| <b>Coef. de variação</b>   |           | 6,543       |           |           |          |                      |

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para o teor de polifenóis pelo método Ultravioleta (UV).

| <b>Fontes de variação</b> | <b>G.L.</b> | <b>SQ</b> | <b>QM</b> | <b>F</b> | <b>Significância</b> |
|---------------------------|-------------|-----------|-----------|----------|----------------------|
|---------------------------|-------------|-----------|-----------|----------|----------------------|

|                   |       |          |          |        |         |
|-------------------|-------|----------|----------|--------|---------|
| TRAT              | 7     | 838,8603 | 119,8372 | 16,460 | 0,00000 |
| Resíduo           | 32    | 232,9709 | 7,280339 |        |         |
| Coef. de variação | 2,771 |          |          |        |         |

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância para a percentagem de extrativos.

| Fontes de variação | G.L.   | SQ       | QM       | F      | Significância |
|--------------------|--------|----------|----------|--------|---------------|
| TRAT               | 7      | 611,1264 | 87,30378 | 13,350 | 0,00000       |
| Resíduo            | 32     | 209,2680 | 6,539625 |        |               |
| Coef. de variação  | 10,690 |          |          |        |               |

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância para a percentagem de tanino.

| Fontes de variação | G.L.  | SQ       | QM       | F      | Significância |
|--------------------|-------|----------|----------|--------|---------------|
| TRAT               | 7     | 468,5048 | 66,92926 | 18,369 | 0,00000       |
| Resíduo            | 32    | 116,5961 | 3,643628 |        |               |
| Coef. de variação  | 9,864 |          |          |        |               |

**Tabela 5.** Resumo da análise de variância para a percentagem de não-taninos.

| Fontes de variação | G.L.   | SQ       | QM       | F      | Significância |
|--------------------|--------|----------|----------|--------|---------------|
| TRAT               | 7      | 236,2643 | 33,75205 | 15,291 | 0,00000       |
| Resíduo            | 32     | 70,63308 | 2,207284 |        |               |
| Coef. de variação  | 32,490 |          |          |        |               |

**Tabela 6.** Resumo da análise de variância para o pH dos extrativos.

| Fontes de variação | G.L.  | SQ        | QM            | F       | Significância |
|--------------------|-------|-----------|---------------|---------|---------------|
| TRAT               | 7     | 39,47830  | 5,639757      | 232,125 | 0,00000       |
| Resíduo            | 32    | 0,7774800 | 0,2429625E-01 |         |               |
| Coef. de variação  | 3,889 |           |               |         |               |

**Análise de variância da avaliação das propriedades da solução de tanino de *Pinus oocarpa*, dos adesivos Fenol-Formaldeído (FF) e Uréia Formaldeído (UF) e modificações com solução de tanino da casca de *Pinus oocarpa*.**

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância para a viscosidade.

| Fontes de variação | G.L.  | SQ       | QM       | F       | Significância |
|--------------------|-------|----------|----------|---------|---------------|
| TRAT               | 4     | 900410,6 | 225102,6 | 252,239 | 0,00000       |
| Resíduo            | 20    | 17848,33 | 892,4163 |         |               |
| Coef. de variação  | 4,038 |          |          |         |               |

**Tabela 8.** Resumo da análise de variância para o tempo de formação de gel.

| Fontes de variação | G.L.  | SQ            | QM       | F        | Significância |
|--------------------|-------|---------------|----------|----------|---------------|
| TRAT               | 4     | 0,3343856E+08 | 8359641  | 2497,622 | 0,00000       |
| Resíduo            | 20    | 66940,80      | 3347,040 |          |               |
| Coef. de variação  | 5,560 |               |          |          |               |

**Tabela 9.** Resumo da análise de variância para o teor de sólidos.

| Fontes de variação | G.L.  | SQ       | QM       | F       | Significância |
|--------------------|-------|----------|----------|---------|---------------|
| TRAT               | 4     | 2427,456 | 606,8641 | 242,764 | 0,00000       |
| Resíduo            | 20    | 49,99628 | 2,499814 |         |               |
| Coef. de variação  | 2,593 |          |          |         |               |

**Tabela 10.** Resumo da análise de variância para pH.

| Fontes de variação | G.L.  | SQ            | QM            | F        | Significância |
|--------------------|-------|---------------|---------------|----------|---------------|
| TRAT               | 4     | 173,8440      | 43,46099      | 25064,01 | 0,00000       |
| Resíduo            | 20    | 0,3468000E-01 | 0,1734000E-02 |          |               |
| Coef. de variação  | 0,433 |               |               |          |               |

### **Análise de variância da avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis**

**Tabela 11.** Resumo da análise de variância para a densidade aparente dos painéis produzidos.

| Fontes de variação | G.L.   | SQ            | QM            | F     | Significância |
|--------------------|--------|---------------|---------------|-------|---------------|
| TRAT               | 9      | 0,3547311E-01 | 0,3941457E-02 | 1,642 | 0,11903       |
| Resíduo            | 74     | 0,1776267     | 0,2400360E-02 |       |               |
| Coef. de variação  | 10,503 |               |               |       |               |

### **Análise de variância dos painéis fabricados com adesivo Tanino-Formaldeído (TF) de *Pinus oocarpa*, adesivo Uréia-Formaldeído (UF) e suas modificações com tanino de *Pinus oocarpa* a 45%.**

**Tabela 12.** Resumo da análise de variância para o Inchamento em Espessura (IE), após 2 horas de imersão em água.

| Fontes de variação | G.L. | SQ       | QM       | F       | Significância |
|--------------------|------|----------|----------|---------|---------------|
| TRAT               | 5    | 1998,198 | 399,6397 | 289,271 | 0,00000       |
| Resíduo            | 42   | 58,02471 | 1,381541 |         |               |

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| <b>Coef. de variação</b> | 10,762 |
|--------------------------|--------|

**Tabela 13.** Resumo da análise de variância para o Inchamento em Espessura (IE), após 24 horas de imersão em água.

| Fontes de variação       | G.L.   | SQ       | QM       | F       | Significância |
|--------------------------|--------|----------|----------|---------|---------------|
| TRAT                     | 5      | 3328,686 | 665,7372 | 301,615 | 0,00000       |
| Resíduo                  | 42     | 92,70409 | 2,207240 |         |               |
| <b>Coef. de variação</b> | 10,433 |          |          |         |               |

**Tabela 14.** Resumo da análise de variância para a Absorção de Água (AA), após 2 horas de imersão em água.

| Fontes de variação       | G.L.  | SQ       | QM       | F      | Significância |
|--------------------------|-------|----------|----------|--------|---------------|
| TRAT                     | 5     | 8206,222 | 1641,244 | 49,997 | 0,00000       |
| Resíduo                  | 42    | 1378,738 | 32,82710 |        |               |
| <b>Coef. de variação</b> | 5,824 |          |          |        |               |

**Tabela 15.** Resumo da análise de variância para a Absorção de Água (AA), após 24 horas de imersão em água.

| Fontes de variação       | G.L.  | SQ       | QM       | F      | Significância |
|--------------------------|-------|----------|----------|--------|---------------|
| TRAT                     | 5     | 8617,572 | 1723,514 | 44,858 | 0,00000       |
| Resíduo                  | 42    | 1613,706 | 38,42157 |        |               |
| <b>Coef. de variação</b> | 5,608 |          |          |        |               |

**Tabela 15.** Resumo da análise de variância para o Módulo de Ruptura (MOR) paralelo.

| Fontes de variação       | G.L.   | SQ       | QM       | F      | Significância |
|--------------------------|--------|----------|----------|--------|---------------|
| TRAT                     | 5      | 112871,4 | 22574,28 | 52,497 | 0,00000       |
| Resíduo                  | 42     | 18060,41 | 430,0097 |        |               |
| <b>Coef. de variação</b> | 17,509 |          |          |        |               |

**Tabela 16.** Resumo da análise de variância para o Módulo de Elasticidade (MOE) paralelo.

| Fontes de variação       | G.L.   | SQ            | QM            | F       | Significância |
|--------------------------|--------|---------------|---------------|---------|---------------|
| TRAT                     | 5      | 0,2071784E+10 | 0,4113568E+09 | 110,846 | 0,00000       |
| Resíduo                  | 42     | 0,1570010E+09 | 3738119       |         |               |
| <b>Coef. de variação</b> | 13,116 |               |               |         |               |

**Tabela 17.** Resumo da análise de variância para o Módulo de Ruptura (MOR) perpendicular.

| Fontes de variação | G.L. | SQ | QM | F | Significância |
|--------------------|------|----|----|---|---------------|
|--------------------|------|----|----|---|---------------|

|                   |        |          |          |        |         |
|-------------------|--------|----------|----------|--------|---------|
| TRAT              | 5      | 17678,10 | 3535,619 | 47,953 | 0,00000 |
| Resíduo           | 42     | 3096.717 | 73,73135 |        |         |
| Coef. de variação | 15,351 |          |          |        |         |

**Tabela 18.** Resumo da análise de variância para o Módulo de Elasticidade (MOE) perpendicular.

| Fontes de variação | G.L.   | SQ            | QM            | F      | Significância |
|--------------------|--------|---------------|---------------|--------|---------------|
| TRAT               | 5      | 0,1877590E+09 | 0,3755179E+08 | 89,727 | 0,00000       |
| Resíduo            | 42     | 0,1757751+08  | 418512,1      |        |               |
| Coef. de variação  | 12,489 |               |               |        |               |

**Tabela 19.** Resumo da análise de variância para a resistência à Ligação Interna - LI.

| Fontes de variação | G.L.   | SQ       | QM        | F       | Significância |
|--------------------|--------|----------|-----------|---------|---------------|
| TRAT               | 5      | 210,9307 | 42,18614  | 168,474 | 0,00000       |
| Resíduo            | 90     | 22,53608 | 0,2504009 |         |               |
| Coef. de variação  | 20,774 |          |           |         |               |

**Análise de variância dos painéis fabricados com adesivo Tanino-Formaldeído (TF) de *Pinus oocarpa*, adesivo Fenol-Formaldeído (FF) e suas modificações com tanino de *Pinus oocarpa* a 45%.**

**Tabela 20.** Resumo da análise de variância para o Inchamento em Espessura (IE), após 2 horas de imersão em água.

| Fontes de variação | G.L.   | SQ       | QM       | F       | Significância |
|--------------------|--------|----------|----------|---------|---------------|
| TRAT               | 5      | 2438,819 | 487,7638 | 304,890 | 0,00000       |
| Resíduo            | 42     | 67,19164 | 1,599801 |         |               |
| Coef. de variação  | 12,412 |          |          |         |               |

**Tabela 21.** Resumo da análise de variância para o Inchamento em Espessura (IE), após 24 horas de imersão em água.

| Fontes de variação | G.L. | SQ       | QM       | F       | Significância |
|--------------------|------|----------|----------|---------|---------------|
| TRAT               | 5    | 3215,073 | 643,0147 | 275,311 | 0,00000       |

|                          |        |          |          |
|--------------------------|--------|----------|----------|
| <b>Resíduo</b>           | 42     | 98,09491 | 2,335593 |
| <b>Coef. de variação</b> | 11,200 |          |          |

**Tabela 22.** Resumo da análise de variância para a Absorção de Água (AA), após 2 horas de imersão em água.

| Fontes de variação       | G.L.   | SQ       | QM       | F      | Significância |
|--------------------------|--------|----------|----------|--------|---------------|
| TRAT                     | 5      | 9412,571 | 1882,514 | 16,232 | 0,00000       |
| Resíduo                  | 42     | 4870,864 | 115,9730 |        |               |
| <b>Coef. de variação</b> | 10,209 |          |          |        |               |

**Tabela 23.** Resumo da análise de variância para a Absorção de Água (AA), após 24 horas de imersão em água.

| Fontes de variação       | G.L.  | SQ       | QM       | F      | Significância |
|--------------------------|-------|----------|----------|--------|---------------|
| TRAT                     | 5     | 9573,106 | 1914,621 | 13,714 | 0,00000       |
| Resíduo                  | 42    | 5863,772 | 139,6136 |        |               |
| <b>Coef. de variação</b> | 9,956 |          |          |        |               |

**Tabela 24.** Resumo da análise de variância para o Módulo de Ruptura (MOR) paralelo.

| Fontes de variação       | G.L.   | SQ       | QM       | F      | Significância |
|--------------------------|--------|----------|----------|--------|---------------|
| TRAT                     | 5      | 60629,80 | 12125,96 | 29,253 | 0,00000       |
| Resíduo                  | 42     | 17410,01 | 414,5240 |        |               |
| <b>Coef. de variação</b> | 20,271 |          |          |        |               |

**Tabela 25.** Resumo da análise de variância para o Módulo de Elasticidade (MOE) paralelo.

| Fontes de variação       | G.L.   | SQ           | QM            | F      | Significância |
|--------------------------|--------|--------------|---------------|--------|---------------|
| TRAT                     | 5      | 0,1197962+10 | 0,2395925E+09 | 53,696 | 0,00000       |
| Resíduo                  | 42     | 0,1874033+09 | 4461984       |        |               |
| <b>Coef. de variação</b> | 17,505 |              |               |        |               |

**Tabela 26.** Resumo da análise de variância para o Módulo de Ruptura (MOR) perpendicular.

| Fontes de variação       | G.L.   | SQ       | QM       | F      | Significância |
|--------------------------|--------|----------|----------|--------|---------------|
| TRAT                     | 5      | 15920,54 | 3184,109 | 31,006 | 0,00000       |
| Resíduo                  | 42     | 4313,100 | 102,6929 |        |               |
| <b>Coef. de variação</b> | 18,022 |          |          |        |               |

**Tabela 27.** Resumo da análise de variância para o Módulo de Elasticidade (MOE) perpendicular.

| Fontes de variação | G.L. | SQ | QM | F | Significância |
|--------------------|------|----|----|---|---------------|
|--------------------|------|----|----|---|---------------|

|                          |        |               |               |        |         |
|--------------------------|--------|---------------|---------------|--------|---------|
| <b>TRAT</b>              | 5      | 0,1607473E+09 | 0,3214946E+08 | 13,000 | 0,00000 |
| <b>Resíduo</b>           | 42     | 0,1038714E+09 | 2473129       |        |         |
| <b>Coef. de variação</b> | 27,173 |               |               |        |         |

**Tabela 28.** Resumo da análise de variância para a resistência à Ligação Interna - LI.

| <b>Fontes de variação</b> | <b>G.L.</b> | <b>SQ</b> | <b>QM</b>    | <b>F</b> | <b>Significância</b> |
|---------------------------|-------------|-----------|--------------|----------|----------------------|
| <b>TRAT</b>               | 5           | 69,57111  | 13,91422     | 327,987  | 0,00000              |
| <b>Resíduo</b>            | 90          | 3,818078  | 0,424209E-01 |          |                      |
| <b>Coef. de variação</b>  | 13,662      |           |              |          |                      |